



FILIPE SILVA OLIVEIRA

**ELABORAÇÃO DE PROJETO ARQUITETÔNICO E PRÉ-
PROJETO ESTRUTURAL DE UMA EDIFICAÇÃO PARA
FINS RELIGIOSOS EM ESTRUTURA DE MADEIRA**

LAVRAS - MG

2023

FILIFE SILVA OLIVEIRA

**ELABORAÇÃO DE PROJETO ARQUITETÔNICO E PRÉ-PROJETO
ESTRUTURAL DE UMA EDIFICAÇÃO PARA FINS RELIGIOSOS EM
ESTRUTURA DE MADEIRA**

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

Prof. D.Sc. André Luiz Zangiácomo

Orientador

LAVRAS – MG

2023

FILIPPE SILVA OLIVEIRA

**ELABORAÇÃO DE PROJETO ARQUITETÔNICO E PRÉ-PROJETO
ESTRUTURAL DE UMA EDIFICAÇÃO PARA FINS RELIGIOSOS EM
ESTRUTURA DE MADEIRA**

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

APROVADA em 08 de DEZEMBRO de 2023.

Prof. D.Sc. André Luiz Zangiácomo UFLA

Prof. D.Sc. Maykmiller Carvalho Rodrigues UFLA

Prof. D.Sc. Wisner Coimbra de Paula UFLA

Prof. D.Sc. André Luiz Zangiácomo

Orientador

LAVRAS – MG

2023

Dedico este trabalho ao meu querido avô Tobias, cujas estruturas de madeira estarão sempre em minha memória sustentando as minhas forças.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e do aprendizado.

Aos meus avós Tobias e Maria Angelina, pelo apoio incondicional, pelo acolhimento, pela demonstração de valores éticos e pelos ensinamentos ao longo de toda minha vida.

Aos meus pais Ângela e Elanderson, pela educação, pelo incentivo aos estudos, pela cobrança, pelo suporte e por me ensinarem a seguir o caminho do bem.

À minha companheira Beatriz, por ser um exemplo de determinação e pelo acolhimento em momentos de fragilidade, incentivando-me a recuperar a confiança.

Ao meu grupo de trabalho, completado pelas colegas Ana Carolina, Bianca e Luana, por me ensinarem a desenvolver as tarefas propostas, por demonstrarem respeito às minhas ideias, por confiarem nos meus conhecimentos e pelos momentos de descontração em situações de pressão.

Aos demais familiares e amigos que puderam conviver comigo ao longo destes seis anos de constante construção pessoal e profissional.

Aos meus professores, em especial aqueles da área de Estruturas, pelo conhecimento transmitido, pela colaboração com minha formação extraclasse e pela paciência ao longo de todo o curso.

Ao Núcleo de Estudos em Estruturas e todos os amigos e companheiros, por estimularem meu crescimento profissional e pessoal e pelas conquistas obtidas ao longo dessa vivência.

Aos servidores da Universidade Federal de Lavras, por se empenharem em fazer da UFLA um exemplo de local agradável e aconchegante.

Por fim, à Universidade Federal de Lavras, pelas oportunidades oferecidas e por ser exemplo na formação de profissionais e cidadãos.

“Se vi mais longe, foi por estar de pé sobre os ombros de gigantes”

(Isaac Newton)

RESUMO

A Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 garante em seu artigo 5º, inciso VI a inviolabilidade da liberdade de crença, assegura a livre o livre exercício dos cultos religiosos e garante proteção aos locais de culto. Nesse sentido, surge a necessidade de construção de locais onde as comunidades possam cultuar sua fé com conforto e segurança. A finalidade desse trabalho se define no estudo da madeira para uso em edificações de uso público para fins religiosos. O objetivo foi elaborar um projeto de arquitetura voltado ao uso da madeira e o dimensionamento dos elementos estruturais principais. Foi realizado um estudo acerca de diferentes modelos construtivos em estrutura de madeira e optou-se por um modelo híbrido entre o sistema *log home* e o sistema porticado. Fez-se também um levantamento bibliográfico sobre a arquitetura religiosa – conhecida como arquitetura sacra – e sua relação com as estruturas de madeira. Fundamentado nestes estudos, elaborou-se os desenhos técnicos exigidos para um projeto de arquitetura e realizou-se o dimensionamento estrutural para as terças, tesouras, pilares e laje – componentes da estrutura principal. Com esse modelo, foi possível estimar a estocagem de cerca de 25 toneladas de carbono, baseado na estimativa de consumo de madeira da edificação.

Palavras-chave: Arquitetura sacra. Dimensionamento estrutural. *Log home*. Estrutura porticada.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Casa em construção no modelo <i>log home</i>	11
Figura 2 - Ligação de toras de madeira com superfície plana.	12
Figura 3 - Exemplo de ligação com cantoneira.	12
Figura 4 - Modelo de fundação rasa utilizada em edificações de log home.....	14
Figura 5 - Sistema construtivo porticado de madeira (Post & Beam).	15
Figura 6 - Elementos de madeira constituintes da cobertura.....	16
Figura 7 - Construção de forro com chapas de madeira.	16
Figura 8 - Adição de manta de isolamento térmico ao forro da cobertura.	16
Figura 9 - Treliça tipo Howe.	17
Figura 10 - Treliça tipo Pratt.	17
Figura 11 - Treliça tipo Fink.....	17
Figura 12 - Tipos de ligações em estruturas de madeira.	18
Figura 13 - Modos de flambagem em função das condições de extremidades.	19
Figura 14 - Exemplo de ancoragem de pilar de madeira em fundação de concreto armado....	20
Figura 15 - Telhado composto por telhas BIG-F11.....	23
Figura 16 - Croqui arquitetônico para elaboração do pré-projeto estrutural (sem escala).	25
Figura 17 - Esboço do diagrama de cobertura.....	27
Figura 18 - Madeiramento para instalação de telhas tipo BIG-F11.	28
Figura 19 - Esboço do pórtico principal.	29
Figura 20 - Diagrama de corpo livre da terça para os eixos x e y, respectivamente.	31
Figura 21 - Dimensionamento da terça conforme critérios da NBR 7190.	31
Figura 22 - Dados da edificação necessários para cálculo da força do vento pelo VisualVentos.	32
Figura 23 - Força de sucção devida ao vento.	33
Figura 24 - Somatório de forças verticais no nó mais solicitado da tesoura.	33
Figura 25 - Identificação das peças no software Autodesk AutoCAD ®.....	34
Figura 26 - Diagrama de corpo livre do pórtico.	34
Figura 27 - Dimensionamento das barras submetidas à tração.	35
Figura 28 - Análise da esbeltez das peças submetidas ao esforço de compressão.	36
Figura 29 - Análise da estabilidade lateral das peças comprimidas.	36
Figura 30 - Verificação de resistência para as peças submetidas à compressão.	36

Figura 31 - Verificação quanto ao esforço cortante.	37
Figura 32 - Verificação quanto ao índice de esbeltez.....	37
Figura 33 - Verificação quanto à estabilidade lateral.	37
Figura 34 - Verificação quanto à resistência.	37
Figura 35 - Verificação quanto ao cisalhamento.	37
Figura 36 - Detalhamento geométrico da laje de suporte do reservatório.....	38
Figura 37 - Dimensionamento completo da laje de vigotas em madeira.....	39
Figura 38 - Detalhamento de uma parede em log home.....	40
Figura 39 - Conexão entre as toras de madeira horizontais e os pilares.....	40
Figura 40 - Detalhe da vedação nas tesouras.....	41
Figura 41 - Instalação de esquadrias em paredes de log home.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cálculo da pressão dinâmica do vento segundo a NBR 6123.....	29
Tabela 2 - Definição dos carregamentos atuantes nas terças mais solicitadas.	30
Tabela 3 - Combinações de ações para o estado limite último e estado limite de serviço.	30
Tabela 4 - Carregamentos atuantes na tesoura.	33
Tabela 5 - Carregamentos atuantes na laje e combinação de ações.	38

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	6
1.1	Considerações iniciais.....	6
1.2	Objetivo.....	7
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	8
2.1	Madeira e sustentabilidade	8
2.2	Emprego da madeira em edificações.....	9
2.3	Sistema construtivo <i>log home</i>	11
2.4	Sistema em pórtico com cobertura em treliça.....	14
2.5	Arquitetura sacra e sua relação com estruturas de madeira.....	20
3.	METODOLOGIA.....	22
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
4.1	Considerações iniciais.....	24
4.2	Ações atuantes na estrutura.....	29
4.3	Dimensionamento da terça.....	31
4.4	Dimensionamento do pórtico principal	32
4.5	Dimensionamento da laje	38
4.6	Estruturas de vedação e projeto arquitetônico	39
5.	CONCLUSÃO.....	43
	REFERÊNCIAS.....	44
	APÊNDICE A - DIAGRAMAS DE CORPO LIVRE E DE ESFORÇOS SOLICITANTES DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS	49
	APÊNDICE B – PROJETO ARQUITETÔNICO DE UMA EDIFICAÇÃO PARA FINS RELIGIOSOS EM ESTRUTURA DE MADEIRA.....	52

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

A Constituição da República Federativa do Brasil de 1988 garante em seu artigo 5º, inciso VI a inviolabilidade da liberdade de crença, assegura a livre o livre exercício dos cultos religiosos e garante proteção aos locais de culto. Nesse sentido, surge a necessidade de construção de locais onde as comunidades possam cultuar sua fé com conforto e segurança.

Sabe-se que o planejamento é fundamental para a execução de uma tarefa. Isso não é diferente nos termos da construção civil, na qual o sucesso das edificações depende de bons projetos elaborados pelos diferentes profissionais habilitados a atuar nessa área. Pode-se destacar nesse processo a elaboração de projetos de arquitetura. Esses projetos visam a funcionalidade e a estética da edificação a ser construída, fazendo com que os usuários possam sentir-se acolhidos e confortáveis no momento de estadia.

Em complemento ao projeto arquitetônico, pode-se citar o projeto estrutural. Este é responsável por garantir a integridade estrutural da edificação, verificar todas as ações que atuarão contra a edificação, escolher e posicionar elementos resistentes para receber os esforços e direcioná-los ao solo.

Salienta-se que esses dois estudos não são suficientes para atender integralmente todas as exigências de uma edificação, principalmente de uso público. No entanto, são eles que definem o uso e ocupação do espaço, sendo indispensável que sejam pensados em conjunto para que a arquitetura seja compatível com os materiais e elementos estruturais disponíveis para construção do empreendimento.

Em relação à disponibilidade de materiais, os profissionais brasileiros mostram-se rotineiramente atrasados quando comparados aos profissionais de países de primeiro mundo. Isso não quer dizer que são maus projetistas, apenas que culturalmente são influenciados por materiais mais difundidos na construção civil. Esse fato pode ser observado no caso das estruturas metálicas. Enquanto os primeiros edifícios de múltiplos pavimentos em aço eram erguidos por volta do ano de 1870 nos Estados Unidos, no Brasil esse modelo só foi explorado em 1954 (REVISTA GRANDES CONSTRUÇÕES, 2011).

Esse atraso não é diferente quando se trata de estruturas de madeira. Apesar de muito utilizada em telhados, é um material muito menos explorado em elementos estruturais principais. O fator cultural tem grande impacto nesse contexto, visto que a população enxerga

a madeira como um material frágil e de vida útil curta. Indo contra esse pensamento, países de primeiro mundo possuem uma construção em madeira bem disseminada, sendo frequentemente utilizada em edificações residenciais.

A proposta do uso de madeira estrutural não visa estimular competitividade entre os materiais de construção, pois cada um apresenta vantagens e desafios a serem explorados. O intuito consiste na divulgação do material, trazendo o foco aos benefícios de seu uso coerente com as condições da construção, pois trata-se de um elemento de excelentes propriedades para elementos estruturais e um material sustentável e reaproveitável.

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é elaborar o projeto arquitetônico de uma edificação para fins religiosos em estrutura de madeira e realizar o dimensionamento estrutural dos elementos de madeira empregados na estrutura portante principal da edificação.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

É apresentada a seguir a base técnica levantada como forma de fornecer fundamentação teórica para o entendimento do trabalho. Essas informações estão relacionadas ao uso geral da madeira na construção civil, tipos de estruturas de madeira e arquitetura para fins religiosos em estrutura de madeira.

2.1 Madeira e sustentabilidade

A madeira é um material natural e renovável utilizado desde os primórdios da humanidade. A começar do modo natural, os troncos de árvores serviam de proteção e abrigo aos primeiros animais e humanos. Logo em seguida, os seres descobriram que era possível manipular e produzir diferentes artefatos utilizando madeira, principalmente armas para caça. A madeira serve como combustível para o fogo, elemento de grande importância na evolução humana. Por fim, nos tempos contemporâneos, após o desenvolvimento de técnicas e tecnologias ela é usada em diversas áreas, destacando-se a construção civil e a indústria moveleira.

A necessidade de extração de materiais naturais acompanha o ritmo de desenvolvimento da sociedade. Segundo John (2017), pode-se estimar que a construção civil seja responsável por extrair mais de 50% de materiais naturais do planeta e a grande maioria não são renováveis. Além da extração, deve-se considerar que esses materiais se tornarão resíduos, o que envolve o desenvolvimento de plantas de reciclagem como forma de destinação correta para esses materiais. Ainda segundo o autor, a reciclagem de resíduos da construção civil é baixa em países desenvolvidos e considerada desprezível no Brasil.

Tendo em vista a redução da extração dos materiais naturais não renováveis e visando diminuir o impacto ambiental associado à construção civil, a madeira vem a ser um elemento oportuno. Conforme relatado por Garcia (2014), autor que avaliou relatórios estatísticos disponibilizados pela Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF) e por Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), apesar de oportuno, o material é pouco aproveitado no Brasil, tendo em vista que em países com área florestal semelhante, o consumo de madeira serrada é cerca de duas vezes maior.

Dentre os principais elementos a serem considerados nas alterações climáticas provocadas pelos seres humanos está o carbono em formato de gás carbônico (CO₂). De acordo

com Sathre e Gustavsson (2008), os impactos provocados pela emissão de carbono não dependem apenas da quantidade emitida atualmente, mas dessa quantidade adicionada à quantidade que continuará sendo emitida no futuro.

Com intenção de reduzir a emissão de CO₂ na atmosfera, aumentar o uso da madeira como material de construção é uma opção potencial devido a menor quantidade de energia para seu beneficiamento (em comparação ao concreto), à estocagem de carbono em materiais de madeira e à maior disponibilidade de biocombustíveis de subprodutos provenientes da produção e da utilização da madeira (GUSTAVSSON et al., 2006).

Segundo Klock (2005), 50% da composição da madeira, independentemente de sua espécie, variedade genética ou idade, é constituída por carbono. Dessa forma, é possível estimar em massa a quantidade de carbono estocada nos materiais de madeira utilizados na construção de uma edificação multiplicando metade do volume total de madeira utilizado pela massa específica do material.

2.2 Emprego da madeira em edificações

A madeira como material de construção está presente em grande parte das etapas de levantamento de uma edificação. Ela aparece na confecção de fôrmas, escoramentos, estruturas, esquadrias, pisos, forros, revestimentos e em móveis (FEITOZA, 2015 apud FILHO et al., 2018). Segundo Bauer (2019), nessas aplicações, a madeira apresenta características técnicas, econômicas e estéticas exclusivas e de difícil substituição.

A madeira apresenta características positivas que podem ser consideradas vantagens do método construtivo. Entre essas vantagens estão:

A madeira na condição de material de construção apresenta resistência mecânica elevada com a vantagem do peso próprio reduzido, resistência excepcional a choques e esforços dinâmicos, boas características de isolamento térmico e acústico, facilidade de afeiçoamento e simplicidade de ligações, custo reduzido de produção e é um material renovável. (BAUER; L. A. FALCÃO, 2019).

Além das vantagens citadas por Bauer, Brito (2010) atesta que a baixa densidade da madeira, quando comparada a outros materiais, promove alívio às estruturas de fundação. Esse alívio tem como consequência fundações menos robustas, portanto, mais econômicas em materiais e recursos financeiros. Ademais, o autor cita que o fácil manuseio permite uma execução rápida e sem necessidade de mão de obra especializada.

Em contrapartida, como visto no trabalho de Garcia (2014), o uso da madeira ainda é distante do potencial oferecido pelo Brasil em termos de recursos. Isso pode ser traduzido por questões técnicas e culturais. Em relação às questões técnicas, Filho et al. (2018) comenta sobre a falta de capacitação dos engenheiros brasileiros associada à baixa carga horária de disciplinas voltadas ao estudo de estruturas de madeira em cursos tradicionais de engenharia civil. Tal fato, segundo o autor, gera uma fuga da elaboração de projetos utilizando madeira ou promove o dimensionamento inadequado.

Em relação aos fatores culturais, a madeira ainda é associada a um material de baixa qualidade ou durabilidade. Esse preconceito se origina ao desconhecimento do material, à falta de projetos específicos e bem elaborados (FILHO, 2018). De acordo com Brito (2010, p. 27), “embora a madeira seja suscetível ao apodrecimento e ao ataque de insetos sob condições específicas, ela é um material muito durável quando utilizado com tecnologia.”

As características da madeira variam muito entre as espécies, podendo apresentar propriedades físicas e mecânicas diferentes (IPT, 2013). Dessa forma, ao realizar um projeto ou planejamento que envolva esse material, é necessário que haja correta identificação da espécie e da finalidade ao qual a peça será destinada.

As espécies utilizadas na construção civil podem ser classificadas em nativas e de reflorestamento - ou plantadas (ABNT, 2022). Como exemplos de espécies nativas, de acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2013), pode-se citar as madeiras de Cupiúba e Cumaru. Já como madeiras de reflorestamento, é comum encontrar espécies de Pinus e Eucalipto (GOES; VALE; PAULA, 2023).

O documento normativo brasileiro NBR 7190 - Projeto de estruturas de madeira (ABNT, 2022) classifica as espécies em dois grupos: coníferas e folhosas. As coníferas recebem esta denominação pois carregam as sementes em estruturas designadas como cones (JUDD et al., 2009). Madeiras folhosas são parte do grupo das angiospermas dicotiledôneas, as quais apresentam como características folhas largas e sementes abrangidas em frutos (ROWELL, 2005). De maneira simplificada, espécies coníferas possuem densidade e classes de resistência inferiores às madeiras folhosas.

A norma técnica brasileira oferece critérios de verificação para estados limites últimos e de serviço para madeiras roliças e serradas. Essa disponibilidade aumenta a versatilidade do material. Além do mais, esse documento fornece grande parte da base técnica necessária para caracterização do material, projeto e dimensionamento de estruturas de madeira.

Em relação à madeira roliça, de acordo com Brito (2010), a resistência, o baixo peso, o baixo consumo energético, a disponibilidade e o fácil manuseio transformam o material em uma alternativa competitiva, sustentável e econômica. No processo de obtenção de madeiras roliças, há uma redução de custos associada ao menor uso de maquinários, menor consumo de energia e menor desperdício de recursos naturais e matéria prima (MANERA, 2011).

2.3 Sistema construtivo *log home*

A utilização de madeira roliça foi a primeira técnica utilizada para construção de edificações em madeira. As casas de troncos ou *log homes* são construídas utilizando a disposição de troncos de madeira na horizontal ou na vertical, sendo a primeira alternativa mais utilizada (TORRES, 2010). A Figura 1 ilustra o modelo construtivo citado.

Figura 1- Casa em construção no modelo *log home*.



Fonte: Casas Ecológicas (2023).

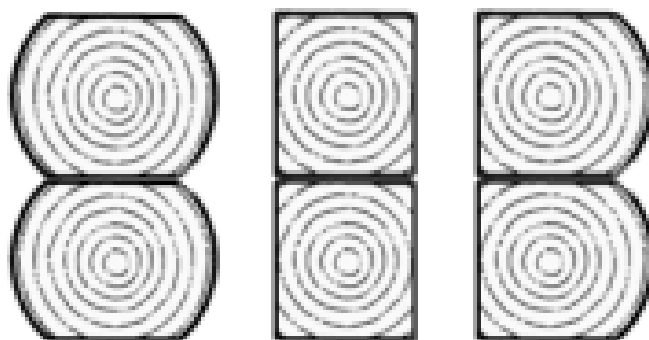
Nesse sistema construtivo, a madeira roliça é utilizada como estrutura das paredes. Em se tratando de desempenho estrutural, de acordo com Torres (2010), é um modelo que não aproveita totalmente as propriedades de resistência da madeira, visto que os esforços são aplicados perpendicularmente à direção das fibras, sendo que o melhor desempenho do material é atingido quando os esforços são aplicados na direção paralela às fibras.

Apesar da eficiência, do aproveitamento e da economia associados ao uso de madeira roliça, as dimensões não uniformes do material exigem cortes para realização das ligações entre as peças (SEVERINO et al., 2019). Segundo Costa (2018), deve-se considerar os entalhes e

encaixes entre as seções longitudinais para garantir o desempenho de isolamento térmico, acústico, estabilidade estrutural e estanqueidade.

Como forma de garantir essas condições, diferentes modelos de ligação e disposição das toras de madeira foram desenvolvidos. Torres (2010) apresenta a utilização de faces retangulares, promovendo uma maior superfície de apoio e estabilidade (Figura 2). Cabin Life (2017) apresenta em seu manual outros diferentes tipos de seção envolvendo entalhes e recortes.

Figura 2 - Ligação de toras de madeira com superfície plana.



Fonte: Sanchez et al. (1995, apud TORRES 2010).

Além da ligação entre as toras sobrepostas, é necessário avaliar o tipo de ligações nos cantos, onde há o encontro perpendicular entre os elementos. Os diferentes modelos se baseiam em entalhes, recortes e utilização de elementos complementares. Alguns padrões mais simples são *butt and pass*, ligação intertravada por entalhe e ligação com cantoneira (Figura 3) (CABIN LIFE, 2017).

Figura 3 - Exemplo de ligação com cantoneira.



Fonte: Cabin Life (2017).

Outro ponto importante no que tange ao sistema de vedação é o modelo construtivo das esquadrias. Em edificações *log homes* o corte para a instalação das janelas e portas pode ser realizado antes da formação das paredes e deve garantir que a estanqueidade não seja comprometida (COSTA, 2018). Ainda segundo o autor, são realizados entalhes no perímetro da abertura, para que possa ser realizado o encaixe da esquadria.

No que se diz respeito às instalações hidráulicas, não é recomendado o embutimento dos tubos nas peças de madeira. Segundo Costa (2018), as tubulações devem ser posicionadas externamente às paredes e, caso seja necessário escondê-las, pode-se optar por uma parede secundária.

Diferentemente das instalações hidráulicas, as instalações elétricas podem ser efetuadas através das toras de madeira. Isso acontece através de furos verticais nas paredes. A fiação também pode ser disposta atrás do batente das portas e nos rodapés (COSTA, 2018).

A cobertura é responsável não só pela proteção da edificação contra intempéries, mas também pelo conforto do usuário (DALL'AGNOL, 2017). Segundo apresentado por Costa (2018), é necessário atentar-se à inclinação do telhado a depender do tipo de telha adotado. Segundo o autor, as peças de madeiras podem ser executadas tanto em madeira roliça quanto em peças retangulares.

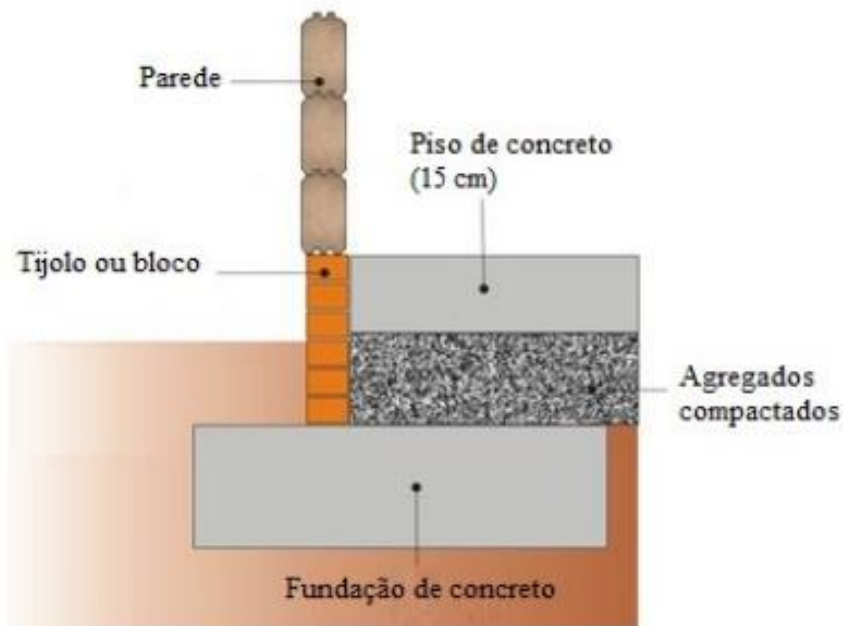
De acordo com Rossignolo e Fabrício (2007), as telhas cerâmicas são de uso mais corrente no Brasil. Os autores ainda indicam os principais tipos de telha cerâmica sendo a telha *plan*, *plan* conjugada, capa-e-canal e francesa. As principais características positivas desse tipo de telha em relação aos demais materiais são a qualidade estética, variedade de formas e estilos arquitetônicos, bom desempenho perante condições climáticas rigorosas e elevada durabilidade (BRITO, 2001).

Devido ao fato de os carregamentos serem distribuídos ao longo das paredes, as fundações para edificações em *log home* são diversas, visto que as forças são divididas em maiores porções de área, reduzindo a tensão atuante no solo. É importante ressaltar que, de acordo com Marques (2008), a primeira fiada deve ser executada a pelo menos 15 centímetros do solo. Isso evita com que a madeira fique em contato direto com a umidade, resultando em possível aparecimento de fungos, conforme observado por INO (1997 apud ALTOÉ, 2009).

Deve-se levar em consideração para escolha do sistema de fundação não só a superestrutura, mas também as características do solo onde a edificação será locada. O trabalho de Costa (2008) mostra diferentes tipos de fundação para edificações de *log home*. As fundações

apresentadas são variações de fundações rasas, com técnicas para manter a primeira fiada distante do solo, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Modelo de fundação rasa utilizada em edificações de log home.



Fonte: Costa (2008).

Alinhado ao modelo de distribuição de cargas da superestrutura de *log home*, observa-se que fundações rasas são uma escolha bastante coerente. Segundo a NBR 6122 (ABNT, 2019), as fundações rasas são aquelas que distribuem a carga proveniente da superestrutura sob a base do elemento de fundação. São exemplos as sapatas, sapatas corridas e radiers.

2.4 Sistema em pórtico com cobertura em treliça

O sistema em pórtico surge em sequência ao estilo *log home* e faz parte de construções classificadas como *heavy timber* ou madeira pesada. Esse tipo de estrutura potencializa as características da madeira fazendo com que os esforços atuem paralelamente às fibras (TORRES, 2010).

No sistema porticado, de acordo com Torres (2010), “o destacamento entre a estrutura em si e os revestimentos é evidente, pois este é constituído por um conjunto de pórticos que formam um conjunto autoportante”. As principais características desse modelo construtivo, ainda segundo o autor, são a versatilidade dos revestimentos e a possibilidade de obter grandes vãos. A Figura 5 exhibe um exemplo de estrutura projetada em sistema porticado de madeira.

Figura 5 - Sistema construtivo porticado de madeira (Post & Beam).



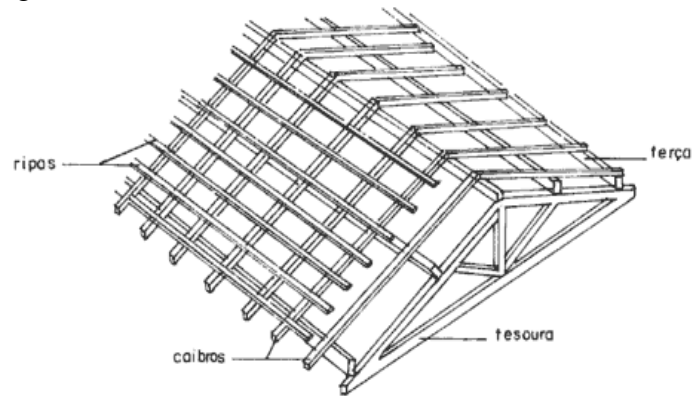
Fonte: Timber Frames Headquarters (2023).

Para construção da cobertura desse tipo de modelo, os parâmetros exigidos pela NBR 15575-5 (ABNT, 2013) devem ser respeitados. Para isso, a cobertura deve assegurar estanqueidade das águas pluviais, proteger os demais sistemas da edificação da deterioração por agentes naturais e contribuir para o conforto dos habitantes. Uma das técnicas utilizadas como forma de proteger a edificação e os elementos de patologias é a utilização de beirais largos, conforme observado por Altoé e Alvarez (2007).

Os elementos constituintes da cobertura mais usualmente utilizados são telhas, ripas, caibros, terças e treliças (tesouras). As telhas podem ser de materiais diversos, porém é mais comum a utilização de telhas cerâmicas (ROSSIGNOLO; FABRÍCIO, 2007). De acordo com Moliterno (2010), as ripas são peças de madeira pregadas sobre os caibros para sustentação das telhas; por sua vez, os caibros são peças apoiadas sobre as terças para suporte das ripas e; por fim as terças são vigas de madeira apoiadas sobre as treliças ou outra estrutura de suporte para sustentação dos caibros.

A utilização de madeira serrada na construção de coberturas é mais corrente. Para este caso, é importante observar as seções transversais disponíveis no mercado madeireiro da região. O documento técnico NBR 7190 (ABNT, 2022) indica que a área mínima das seções transversais deve ser de 50 cm² e a espessura mínima de 5 cm. Ainda segundo o documento, para madeiramentos secundários esse limite pode ser reduzido para 18 cm² e 2,5 cm, respectivamente. A Figura 6 mostra os elementos constituintes do madeiramento de coberturas.

Figura 6 - Elementos de madeira constituintes da cobertura.



Fonte: Engenharia & Construção (2013).

Como forma de complementar as propriedades acústicas e de estanqueidade, pode-se adicionar um forro à cobertura (Figura 7). Esse forro pode ser posicionado de diferentes maneiras: entre os caibros e ripas, entre os caibros e as terças ou abaixo da tesoura. Esse elemento pode ser constituído de chapas de madeira revestidas com mantas isolantes (Figura 8), conforme observado por Vasconcelos (2010).

Figura 7 - Construção de forro com chapas de madeira.



Fonte: Vasconcelos (2010).

Figura 8 - Adição de manta de isolamento térmico ao forro da cobertura.

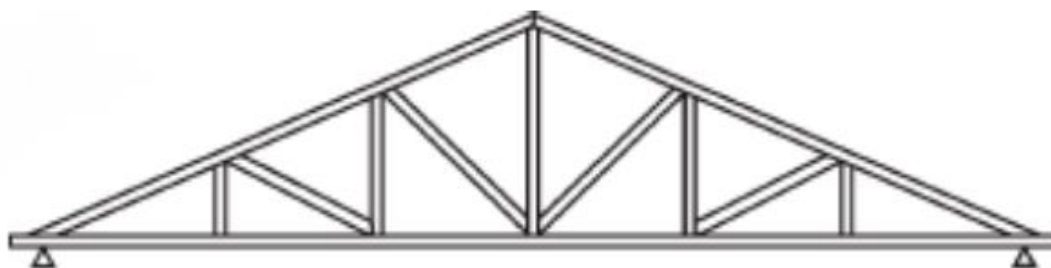


Fonte: Vasconcelos (2010).

A definição de treliça é, segundo Moliterno (2010), “um sistema de barras situadas num plano e articuladas umas às outras em suas extremidades, de modo a formar uma cadeia rija”. Parolin (2017) complementa a definição do ponto de vista estático indicando que o sistema é carregado somente em nós por ser baseado no equilíbrio de forças nodais, promovendo esforços de tração e compressão.

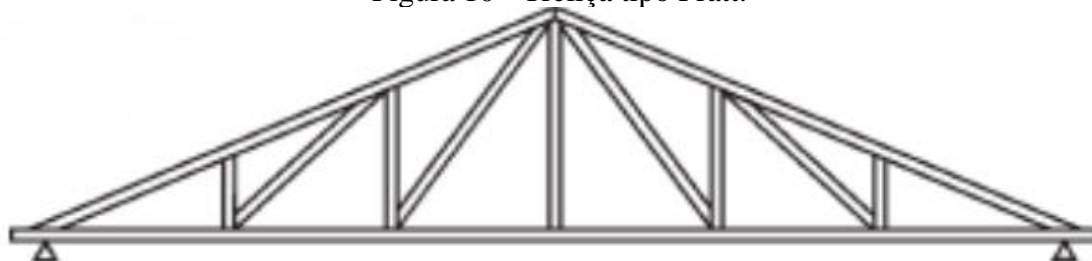
Existem diferentes técnicas de disposição das barras de treliça. Essas técnicas influenciam nos esforços aplicados a cada barra constituinte, sendo indicadas para diferentes características de construção. Alguns tipos mais convencionais são a tesoura tipo Howe (Figura 9), indicada para vãos de pequena e média ordem; treliça tipo Pratt (Figura 10), sugerida para vãos de 18 a 30 metros e; tesoura tipo Fink (Figura 11), proposta para vãos entre 20 e 30 metros (SEDANO, 2006).

Figura 9 - Treliça tipo Howe.



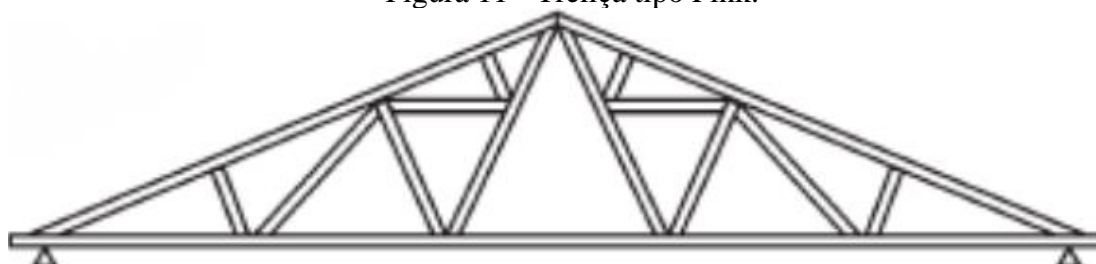
Fonte: Adaptado de Pfeil e Pfeil (2021).

Figura 10 - Treliça tipo Pratt.



Fonte: Adaptado de Pfeil e Pfeil (2021).

Figura 11 - Treliça tipo Fink.



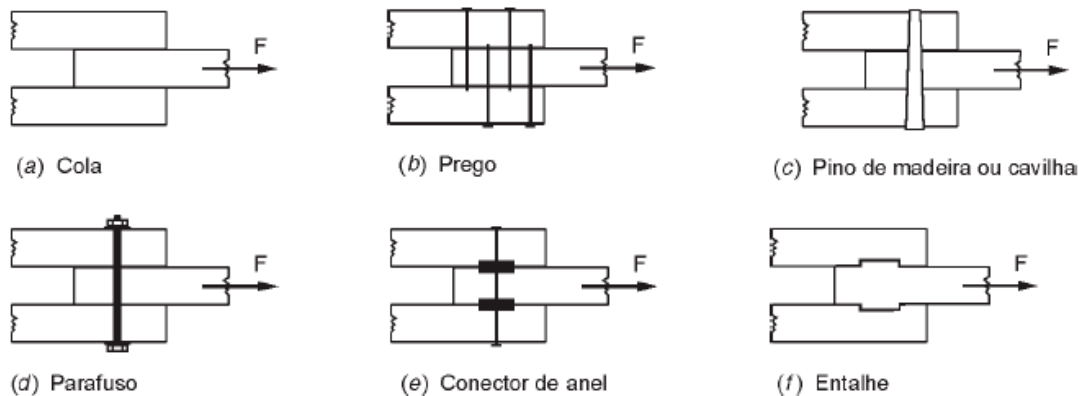
Fonte: Adaptado de Pfeil e Pfeil (2021).

A fim de avaliar os esforços axiais em barras de treliças planas, segundo Moliterno (2010), é necessário o atendimento às seguintes hipóteses: as juntas ou nós são considerados articulações; todas as cargas são consideradas concentradas nos nós; todas as barras são retas e; as treliças pertencem ao plano das forças.

As treliças podem ser hipoestáticas, isostáticas e hiperestáticas. É necessário avaliar a estaticidade interior (relativa ao número de barras da treliça), exterior (relativa às reações de apoio) e global da estrutura (GOMES, 2016). Segundo esse autor, as treliças simples - formadas a partir de um triângulo inicial indeformável e apresentadas na forma isostática - são comumente utilizadas em estruturas de suporte para telhados.

De acordo com Pfeil e Pfeil (2021), as técnicas de ligações empregadas em estruturas de madeira são: colagem, pregos, grampos, braçadeiras, pinos, parafusos, conectores metálicos, tarugos e entalhes. Já a NBR 7190 (ABNT, 2022), divide os tipos de ligações em quatro grupos, sendo eles: ligações por pinos metálicos, ligações por anéis metálicos e chapas com dentes estampados, ligações por sambladuras ou entalhes e ligações coladas. A Figura 12 exemplifica os tipos de ligações usuais em estruturas de madeira.

Figura 12 - Tipos de ligações em estruturas de madeira.



Fonte: Pfeil e Pfeil (2021).

De acordo com o documento normativo brasileiro “as ligações por pinos possuem comportamento regido por um misto de flexão do pino e/ou embutimento do pino na madeira”. Ainda segundo a norma, as ligações por anéis metálicos e chapas com dentes estampados são caracterizadas pela grande área de contato. Já nas ligações por sambladuras e entalhes os esforços são transmitidos diretamente de um elemento de madeira ao outro mediante a uma geometria que permita essa transmissão. Por fim, as ligações coladas são aquelas em que a união entre os elementos de madeira é realizada com o uso de adesivos estruturais.

No sistema porticado, os carregamentos das vigas ou treliças de cobertura são transmitidos para os pilares. Os pilares são elementos estruturais lineares e verticais que atuam majoritariamente sob esforços de compressão. Nesse modelo construtivo, podem ser utilizados pilares de madeira roliça ou serrada, desde que sejam respeitadas as dimensões mínimas exigidas na NBR 7190.

O dimensionamento desse elemento estrutural deve levar em consideração não só o esforço de compressão atuante, bem como a estabilidade da peça. A condição de estabilidade envolve o comprimento de flambagem, o momento de inércia e a área da seção transversal do elemento comprimido. A norma brasileira exige que essa propriedade - denominada esbeltez - seja considerada para dimensionamento de peças submetidas à compressão.

A fim de determinar o comprimento de flambagem da peça, é necessário determinar as condições de vinculação das extremidades do elemento. Vinculações mais rígidas diminuem o comprimento de flambagem enquanto vinculações menos rígidas aumentam sua magnitude. Portanto, para os pilares, é imprescindível observar o comportamento das ligações entre pilares e vigas superiores como também as ligações entre pilares e fundações. A Figura 13 ilustra a relação entre as vinculações de extremidade e o comprimento de flambagem.

Figura 13 - Modos de flambagem em função das condições de extremidades.

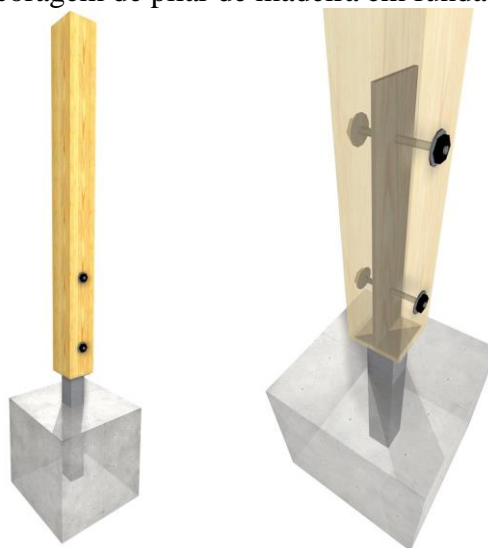
Modos de flambagem						
Valores de projeto para K_E	0,65	0,80	1,20	1,00	2,10	2,40
Código das condições de extremidade		Rotação e translação lateral impedidas, translação vertical livre				
		Rotação e translação vertical livres, translação lateral impedida				
		Rotação livre e translações impedidas				
		Rotação impedida e translações livres				
		Rotação e translações livres				

Fonte: ABNT (2022).

O modelo de fundação a ser utilizado em estruturas porticadas de madeira segue modelos convencionais utilizados nos demais sistemas estruturais. As fundações podem ser

rasas ou profundas, seguindo as definições e critérios estabelecidos na norma técnica brasileira NBR 6122 (ABNT, 2019). Ressalta-se que, independentemente do modelo adotado, deve-se preservar a madeira do contato direto do solo, a fim de impedir a transferência de umidade (CAMPOS, 2002). Altoé (2009), classificou como suficiente em critérios para ampliar a durabilidade da edificação aquelas que possuíssem elementos de madeira com distância superior a 30 cm do solo. A Figura 14 mostra um exemplo de ancoragem entre pilar e fundação, mantendo a estrutura de madeira longe do contato do solo.

Figura 14 - Exemplo de ancoragem de pilar de madeira em fundação de concreto armado.



Fonte: Archdaily (2017).

Destaca-se, portanto, a utilização de fundações em concreto armado e a utilização de elementos metálicos para garantir o isolamento do elemento de madeira do contato direto com o solo.

2.5 Arquitetura sacra e sua relação com estruturas de madeira

A arquitetura sacra envolve, de forma geral, o desenvolvimento ou construção de espaços destinados a cultos religiosos. Segundo Eliade (1992) o edifício religioso é um espaço em que o sagrado se manifesta. Segundo Silva (2020), as edificações sagradas têm o objetivo de anunciar a beleza de Deus pelo seu povo.

Um bom trabalho arquitetônico garante não só as características esperadas para uma edificação, mas também uma beleza inspiradora. Espera-se, naturalmente, que uma edificação possa abrigar confortavelmente seus usuários. Além disso, os edifícios devem contar a história do povo, do local e da cultura (SILVA, 2020).

Pereira, Valle e Martins (2021) relataram que o principal motivo pela adoção da madeira como material de construção de capelas na zona rural gaúcha se deu pelos poucos recursos e materiais disponíveis, obrigando os moradores da região a adaptar suas técnicas construtivas à matéria prima natural disponível.

A madeira é um dos materiais que fazem parte da essência de monumentos antigos, como o Palácio Nacional de Sintra. A madeira foi um material amplamente utilizado até meados do século XX, tendo vindo a cair em desuso com o surgimento e otimismo no desempenho do *betão* armado. (BAPTISTA; V. S. SIMÕES, 2018, p. 1).

Hoffmann (2015) também atesta em seu trabalho a substituição de edificações religiosas em estrutura de madeira por outro material. O autor atribui esse processo ao preconceito com obras já realizadas utilizando madeira, falta de conhecimento sobre conservação de edificações de estrutura de madeira e pressão do mercado imobiliário.

[...] equívocos disseminados referentes ao conhecimento da matéria prima, bem como da técnica construtiva, estão fazendo com que esta expressão cultural desapareça do cenário paranaense, sem o devido reconhecimento. (HOFFMANN; A. CORSATO, 2015, p. 84).

Apesar da substituição da madeira nessas edificações, estudos recentes mostram os benefícios de sua utilização. Os levantamentos realizados por Souza, Rodrigues e Ino (2021) relataram efeitos benéficos psicológicos e fisiológicos que a madeira pode exercer sobre as pessoas, como redução da frequência cardíaca e tensão muscular. Esses efeitos são característicos de situações de relaxamento e alívio de estresse, situações benéficas ao ser humano e geralmente desejado por fiéis em momentos de adoração.

O ser humano, inerentemente, possui uma conexão com a natureza. Essa conexão permite, de acordo com Hsuan-An (2017), uma resposta positiva quanto ao bom, ao agradável ou ao belo. Nesse sentido, utilizar técnicas construtivas que utilizam materiais naturais podem potencializar o sentimento agradável e positivo buscado pelos fiéis nos templos e espaços religiosos.

3. METODOLOGIA

Com o objetivo de elaborar os desenhos técnicos necessários para apresentação de um projeto arquitetônico e um pré-projeto estrutural utilizou-se o *software* de desenho assistido por computador Autodesk AutoCAD ® com licença estudantil.

Os cálculos necessários para elaboração do projeto foram realizados com o auxílio de planilhas eletrônicas, dos *softwares* Ftool e VisualVentos.

As normas técnicas brasileiras utilizadas foram:

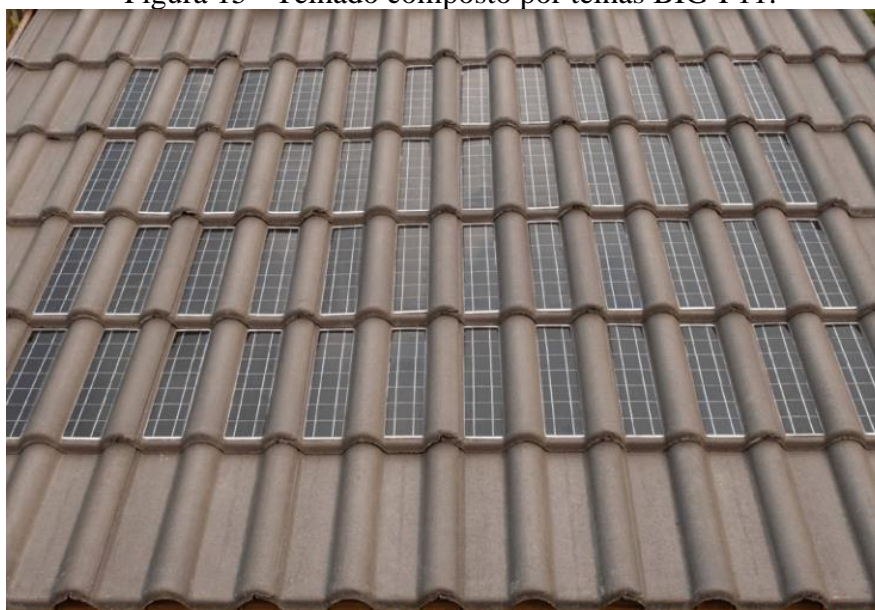
- ABNT NBR 7190: Projeto de estruturas de madeira (2022);
- ABNT NBR 6120: Ações para o cálculo de estruturas de edificações (2019);
- ABNT NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas (2003);
- ABNT NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações (1988);
- ABNT NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos (2021).

As condições para elaboração do projeto foram:

- Há disponibilidade de madeira roliça e madeira serrada na região do projeto;
- Um terreno de topografia plana de 20,0 metros de largura por 32,0 metros de comprimento, localizado em zona rural;
- A edificação deverá ser composta por 1 nave com capacidade de pelo menos 100 pessoas, 1 altar, 1 sala de oração, 1 lavabo, 1 copa e 1 sala;
- Deve-se considerar a instalação de um reservatório de 250 litros acima do banheiro;
- A edificação deve seguir as exigências normativas para acessibilidade;
- A fundação adotada foi o radier;
- O revestimento de piso adotado foi do tipo concreto polido;
- As esquadrias foram idealizadas em madeira e vidro temperado;
- As estruturas de vedação decorreram de estruturas *log home* com faces planas entre as toras de madeira;
- A estrutura portante é do tipo porticada com pilares de madeira roliça e tesouras de madeira serrada;
- O madeiramento da cobertura foi pensado de maneira a utilizar madeiras serradas, compondo-se por ripas, caibros, terças e tesouras;

- Para cobertura foi adotado um forro de madeira da espécie Roxinho, utilizando régua de seção transversal 2,5 x 10 cm. O forro foi idealizado acima das terças e abaixo dos caibros com uma camada de manta impermeabilizante de massa desprezível;
- O modelo de telhas idealizado foi o BIG-F11 resinado, fabricado pela Tégula®. São telhas cerâmicas que já possuem sistema fotovoltaico incluído (Figura 15). A quantidade de módulos fotovoltaicos - e por consequência, telhas com este dispositivo - será definida em razão do projeto de instalações elétricas. As demais telhas seguirão o mesmo modelo, porém sem a presença do sistema. Portanto, serão utilizados carregamentos mais desfavoráveis para fins de dimensionamento;

Figura 15 - Telhado composto por telhas BIG-F11.



Fonte: Tégula (2022).

- A inclinação do telhado será de 40%, superior aos 35% exigido no catálogo de instalação da telha tipo BIG-F11 (TÉGULA, 2022).

Ressalta-se que para o pleno funcionamento da edificação são necessários projetos adicionais, os quais não são objeto de estudo deste trabalho. Pode-se citar o projeto de instalações hidráulicas, de instalações elétricas, de *layout*, luminotécnico, de mobiliário e de segurança contra incêndio e pânico.

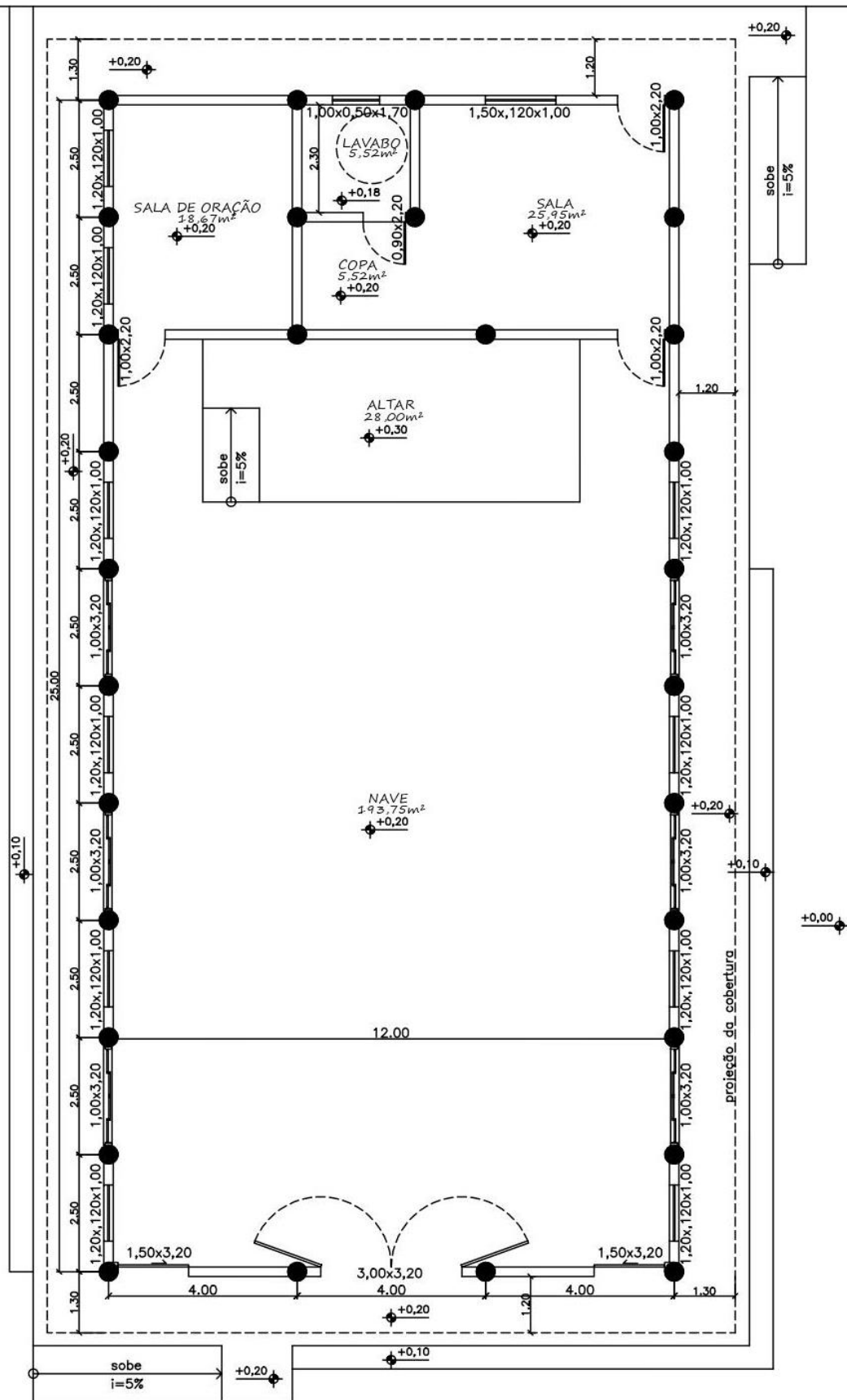
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Considerações iniciais

O início do projeto se deu através de um esboço da arquitetura, visto que é necessário conhecer as dimensões dos ambientes, materiais empregados, posição das aberturas e vãos livres para elaboração da concepção estrutural. Para elaboração do projeto arquitetônico final é importante ter informação sobre as dimensões das peças estruturais. Essas medidas serão determinadas na fase de pré-projeto estrutural, etapa seguinte ao rascunho.

Para determinar a projeção da edificação em área, a princípio, seguiu-se as exigências de ocupação propostas na metodologia. O Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais é responsável pela fiscalização e elaboração das normas técnicas referentes à segurança da edificação. Na Instrução Técnica 08, elaborada pela instituição, está disposto parâmetros de quantificação de ocupação e saídas de emergência. Nesse documento normativo, está indicado que a população usuária de uma edificação para fins religiosos se trata, no mínimo, de 1 pessoa por metro quadrado. No entanto, sabendo da necessidade de posicionamento dos bancos e espaços de circulação, a área adotada no esboço foi superior ao mínimo exigido para uma capacidade de 100 indivíduos. A Figura 16 representa o croqui básico para elaboração do pré-projeto estrutural, realizado com o auxílio do *software* Autodesk AutoCAD ®.

Figura 16 - Croqui arquitetônico para elaboração do pré-projeto estrutural (sem escala).



Fonte: Do autor (2023).

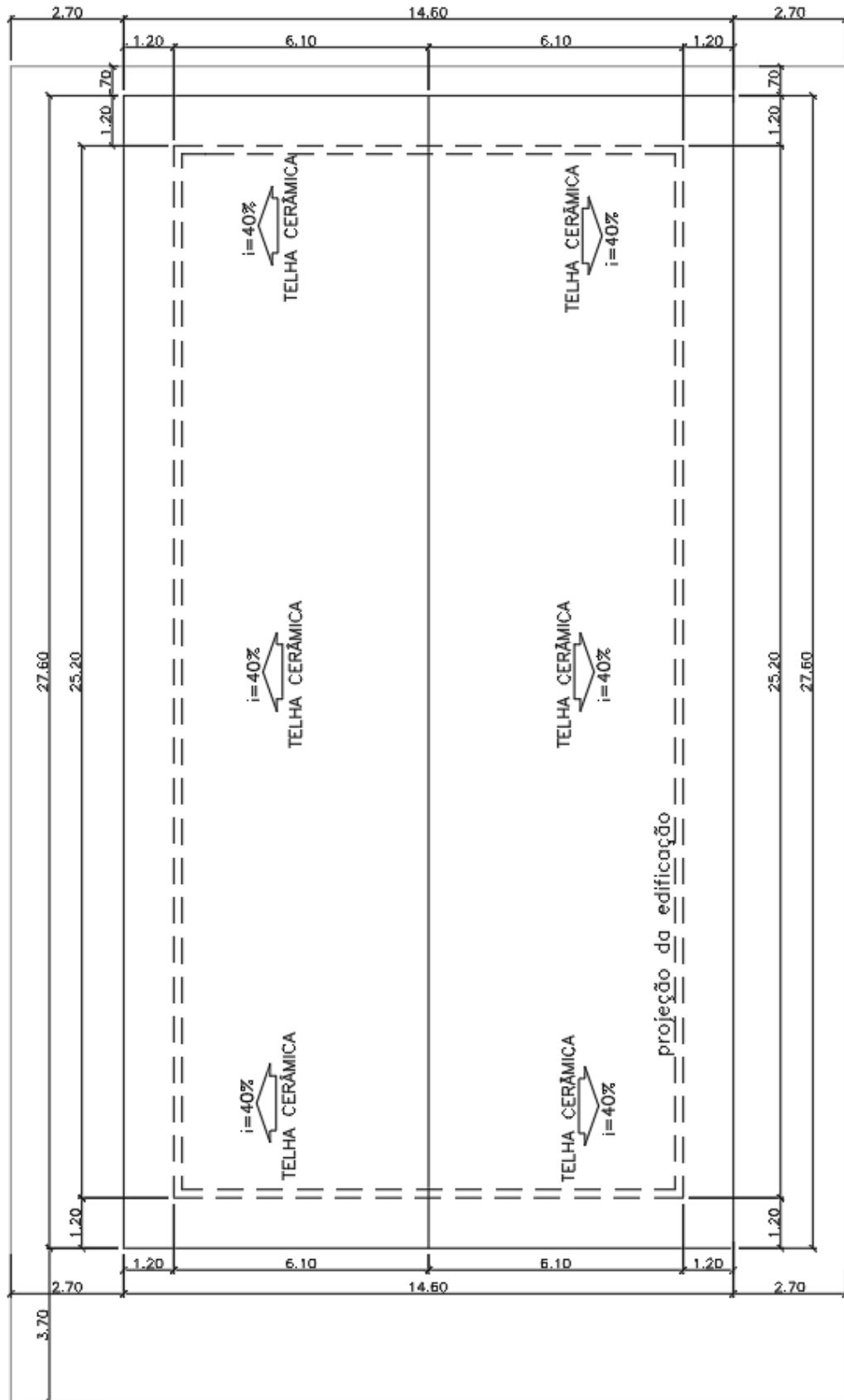
Procurou-se atender aos requisitos indicados na NBR 9050 para acessibilidade na etapa de análise dos ambientes da edificação. Isso inclui projetar rampas de acesso, dimensões mínimas para espaços de circulação e adequação de sanitários. A disposição de peças sanitárias e outras mobílias não foram detalhadas neste projeto arquitetônico, tendo em vista que são objetos de estudo do projeto mobiliário e de *layout*.

O croqui da arquitetura, já pensado com a finalidade de obter bom desempenho estrutural, resultou em uma edificação de onze pórticos principais espaçados entre si a uma distância de 2,50 metros. O espaçamento seguiu o recomendado por Logsdon (2002) em seu trabalho para terças de seção transversal 6x16 centímetros. O vão livre resultante foi de 12 metros e deverá ser vencido pela tesoura. Tal distância, conforme indicado por Sedano (2006), é de média ordem e a treliça recomendada é do tipo Howe, a qual foi empregada neste estudo.

Ainda se tratando das treliças, pode-se verificar pelo croqui a existência de alguns pilares dividindo o vão livre. Esses elementos são cantoneiras de ligação entre paredes perpendiculares de *log home* e guias para instalação de esquadrias. Portanto, essas cantoneiras centrais não serão consideradas apoios para as tesouras. Estas serão consideradas biapoiadas para qualquer efeito de cálculo.

Com a finalidade de proteger a base dos pilares e das toras de vedação contra intempéries, foi considerado no esboço um beiral de 1,20 metros medidos a partir da face exterior da parede (Figura 17). Foram adotadas mãos francesas como complemento da estrutura de sustentação do beiral, no plano do pórtico principal. Ainda como forma de proteção desses elementos, a utilização de fundação em radier com altura de 20 centímetros garantirá que os elementos não permaneçam em contato com o solo.

Figura 17 - Esboço do diagrama de cobertura.

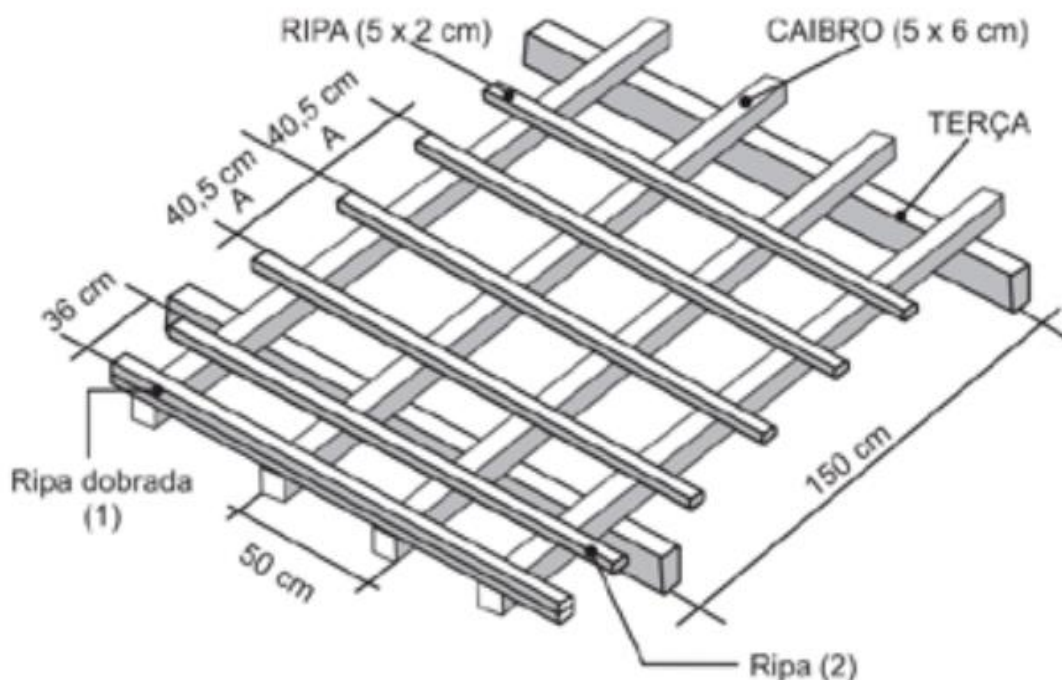


Fonte: Do autor (2023).

As treliças são elementos rígidos em seu próprio plano, porém muito flexíveis em planos transversais (LOGSDON, 2002). Nesse caso, foi adotado uma estrutura em 'X' ligando os montantes centrais das tesouras, como forma de garantir estabilidade à cobertura. Em uma análise simplificada, considerou-se que a ação lateral do vento sobre a edificação é de baixa magnitude e as paredes de *log home* possuem rigidez suficiente para garantir a estabilidade da estrutura.

De início, considerou-se um pé direito junto aos pilares de 3,20 metros. Considerando a inclinação de 40% para o telhado composto por telhas do tipo BIG-F11, a altura da cumeeira (no pórtico unifilar) será de 5,60 metros. O madeiramento composto pelas ripas e caibros seguiu o modelo apresentado no catálogo (Figura 18) e as terças foram dimensionadas em função do distanciamento entre os pórticos e de sua largura de influência.

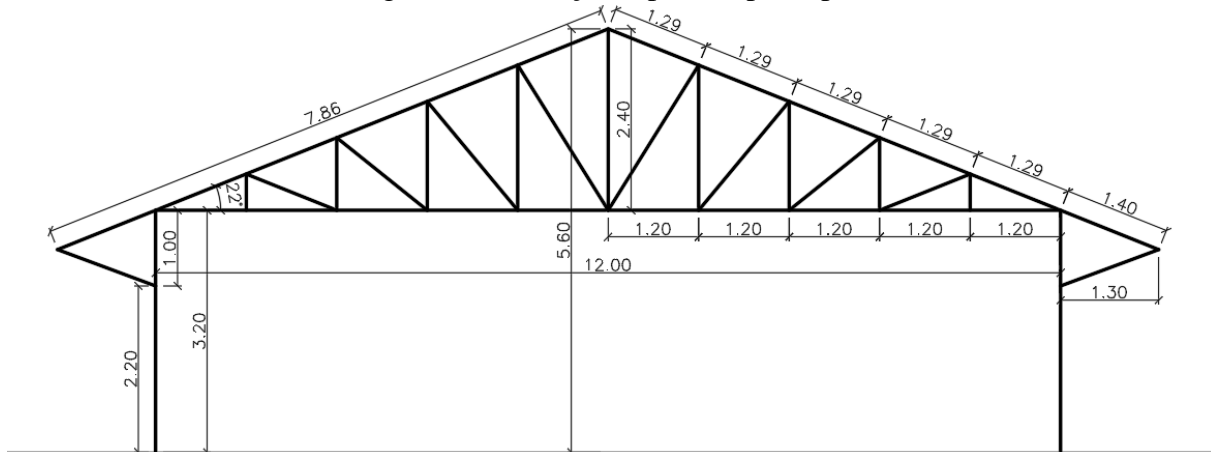
Figura 18 - Madeiramento para instalação de telhas tipo BIG-F11.



Fonte: Tégula (2022).

A partir do madeiramento, foi possível elaborar o esboço da tesoura e, por conseguinte, do pórtico principal. A tesoura empregada foi do tipo Howe e os nós foram dispostos a, no máximo, 1,50 metros ao longo dos banzos superiores (distância fundamentada no manual do fabricante de telhas), conforme ilustrado na Figura 19.

Figura 19 - Esboço do pórtico principal.



Fonte: Do autor (2023).

Fundado na geometria definida na etapa anterior, iniciou-se a análise estrutural. O objetivo da análise foi definir as dimensões dos elementos da estrutura. Para tanto, o primeiro processo realizado decorreu do levantamento dos carregamentos atuantes na estrutura, baseando-se nos catálogos, estudos e documentos técnicos disponíveis na literatura brasileira. Destaca-se que a verificação estrutural se alicerçou nos elementos mais solicitados e as dimensões encontradas foram replicadas aos demais elementos.

4.2 Ações atuantes na estrutura

O primeiro carregamento estudado foi a pressão dinâmica devida ao vento na cobertura. O cálculo da magnitude desse efeito foi realizado conforme critérios da NBR 6123 (ABNT, 1988) e encontra-se resumido na Tabela 1.

Tabela 1 - Cálculo da pressão dinâmica do vento segundo a NBR 6123.

Velocidade básica (m/s)	Fator topográfico (S1)	Rugosidade do terreno, dimensões e altura da edificação sobre o terreno (S2)	Efeitos probabilísticos (S3)	Velocidade característica (m/s)	Pressão dinâmica (kN/m ²)
35,00	1,00	0,93	1,00	32,55	0,65

Fonte: Do autor (2023).

Em sequência, determinou-se os carregamentos atuantes na terça de cobertura (em kN/m, considerando as terças mais solicitadas, as quais apresentam 1,35 metros de largura de influência). Os carregamentos foram divididos em permanentes e variáveis, conforme NBR 8681 (ABNT, 2003). Os carregamentos provenientes de elementos de ligação foram

considerados através de um aumento de 3% nas cargas permanentes. Para avaliação do estado limite último, conforme NBR 7190 (2022), optou-se por considerar a combinação última normal atrelada aos carregamentos de longa duração. Para avaliação do estado limite de serviço, optou-se pela combinação rara de serviço ou combinação de curta duração, com a finalidade de impedir defeitos decorrentes das deformações da estrutura. O levantamento das ações atuantes está definido na Tabela 2, enquanto os casos de combinação encontram-se definidos na Tabela 3.

Tabela 2 - Definição dos carregamentos atuantes nas terças mais solicitadas.

Descrição	Tipo	Valor	Unidade	Fonte
Peso próprio - Terça	Permanente	0,08	kN/m	OLIVEIRA e ZANGIÁCOMO (2023)
Peso próprio - Telhas (Saturadas)	Permanente	0,68	kN/m	TÉGULA (2022)
Peso próprio - Madeiramento	Permanente	0,68	kN/m	LOGSDON (2002)
Peso próprio - Forro	Permanente	0,30	kN/m	IPT (2013)
Sobrecarga de manutenção	Variável	1,35	kN/m	NBR 6120 (2019)
Pressão dinâmica do vento	Variável	0,88	kN/m	NBR 6123 (1988)

Fonte: Do autor (2023).

Tabela 3 - Combinações de ações para o estado limite último e estado limite de serviço.

Estado limite	Caso 1	Caso 2
	Manutenção como carregamento variável principal e vento como carregamento variável secundário (kN/m)	Vento como carregamento variável principal e manutenção como carregamento variável secundário (kN/m)
ELU	5,15	4,75
ELS	3,39	3,06

Fonte: Do autor (2023).

Considerou-se, para fins de combinação última normal, coeficiente ponderador dos carregamentos permanentes $\gamma_g=1,3$; $\gamma_q=1,5$ para ações variáveis em geral; $\psi_{0,vento}=0,6$ e $\psi_{0,manutenção}=0,7$ e; considerou-se, quando vento como ação variável principal, a utilização de um coeficiente de 0,75, pois trata-se de uma ação com tempo de ação muito reduzido (ABNT, 2022). Já para combinação rara de serviço, supôs-se $\psi_{1,vento}=0,3$; $\psi_{1,manutenção}=0,6$.

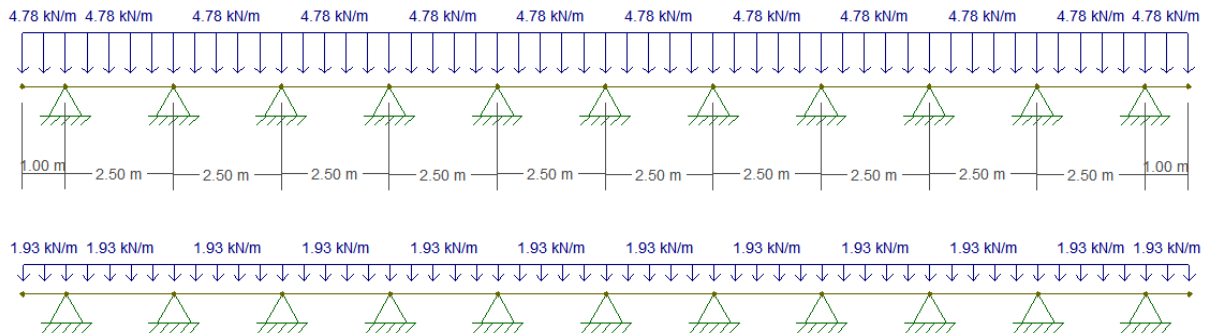
4.3 Dimensionamento da terça

O dimensionamento da terça, portanto, seguiu os seguintes procedimentos: análise da flexão oblíqua - devido à inclinação de 22° da peça - verificação da força cortante nos dois eixos e comparação entre o deslocamento máximo e o deslocamento limite disposto no documento normativo brasileiro.

Durante as análises, percebeu-se que o balanço de 1,30 metros se apresentou como empecilho no dimensionamento à flexão oblíqua, nas condições de apoio aplicadas. Com a finalidade de manter um projeto econômico e sem grandes prejuízos à arquitetura e estrutura, optou-se por reduzir o balanço nas fachadas de frente e fundos para 1,0 metro, manter a classe de resistência da madeira em D40 e a seção transversal em 6x16 centímetros.

Os esforços solicitantes foram obtidos através do *software* Ftool e as verificações foram realizadas com o auxílio de planilhas eletrônicas. Os diagramas de esforços solicitantes encontram-se no Apêndice A. Pode-se verificar o diagrama de corpo livre do elemento estrutural na Figura 20 e resultado do dimensionamento no Figura 21.

Figura 20 - Diagrama de corpo livre da terça para os eixos x e y, respectivamente.



Fonte: Do autor (2023).

Figura 21 - Dimensionamento da terça conforme critérios da NBR 7190.

Madeira							
Classe de resistência	Seção Transversal (cm)	k_{mod1}		k_{mod2}		k_{mod}	
D40	6x16	Longa Duração	0,7	Classe de umidade I	1	0,7	
Flexão Oblíqua							
$M_{x,d}$ (kN.cm)	$M_{y,d}$ (kN.cm)	$\sigma_{Mx,d}$ (kN/cm ²)	$\sigma_{My,d}$ (kN/cm ²)	$f_{m,d}$ (kN/cm ²)	Esforços combinados		Verificação
252,00	102,00	0,98	1,06	2,00	0,88	0,86	OK
Força Cortante							
$V_{x,d}$	$V_{y,d}$	$\tau_{x,d}$ (kN/cm ²)	$\tau_{y,d}$ (kN/cm ²)	$f_{v,0,d}$ (kN/cm ²)	Verificação		
6,00	2,40	0,09	0,04	0,23	OK		
Deslocamentos							
$\delta_{x,v\tilde{a}o}$ (cm)	$\delta_{x,v\tilde{a}o,limite}$ (cm)	$\delta_{x,balanço}$ (cm)	$\delta_{x,balanço,lim}$ (cm)	$\delta_{y,v\tilde{a}o}$ (cm)	$\delta_{y,v\tilde{a}o,limite}$ (cm)	$\delta_{y,balanço}$ (cm)	$\delta_{y,balanço,lim}$ (cm)
0,05	0,5	0,01	0,2	0,15	0,5	0,04	0,2
OK		OK		OK		OK	

Fonte: Do autor (2023).

Com a terça dimensionada, passou-se para a análise estrutural do pórtico. Esse elemento foi dimensionado em duas fases, sendo a primeira etapa a avaliação do sistema treliçado composto por barras solicitadas somente por forças normais (tração e compressão) e a segunda fase a verificação do pilar submetido a esforços de flexo compressão devido a presença da mão francesa.

4.4 Dimensionamento do pórtico principal

A primeira análise se iniciou a partir da avaliação de possibilidade de inversão de esforços provocada pelo vento de sucção. Dessa maneira, utilizou-se a combinação última normal considerando os carregamentos de peso próprio dos elementos estruturais como carregamento favorável ($\gamma_g=1,0$) e determinou-se a carga aplicada no nó da treliça pela terça. Em sequência, calculou-se o peso próprio da treliça, composto pelos elementos estruturais em madeira e o fechamento de vidro (de espessura igual a 10 milímetros) nos vãos. Por fim, com auxílio do *software* VisualVentos, verificou-se a força de sucção no banzo superior da tesoura. A Figura 22 apresenta os dados de entrada na tela inicial do programa. A Figura 23 ilustra os carregamentos críticos obtidos pelo *software*. O somatório de forças resultou em carregamento vertical para baixo, sendo assim o vento de sucção não possui magnitude suficiente para provocar inversão de esforços (Figura 24).

Figura 22 - Dados da edificação necessários para cálculo da força do vento pelo VisualVentos.

The screenshot shows the 'Dimensões' (Dimensions) window of the VisualVentos software. It contains input fields for various dimensions and a table for wind area calculations.

Medidas

- b: 12,00 m
- a: 25,00 m
- h: 3,20 m
- a1: 6,25 m
- a2: 6,25 m
- β : 22,00 °
- h1: 2,42 m
- b1: 6,00 m
- p: 2,50 m

Distância entre pórticos

Confirmar

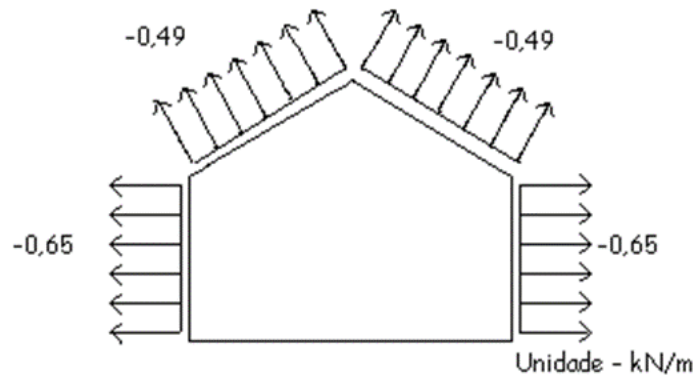
Área das aberturas

Face	Fixa	Móvel
A1	0,00 m ²	9,30 m ²
A2	0,00 m ²	6,10 m ²
A3	0,00 m ²	0,00 m ²
B1	0,00 m ²	9,30 m ²
B2	0,00 m ²	6,10 m ²
B3	0,00 m ²	2,90 m ²
C1	0,00 m ²	9,60 m ²
C2	0,00 m ²	9,60 m ²
D1	0,00 m ²	0,50 m ²
D2	0,00 m ²	4,00 m ²

Continuar →

Fonte: Do autor (2023).

Figura 23 - Força de sucção devida ao vento.



Fonte: VisualVentos (2023).

Figura 24 - Somatório de forças verticais no nó mais solicitado da tesoura.

Descrição	Valor	Unidade
Reação de apoio terça	2,18	kN
Peso próprio treliça	0,70	kN
Vento	-0,61	kN
Somatório de forças verticais	2,26	kN

Legenda: O sentido positivo das forças foi adotado de cima para baixo.

Fonte: Do autor (2023).

Para a avaliação da tesoura, os carregamentos atuantes nos nós foram definidos após a adição do peso próprio da tesoura (calculado pelo volume de madeira e vidro multiplicados pelos seus respectivos pesos específicos e distribuídos uniformemente sobre o banzo superior). Além disso, no nó central, considerou-se o peso dos contraventamentos, compostos por duas peças de madeira - de seção transversal 6x12 centímetros e de comprimento efetivo igual a 3,27 metros - dispostas em formato de 'X'. A Tabela 4 apresenta o resumo dos carregamentos atuantes nos nós da tesoura.

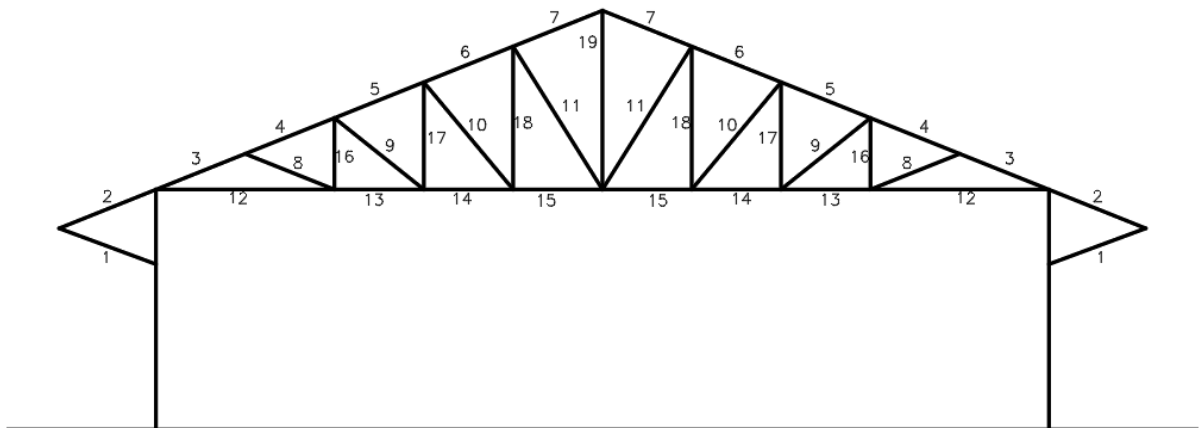
Tabela 4 - Carregamentos atuantes na tesoura.

Nó central		Demais nós	
Reação de apoio - Terças (kN)	6,44	Reação de apoio - Terças (kN)	6,44
Peso próprio - Tesoura (kN) ($\gamma_g=1,3$)	0,70 (0,91)	Peso próprio - Tesoura (kN) ($\gamma_g=1,3$)	0,70 (0,91)
Peso próprio - Contrav. (kN) ($\gamma_g=1,3$)	0,43 (0,55)		
Total (kN)	7,90	Total (kN)	7,35

Fonte: Do autor (2023).

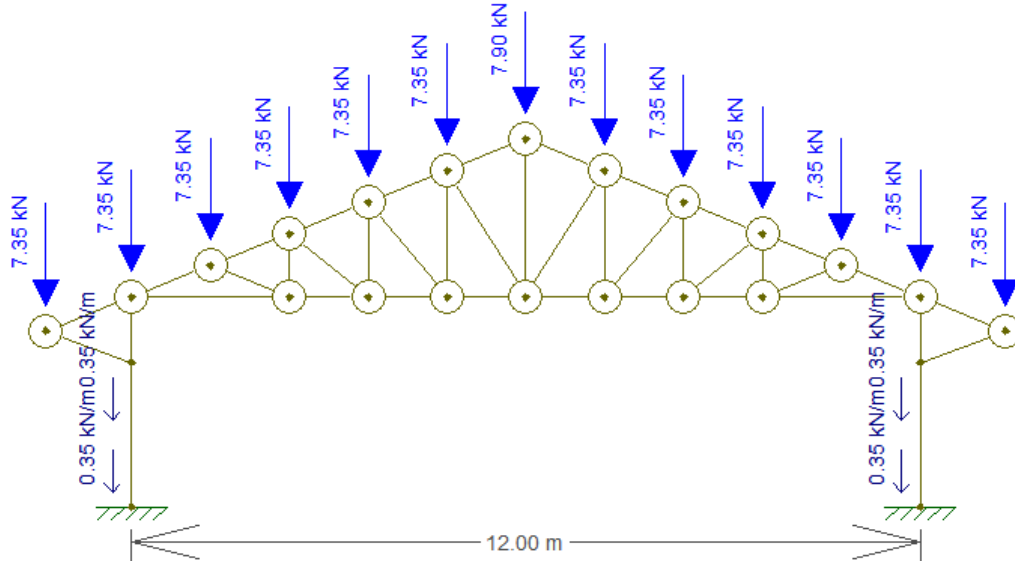
Através do esboço do pórtico apresentado anteriormente, identificou-se as barras da treliça (Figura 25). Em sequência, o modelo foi executado no *software* Ftool (Figura 26). Dessa modelagem foram determinados os esforços normais, cisalhantes e momentos fletores solicitantes das barras. Salienta-se que os diagramas de esforços solicitantes estão disponíveis para consulta no Apêndice A. Esses esforços foram comparados com a resistência de cada peça da estrutura, calculadas de acordo com as diretrizes do documento normativo brasileiro.

Figura 25 - Identificação das peças no software Autodesk AutoCAD ®.



Fonte: Do autor (2023).

Figura 26 - Diagrama de corpo livre do pórtico.



Legenda: O carregamento de 0,35 kN/m corresponde a um pilar de Perobinha de seção transversal circular de diâmetro 20 centímetros ($\gamma_g=1,3$).

Fonte: Do autor (2023).

A madeira utilizada para compor a tesoura foi a espécie nativa Perobinha. Essa madeira pertence, de acordo com Oliveira e Zangiácomo (2023), à classe de resistência D30 e densidade aparente de 860 kg.m^{-3} . O módulo de elasticidade na compressão medido paralelo às fibras para essa classe de resistência, de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 2022), é de 12.000 MPa e a resistência ao cisalhamento equivale a 5 MPa. Esses parâmetros são necessários para determinação da resistência dos elementos estruturais.

Durante a avaliação estrutural, percebeu-se que a seção transversal de 6x16 centímetros apresentou instabilidade lateral em peças comprimidas (localizadas no banzo superior). Dessa forma, optou-se por adotar uma seção transversal de 8x16 centímetros nesse elemento e na mão francesa. Tal seção transversal possui geometria suficiente para atender aos requisitos de estabilidade na compressão. A discussão sobre essa etapa de dimensionamento será apresentada na sequência da verificação quanto ao esforço de tração.

A primeira análise contempla as barras submetidas ao esforço normal de tração. Esse dimensionamento é fundamentado na premissa de que a tensão solicitante deve ser menor ou igual à tensão resistente. A verificação de resistência quanto à tração está resumida na Figura 27.

Figura 27 - Dimensionamento das barras submetidas à tração.

Barra	L_0 (m)	Seção transversal (b e h) (cm)		Área (cm^2)	N_d (kN)	$\sigma_{t0,d}$ (kN/cm^2)	$f_{t0,d}$ (kN/cm^2)	Verificação
2	1,40	8,00	16,00	128,00	7,90	0,06	1,50	OK
12	2,40	6,00	16,00	96,00	87,64	0,91	1,50	OK
13	1,20	6,00	16,00	96,00	78,45	0,82	1,50	OK
14	1,20	6,00	16,00	96,00	69,27	0,72	1,50	OK
15	1,20	6,00	16,00	96,00	60,08	0,63	1,50	OK
16	0,96	6,00	16,00	96,00	3,67	0,04	1,50	OK
17	1,44	6,00	16,00	96,00	7,35	0,08	1,50	OK
18	1,92	6,00	16,00	96,00	11,02	0,11	1,50	OK
19	2,40	6,00	16,00	96,00	29,40	0,31	1,50	OK

Fonte: Do autor (2023).

Para verificação quanto à compressão, o primeiro procedimento realizado foi a análise do índice de esbeltez de cada peça, em ambos os eixos. Essa etapa é indispensável, visto que a depender do índice de esbeltez, deve-se incluir a análise de estabilidade lateral. O documento normativo brasileiro aponta que para valores de índice de esbeltez relativo superiores a 0,3 deve-se proceder a análise de estabilidade e avaliação de esforços combinados de força normal e momento fletor. A norma técnica veta a utilização de peças com índice de esbeltez superior a 140. A Figura 28 ilustra a análise da esbeltez das peças submetidas à compressão.

Figura 28 - Análise da esbeltez das peças submetidas ao esforço de compressão.

Barra	L_0 (m)	Seção transversal (b e h) (cm)		Área (cm ²)	I_x (cm ⁴)	I_y (cm ⁴)	r_x (cm)	r_y (cm)	λ_x	λ_y	$\lambda_{rel,x}$	$\lambda_{rel,y}$	Resultado (x)	Resultado (y)
1	1,39	8,00	16,00	128,00	2730,67	682,67	4,62	2,31	24,08	48,15	0,46	0,92	>0,3 e <140	>0,3 e <140
3	1,29	8,00	16,00	128,00	2730,67	682,67	4,62	2,31	27,93	55,86	0,53	1,06	>0,3 e <140	>0,3 e <140
4	1,29	8,00	16,00	128,00	2730,67	682,67	4,62	2,31	27,93	55,86	0,53	1,06	>0,3 e <140	>0,3 e <140
5	1,29	8,00	16,00	128,00	2730,67	682,67	4,62	2,31	27,93	55,86	0,53	1,06	>0,3 e <140	>0,3 e <140
6	1,29	8,00	16,00	128,00	2730,67	682,67	4,62	2,31	27,93	55,86	0,53	1,06	>0,3 e <140	>0,3 e <140
7	1,29	8,00	16,00	128,00	2730,67	682,67	4,62	2,31	27,93	55,86	0,53	1,06	>0,3 e <140	>0,3 e <140
8	1,29	6,00	16,00	96,00	2048,00	288,00	4,62	1,73	27,93	74,48	0,53	1,42	>0,3 e <140	>0,3 e <140
9	1,54	6,00	16,00	96,00	2048,00	288,00	4,62	1,73	33,34	88,91	0,63	1,69	>0,3 e <140	>0,3 e <140
10	1,87	6,00	16,00	96,00	2048,00	288,00	4,62	1,73	40,49	107,96	0,77	2,05	>0,3 e <140	>0,3 e <140
11	2,26	6,00	16,00	96,00	2048,00	288,00	4,62	1,73	48,93	130,48	0,93	2,48	>0,3 e <140	>0,3 e <140

Fonte: Do autor (2023).

A sequência do dimensionamento à compressão se deu pela verificação da estabilidade lateral das peças (Figura 29). Presumiu-se que não há excentricidade na aplicação das forças de compressão e não há momento fletor em torno do eixo Y. Para o eixo X, há momento fletor na barra 1 pois a ligação entre esta e o pilar é considerada rígida.

Figura 29 - Análise da estabilidade lateral das peças comprimidas.

Barra	N_d (kN)	$M_{x,d}$ (kN.cm)	k_x	k_y	k_{cx}	k_{cy}	$\sigma_{Nc,d}$ (kN/cm ²)	$\sigma_{Mx,d}$ (kN/cm ²)	$f_{c0,d} = f_{m,d}$ (kN/cm ²)	Esforços combinados	Estabilidade (x)	Estabilidade (y)	
1	-8,41	222,00	0,62	0,98	0,96	0,75	0,07	0,65	1,50	0,48	0,36	OK	OK
3	-89,80	0,00	0,66	1,14	0,94	0,64	0,70	0,00	1,50	0,50	0,73	OK	OK
4	-79,90	0,00	0,66	1,14	0,94	0,64	0,62	0,00	1,50	0,44	0,65	OK	OK
5	-70,01	0,00	0,66	1,14	0,94	0,64	0,55	0,00	1,50	0,39	0,57	OK	OK
6	-60,11	0,00	0,66	1,14	0,94	0,64	0,47	0,00	1,50	0,33	0,49	OK	OK
7	-50,22	0,00	0,66	1,14	0,94	0,64	0,39	0,00	1,50	0,28	0,41	OK	OK
8	-9,90	0,00	0,66	1,62	0,94	0,42	0,10	0,00	1,50	0,07	0,16	OK	OK
9	-11,77	0,00	0,73	2,07	0,90	0,31	0,12	0,00	1,50	0,09	0,27	OK	OK
10	-14,35	0,00	0,84	2,78	0,84	0,21	0,15	0,00	1,50	0,12	0,46	OK	OK
11	-17,33	0,00	1,00	3,80	0,74	0,15	0,18	0,00	1,50	0,16	0,80	OK	OK

Fonte: Do autor (2023).

Por fim, foi verificada a resistência aos esforços combinados de força normal e momento fletor. As mesmas considerações aplicadas à estabilidade foram garantidas na análise de resistência. A Figura 30 resume a análise citada.

Figura 30 - Verificação de resistência para as peças submetidas à compressão.

Barra	N_d (kN)	$M_{x,d}$ (kN.cm)	$\sigma_{Nc,d}$ (kN/cm ²)	$\sigma_{Mx,d}$ (kN/cm ²)	$f_{c0,d} = f_{m,d}$ (kN/cm ²)	Esforços combinados	Resistência (x)	Resistência (y)	
1	-8,41	222,00	0,09	0,65	1,50	0,44	0,31	OK	OK
3	-89,80	0,00	0,94	0,00	1,50	0,39	0,39	OK	OK
4	-79,90	0,00	0,83	0,00	1,50	0,31	0,31	OK	OK
5	-70,01	0,00	0,73	0,00	1,50	0,24	0,24	OK	OK
6	-60,11	0,00	0,63	0,00	1,50	0,17	0,17	OK	OK
7	-50,22	0,00	0,52	0,00	1,50	0,12	0,12	OK	OK
8	-9,90	0,00	0,10	0,00	1,50	0,00	0,00	OK	OK
9	-11,77	0,00	0,12	0,00	1,50	0,01	0,01	OK	OK
10	-14,35	0,00	0,15	0,00	1,50	0,01	0,01	OK	OK
11	-17,33	0,00	0,18	0,00	1,50	0,01	0,01	OK	OK

Fonte: Do autor (2023).

Devido ao modelo estrutural da mão francesa, foi observado a presença de esforço cortante na barra 1. Este também foi verificado e sua avaliação está apresentada na Figura 31.

Figura 31 - Verificação quanto ao esforço cortante.

Barra	$V_{x,d}$	$\tau_{x,d}$ (kN/cm ²)	$f_{v0,d}$ (kN/cm ²)	Verificação
1	1,59	0,02	0,25	OK

Fonte: Do autor (2023).

O término do dimensionamento do pórtico passou pela análise do pilar. Verificou-se que sua configuração de extremidade é representada por um engaste e um apoio. Tal fato interfere, assim como acontece na barra 1, no seu comprimento de flambagem - o qual passou a ser 80% do seu comprimento total (2,56 metros). O dimensionamento é realizado de maneira análoga ao procedimento adotado para as barras comprimidas da tesoura (Figura 32 a Figura 35). Vale ressaltar que, para o pilar especificamente, foi utilizada a espécie de Perobinha em estado roliço de seção transversal com diâmetro de 20 centímetros. As propriedades de resistência e rigidez da madeira permanecem inalteradas, porém o coeficiente K_M da verificação de esforços combinados altera-se de 0,7 para 1,0. A utilização de um pilar roliço fundamenta-se no modelo de vedação adotado. Os pilares servirão de cantoneiras para ligação entre as paredes de toras.

Figura 32 - Verificação quanto ao índice de esbeltez.

Barra	L_0 (m)	Seção transversal (ϕ) (cm)	Área (cm ²)	$I_x = I_y$ (cm ⁴)	$r_x = r_y$ (cm)	$\lambda_x = \lambda_y$	$\lambda_{rel,x} = \lambda_{rel,y}$	Resultado
PILAR	3,20	20,00	314,16	7853,98	5,00	51,20	0,97	>0,3 e <140

Fonte: Do autor (2023).

Figura 33 - Verificação quanto à estabilidade lateral.

Barra	N_d (kN)	$M_{x,d}$ (kN.cm)	$k_x = k_y$	$k_{cx} = k_{cy}$	$\sigma_{Nc,d}$ (kN/cm ²)	$\sigma_{Mx,d}$ (kN/cm ²)	$f_{c0,d} = f_{m,d}$ (kN/cm ²)	Esforços combinados	Estabilidade (x)	Estabilidade (y)	
PILAR	49,17	529,00	1,04	0,71	0,16	0,67	1,50	0,60	0,60	OK	OK

Fonte: Do autor (2023).

Figura 34 - Verificação quanto à resistência.

Barra	N_d (kN)	$M_{x,d}$ (kN.cm)	$\sigma_{Nc,d}$ (kN/cm ²)	$\sigma_{Mx,d}$ (kN/cm ²)	$f_{c0,d} = f_{m,d}$ (kN/cm ²)	Esforços combinados	Resistência (x)	Resistência (y)	
PILAR	49,17	529,00	0,16	0,67	1,50	0,46	0,46	OK	OK

Fonte: Do autor (2023).

Figura 35 - Verificação quanto ao cisalhamento.

Barra	$V_{x,d}$	$\tau_{x,d}$ (kN/cm ²)	$f_{v0,d}$ (kN/cm ²)	Verificação
PILAR	4,27	0,02	0,25	OK

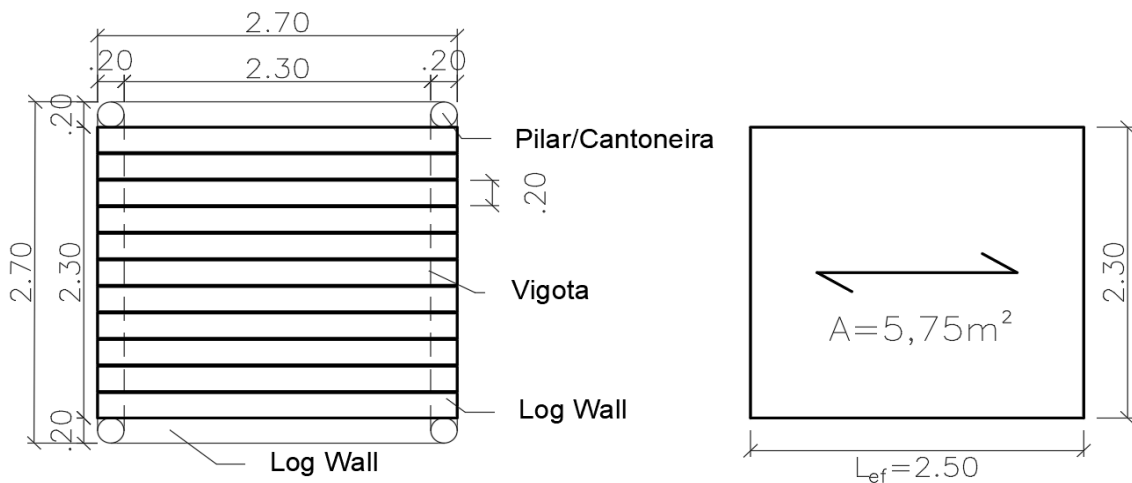
Fonte: Do autor (2023).

Finalizado o dimensionamento do pórtico, analisou-se a estrutura responsável por sustentar o reservatório sobre o banheiro da edificação.

4.5 Dimensionamento da laje

O sistema adotado foi análogo ao sistema de laje nervurada. As vigotas foram consideradas de madeira roliça de Perobinha de diâmetro 20 centímetros e a capa será formada por uma chapa de OSB de 11 milímetros de espessura. Com objetivo de considerar estruturas secundárias de suporte do reservatório, foi aplicado um aumento de 50% no carregamento permanente devido à caixa d'água. Os detalhes geométricos da laje estão dispostos na Figura 36.

Figura 36 - Detalhamento geométrico da laje de suporte do reservatório.



Fonte: Do autor (2023).

Na Tabela 5 estão descritos todos os carregamentos atuantes no elemento estrutural e as respectivas combinação última normal e combinação rara de serviço utilizadas para o dimensionamento.

Tabela 5 - Carregamentos atuantes na laje e combinação de ações.

Descrição	Tipo	Valor (kN/m ²)	Fonte	ELU (kN/m ²)	ELS (kN/m ²)
Peso próprio - Vigotas	Permanente	1,29	OLIVEIRA e ZANGIÁCOMO (2023)		
Peso próprio - Chapa OSB	Permanente	0,01	LP ® (2012)		
Peso próprio - Reservatório	Permanente	0,65	NBR 6120 (2019)	4,04	2,95
Sobrecarga de manutenção	Variável	1,00	NBR 6120 (2019)		

Fonte: Do autor (2023).

O dimensionamento ocorreu de maneira análoga a uma viga biapoada, sendo a vigota responsável por suportar um carregamento relacionado à sua largura de influência - calculada sendo 20 centímetros. A Figura 37 apresenta um resumo do dimensionamento da laje. Destaca-se que a estrutura de suporte são as paredes de *log home*. Essas estruturas não serão verificadas no presente projeto. Sugere-se que esse dimensionamento seja abordado em temas de trabalhos futuros.

Figura 37 - Dimensionamento completo da laje de vigotas em madeira

Flexão			
M_d (kN.cm)	σ_{Md} (kN/cm ²)	$f_{m,d}$ (kN/cm ²)	Verificação
63,13	0,64	1,50	OK
Cisalhamento			
V_{sd}	$\tau_{x,d}$ (kN/cm ²)	$f_{v,0,d}$ (kN/cm ²)	Verificação
1,01	0,005	0,19	OK
Deslocamento			
$\delta_{x,inst}$ (cm)	$\delta_{x,inst,limite}$ (cm)	Verificação	
0,23	0,50	OK	

Fonte: Do autor (2023).

Todos os elementos estruturais foram dimensionados, porém não houve qualquer cálculo referente às ligações. Esse detalhamento é imprescindível para um projeto em estruturas de madeira. No caso, tratando-se de um pré-projeto, visou-se apenas o dimensionamento das peças dos componentes estruturais. Propõe-se que o estudo das ligações seja realizado em trabalhos futuros.

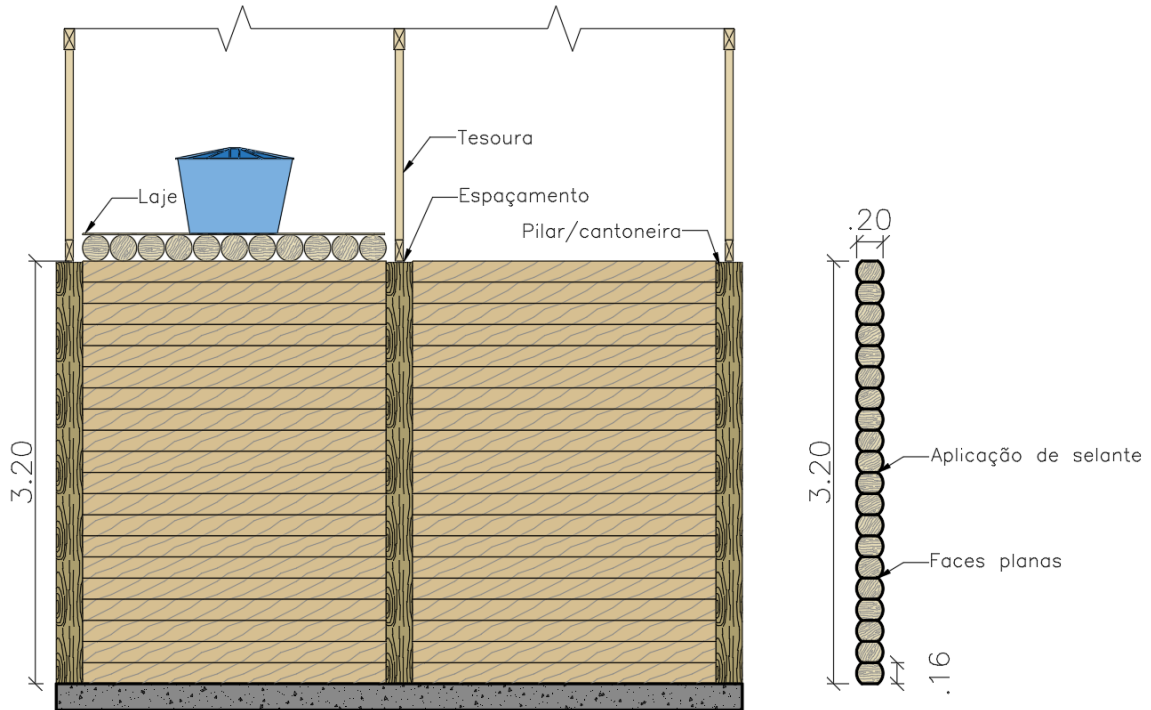
Ainda sobre esse tema, recomenda-se que seja respeitada a rigidez das vinculações admitidas para os cálculos estruturais anteriores, visto que alterações podem promover inversões de esforços ou aumento em sua magnitude, invalidando as verificações realizadas.

4.6 Estruturas de vedação e projeto arquitetônico

Introduzindo-se no projeto arquitetônico, os detalhes a serem elencados serão relacionados à estrutura de vedação. É recomendado pela *International Log Builder's Association* (2000) que as paredes sejam formadas por toras de diâmetro mínimo de 20 centímetros. De acordo com Costa (2008), é recomendável a utilização de produtos tais como vernizes ou tintas, a fim de proteger a madeira de umidade e agentes biológicos, potenciais causadores de patologias. Entre as toras, ainda segundo o autor, é admitido o uso de selantes

para potencializar a estanqueidade da edificação. Portanto, atendeu-se às recomendações quanto ao selante tanto para a ligação entre as toras quanto para a ligação entre as toras e as cantoneiras. A Figura 38 mostra o detalhamento da posição das toras de madeira e uma vista da parede lateral da Sala de Oração.

Figura 38 - Detalhamento de uma parede em log home.

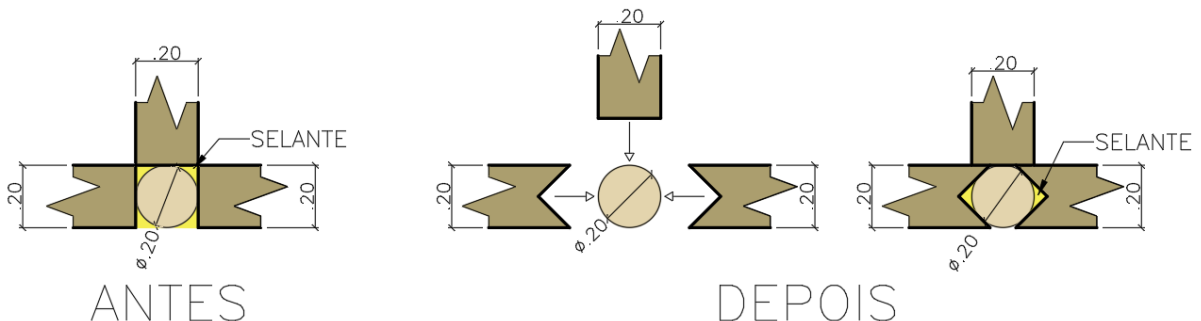


Legenda: O espaçamento significa a folga entre a tesoura e as cantoneiras a fim de manter a premissa de treliça isostática.

Fonte: Do autor (2023).

Observou-se, ainda a respeito das conexões entre os elementos, que a utilização de faces planas entre as paredes e os pilares não promovia integração satisfatória. Nesse caso, pensou-se em realizar recortes nas toras de madeira componentes da *log wall* de maneira a promover um melhor encaixe com os elementos estruturais verticais (Figura 39). Essa configuração reduziu o consumo de selante em 50%.

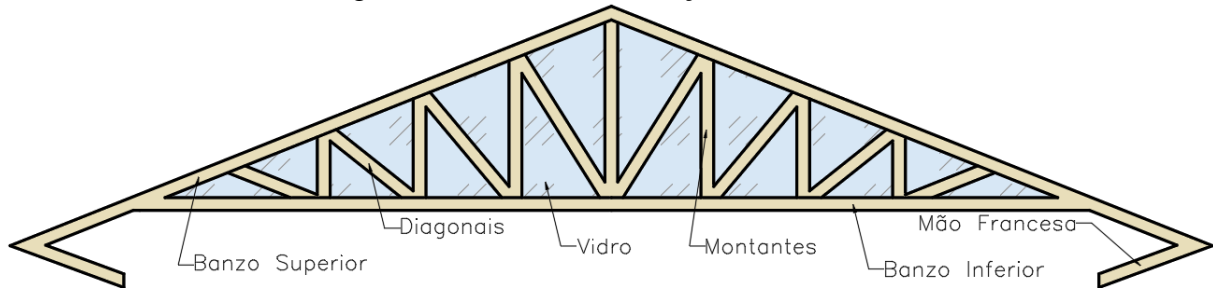
Figura 39 - Conexão entre as toras de madeira horizontais e os pilares.



Fonte: Do autor (2023).

Nas tesouras de fachada de frente, de fundos e aquela que divide o ambiente de celebração dos ambientes de fundos foram projetados vidros nas áreas entre as diagonais e montantes. Essa estratégia foi utilizada com o objetivo de melhorar o isolamento térmico e acústico dessas áreas, permitindo a entrada de luz natural. Pode-se observar o modelo dessas tesouras na Figura 40.

Figura 40 - Detalhe da vedação nas tesouras.



Fonte: Do autor (2023).

Para a instalação das portas e janelas, aproveitou-se das faces planas das madeiras constituintes da parede para evitar cortes adicionais. Dessa forma, são necessários apenas ajustes nos comprimentos das toras posicionadas em uma mesma altura da esquadria. O detalhamento da instalação das esquadrias pode ser observado na Figura 41.

Figura 41 - Instalação de esquadrias em paredes de log home.



Fonte: Do autor (2023).

O projeto arquitetônico completo localiza-se no Apêndice B deste estudo. Contempla-se, no documento, os seguintes desenhos técnicos: planta humanizada (1) com o objetivo de fornecer uma perspectiva espacial e de ocupação dos ambientes; planta baixa (2), responsável por permitir a visualização das dimensões dos ambientes, das esquadrias, das rampas, dos degraus e demais elementos necessários para a construção da edificação; diagrama de cobertura

(3), no qual é possível observar as dimensões do telhado, sua composição material e inclinação; planta de locação (4), a qual concede uma visualização da projeção horizontal da edificação sobre o terreno; cortes transversal e longitudinal (5 e 7), responsáveis por fornecer detalhes construtivos e dimensões verticais dos elementos; fachada (6), ilustração da fachada principal da edificação; detalhamento dos contraventamentos (8) com o objetivo de fornecer informações construtivas do elemento estrutural; detalhamento da tesoura (9), responsável por fornecer as dimensões dos elementos constituintes, espaçamento entre terças, caibros e ripas e; isometria dos pórticos (10), a qual possibilita uma visualização em três dimensões do distanciamento entre os pórticos principais da edificação.

Ressalta-se que a planta humanizada não substitui o projeto de layout e mobiliário. Trata-se de uma representação meramente ilustrativa, com finalidade de permitir a compreensão do uso de cada ambiente.

Estima-se que no projeto elaborado tenha sido utilizado o volume de cerca de 54 metros cúbicos de madeira. Esse valor, levando em consideração a densidade aparente da espécie utilizada nos cálculos (860 kg.m^{-3}), sugere uma massa total de 46,5 toneladas de madeira Perobinha. Segundo a afirmação de Klock (2005), 50% da massa componente da madeira é constituída de carbono, portanto, estima-se que nessa edificação seriam estocadas cerca de 23 toneladas desse elemento.

5. CONCLUSÃO

Foi possível elaborar o projeto arquitetônico para a edificação para fins religiosos em estrutura de madeira. O projeto contempla a utilização de um sistema híbrido entre estrutura porticada e sistema de vedação no modelo *log home*. Foram elaborados os desenhos técnicos exigidos na composição de um projeto de arquitetura, sendo eles: planta baixa, diagrama de cobertura, cortes transversal e longitudinal, fachada, planta de locação e desenhos de detalhamentos.

Na elaboração do projeto estrutural foi possível dimensionar os elementos da estrutura portante da edificação, composta por peças serradas e roliças de madeira. O dimensionamento foi realizado para as terças, tesouras, pilares e para a laje de sustentação do reservatório de acordo com as exigências normativas brasileiras.

É necessário enfatizar que os estudos elaborados não são suficientes para o pleno funcionamento da edificação, sendo necessário projetos de outras especialidades.

Propõe-se como tema para trabalhos futuros:

- Análise estrutural do sistema de vedação em *log home*;
- Elaboração dos demais projetos necessários para o bom funcionamento da edificação, tais como: projeto de instalações elétricas, de instalações hidráulicas, de instalações de esgotamento sanitário, de águas pluviais, luminotécnico, de *layout*, mobiliário e de segurança contra incêndio e pânico;
- Dimensionamento e detalhamento das ligações;
- Avaliação do conforto térmico e acústico da edificação.

REFERÊNCIAS

- A hora e a vez do aço na construção brasileira. **Revista Grandes Construções**. ed. 15, 2011.
- ALTOÉ, E. S. **Diretrizes projetuais para edificações unifamiliares em toras de eucalipto no Espírito Santo**. 2009. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009.
- ALTOÉ, E. S.; ALVAREZ, C. E. **Construções em toras de eucalipto no Espírito Santo**. In: IV ENCONTRO NACIONAL E II ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS. 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681**: Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9050**: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro, 2020.
- BAPTISTA, V. S. S. **Capela Real do Palácio Nacional de Sintra: estudo em elementos de madeira**. 2018. Dissertação (mestrado) - Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2018.
- BARRETO DE GOES, M.; VALE, C. M. do; PAULA, G. D. de. A MADEIRA ROLIÇA DE EUCALIPTO COMO SOLUÇÃO ESTRUTURAL E CONSTRUTIVA. 2023. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar** - ISSN 2675-6218, 4(4), e443006.
<https://doi.org/10.47820/recima21.v4i4.3006>
- BASTOS, L. G. **Elaboração de Projeto Arquitetônico e Pré-Projeto Estrutural de uma edificação em Light Wood Frame**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado - Engenharia Civil) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2023.
- BRITO, J. **Coberturas em telha cerâmica**. Instituto Superior Técnico, 2021.
- BRITO, L. D. **Recomendações para o projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento**. 2010. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

CAMPOS, J. A. O. de. **Método para Avaliação da Durabilidade e da Reabilitação da Madeira de Estruturas em Serviço**. 2002. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS. Instrução Técnica N. 08 – Saídas de emergência em edificações. 2ª Edição.

CARVALHO, W. *et. al.* Uma visão sobre a estrutura, composição e biodegradação da madeira. **Química Nova**. v. 32, No. 8, p. 2191-2195, 2009.

COSTA, Álvaro; JORDANI, Bárbara; NUNES, David B. **Manual técnico de execução para pisos industriais de concreto armado como forma de prevenção de manifestações patológicas**. In: CBPAT 2020 - CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES. De 15 a 17 de abril. Fortaleza, Ceará, 2020.

COSTA, T. G. C. **Estudo sobre o sistema construtivo Log Home**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado - Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2018.

DALL'AGNOL, F. **Estudo comparativo de estruturas de cobertura em madeira variando-se o vão e o tipo de tesoura**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado - Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2017.

ELIADE, Mircea. O Sagrado e o Profano. Tradução: Rogério Fernandes. São Paulo: Martins Fontes, 1992.

FILHO, J. C. de P. *et al.* Diagnóstico do uso da madeira como material de construção no município de Mossoró-RN/Brasil. **Revista Matéria**. v. 23, n. 03, 2018.

GARCIA, K. R. P. **Potencial de reducción de las emisiones de CO₂ y de la energía incorporada en la construcción de viviendas en Brasil mediante el incremento del uso de la madera**. 2014. Tese (doutorado) - Departamento de Construcciones Arquitectónicas, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2014.

GOMES, M. I. da S. Estudo e análise de treliças. Instituto Politécnico de Lisboa, Instituto Superior Engenharia de Lisboa, 2016.

GUSTAVSSON, L.; PINGOUD, K.; SATHRE, R. Carbon Dioxide Balance of Wood Substitution: Comparing Concrete and Wood -Framed Buildings. **Springer**. v. 11, p. 667-691, 2006.

HOFFMANN, A. C. **Registrar para Preservar: a arquitetura religiosa em madeira na cidade de Maringá - PR**. 2015. Dissertação (mestrado) - Centro de Tecnologia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2015.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil**. São Paulo: IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2013.

INTERNATIONAL LOG BUILDERS ASSOCIATION. **2000 LOG BUILDING STANDARDS**. 2000. British Columbia, Canada.

JOHN, V. M. **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. IBRACON, 2017.

JUDD, W.S.; CAMPBELL, C.S.; KELLOGG, E.A.; STEVENS, P.F.; DONOGHUE, M.J. **Sistemática Vegetal: um enfoque filogenético**. Porto Alegre: Artmed, 2009.

KLOCK, U. MUÑIS, G. I. B., HERNANDEZ, J. A., DE ANDRADE, A. S. **Química da Madeira**. Setor de Ciências Agrárias. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. Universidade Federal do Paraná. 2005.

LOGSDON, N. B. **Estruturas de madeira para coberturas sob a ótica da NBR 7190/1997**. Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2002.

LP ® BUILDING PRODUCTS. Catálogo Técnico - OSB. 2012.

MANERA, Rodrigo da Silva. **Ponte com estrutura aporricada de madeira roliça**. 2011. 103 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2011.

MARQUES, L. E. M. M. **O papel da madeira na sustentabilidade da construção**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de engenharia, Universidade do Porto. Porto, Portugal, 2008.

MOLITERNO, A. **Caderno de Projetos de Telhados em Estrutura de Madeira**. 4ª ed. Revisão: Reyolando Manoel L. R. da Fonseca Brasil. Editora Blucher. 2010.

NASCIMENTO, T. M. *et al.* **Estoque de carbono em produtos madeireiros em edifícios residenciais de estruturas em concreto armado**. *In: XVI ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA; III Congresso Latino-americano de Estruturas de Madeira*. 26 a 28 de março de 2018. Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2021.

NUMAZAWA, C. T. D. *et al.* Logging residues and CO₂ of Brazilian Amazon Timber: Two case studies of forest harvesting. **Resources, Conservation and Recycling**. v. 122, p. 280-285, jun. 2017.

OLIVEIRA, F. S.; ZANGIÁCOMO, A. L. Estudo de propriedades física e mecânica de madeiras comercializadas em Lavras – MG. 2023. Relatório Final de Iniciação Científica – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2023.

PAROLIN, Betina. Projeto estrutural de uma treliça de madeira maciça de acordo com diferentes sistemas construtivos. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado - Engenharia Civil) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2020. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/8032>. Acesso em: 27 de nov. de 2023.

PEREIRA, N. B.; VALLE, A. do; MARTINS, E. V. **Antigas tipologias construtivas de capelas em madeira na zona rural do Alto Uruguai Gaúcho**. In: XVII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA. 08 a 10 de março de 2021. Florianópolis, Santa Catarina. Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2021.

Pfeil, Walter; Pfeil, Michèle. **Estruturas de madeira: dimensionamento segundo a norma brasileira NBR 7190/97 e critério das normas norte-americanas NDS e européia EUROCODE 5**. 6ª edição. Rio de Janeiro: LTC, 2021.

ROSSIGNOLO, J. A.; FABRÍCIO, M. M. Coberturas: Notas de aula da disciplina SAP0653 - Tecnologia das Construções II. 2007. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

ROWELL, R. M. *et al.* **Handbook Of Wood Chemistry And Wood Composites**. 2005.

SATHRE, R.; GUSTAVSSON, L. Using wood products to mitigate climate change: External costs and structural change. **Applied Energy**. jun. 2008.

SEDANO, L. H. de A. **Comparativo entre tesouras simples e duplas**. 2006. Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado - Engenharia Civil) - Universidade São Francisco, Itatiba, 2006.

SEVERINO, A. P. *et al.* **Sistema Construtivo Log Home no Brasil: vantagens relacionadas à construção em madeira e sua aproximação com a sustentabilidade**. In: ENSUS 2019 - VII ENCONTRO DE SUSTENTABILIDADE EM PROJETO. 08 a 10 de maio de 2019. Florianópolis, Santa Catarina. Universidade Federal de Santa Catarina, 2019.

SILVA, G. P. F.; DRUMOND, A. C. N. G. **O uso da biomimética em projeto de capela e praça para a requalificação urbana na comunidade do sol nascente**. 2020. Relatório Final de Iniciação Científica - Centro Universitário de Brasília, Brasília, 2020.

SILVA, T. D *et al.* Análise não linear geométrica de treliças planas de madeira a partir do método dos elementos finitos posicional. **Revista Principia**. João Pessoa, 2021.

SILVA, U. J. A. Diálogo entre arquitetura e arte sacra. 2021. **Estudos Avançados**, 35(103), 331-342. <https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2021.35103.019>.

SOUZA, K. Z.; SILVA, C. R.; INO, A. **Análise do uso da madeira em estabelecimentos assistenciais de saúde**. In: XVII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA. 08 a 10 de março de 2021. Florianópolis, Santa Catarina. Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2021.

HSUAN-AN, T. **Design: conceitos e métodos**. São Paulo: Blucher, 2017. 320 p.

TÉGULA ®. **Tégula Solar**. Catálogo Técnico. 2022.

TORRES, J. T. C. **Sistemas Construtivos Modernos em Madeira**. 2010. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2010.

VASCONCELOS, Juliano Souza. **Estudo de caso do conforto térmico de dois modelos construtivos em madeira: wood frame e log home**. 2010. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista, Campus Experimental de Itapeva, 2010. Disponível em:
<http://repositorio.unesp.br/handle/11449/121673>. A

APÊNDICE A - DIAGRAMAS DE CORPO LIVRE E DE ESFORÇOS SOLICITANTES DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

Diagrama de corpo livre – Terça (eixos x e y, respectivamente):

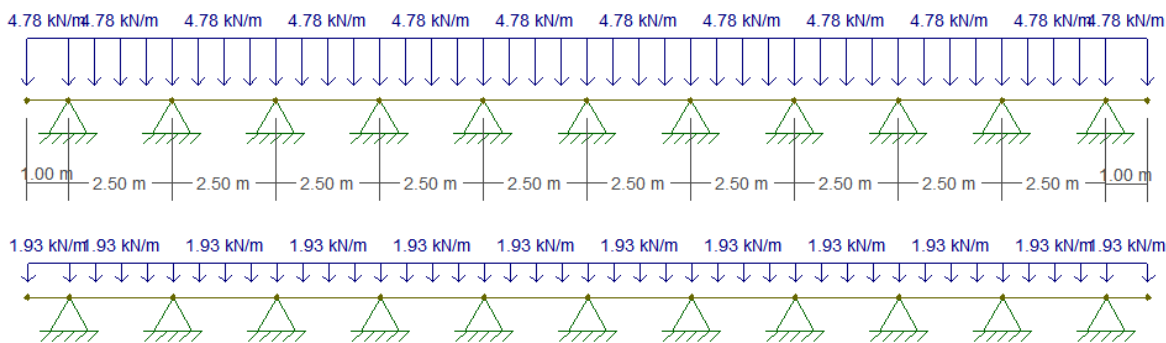


Diagrama de esforço cortante – Terça (eixos x e y, respectivamente) (kN):

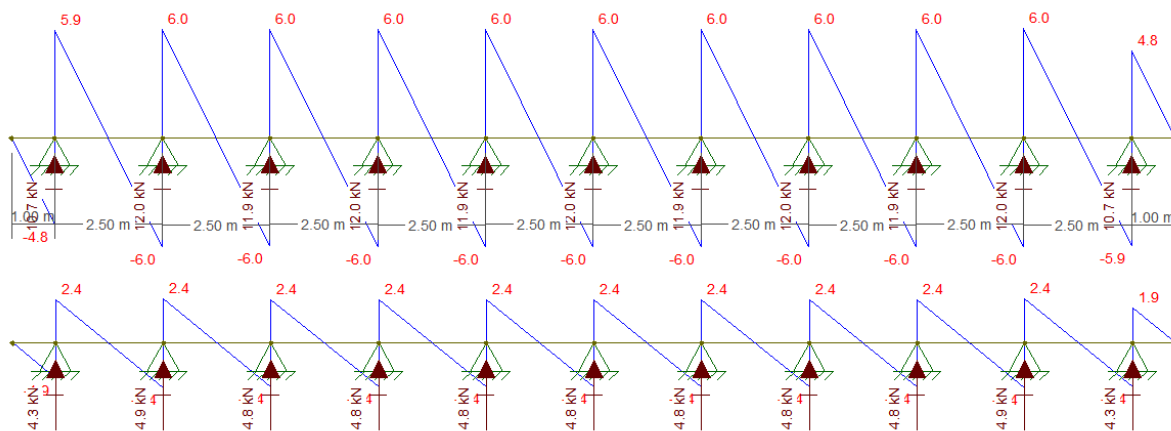


Diagrama de momento fletor – Terça (eixos x e y, respectivamente) (kN.m):

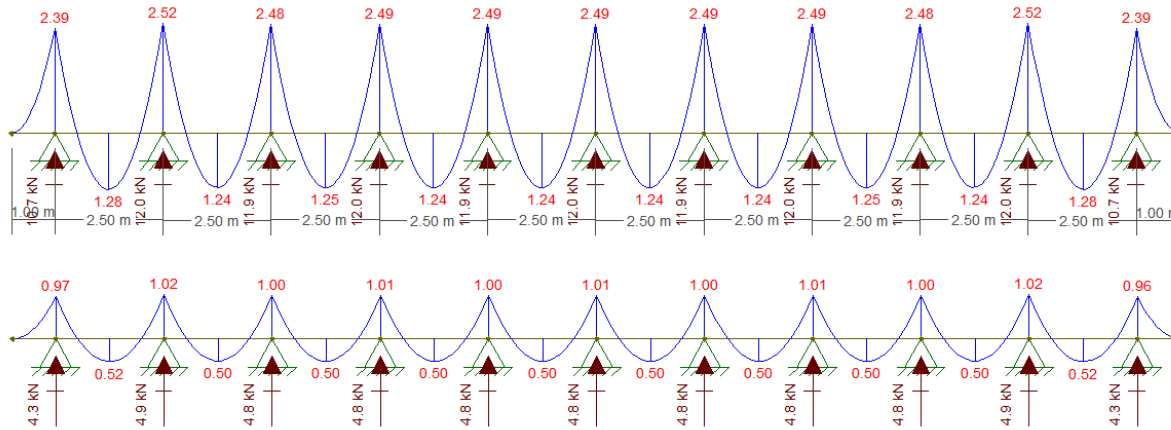


Diagrama de corpo livre – Pórtico:

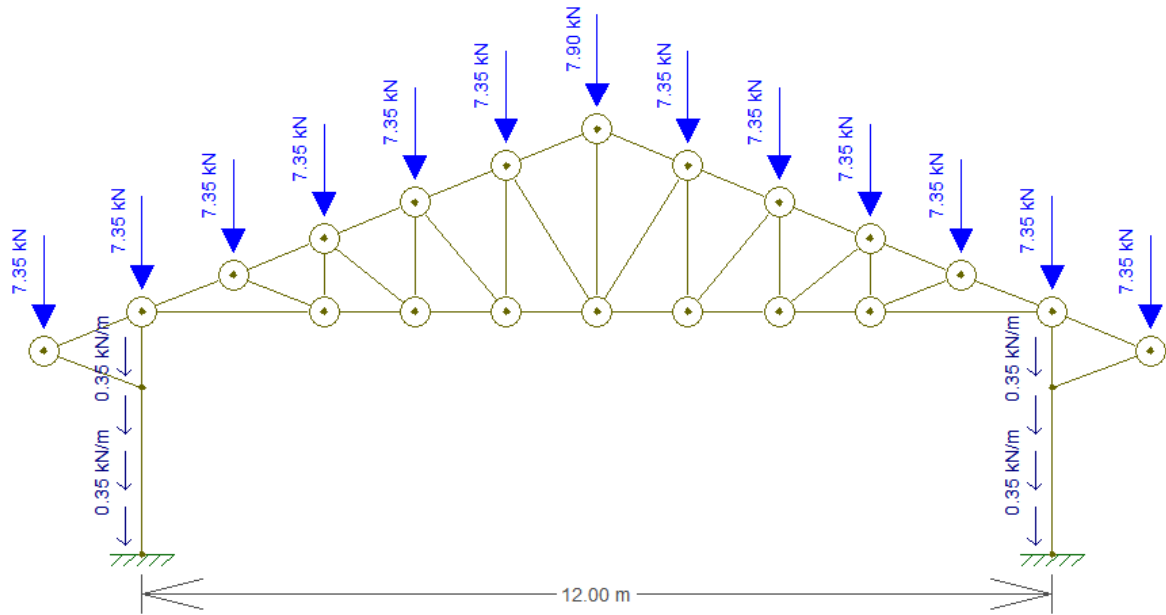


Diagrama de esforço normal – Pórtico (kN):

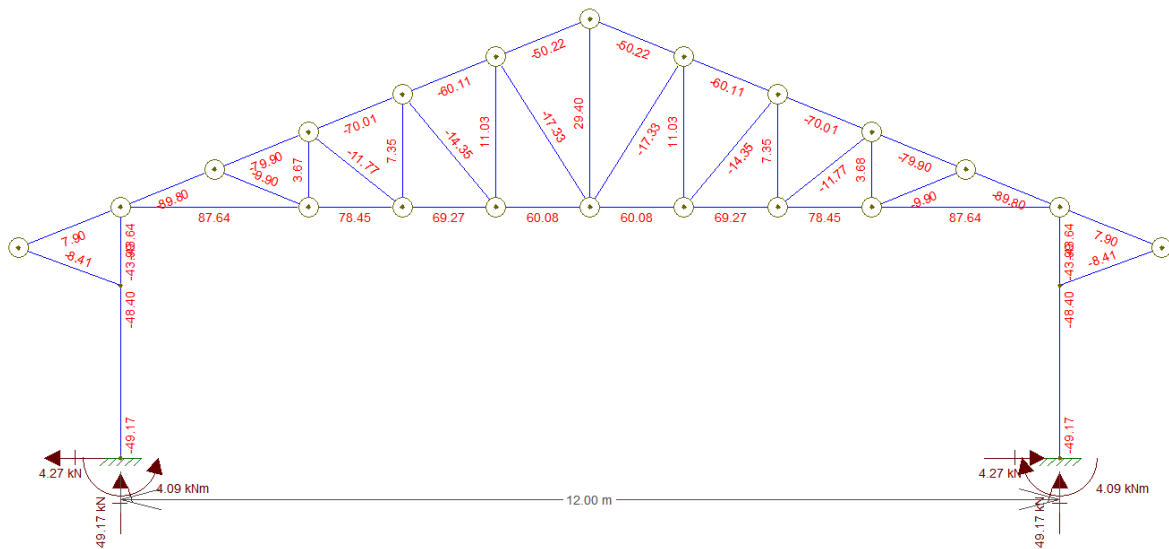


Diagrama de esforço cortante – Pórtico (kN):

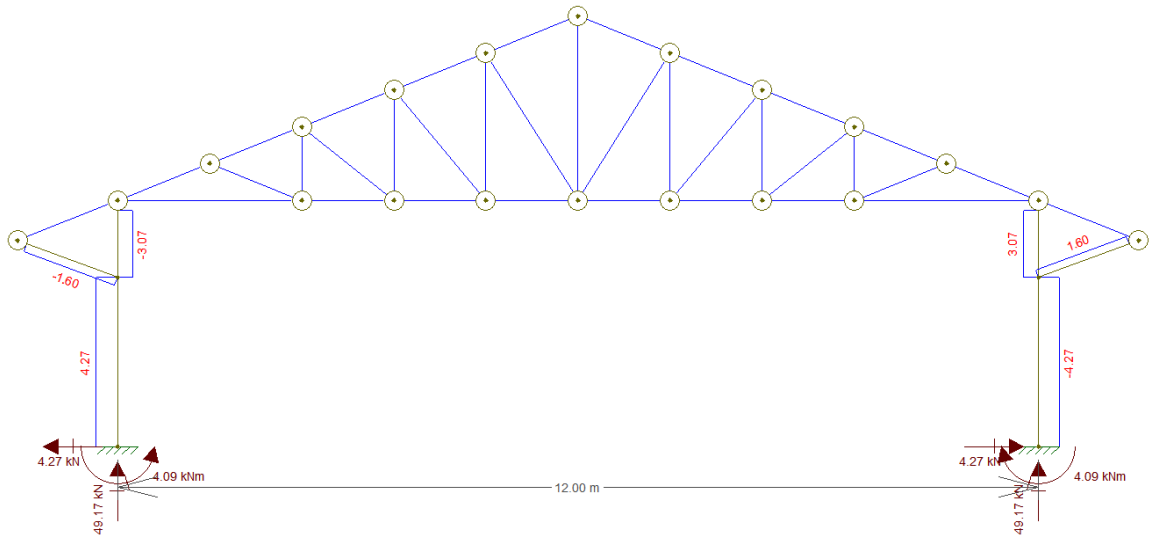
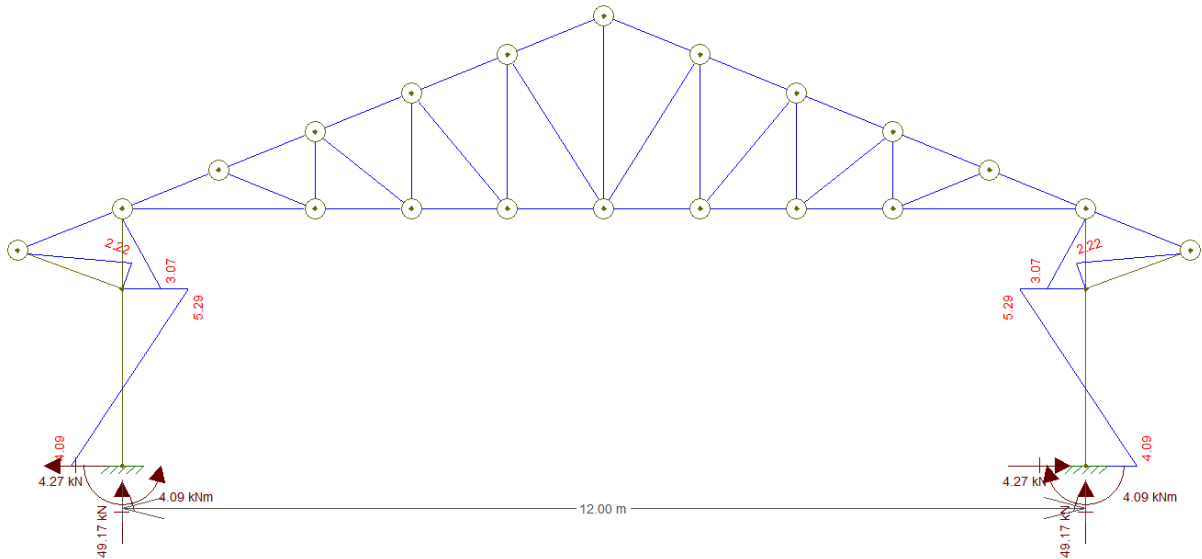
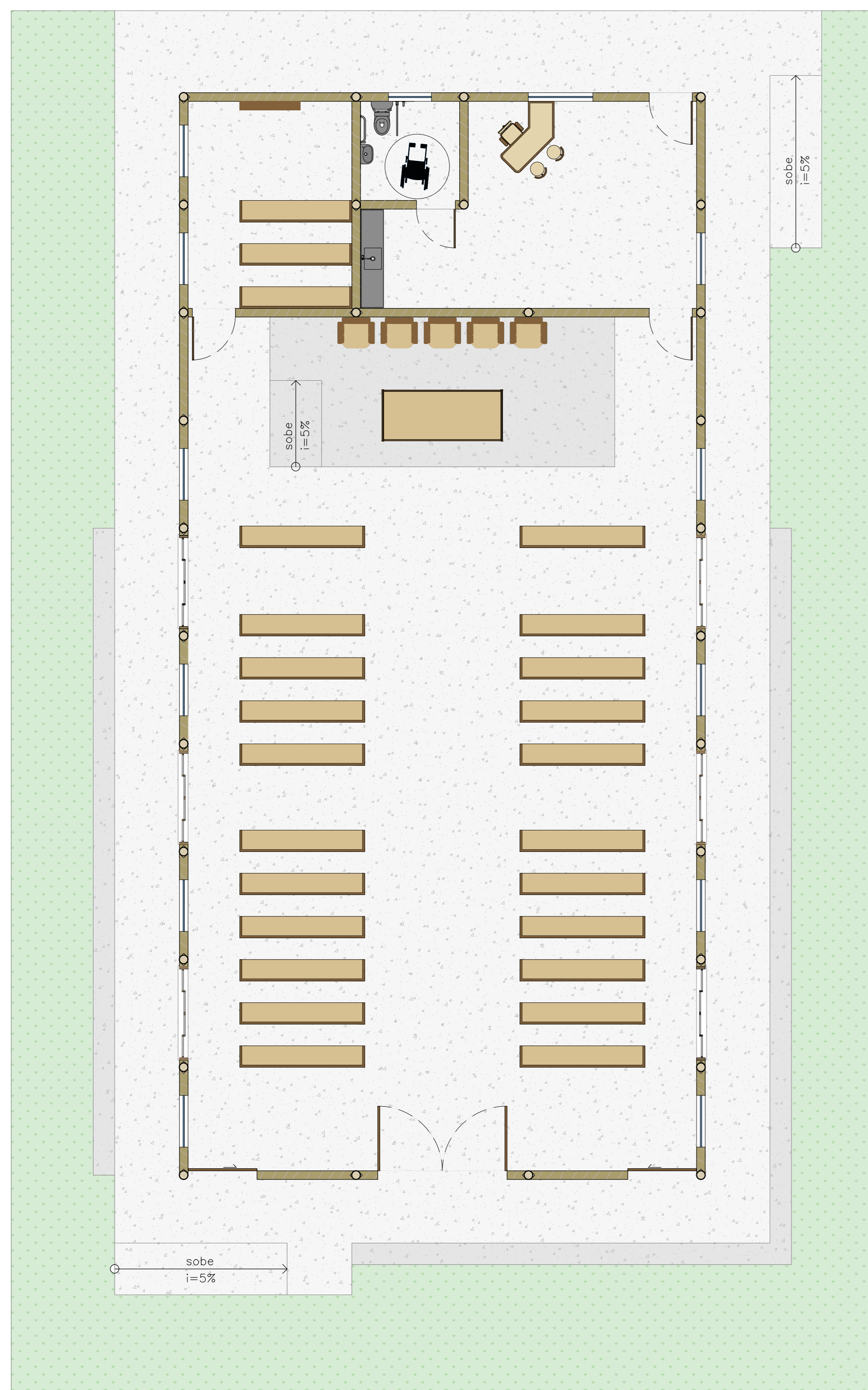


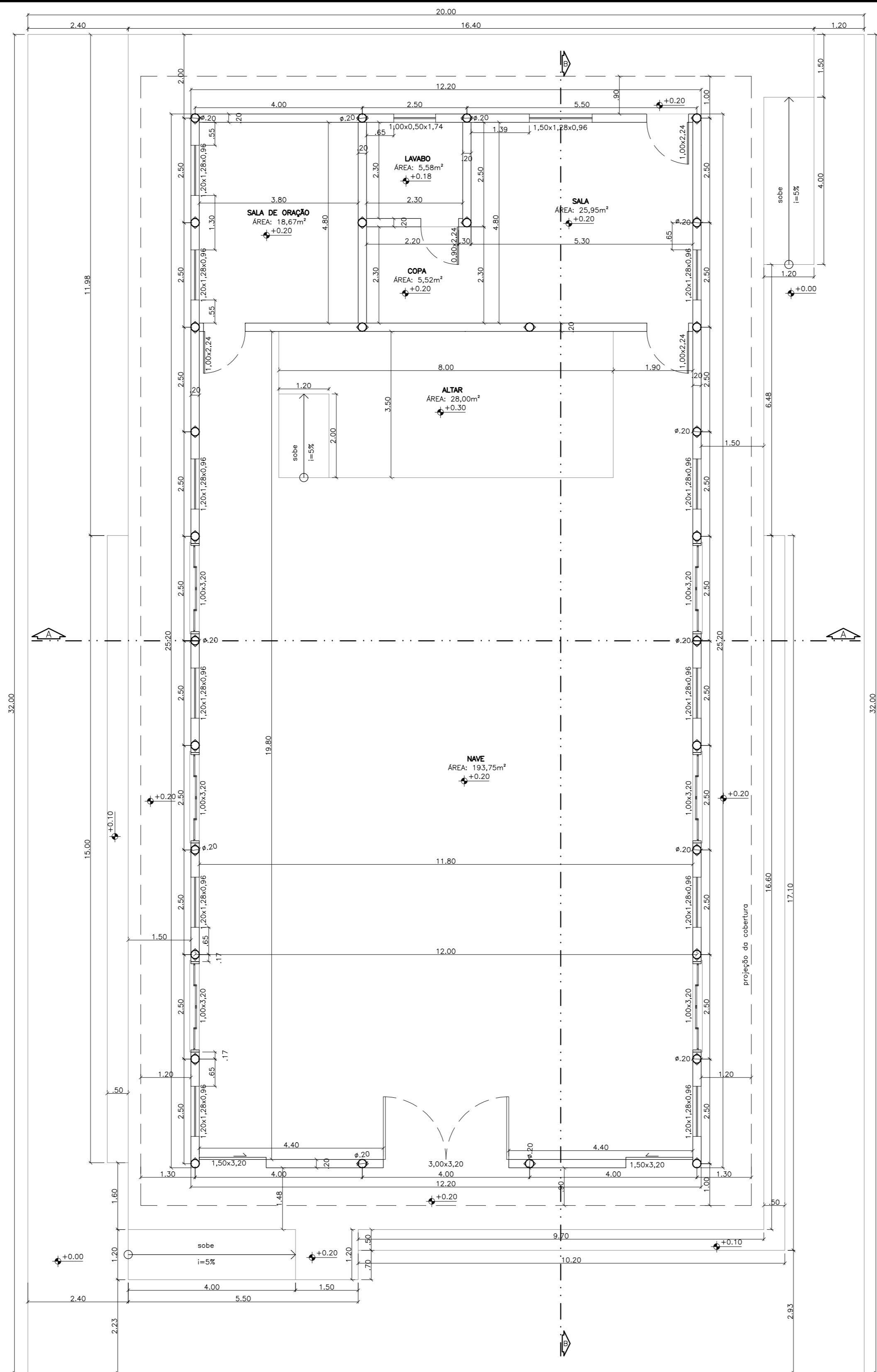
Diagrama de momento fletor – Pórtico (kN.m)



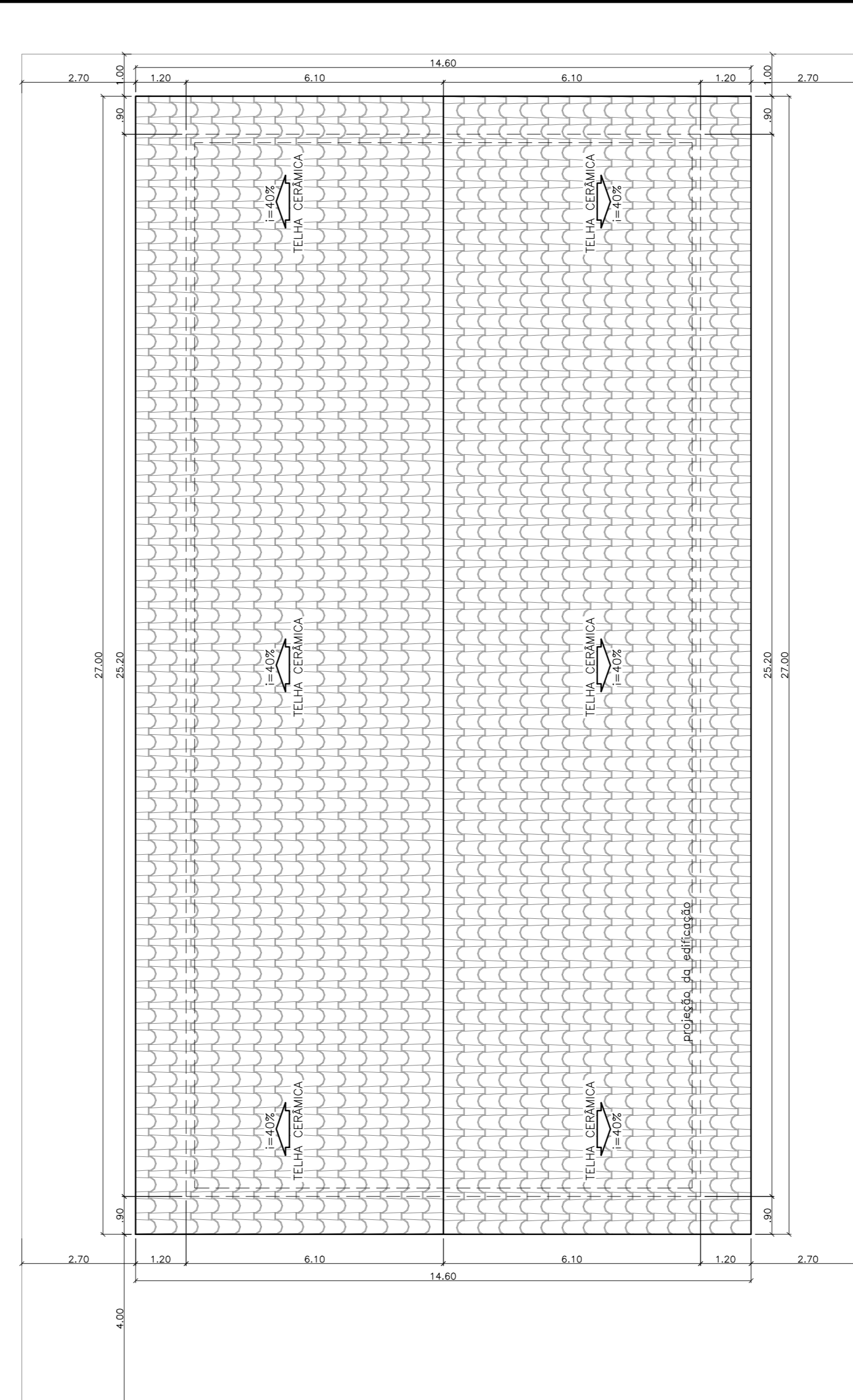
**APÊNDICE B – PROJETO ARQUITETÔNICO DE UMA EDIFICAÇÃO PARA FINS
RELIGIOSOS EM ESTRUTURA DE MADEIRA**



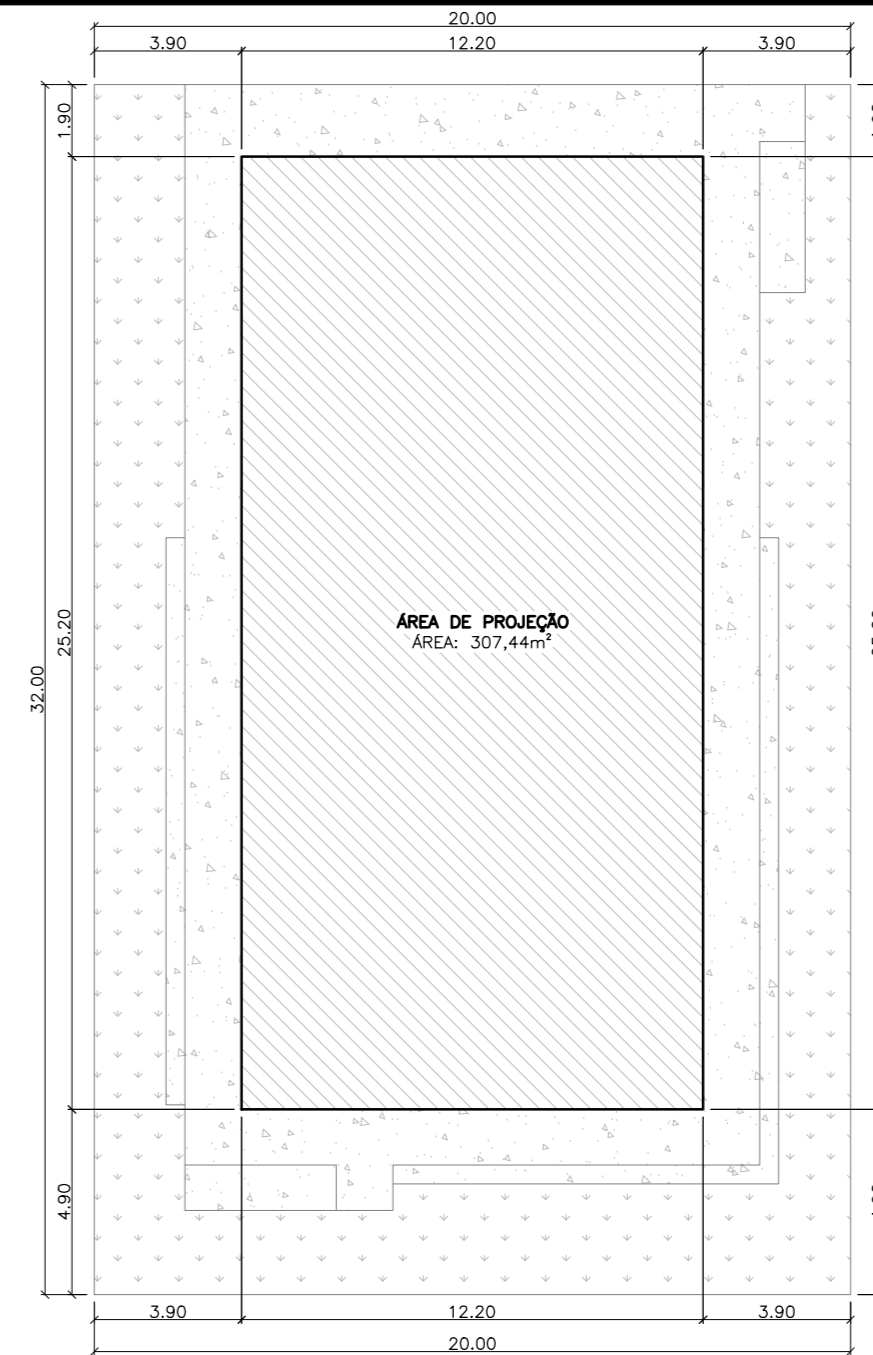
1 PLANTA HUMANIZADA
ESCALA 1:75



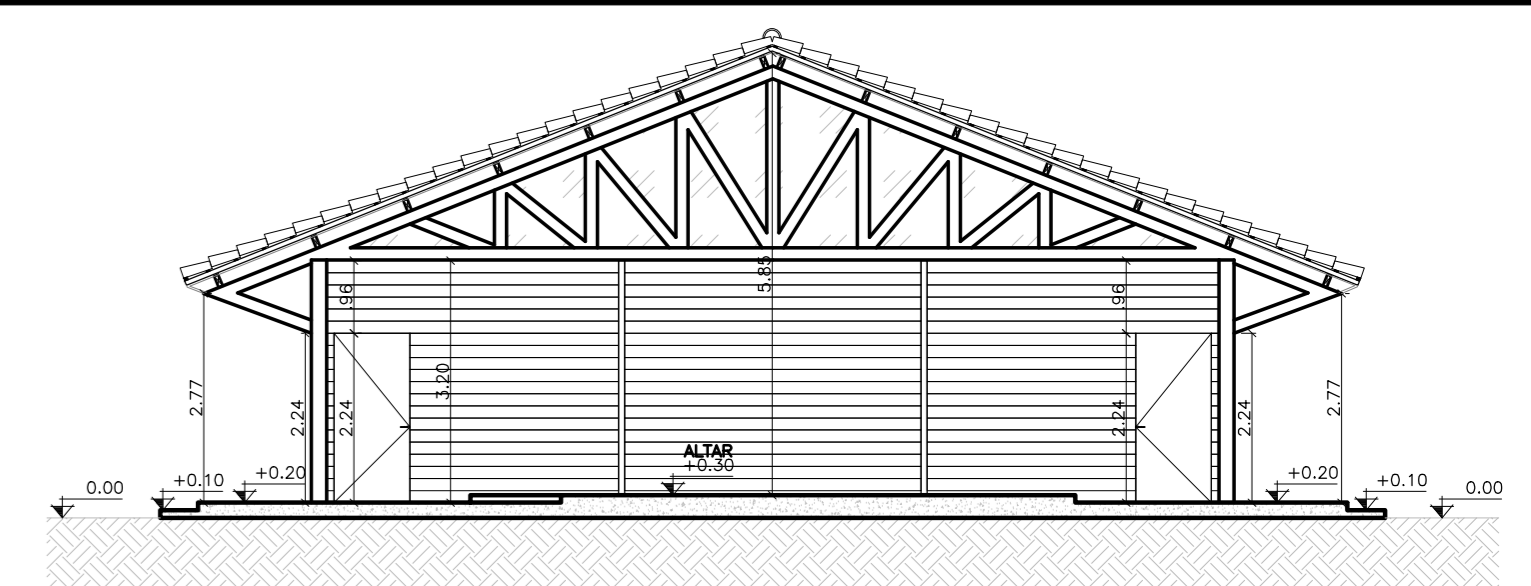
2 PLANTA BAIXA
ESCALA 1:75



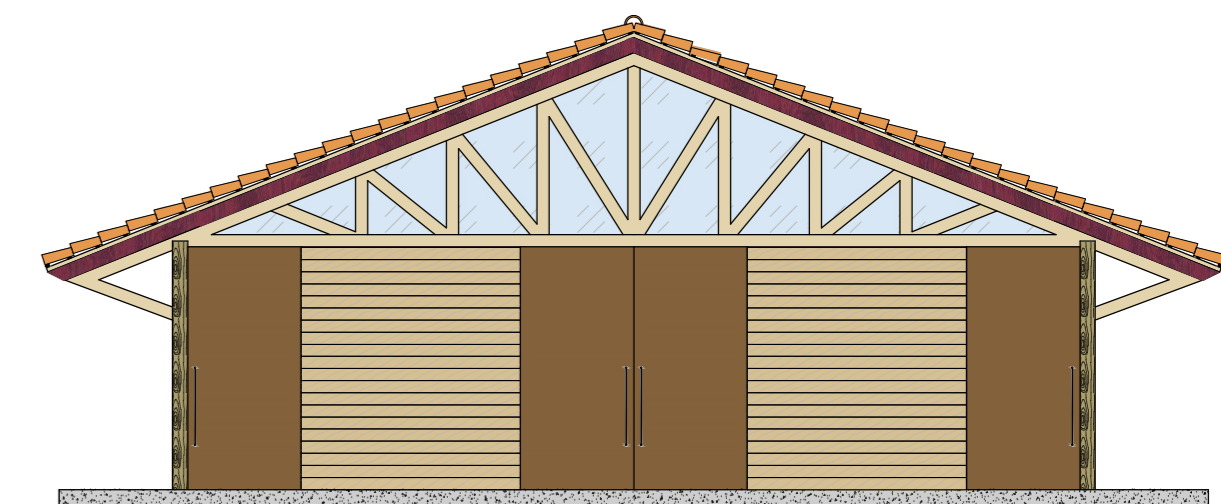
3 DIAGRAMA DE COBERTURA
ESCALA 1:100



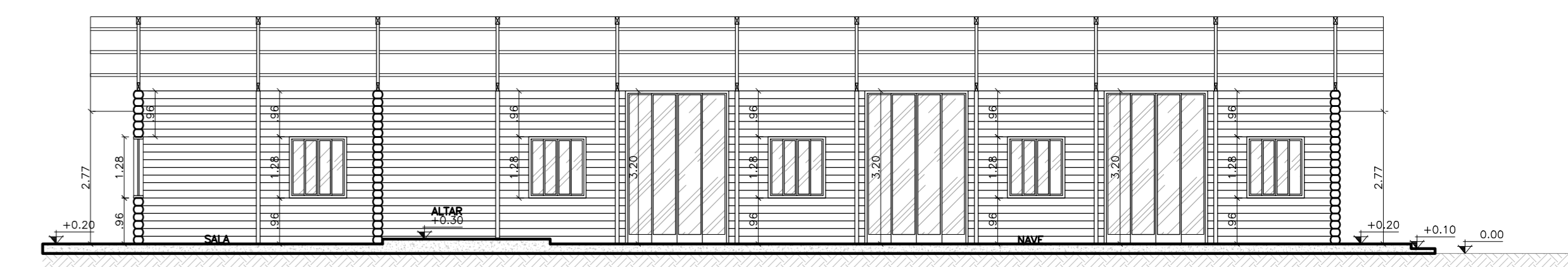
4 LOCAÇÃO
ESCALA 1:200



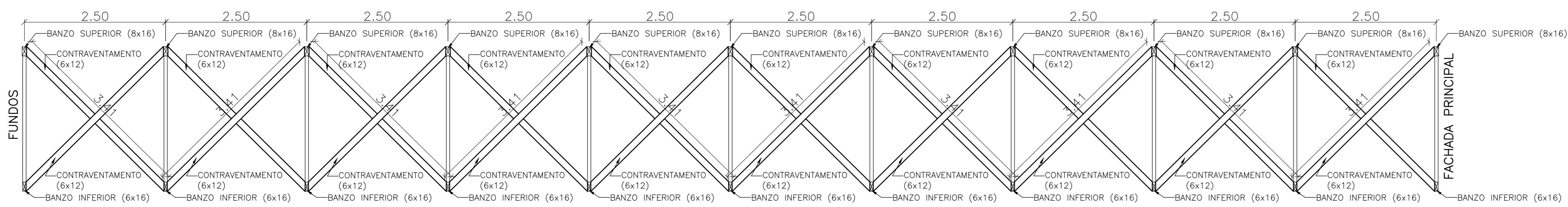
5 CORTE AA
ESCALA 1:100



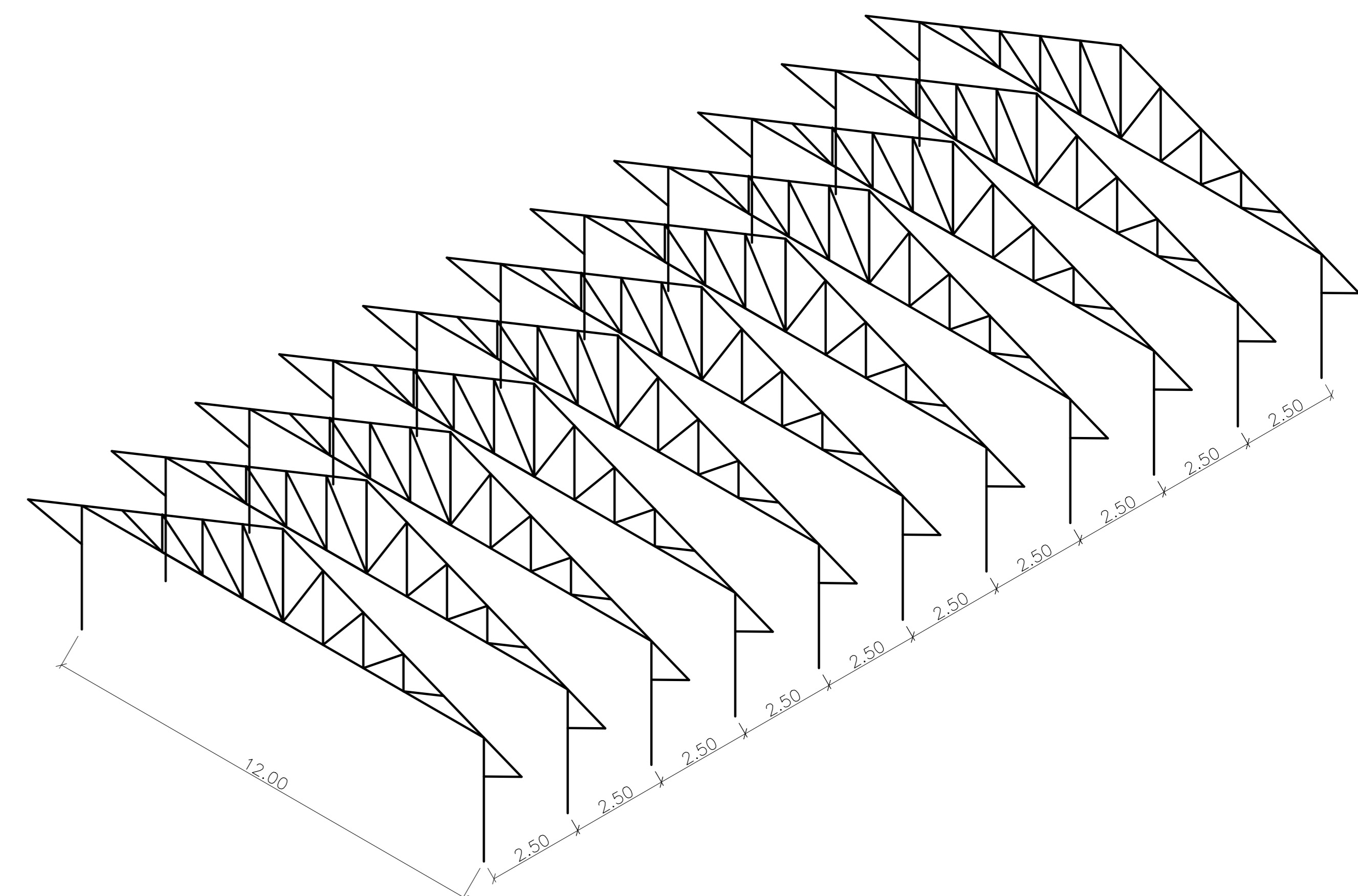
6 FACHADA
ESCALA 1:100



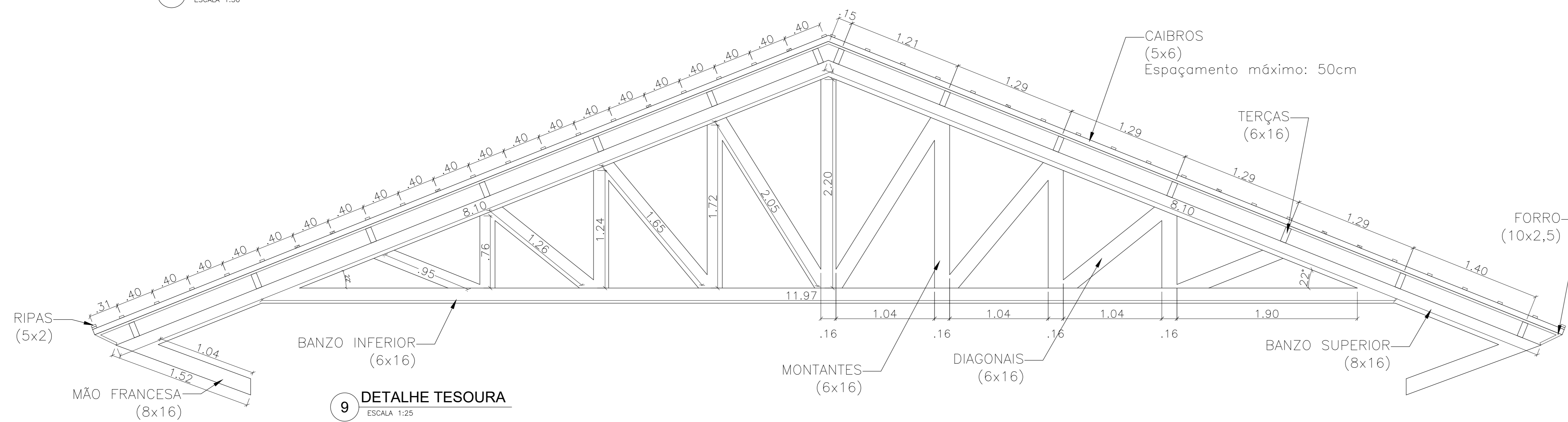
7 CORTE BB
ESCALA 1:100



8 DETALHE CONTRAVENTAMENTO
ESCALA 1:50



10 ISOMETRIA PÓRTICOS
SEM ESCALA



9 DETALHE TESOURA
ESCALA 1:25