

## Fab House IPB

Pré-projecto estrutural, simulação e construção de modelo de edifício  
para um novo Fab Lab no IPB

João Alexandrino Bemfica Neto

Bragança

2020



## Fab House IPB

Pré-projecto estrutural, simulação e construção de modelo de edifício  
para um novo Fab Lab no IPB

João Alexandrino Bemfica Neto

*Dissertação apresentada à Escola Superior de Tecnologia e de Gestão de Bragança, no âmbito da  
dupla diplomação com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná, para obtenção do Grau de  
Mestre em Engenharia Industrial*

Orientado por

**Prof. Dr. João da Rocha e Silva**

**Prof. Dr. Robson Gonçalves Trentin**

Bragança

2020

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente a Deus, por estar presente na minha vida, me direcionando e me abrigo nos momentos de angústia, por me sustentar com seu amor e misericórdia, permitindo que eu cumprisse minha missão e chegasse até aqui.

Agradeço aos meus pais Elaine e Sérgio por me dar amor incondicional e me apoiar nos momentos difíceis, por me ajudar sempre que precisei e não medir esforços para me incentivar a crescer.

Agradeço à minha esposa Polyanna por estar sempre ao meu lado, sendo uma grande parceira na vida, me incentivando e me apoiando em todos os meus passos.

Agradeço ao meu orientador professor João Rocha e Silva, pelos ensinamentos e conversas que me fizeram chegar até aqui.

Agradeço a todos os meus professores, pois cada um fez com que eu pudesse avançar em direção ao diploma com mais conhecimento e com amor pela profissão.

Agradeço por fim a todos que fizeram parte da minha vida durante o curso e que irão ficar pra sempre guardados em minha memória com grande carinho.

## Resumo

O Fab Lab é um tipo de laboratório que foi criado no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) nos Estados Unidos da América e se espalhou pelo mundo todo no século 21. Em Portugal existem cerca de 20 laboratórios desse tipo espalhados pelo seu território. Nesse âmbito, Bragança tem seu exemplar localizado no interior do Instituto Politécnico de Bragança. Este trabalho visa idealizar um escopo de uma nova estrutura para o Fab Lab, com o intuito de lhe dar notoriedade a nível nacional e internacional, com uma arquitetura orgânica, materiais sustentáveis e a pretensão de construir o novo laboratório a partir de recursos e ferramentas disponíveis dentro do atual Fab Lab. Para isso foram levantadas ideias para o formato da estrutura utilizando a ferramenta de desenho digital do Fab Lab, além disso, foram pesquisadas as propriedades do material escolhido pela arquiteta, no caso madeira lamelada colada, foram também usadas como referência para análise estática informações contidas na Norma Europeia, e ainda, foi proposta uma forma de fabricar essa estrutura com o maquinário contido no laboratório atual e verificado, a partir das análises estáticas realizadas, a viabilidade dessa estrutura numa futura construção do novo Fab Lab.

## **Abstract**

Fab Lab is a type of laboratory that was created at the Massachusetts Institute of Technology (MIT) in the United States of America and spread throughout the world in the 21st century. In Portugal, there are about 20 laboratories of this type in its territory. In this context, Bragança has its example located inside the Polytechnic Institute of Bragança (IPB).

This work aims to idealize the scope of a new structure for Fab Lab, with the intention of giving notoriety at national and international level, with an organic architecture, sustainable materials and the intention to build a new laboratory based on resources and tools available within current Fab Lab. For that, ideas were raised for the structure by using the Fab Lab digital design tool, in addition, there were researched the properties of the material chosen by the architect, in the case of glued laminated wood, information on the European Norm were also used as a reference for static analysis, and yet, a way was proposed to manufacture this structure with the machinery contained in the current laboratory and verified, based on the static analyzes performed, the viability of this structure in a future construction of the new Fab Lab.



## Sumário

Capítulo 1 .....	1
1. Introdução.....	1
1.1. Contextualização .....	1
1.1.1. Fab Labs que constroem Fab Labs .....	2
1.2. Inspirações para o pré-projecto.....	3
1.3. Objetivos.....	3
1.4. Estrutura Organizativa.....	4
Capítulo 2 .....	5
2. Revisão Literária.....	5
2.1. O conceito Fab Lab.....	5
2.1.1. Fab Lab House Barcelona.....	7
2.2. Cella Bar – Açores.....	8
2.3. O Projeto para uma nova casa para o Fab Lab Bragança .....	9
2.4. Madeira Lamelada colada – Material escolhido para construção da estrutura...	11
2.4.1. Histórico da Madeira Lamelada Colada .....	14
2.5. Software utilizado para análises estáticas do escopo do projeto – SolidWorks .	16
Capítulo 3 .....	17
3. Desenvolvimento do escopo do projeto da estrutura de elaboração e simulação de construção da Fab Lab House IPB.....	17
3.1. Estruturas do Fab Lab House IPB .....	17
3.2. Análise Estática da estrutura proposta.....	27
Capítulo 4 .....	39
4. Considerações Finais .....	39
4.1. Conclusões.....	39
4.2. Sugestões para trabalhos futuros .....	39
Referências .....	40
Anexos .....	42

## Índice de Figuras

Figura 1 - Fab Lab Map (7) .....	6
Figura 2 - Fab Lab House Barcelona (8) .....	7
Figura 3 - Construção Fab Lab House Barcelona (8).....	7
Figura 4 - Interior Cella Bar (9).....	8
Figura 5 - Cella Bar vista exterior (9) .....	9
Figura 6 - Planta Baixa do projeto do novo Fab Lab em Bragança .....	10
Figura 7 - Viga de madeira lamelada colada (11) .....	11
Figura 8 - Processo de fabrico MLC (10).....	12
Figura 9 - Grande melhoria da resistência da madeira quando transformada em MLC (10)...	13
Figura 10 - Vista exterior Pavilhão Atlântico (14).....	15
Figura 11 - Vista aproximada do arco de MLC (14).....	15
Figura 12 - Primeiro teste do formato arredondado .....	17
Figura 13 - Formato arredondado de viga aprimorado.....	18
Figura 14 - Planta baixa disponibilizada .....	19
Figura 15 - Planta baixa convertida para o SolidWorks .....	19
Figura 16 - Disposição dos pilares .....	20
Figura 17 - Posição definida dos pilares.....	20
Figura 18 - Pilares colocados na planta .....	21
Figura 19 - Altura da viga.....	21
Figura 20 - Medidas dos vãos principais .....	22
Figura 21 - Começo da montagem para visualização.....	23
Figura 22 - Remodelagem das vigas maiores.....	23
Figura 23 - Novo modelo de viga.....	24
Figura 24 - Montagem das vigas-pilares .....	25
Figura 25 - Altura da primeira viga-pilar .....	25
Figura 26 - Desenho da base para impressão da maquete .....	26
Figura 27 - Desenho das vigas para impressão da maquete .....	26
Figura 28 - Maquete do projeto .....	27
Figura 29 - Viga simples de balsa .....	28
Figura 30 - Montagem simples de balsa.....	28
Figura 31 - Detalhe de posicionamento de viga de balsa .....	29
Figura 32 - Análise estática de viga simples 1 .....	30
Figura 33 - Análise estática de viga simples 2 .....	30
Figura 34 - Carga da neve ao nível do mar.....	32
Figura 35 - Perfil de 1 metro quadrado .....	33
Figura 36 - Análise Estática na viga-pilar de maior tamanho com perfil de 1 metro quadrado .....	34
Figura 37 - Novo perfil da viga-pilar.....	35
Figura 38 - Análise Estática para viga-pilar de maior tamanho com perfil atualizado .....	35
Figura 39 – Vista frontal do encaixe .....	36
Figura 40 - Vista isométrica do encaixe .....	36
Figura 41 - Maior viga-pilar montada com as partes encaixadas .....	37
Figura 42 - Tensões necessárias para a união das partes.....	37
Figura 43 - Análise Estática para maior viga-pilar formada por encaixes .....	38

Figura 44 - Ponto de maior tensão de von Mises .....38

## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Características e propriedades da madeira lamelada colada GL 24h .....	31
Tabela 2 – Categorias de Armazenamento e actividades industriais.....	31
Tabela 3 – Sobrecarga em pavimentos devidas a armazenamento.....	32



# Capítulo 1

## 1. Introdução

### 1.1. Contextualização

O conceito de Fab Lab surgiu no *Center for Bits and Atoms (CBA)* do *Massachusetts Institute of Technology (MIT)*, com o decorrer da disciplina chamada “*How to do almost anything*”, dada pelo Prof. Neil Gershenfeld. Um Fab Lab é equipado com uma série de equipamentos controlados digitalmente que operam em vários tamanhos e diversos materiais diferentes, com o objetivo de fazer quase tudo e seu conceito será melhor detalhado ao decorrer dessa dissertação.

O município de Bragança em Portugal tem o seu exemplar localizado no interior do IPB (Instituto Politécnico de Bragança) e foi de dentro desse Fab Lab que surgiu a ideia de construir uma nova estrutura para abrigar um novo Fab Lab, que será chamado de Fab House IPB, com o Professor João Rocha e Jorge Santos liderando e apontando o direcionamento que o projeto deve tomar. A vontade de que o Fab Lab possa evoluir e abrigar mais máquinas e ambientes de convívio não se limita ao interior do IPB, podendo ser concebido o projeto em uma zona estratégica do município, de modo a alavancar turística e tecnologicamente a cidade.

A inspiração veio através do Fab Lab House Barcelona que teve repercussão internacional devido a arquitetura inovadora que sua construção seguiu e sua proposta de construir um edifício sustentável, além de muitos outros benefícios que esse projeto levou para a cidade de Barcelona.

Foi dado início ao projeto com a elaboração de uma planta baixa e seleção do material de construção. Este trabalho inicial foi feito pela estudante de arquitetura Caroline Dias Eifler durante o seu estágio no Fab Lab IPB. Esse trabalho teve por objetivo idealizar, por meio de um esboço. A estrutura desse novo edifício poderá levar em consideração o desejo do responsável do Fab Lab IPB, professor João Rocha, de construir esse edifício usando o máximo de recursos existentes no atual Fab Lab Bragança.

### 1.1.1. Fab Labs que constroem Fab Labs

O conceito de cidades que constroem cidades é muito atual e está em alta com a ideia de Smart Cities, porém as bases nas quais esse conceito está erguido surgiram muito tempo antes com o contexto de máquinas que fabricam máquinas ou máquinas inteligentes, sendo que, por muito tempo, as máquinas eram fabricadas de forma manufaturada, com trabalhadores destinados à fabricação dos componentes e posterior montagem de todos eles formando a máquina.

Com o avanço da tecnologia e as revoluções industriais pelas quais a sociedade passou, máquinas podem ser fabricadas a partir de outras máquinas, desde a fabricação dos componentes até a montagem, sendo que o trabalhador precisa somente dar os comandos corretos ao sistema digital e depois inspecionar o processo. É comum ver nos Fab Labs espalhados pelo mundo máquinas fabricadas com máquinas existentes nesses Fab Labs. Com isso, surgiu a ideia de fabricar o novo Fab Lab a partir do Fab Lab IPB, utilizando os recursos, ferramentas, máquinas e softwares disponíveis no laboratório.

Entretanto, nem tudo que é necessário para se construir um Fab Lab pode ser encontrado ou fabricado de dentro de outro Fab Lab, porém o intuito desse projeto foi encontrar modos de fabricar as partes da estrutura do edifício a partir do maquinário que já existe no Fab Lab IPB para no futuro construir um mais novo e tecnológico Fab Lab.

A partir da execução dessa ideia e do sucesso em promover a maior parte fabricada de dentro do Fab Lab, pode-se replicar o conceito de Smart City e máquinas inteligentes em construções cada vez mais modernas de Fab Labs.

Um outro motivo para essa construção de um Fab Lab a partir de outro é justamente a diminuição de gastos com recursos e tecnologias, pois quando a construção parte de uma máquina que já é própria do IPB os custos que restam são custos com energia elétrica, desgaste de ferramenta, manutenção de máquina, etc.

O Fab Lab IPB conta com máquinas capazes de cortar madeira e outros materiais, e por isso, esse projeto pode ser utilizado na aplicação do conceito de cidades que constroem cidades para Fab Labs, sendo o de que Fab Labs constroem Fab Labs.

## **1.2. Inspirações para o pré-projecto**

Muitos pontos devem ser levantados e estudados quando o assunto é a construção de um edifício diferenciado e, como em todo projeto, é importante a elaboração de um escopo. A etapa do escopo é a primeira visualização do projeto e é nessa fase que problemas são encontrados ou preferências são reavaliadas. O escopo está ligado às características que representam um produto serviço ou resultado, de forma parcial ou final (1).

Para a elaboração do projeto do Fab House IPB, foi tomado como inspiração o Fab Lab House Barcelona, que é um edifício arredondado, orgânico e sustentável. Além da inspiração na arquitetura do Fab Lab House, outro ponto que foi amplamente observado é o efeito que essa construção gerou na cidade.

O Fab Lab House virou ponto de visitação em Barcelona e foi imaginado que um edifício desse tipo poderia trazer vários benefícios para a cidade de Bragança, como novos turistas e empresas empolgadas com as inovações tecnológicas, além das grandes vantagens de um laboratório mais amplo e completo para o sitio do IPB.

Buscando mais inspirações, foi encontrado o Cella Bar nos Açores, que seguia a ideia de edifício orgânico e foi exemplo de atração turística enquanto esteve ativo. Em relação ao tipo de viga e material, um edifício que proporcionou muitas ideias, foi o Pavilhão Atlântico localizado em Lisboa, cujo o formato se assemelha ao pretendido e o material utilizado foi madeira lamelada colada, material de escolha da estudante de arquitetura Caroline Dias Eifler, que foi a responsável pelo desenvolvimento da planta do projeto da Fab House IPB.

Com todas essas informações levantadas, o escopo do projeto é fundamental para a captação de recursos tanto públicos quanto privados, pois é importante se ter a base do projeto para apresentação a um gestor interessado em investir na construção da Fab House IPB.

## **1.3. Objetivos**

O objetivo deste trabalho foi produzir um escopo da estrutura para construção de um novo Fab Lab utilizando recursos presentes no atual Fab Lab, levando em consideração os preceitos de arquitetura e material escolhidos pelo professor João Rocha e pela estudante Caroline Dias.

Os objetivos específicos deste trabalho foram, (a) utilizar recursos presentes no Fab Lab para o desenho e modelação do escopo da estrutura; (b) propor formas para que a construção possa ser feita com ferramentas e máquinas presentes no atual laboratório.

#### **1.4. Estrutura Organizativa**

Numa primeira fase (capítulo 2) é efetuada uma revisão literária descritiva sobre os temas relevantes para o trabalho, a respeito do conceito e origem do Fab Lab, das inspirações que foram importantes para a elaboração da ideia da estrutura, bem como do material escolhido e da ferramenta de desenho digital utilizada.

Numa segunda fase (capítulo 3) foram realizados desenhos e modelos para se encontrar um formato de viga que suprisse os preceitos orgânicos que a construção deve ter e, em seguida, realizadas análises estáticas para se descobrir se o formato pretendido seria viável e possível de se fabricar dentro do Fab Lab.

Na terceira fase (capítulo 4) são colocadas as conclusões sobre o trabalho elaborado e sugeridos trabalhos futuros para a continuidade do projeto de construção do Fab House IPB.

## Capítulo 2

### 2. *Revisão Literária*

#### 2.1. O conceito Fab Lab

Um Fab Lab (abreviação do termo em inglês *fabrication laboratory*) é uma plataforma de prototipagem rápida de objetos físicos (2). O interior de um Fab Lab pode conter vários tipos de impressoras, cortadoras e fresadoras dentre outras ferramentas e máquinas úteis para fabricação de peças pequenas comparadas aos grandes centros de fabricação.

De acordo com Stacey (3), o Fab Lab pode ser usado para fabricar peças com baixo custo para empreendedores assim como um espaço para estudantes terem contato com a tecnologia e também como um centro comunitário para solução de problemas aonde organizações governamentais ou não, ainda não tem condição de operar. Mikhak (4), complementa que é natural que cada Fab Lab tenha ferramentas únicas para atender as necessidades da comunidade aonde o Fab Lab está instalado.

Sobre o surgimento do Fab Lab o autor Gershenfeld (5), relata em seu trabalho que em 1952 com o acoplamento de um computador digital a uma fresadora foi dado início a revolução digital que resultaria na criação do Fab Lab. Eychenne e Neves (6) dão continuidade informando que em 2001, no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) dentro do laboratório *Center of Bits and Atoms* (CBA) foi fundando o Fab Lab pela *National Science Foundation* (NSF), sendo o primeiro Fab Lab comandado pelo autor acima citado, Gershenfeld.

Eychenne e Neves (6), citam que existem 3 modelos de Fab Lab, o acadêmico, o profissional e o público. O acadêmico é sustentado por uma escola ou universidade e recebem mais projetos dos alunos do que o público em geral, o profissional é concebido por uma empresa e tem prioridade no desenvolvimento de produtos e o público que é sustentado por um Estado e tem acessibilidade e gratuidade a todos.

Eychenne e Neves (6), também comentam que dentro do modelo acadêmico, pode haver o auxílio de diferentes escalas do governo, como é o caso do Fab Lab Barcelona e como pode ocorrer no projeto de Fab Lab desenvolvido nesse trabalho.

Dada a importância que o Fab Lab teve no desenvolvimento de novas produções acadêmicas e profissionais, houve uma expansão da criação de diversos Fab Labs atingindo diferentes

finalidades em todo o mundo. Atualmente existem 1848 (mil oitocentos e quarenta e oito) Fab Labs espalhados pelo mundo de acordo com a lista de Fab Labs do site FabLabs.io. A figura abaixo demonstra a concentração de Fab Labs localizados ao redor do mundo.



Figura 1 - Fab Lab Map (7)

Em Portugal, assim como Brasil, Holanda e Peru foi criada uma associação nacional com os objetivos de esclarecer princípios, divulgar informações e ajudar laboratórios em criação. Em Portugal, existem 23 (vinte e três) Fab Labs, incluindo o Fab Lab IPB, que possui capacidades de impressão 3D, Usinagem CNC, Corte a Laser/Gravação, Usinagem de precisão, entre outros.

E na península ibérica, há um grande destaque para o Fab Lab House Barcelona, que não é apenas um laboratório mas sim uma zona de convívio e atração turística, desenvolvido a partir da ideia e conceito do Fab Lab.

### 2.1.1. Fab Lab House Barcelona

Alguns Fab Labs foram desenvolvidos com diferentes características com o propósito de inovar e chamar atenção do público em geral. Dentre muitos se destaca a Fab Lab House Barcelona, criado para participar na competição *Solar Decathlon Europe 2010*, apresentando um formato arredondado e sem pontas em seu topo, utilizando como material principal a madeira, como pode ser observado nas figuras abaixo.



Figura 2 - Fab Lab House Barcelona (8)



Figura 3 - Construção Fab Lab House Barcelona (8)

De acordo com o site Archello (8), “a Fab Lab House é uma casa concebida como um centro ativo de produção de recursos, e não como um espaço de consumo passivo. A casa gera mais que o dobro da energia necessária para funcionar, por meio de seu sistema fotovoltaico; produz alimentos em seu jardim de permacultura e árvores frutíferas e possui um pequeno laboratório fab, conectado via videoconferência à rede global da Fab Labs, para a fabricação de objetos do cotidiano”.

"A Fab Lab House é desenvolvida numa rede de laboratórios de fabricação usando máquinas de controle numérico que permitem que as residências sejam personalizadas de acordo com as necessidades de seus ocupantes e seu ambiente". - Neil Gershenfeld, diretor físico do Centro de Bits e Átomos do MIT.

A Fab Lab House constitui-se de uma forma orgânica capaz de produzir para si própria os recursos necessários para se manter, além de ter sido desenvolvida com a madeira que é um material extremamente volátil, proporcionando uma estrutura diferenciada e capaz de ser reproduzida em espaços pequenos, inclusive de dentro de um Fab Lab.

## 2.2. Cella Bar – Açores

O Cella Bar, localizado nos Açores, é um bar conhecido como o “bar mais bonito do mundo”, e possui uma estrutura diferenciada em madeira que permite que o bar tenha adquirido essa fama.



Figura 4 - Interior Cella Bar (9)



Figura 5 - Cella Bar vista exterior (9)

O arquiteto Fernando Coelho foi o responsável por essa obra que não passa despercebida aos olhos de quem a visita. O bar foi inspirado em um formato de baleia juntamente com um pipa de vinho, que são características que lembram o lugar que o bar está situado (9).

O Cella Bar é uma obra contemporânea que possui um formato orgânico tal qual a Fab Lab House, e ambos são exemplos de que a madeira pode ser aplicada em obras sustentáveis e contemporâneas, e com as mais diversas finalidades, como no caso, um bar e uma casa.

O Cella Bar é a prova de que não há limites para o uso da madeira em obras externas e totalmente diferenciadas que permitem criar formas e tamanhos dos mais diversos possíveis. Isso permite que cada vez mais obras possam ser criadas a partir da madeira, e exemplos como esse que chamam tanta atenção só demonstram como obras criadas inteiramente de madeira não são comuns e que quando bem executadas trazem um resultado surpreendente.

### **2.3. O Projeto para uma nova casa para o Fab Lab Bragança**

Com inspiração no Fab Lab House Barcelona e no bar Cella nos Açores, a equipa responsável pelo Fab Lab Bragança resolveu desenvolver um projeto de um Fab Lab no ambiente que pode ser externo ao Instituto Politécnico de Bragança, diferentemente do atual, aonde se situa nas dependências do IPB.

A proposta para o novo Fab Lab tem como princípios a construção arredondada e em madeira. Dentro dessa linha de pensamento, a estudante Caroline Dias Eifler criou a planta baixa que será continuada nesse trabalho com o levantamento de uma ou mais opções para o formato e

distribuição dos pilares e formato das vigas, com posterior simulação com software de elementos finitos para validação da resistência e deformação da disposição elaborada.

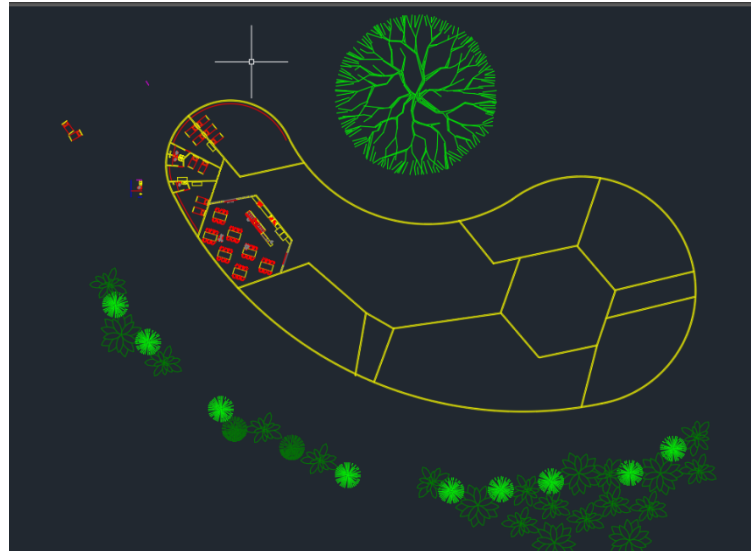


Figura 6 - Planta Baixa do projeto do novo Fab Lab em Bragança  
Fonte: Criado por Caroline Dias Eifler

O projeto criado teve como inspiração um formato orgânico e arredondado, lembrando uma castanha que é uma oleaginosa tão comum nesta região de Portugal e sua dimensão máxima é de cerca de 85 metros. A intenção de trazer um formato diferenciado e um tamanho avantajado é trazer um impacto aos olhos, e demonstrar que a madeira pode ser trabalhada de maneiras variadas, permitindo que esse material seja transformado em verdadeiras obras de arte.

Além disso, o maior objetivo é a criação de instalações para um Fab Lab sustentável que reflete a consciência ambiental que devemos alimentar e propagar para as próximas gerações, para que com a diminuição do consumo de materiais não sustentáveis todos nós possamos aproveitar um planeta mais saudável.

A ideia de criar um novo Fab Lab em Bragança é justamente expandir o espaço do Fab Lab IPB existente que atualmente é insuficiente para todas as atividades que desejam ser implantadas no laboratório, além de ser reduzida a circulação de alunos pelo pouco espaço para transitar dentro do Fab Lab.

As dimensões aparentemente exageradas do espaço, permitirão a instalação de todos os equipamentos, salas de trabalho e reuniões, zonas de convívio e pequenas refeições bem como a acomodação de colaboradores em curtas estadas.

Além desse fator, o edifício do novo Fab Lab IPB seria um ponto de visitação em Bragança, tal como o Fab Lab House é em Barcelona. A Fab House IPB criada a partir da madeira lamelada colada certamente trará um impacto visual, além de ser um material ecologicamente sustentável, que é a razão da escolha desse material.

#### **2.4. Madeira Lamelada colada – Material escolhido para construção da estrutura**

A construção do Fab Lab constitui-se basicamente em estrutura de madeira formada por elementos modulares lamelados colados unidos por conectores metálicos. O uso da madeira lamelada colada (MLC) consiste em grandes vantagens para a execução de projetos com a complexidade estabelecida no projeto arquitetônico proposto para a Fab House IPB, pois a madeira possui a flexibilização e comportamento necessário para se obter êxito nos objetivos propostos.

Madeira lamelada colada (MLC) - São tábuas de madeira maciça coladas longitudinalmente em juntas de dentes (*finger-joints*) para conseguir comprimentos teoricamente infinitos, e depois coladas sobre pressão lado a lado com outras tábuas iguais para conseguir alturas de secção transversal teoricamente infinitas (10).



Figura 7 - Viga de madeira lamelada colada (11)

Essa madeira é constantemente usada na construção civil juntamente com materiais essenciais como o aço e betão. E, dos produtos derivados da madeira, a madeira lamelada colada (MCL) é a mais relevante e a mais usada na construção estrutural (12).

Além de benefícios estéticos e propriedades termo acústicas, a madeira lamelada colada (MLC), possui a vantagem de ter baixo peso próprio, permitindo envergaduras e flexibilidade, além ainda de alta resistência ao fogo e estabilidade dimensional (10).

Possibilita-se a utilização dessa madeira em estruturas retas ou curvas, de uso interno ou externo, de secção constante ou variável, com comprimentos teoricamente infinitos, que permitem que esse material seja volátil e adaptável ao pensamento criativo do projetista.

Por ser industrializada, a madeira lamelada colada evita desperdícios de materiais, agilizando o processo de montagem e sem necessidade de constantes reparações e pinturas, possibilitando assim, ser trabalhada dentro do Fab Lab que existe atualmente no IPB em Bragança, para se criar o novo Fab Lab construído em madeira lamelada colada que pode ser alocado em qualquer área externa vaga nas dependências do IPB.

O processo do fabrico da madeira lamelada colada é relativamente simples, consistindo na justaposição de tábuas de madeira orientadas com as fibras sempre na mesma direcção, que são coladas de topo (por ligações designadas *finger-joints*) e de face, de forma a obter elementos com o comprimento e a secção transversal desejada (10). A exemplificação do processo de fabricação pode ser vista na figura abaixo:

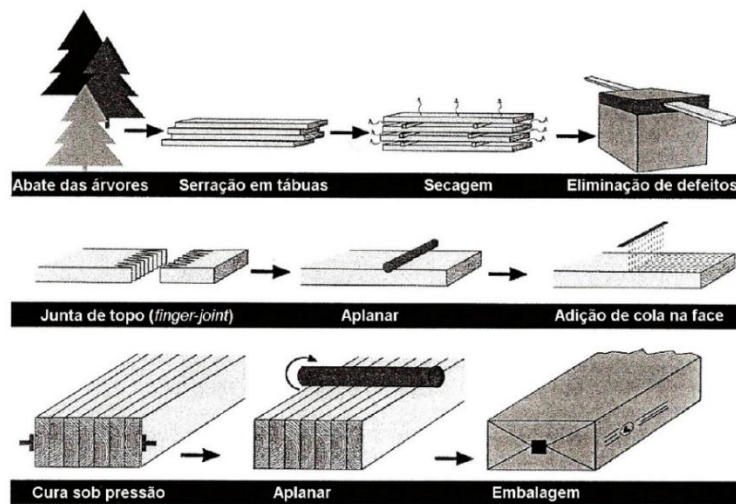


Figura 8 - Processo de fabrico MLC (10)

“A madeira lamelada colada pode ser encarada como madeira maciça reconstituída, apresentando um comportamento físico e mecânico que é, na sua essência, o da madeira maciça natural. No entanto, o seu fabrico a partir de tábuas com uma espessura relativamente pequena

(máximo de 45 mm, segundo EN 386 (2001)) que minimiza os efeitos da retracção de secagem ou das alterações de humidade nas dimensões da peça, e o rastreio e eliminação de concentrações de nós e bolsas de resina cortando aquela secção de tábua e refazendo a união do restante por uma finger-joint, conduz a um material mais homogéneo e consequentemente mais fiável e resistente” (10).

Pela redução de defeitos, um elemento de MLC é obrigatoriamente mais homogéneo do que o seu homólogo de madeira maciça, e isso reflete-se nas suas resistências mecânicas. Assim, apresentam maior valor médio e menor desvio padrão, resultando em significativos ganhos quando se fala em valores característicos (quantilho de 95%) que é o valor de referência dos códigos estruturais, levando a dimensionamentos muito mais economicos (10).

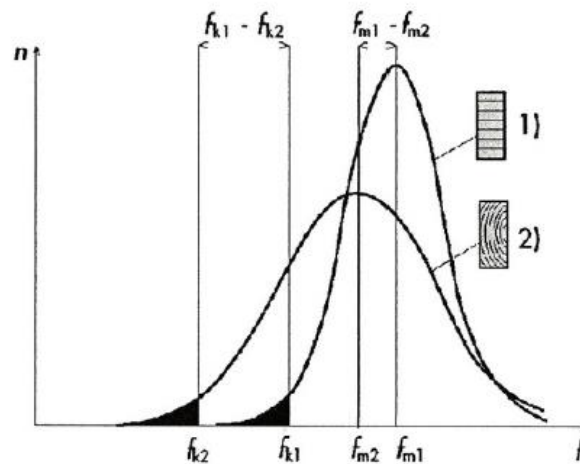


Figura 9 - Grande melhoria da resistência da madeira quando transformada em MLC (10)

“As grandes secções transversais possíveis com a MLC garantem uma maior inércia à oscilação das condições ambientais (temperatura e humidade relativa do ar) e, por consequência, uma estabilidade dimensional superior à dos elementos estruturais de madeira maciça. As grandes secções transversais conduzem ainda a uma elevada resistência ao fogo destas estruturas por permitir preservar um núcleo que são muito substanciais protegidos pela fina camada carbonizada exterior, uma vez que as colas utilizadas no fabrico de elementos lamelados colados não sofrem alteração significativa com a temperatura abaixo da temperatura de carbonização da madeira, comportando-se estes elementos como elementos sólidos” (10).

As características mecânicas da madeira são importantes para uma análise estática confiável, sendo levado em consideração na simulação no software os fatores de módulo elástico, módulo

de cisalhamento, massa específica, resistência de tração, resistência à compressão e limite de escoamento. Essas análises serão capazes de fornecer os resultados primordiais quanto à execução bem-sucedida do projeto.

#### **2.4.1. Histórico da Madeira Lamelada Colada**

A madeira é um dos materiais utilizados por mais tempo pelos homens, e é um material extremamente competente na execução de ferramentas e estruturas. Com o surgimento do aço e do betão a madeira perdeu parte de seu protagonismo, entretanto, com o desenvolvimento de técnicas de melhora da madeira maciça, diversos projetos utilizaram e ainda utilizam a madeira senão como material principal, como material de apoio.

A origem da madeira lamelada colada (MLC) só foi possível com o surgimento de colas de alta resistência. Foi, portanto, em 1906, com o aparecimento da cola de caseína (derivada do leite) que o mestre carpinteiro suíço Otto Hetzer teve a idéia de substituir pela cola, as ligações metálicas de braçadeiras e parafusos, utilizadas pelo coronel Emy. Com isso, obteve-se uma seção mais homogênea e sem a ocorrência de deslizamentos entre as lâminas. Daí para frente, a MLC evoluiu em paralelo com o progresso ocorrido com as colas, que foram se tornando cada vez mais eficientes. No entanto, foi em 1940, com o aparecimento das colas sintéticas que o sistema laminado-colado conheceu o seu grande progresso (13).

Apesar de a madeira lamelada colada já ser conhecida há aproximadamente cem anos, em Portugal, esse material só passou a ser usado recentemente. A primeira grande estrutura de madeira lamelada colada construída em Portugal foi a cobertura do Pavilhão Atlântico, realizado para a EXPO'98, finalizada em 1998, em Lisboa, que sem dúvidas contribuiu para a disseminação do conhecimento e uso da MLC (2). A estrutura de madeira da nave principal foi inovadora a nível internacional, uma vez que constituiu um dos primeiros exemplos de uma grande estrutura dimensionada segundo o Eurocódigo 5 (EN 1995-1-1, 2004). A estrutura de cobertura é constituída por 17 arcos transversais triangulados com dimensões variáveis, tendo o maior arco 114 m de comprimento, e altura máxima de 47 m em relação à arena. Os elementos destes arcos são de madeira lamelada colada de Espruce (*Picea Abies*) (10).



Figura 10 - Vista exterior Pavilhão Atlântico (14)



Figura 11 - Vista aproximada do arco de MLC (14)

Diversos projetos como esse foram de suma importância para o reconhecimento da madeira lamelada colada (MLC) como um material capaz de resistir à diversas condições químicas, de tempo e de comportamento mecânico, que fazem com que a madeira (MLC) seja um material de alta viabilidade na construção civil.

## **2.5. Software utilizado para análises estáticas do escopo do projeto – SolidWorks**

Com a ideia já estabelecida de propor processos para construir um Fab Lab com as ferramentas existentes dentro do Fab Lab IPB, a ferramenta de desenho e simulação foi relacionada. Nos computadores do laboratório, a ferramenta instalada para tais méritos é o SolidWorks.

Atualmente é de extrema importância a utilização de *softwares* em todas as áreas do conhecimento e a engenharia não fica de fora dessa relação. Conhecimento sobre ferramentas de desenho e simulação é praticamente obrigatório para engenheiros em graduação e recém-formados.

A melhora na capacidade de visualização do projeto e o tempo economizado com tais *softwares* é muito importante no mundo atual, aonde informações são transmitidas muito rapidamente, assim como a “redução da necessidade de testes de protótipos físicos, testes mais completos do produto, melhor convencimento do potencial cliente em relação ao adequado funcionamento do produto, redução do tempo de desenvolvimento do produto e um melhor entendimento do produto” (15).

Essa evolução por meio dos *softwares* é muito importante atualmente como confirma Junior e Pacholok (16), explicando que o uso desses *softwares* não tira a importância do ensino tradicional de engenharia, porém, substitui quase totalmente o papel e a prancheta devido a conectividade desses softwares com as máquinas do processo (16).

## Capítulo 3

### 3. *Desenvolvimento do escopo do projeto da estrutura de elaboração e simulação de construção da Fab Lab House IPB*

Neste capítulo serão apresentados a metodologia e os resultados obtidos, sendo que inicialmente foi imaginado o tipo de estrutura que o edifício teria. Num primeiro momento, o edifício seria composto por pilares e vigas, porém a ideia foi descartada e foi adotado um formato de viga-pilar em forma de arco. Depois da primeira parte do desenvolvimento, foi necessário adquirir conhecimento sobre o software SolidWorks para posteriormente analisar se a estrutura proposta suportaria tensões encontradas na norma. Por fim, foi encontrada uma forma para que as viga-pilares sejam fabricadas no atual Fab Lab, dividindo-a em várias partes e sendo unidas por encaixes.

#### 3.1. Estruturas do Fab Lab House IPB

Como a proposta criativa era de um formato orgânico e arredondado, a primeira tentativa de elaboração seguiu a premissa, mas não agradou, devido à montagem da viga com o pilar, de forma a não ser viável o tipo de fixação lateral imaginado.

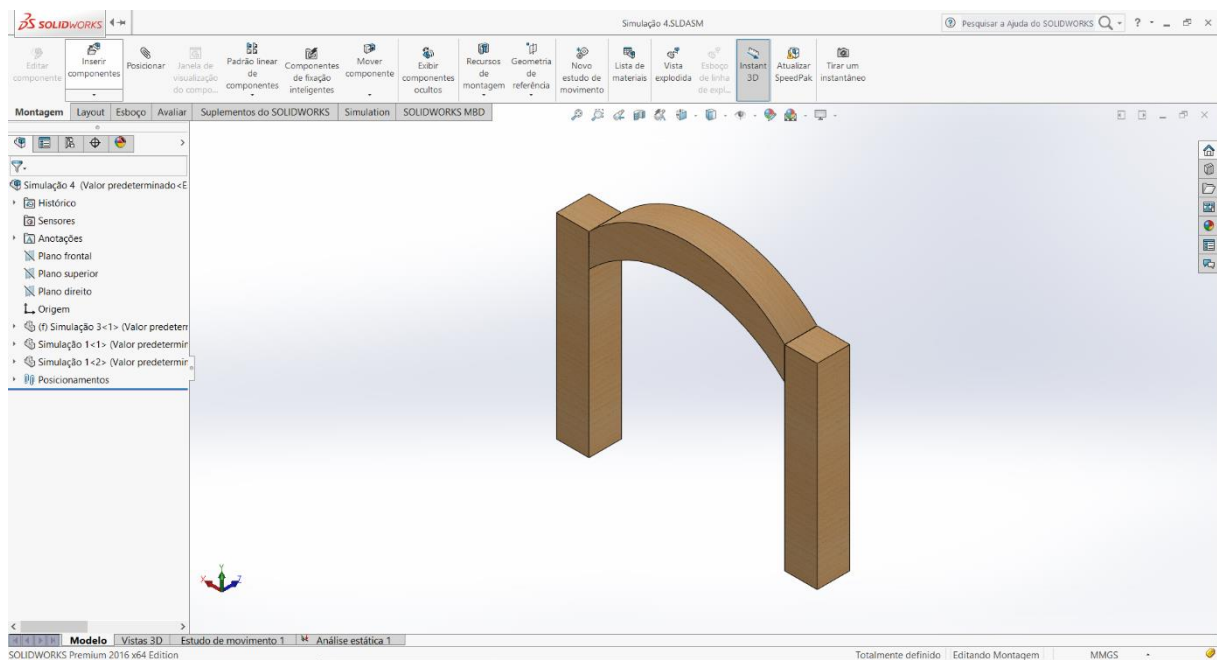


Figura 12 - Primeiro teste do formato arredondado

Após isso, a primeira montagem plausível surgiu, com apoios melhor pensados e forças distribuídas de forma mais eficientes. Essa ideia foi seguida durante boa parte do desenvolvimento da Fab House IPB.

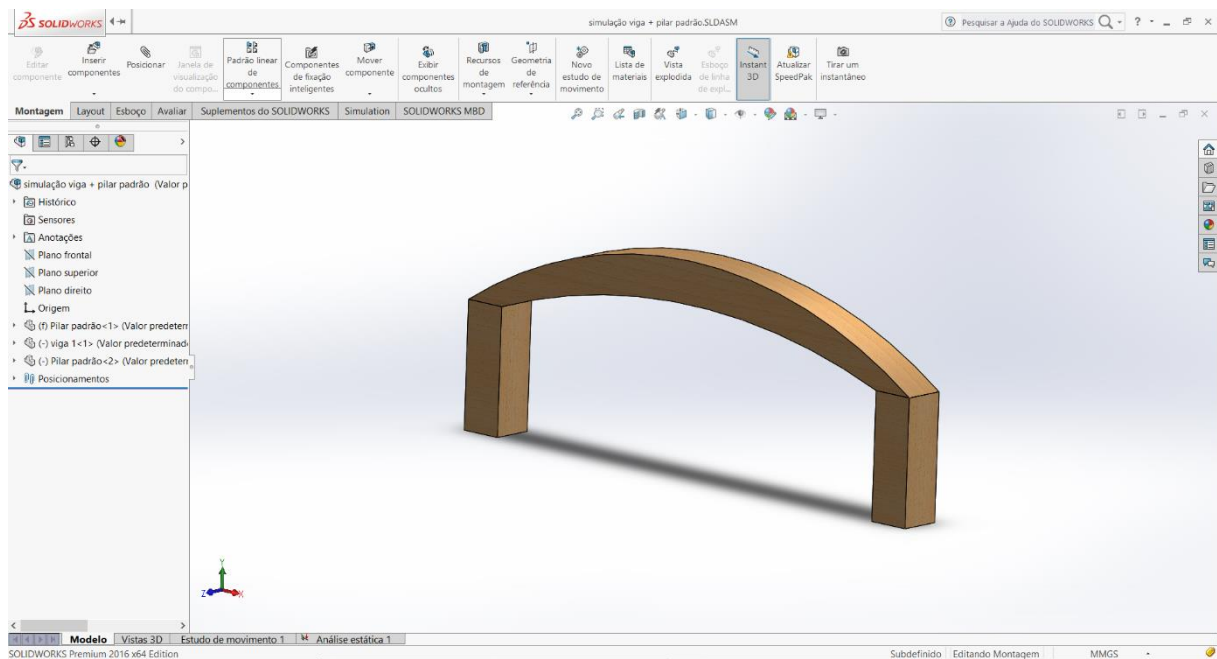


Figura 13 - Formato arredondado de viga aprimorado

À altura, esse tipo de construção foi selecionada e iniciou-se a disposição dos pilares na planta disponibilizada.

Foi necessário converter a planta da Fab House disponibilizada pela Caroline para um formato compatível a desenhos no SolidWorks. O desenho foi concedido em formato DWG, pelo fato de ter sido desenhado com a ferramenta AutoCAD.

A figura a seguir mostra o projeto final de planta construído pela estudante Caroline Dias Eifler (estudante de arquitetura IPB). A planta foi estudada ao decorrer dos processos para identificar as melhores posições e formatos possíveis de vigas. Durante o processo de construção das análises estáticas foram identificados problemas com os modelos de vigas propostos anteriormente.

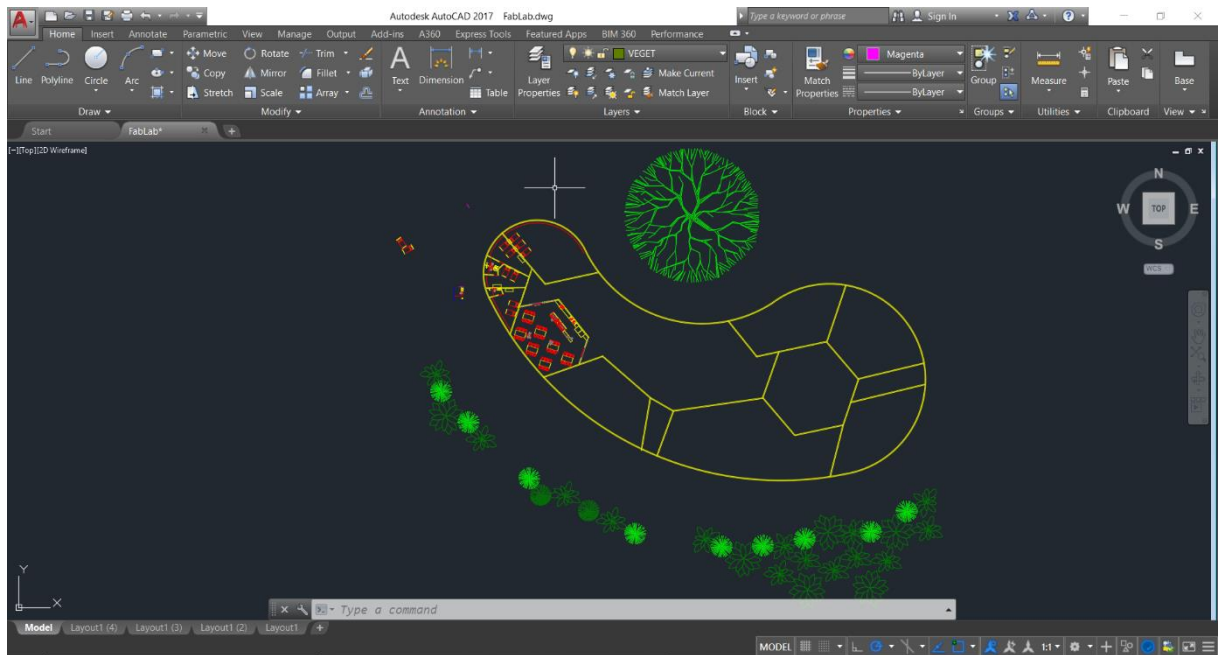


Figura 14 - Planta baixa disponibilizada  
Fonte: Caroline Dias Eifler

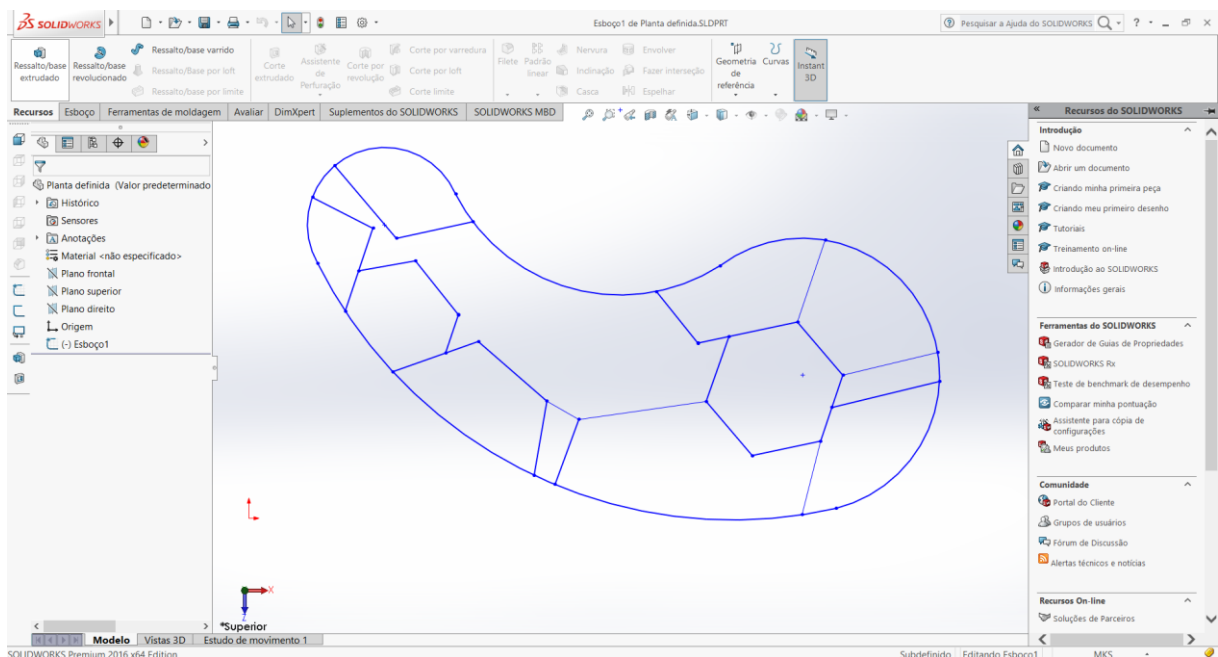


Figura 15 - Planta baixa convertida para o SolidWorks

Para os pilares foi imaginado uma disposição regular e paralela com ângulos de  $45^\circ$  e posicionados nas bordas da planta, para que as vigas não ficassem com dimensões muito elevadas e o edifício passasse a ideia de simetria.

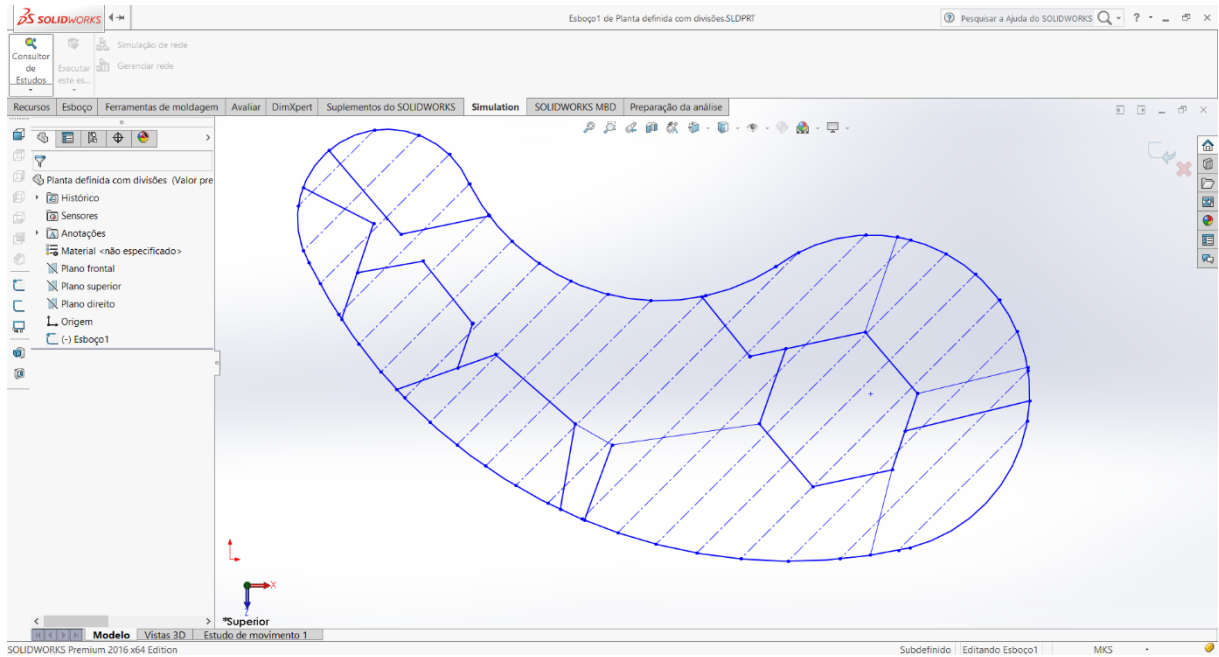


Figura 16 - Disposição dos pilares

As linhas foram colocadas paralelas umas às outras e com uma distância perpendicular de dois metros uma linha para outra e com isso foi exposta a disposição dos pilares. A distância perpendicular foi pensada com base no que pode ser visto no pavilhão Atlântico e também já pensando em uma futura adequação, tanto no sentido de aumentar quanto de diminuir a distância entre si.

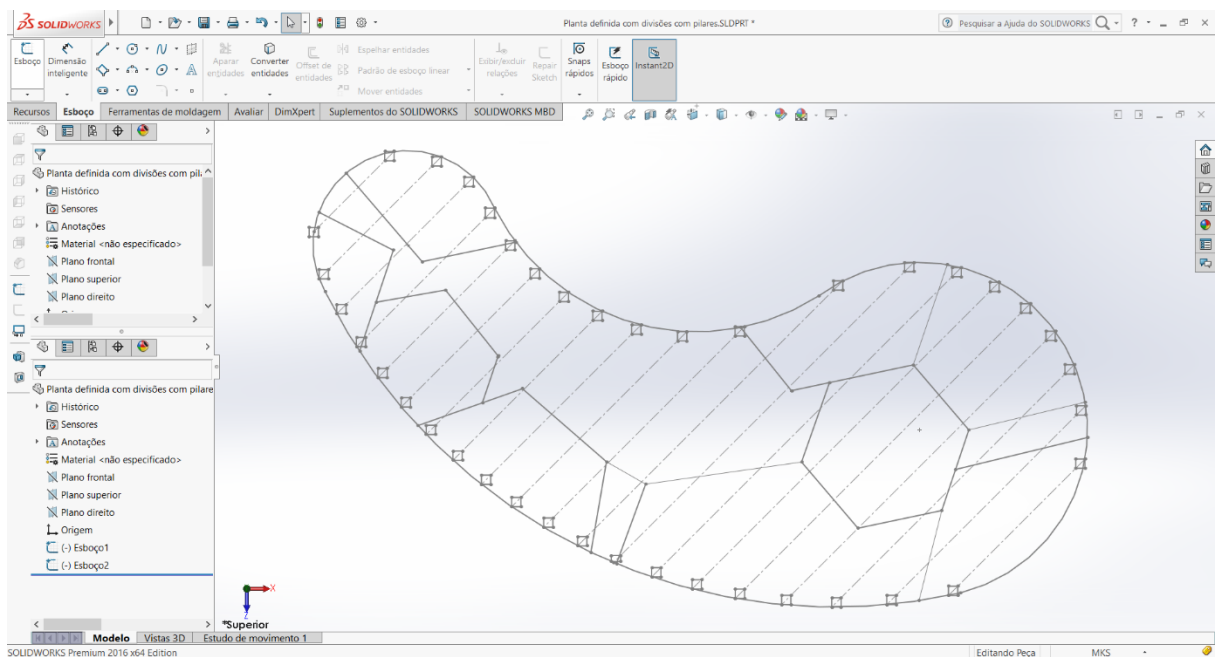


Figura 17 - Posição definida dos pilares

Inicialmente os pilares foram definidos com um metro quadrado de área devido ao desconhecimento na época sobre a resistência do material que iria ser utilizado.

O próximo passo foi colocar os pilares nas áreas definidas. Também foi colocada uma viga para se ter uma imagem melhor de como ficaria à disposição das vigas. Os pilares têm três metros de altura cada e a viga tem uma altura de dois metros desde a base até o seu topo, como representa a Figura 19.

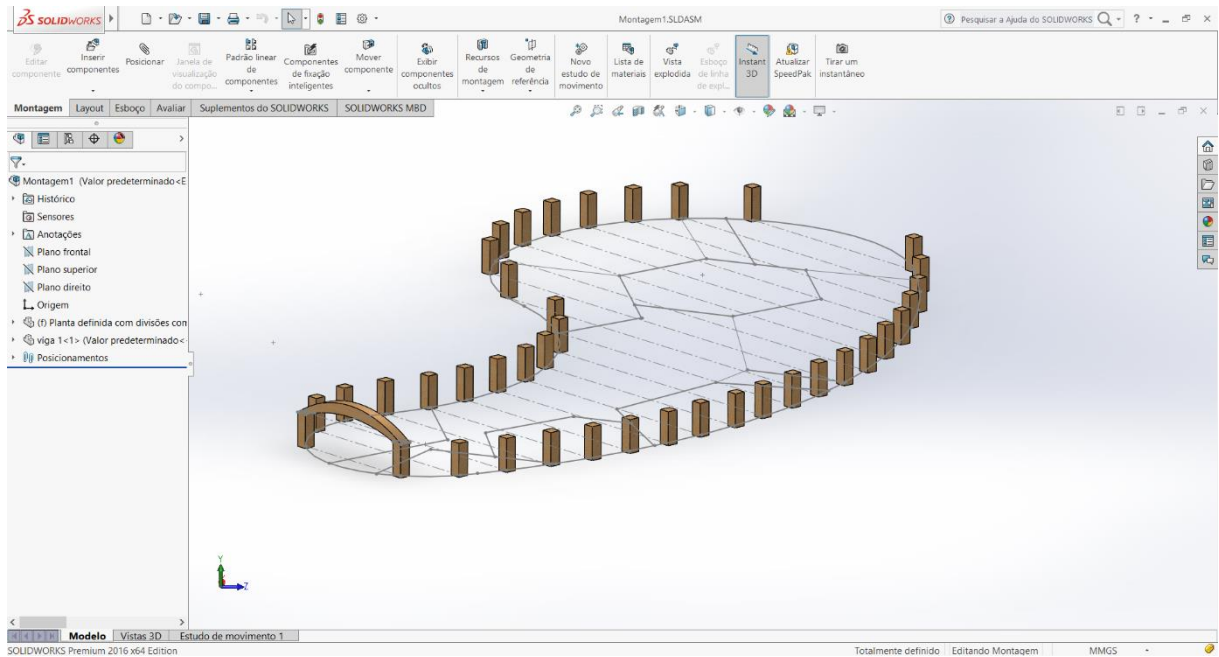


Figura 18 - Pilares colocados na planta

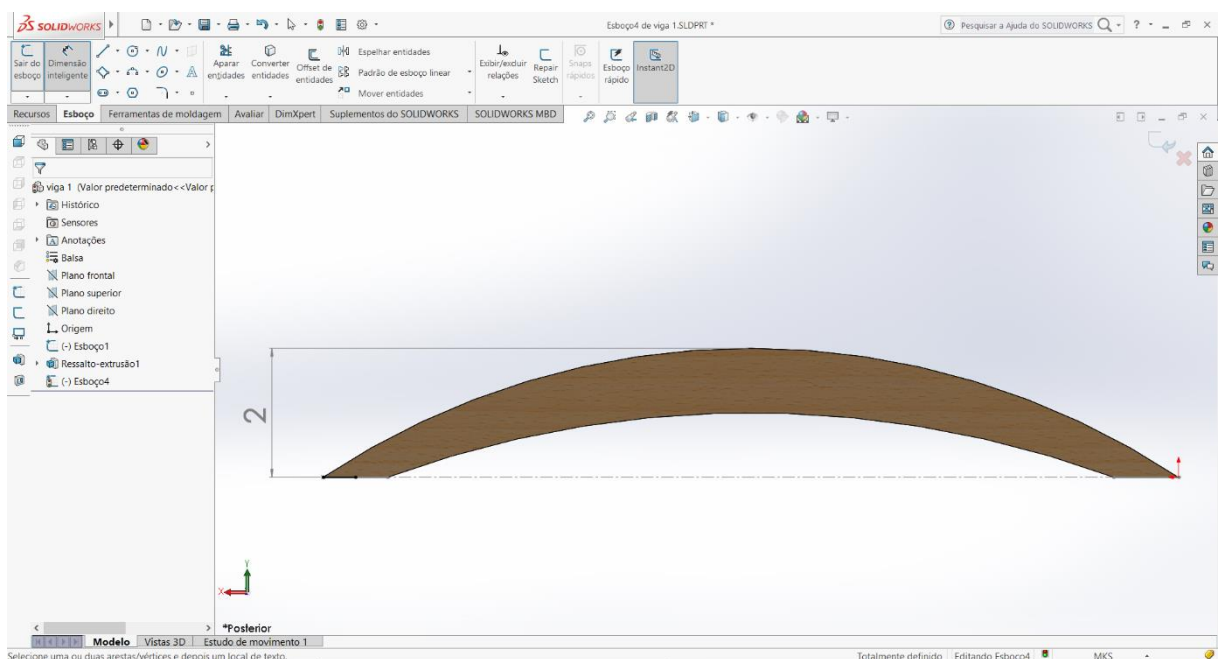


Figura 19 - Altura da viga

O primeiro vão de viga da planta tem o menor comprimento de 13,26 metros de comprimento e o maior vão de viga é o décimo quarto do desenho e tem 48,39 metros como mostra a figura a seguir.

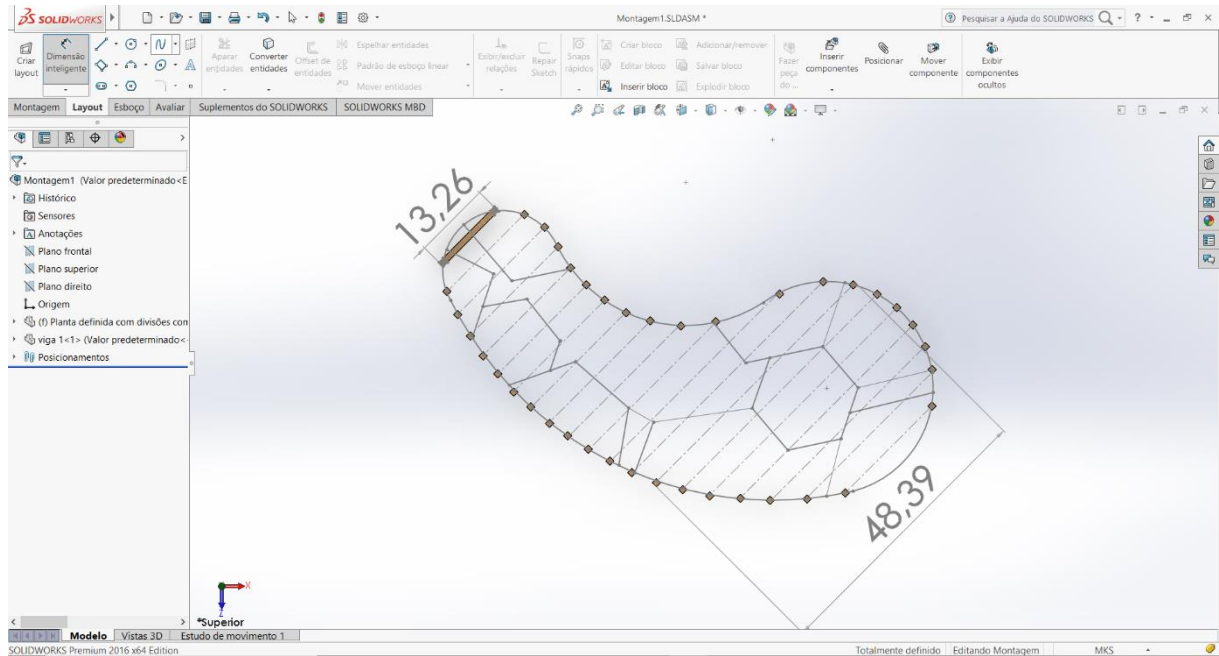


Figura 20 - Medidas dos vãos principais

Após a visualização, foi iniciada a disposição de todas as vigas para futura análise estática. Foram dispostos os quatro primeiros e em seguida o décimo quarto, para visualizar a altura que o edifício teria.

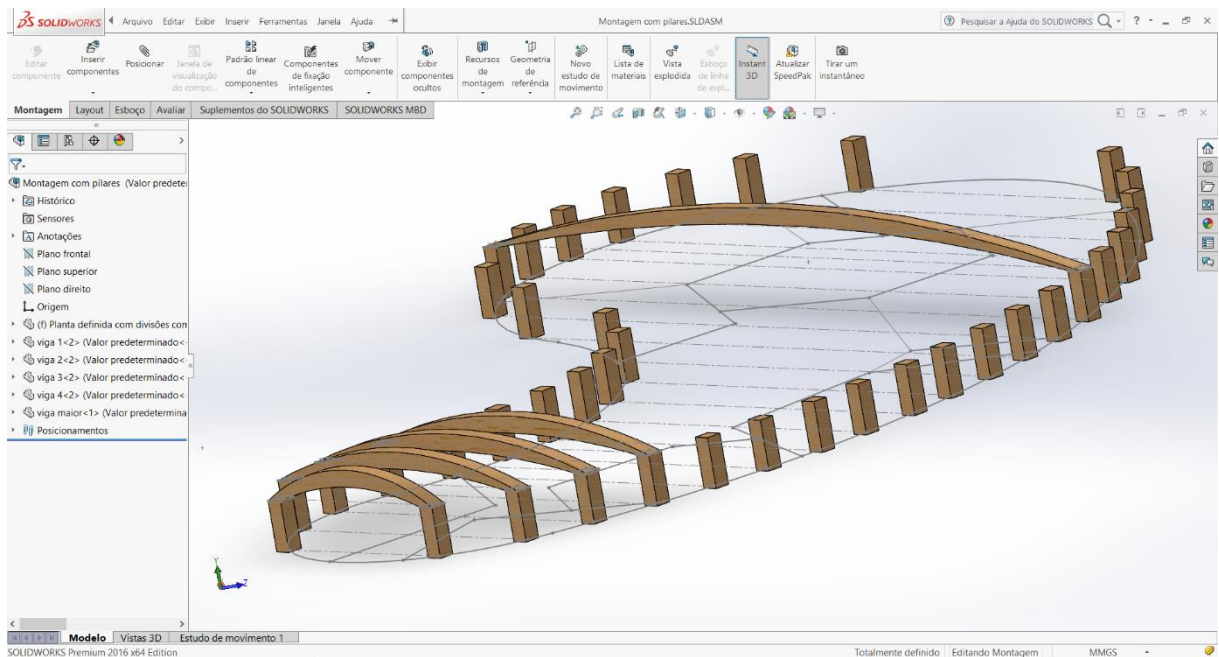


Figura 21 - Começo da montagem para visualização

Nesse ponto foram levantados problemas em relação esse tipo de disposição. Todas as vigas deveriam ter a mesma altura, porém, a viga de maior vão, com altura de dois metros, ficava muito reta, perdendo o sentido arredondado. Com isso, foi definido que em algum ponto, as maiores vigas deveriam ser mais altas que as menores.

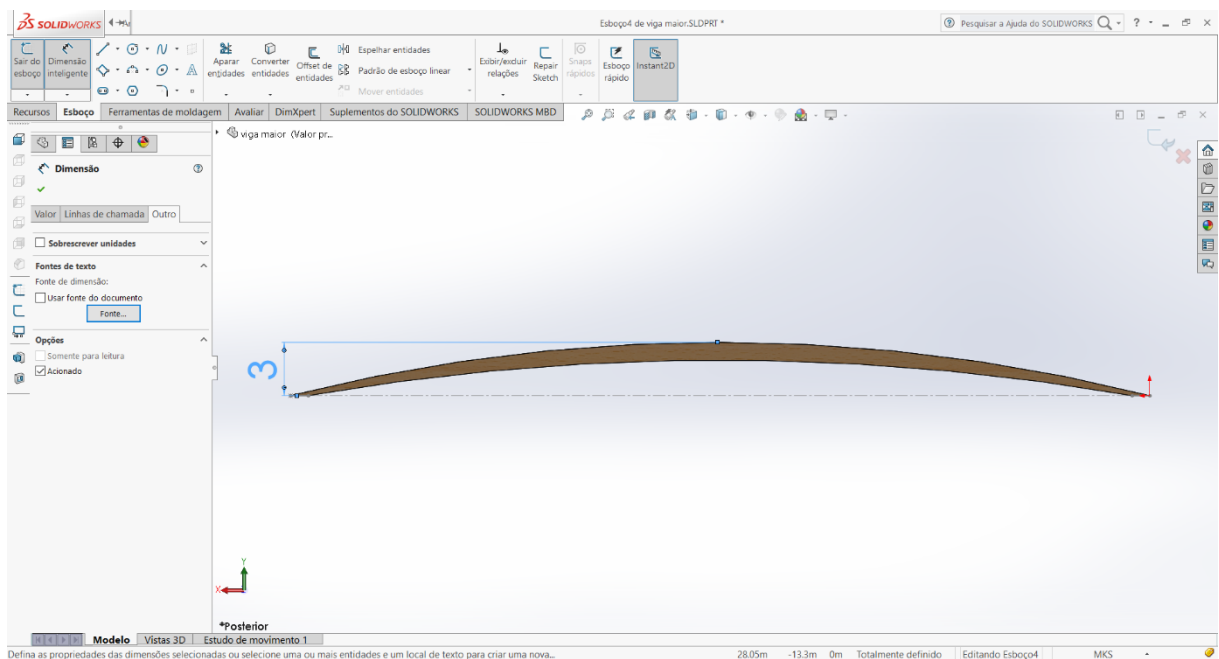


Figura 22 - Remodelagem das vigas maiores

Porém, mesmo com esse ajuste, o prédio estaria com uma altura muito baixa em relação a sua dimensão máxima. Com isso, foi descartada a ideia de fazer pilares com vigas apoiadas e evolui-se para uma viga única, ou seja, o edifício seria composto de viga-pilares como exemplifica a figura a seguir.

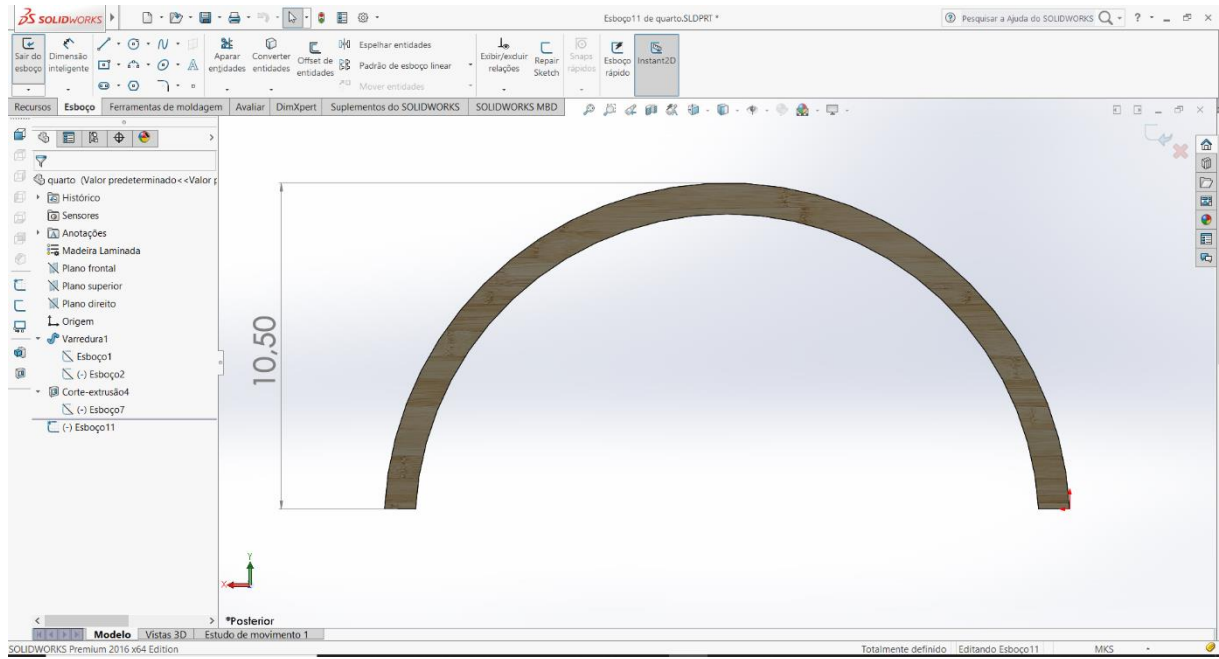


Figura 23 - Novo modelo de viga

Com essa nova ideia estabelecida foi desenhado o edifício com todas as vigas-pilares, com a altura definida de 10,5 metros com exceção à primeira viga-pilar, que ficou com 6,61 metros de altura devido ter alcançado a angulação máxima de 180°. A altura de 10,5 metros foi pensada com base em edifícios com grandes dimensões encontradas tanto nas ruas da cidade quanto na internet.

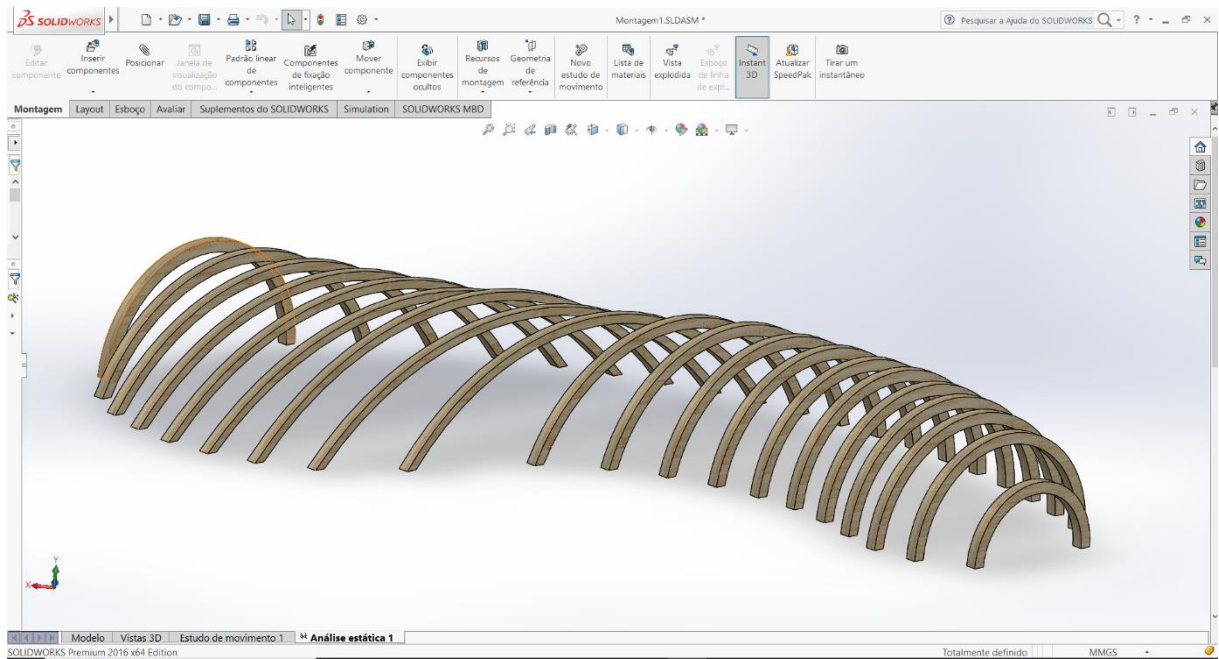


Figura 24 - Montagem das vigas-pilares

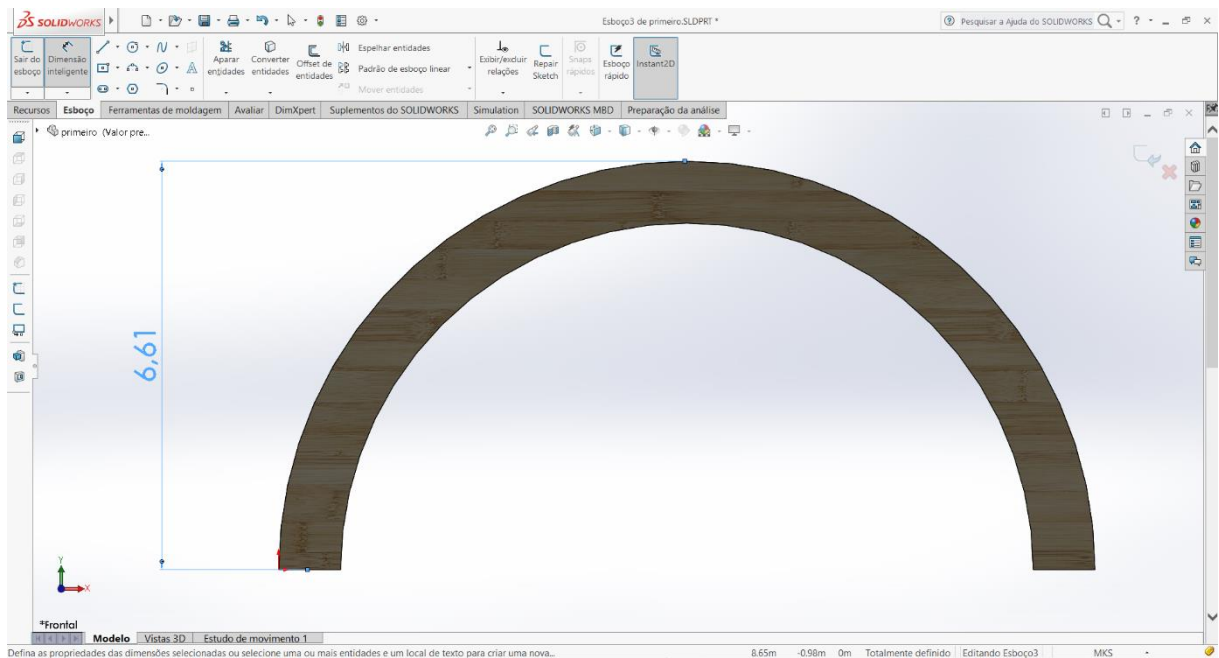


Figura 25 - Altura da primeira viga-pilar

Após feito o modelo, uma maquete foi construída com o propósito de visualizar e apresentar a ideia desenvolvida. Para a construção da maquete, foi utilizado a impressora a laser GCC X252 disponível no atual Fab Lab IPB. O desenho foi colocado em proporção e salvo no formato DWG para que a máquina fizesse a leitura.

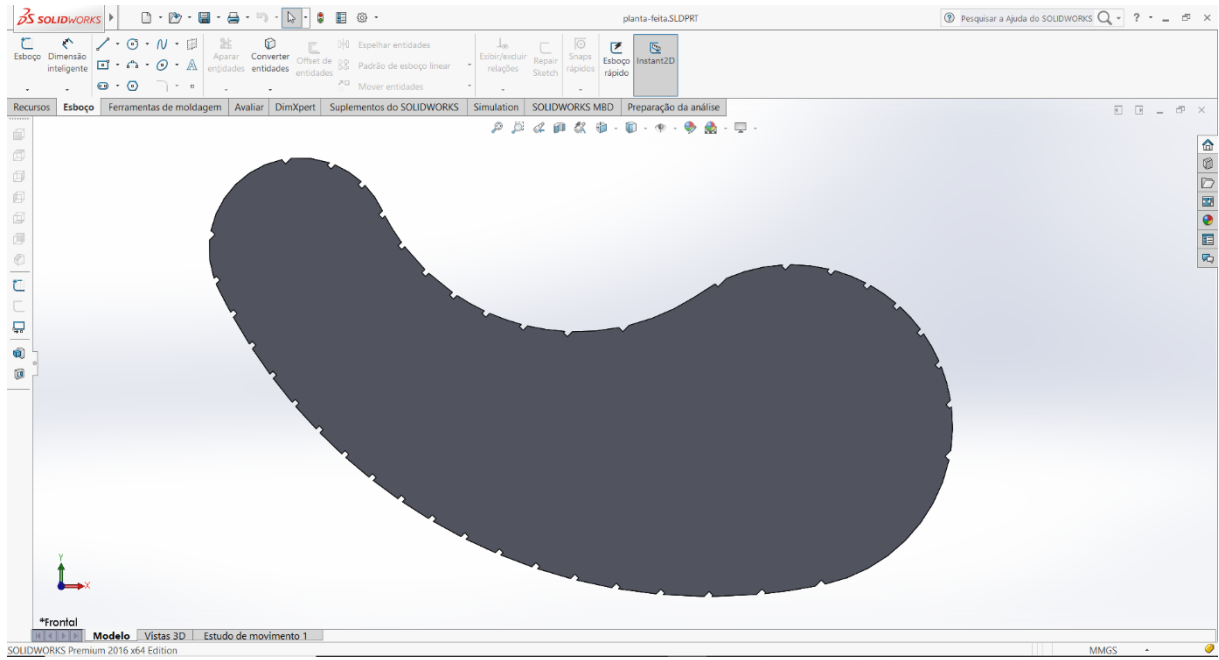


Figura 26 - Desenho da base para impressão da maquete

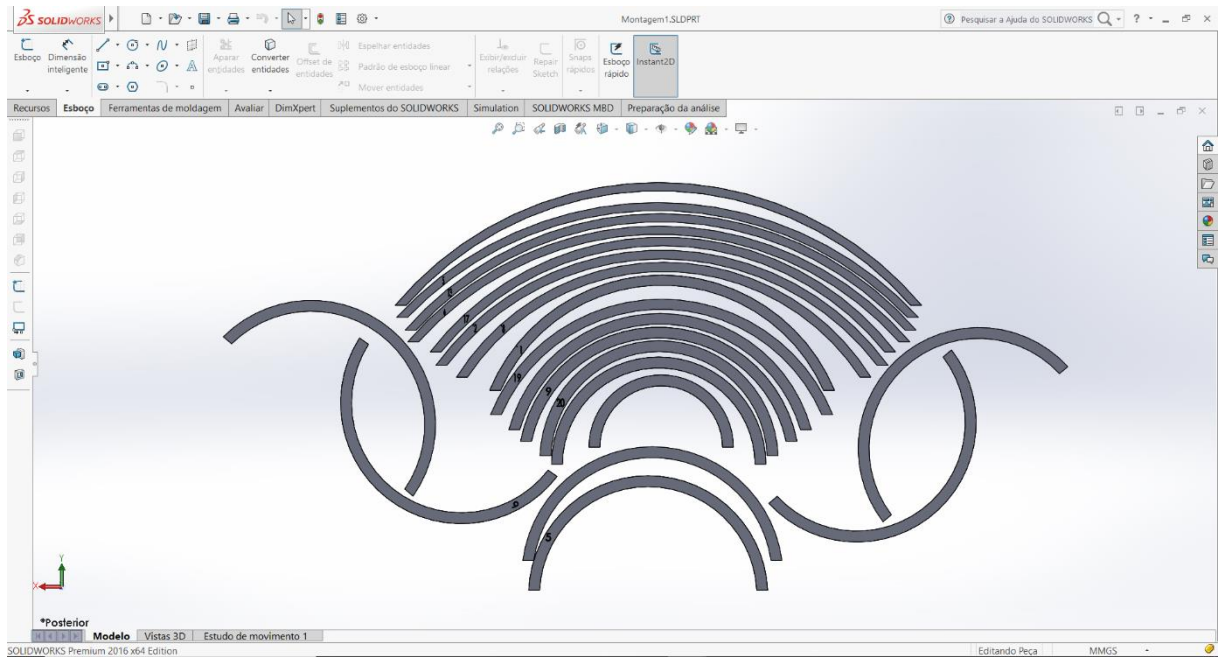


Figura 27 - Desenho das vigas para impressão da maquete



Figura 28 - Maquete do projeto

Foram impressos as vigas-pilares e a base da planta com espessura de 3mm, dimensão máxima suportada pelo equipamento e após isso, foi feita a união da base com as vigas-pilares com cola para madeira.

### **3.2. Análise Estática da estrutura proposta**

Uma das fases mais importantes neste para a idealização desse projeto é avaliar a possibilidade de fabrico das peças da estrutura nas fresadoras existentes no Fab Lab. Assim a simulação numérica dos arcos estruturais é de grande auxílio.

Para começar a análise foi necessário adquirir conhecimento da ferramenta SolidWorks, e para isso, foi feito um desenho de uma viga simples e definido um material para ela, no caso balsa.

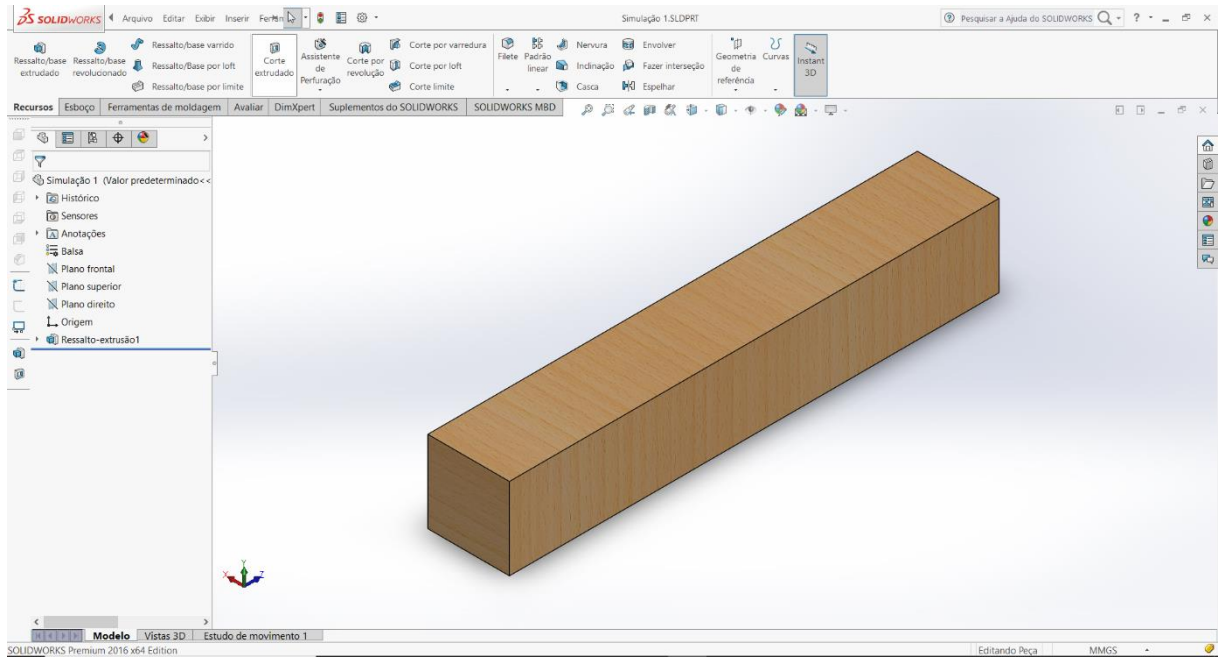


Figura 29 - Viga simples de balsa

Depois de feito um desenho simples, o foco passou-se a entender o funcionamento de montagens na ferramenta e para isso a viga simples foi utilizada novamente com 3 vezes na montagem, duas vezes como pilar e uma vez como viga.

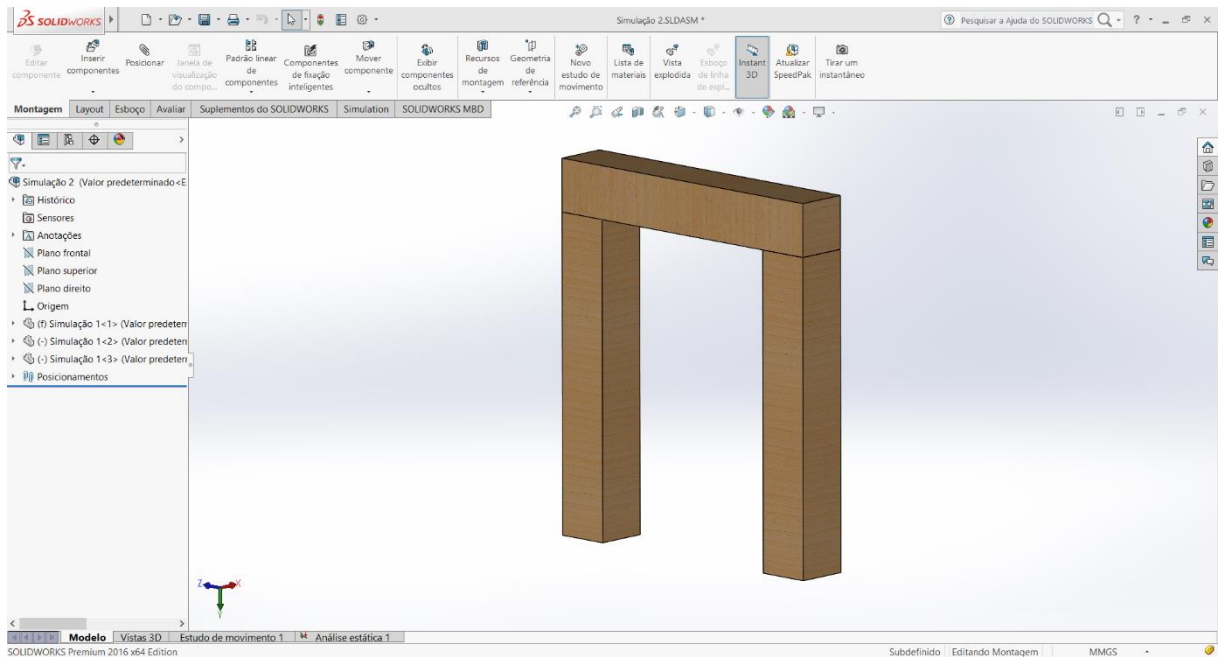


Figura 30 - Montagem simples de balsa

Para a montagem, foram colocados os posicionamentos de coincidente as faces superiores dos pilares com a face inferior da viga e outro posicionamento coincidente dos vértices da viga e dos pilares, como mostra a figura a seguir.

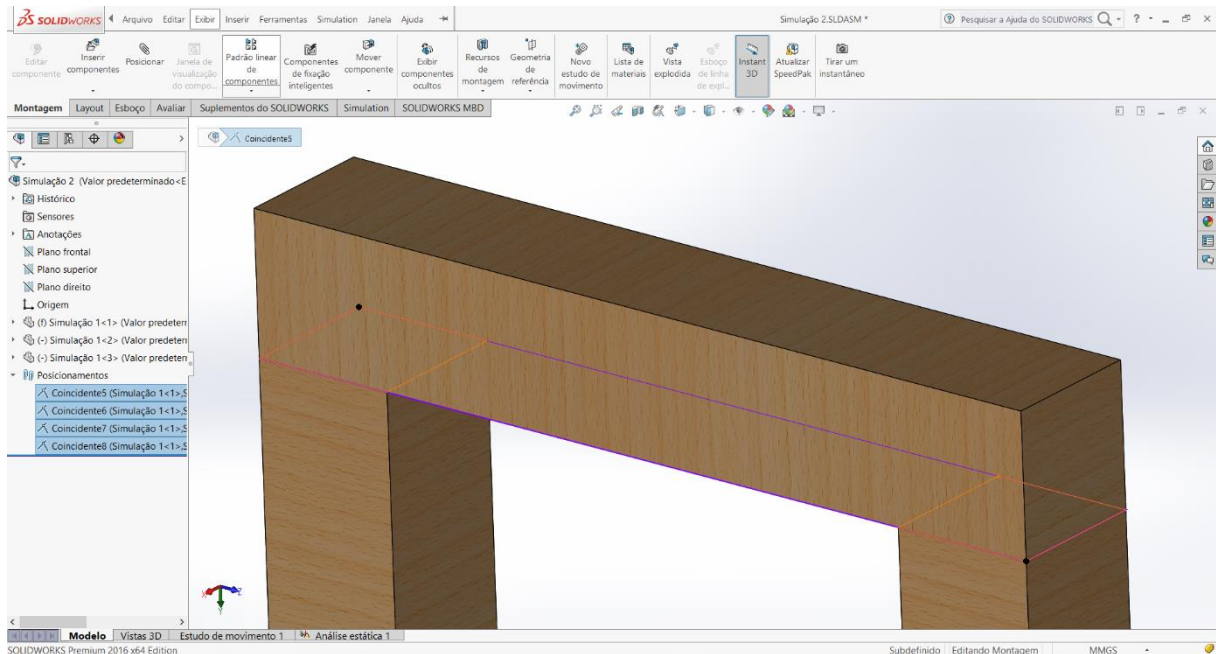


Figura 31 - Detalhe de posicionamento de viga de balsa

Na imagem, as linhas laranjas mostram o contorno das faces superiores dos pilares, as linhas roxas mostram o contorno da face inferior da viga e os pontos pretos mostram os encontros dos vértices da viga com os dos pilares.

Com o conhecimento básico sobre desenho e montagens entendido, o próximo passo foi aprender a fazer simulações estáticas e para isso foi utilizada a montagem simples. Para realizar a simulação estática foram engastadas as bases dos pilares.

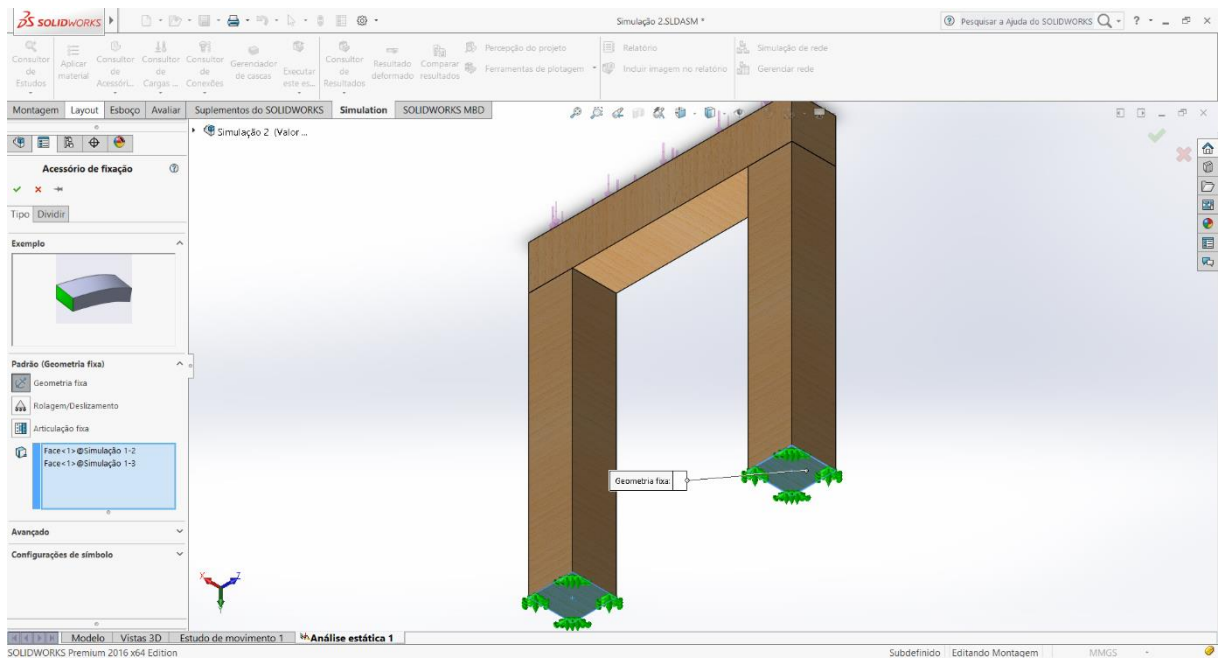


Figura 32 - Análise estática de viga simples 1

Em seguida, definida uma força para atuar na face superior da viga e para o aprendizado foi colocada uma carga aleatória de 3000 N.

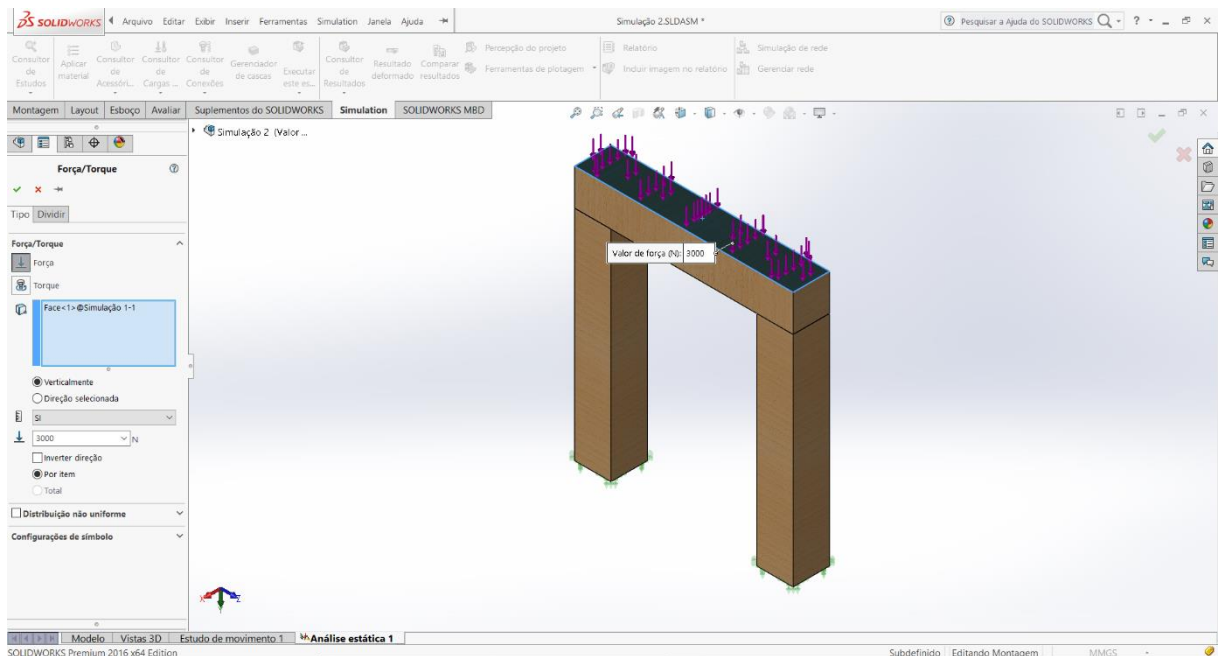


Figura 33 - Análise estática de viga simples 2

Após a aprendizagem da ferramenta, se deu início ao desenvolvimento do formato das vigas. Com o intuito de conferir se a madeira lamelada colada suportaria as tensões que a norma prevê, mas para isso, foi preciso adicionar as características da madeira lamelada colada ao SolidWorks, sendo assim, foi utilizada a norma EN 1194/1999 (17) aonde é possível encontrar as seguintes informações.

Tabela 1 – Características e propriedades da madeira lamelada colada GL 24h  
Adaptado de: Norma EN1194/1999 (17)

Madeira Lamelada Classe GL 24h	
Módulo Elástico	390 N/mm <sup>2</sup>
Módulo de Cisalhamento	710 N/mm <sup>2</sup>
Massa Específica	380 kg/m <sup>3</sup>
Resistência de tração	16 N/mm <sup>2</sup>
Resistência a compressão	24 N/mm <sup>2</sup>
Limite de escoamento	24 N/mm <sup>2</sup>

Foi escolhida a madeira com as características mais frágeis, para que a pior situação fosse posta à prova.

Também foi necessário saber qual seria uma tensão apropriada para se pôr à prova a estrutura. Para isso, foi consultada a norma EN 1991-1-1 (18) onde foi possível encontrar as seguintes informações.

Tabela 2 – Categorias de Armazenamento e actividades industriais  
Adaptado de: Norma EN 1991-1-1 (18)

Categoria	Utilização Específica	Exemplo
E1	Locais susceptíveis de acumulação de mercadorias, incluindo zonas de acesso	Zonas de armazenamento, incluindo livros e outros documentos
E2	Actividades Industriais	----

Tabela 3 – Sobrecarga em pavimentos devidas a armazenamento  
Adaptado de: Norma EN 1991-1-1 (18)

Categorias de zonas de carga	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]
Categoria E1	7,5	7

Foi considerado a categoria E1 por dois motivos: pelo fato de ser um escopo, os objetivos desse edifício podem se modificar com o passar do tempo e com isso, a ideia de utilizar o teto do edifício para algumas outras atividades, como por exemplo, a extensão de mais salas para laboratórios e máquinas ou para áreas de observação e lazer, podem surgir, tal como no Cella Bar, aonde o teto teve utilidade como uma varanda. E o outro motivo é por ser a maior sobrecarga presente na norma mesmo sendo uma sobrecarga considerada para pavimentos industriais, ou seja, caso escolhida uma categoria diferente ou os objetivos não se alterarem, o valor está seguro para o cálculo de estruturas. Os cálculos para a área estão disponíveis em anexo.

Já na EN 1991-1-3 (19) é possível encontrar informações relacionadas a acumulação de neve na região da península ibérica.

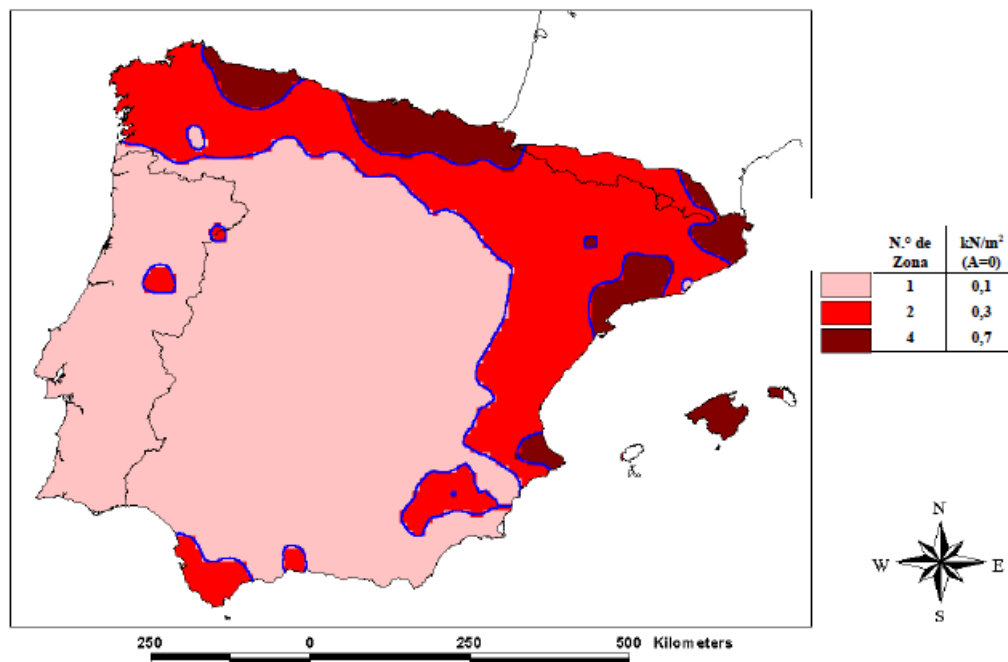


Figura 34 - Carga da neve ao nível do mar (19)

Com os valores de sobrecarga estabelecidos, foi aplicada a carga de 1200000 N na força atuante na vertical devido ao formato diferenciado do teto do edifício

Para considerações sobre a ação do vento sobre a estrutura foi utilizada a norma EN 1991-1-4/2010 (20), utilizando o tópico 8.3.2 “Força na direção x – Método Simplificado”, considerando 50000 N na força atuante na horizontal e os cálculos estão disponíveis em anexo.

Com todas essas informações, o programa foi alimentado e foi possível realizar a análise estática da maior viga-pilar, escolhida por ser sabido que seria nela onde as maiores tensões estariam presentes, seguindo a ideia de se por a pior situação a prova. O perfil escolhido para se iniciar as análises foi de 1 metro quadrado, perfil de dimensão muito elevada e difícil de ser fabricada, mas escolhido de modo a descontinuar o andamento da ideia se caso a estrutura não aguentasse.

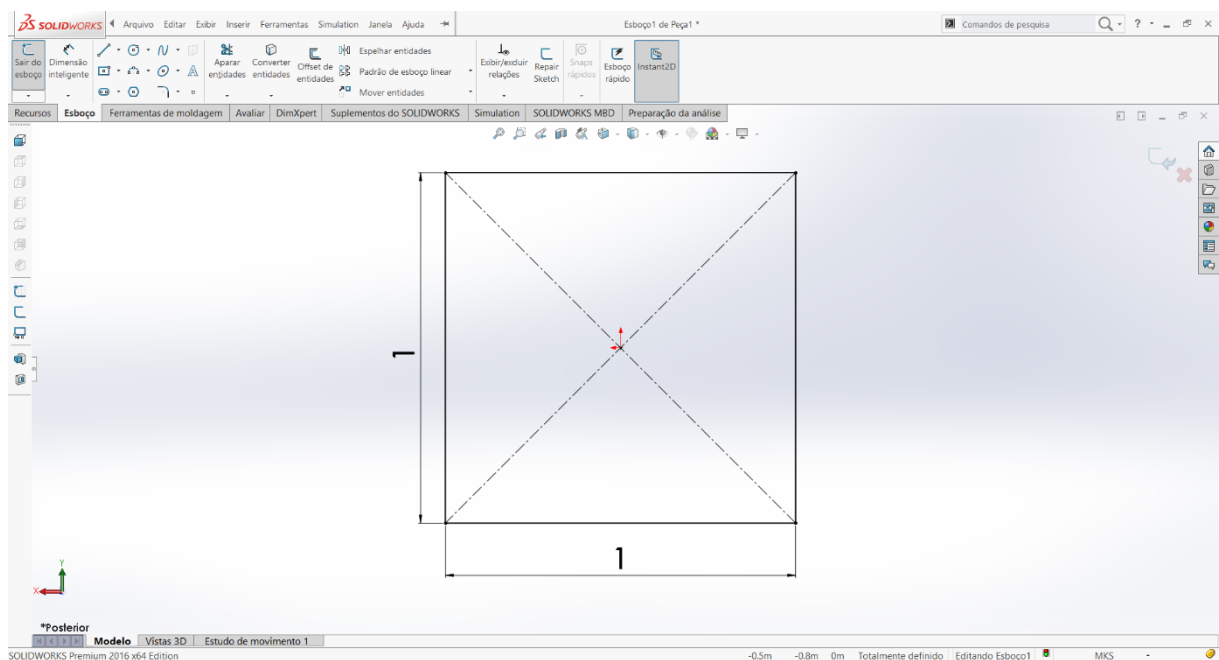


Figura 35 - Perfil de 1 metro quadrado

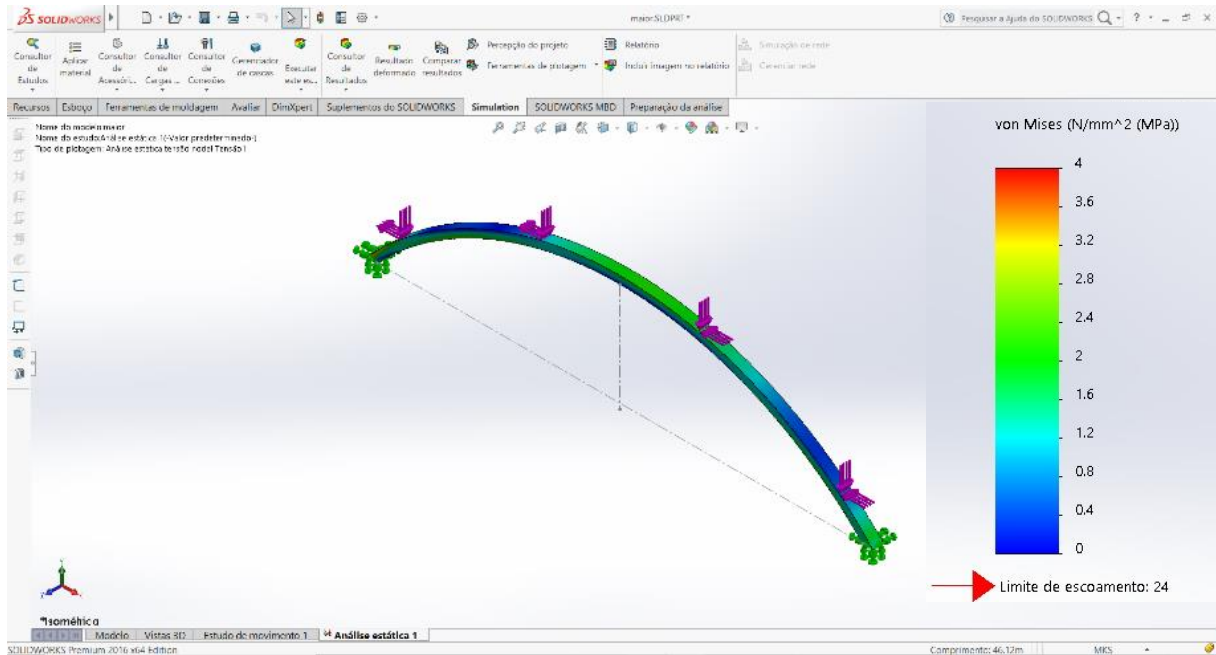


Figura 36 - Análise Estática na viga-pilar de maior tamanho com perfil de 1 metro quadrado

Com a análise estática concluída pode-se perceber que o material suportou as tensões e detalhes sobre a simulação sendo a tensão máxima aproximadamente igual a 3,4 Mpa, podendo ser encontrados detalhes no relatório disponibilizado pelo software, em anexo.

Com isso, a atenção se voltou ao atual Fab Lab, para mensurar o que poderia ser construído com os equipamentos presentes nele. Para o corte da madeira lamelada colada seria utilizada a máquina CNC OUPPLAN 2515, porém, as vigas-pilares não poderiam ser feitas integralmente, tendo que, em algum ponto, ser feitos em várias partes da viga com encaixes e posteriormente juntados de alguma forma. Antes de analisar como seriam esses encaixes, foi conferido qual seria o perfil máximo que a viga-pilar poderia ter. O perfil desenhado de 1 metro quadrado seria impossível de ser fresado com a OUPPLAN 2515.

A espessura máxima que poderia ser fresada na máquina é de 20 cm e o comprimento e largura máximos seriam de aproximadamente 3 metros. Então, foi realizado uma outra análise estática, com o novo perfil de viga pilar e com a nova carga.

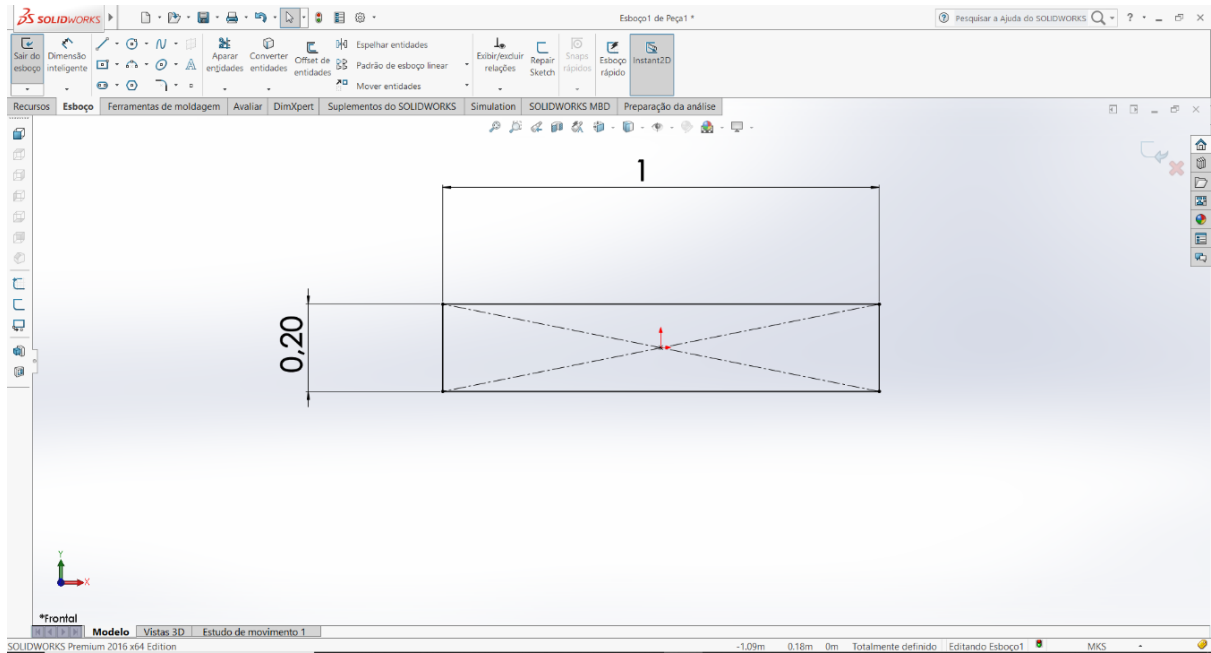


Figura 37 - Novo perfil da viga-pilar

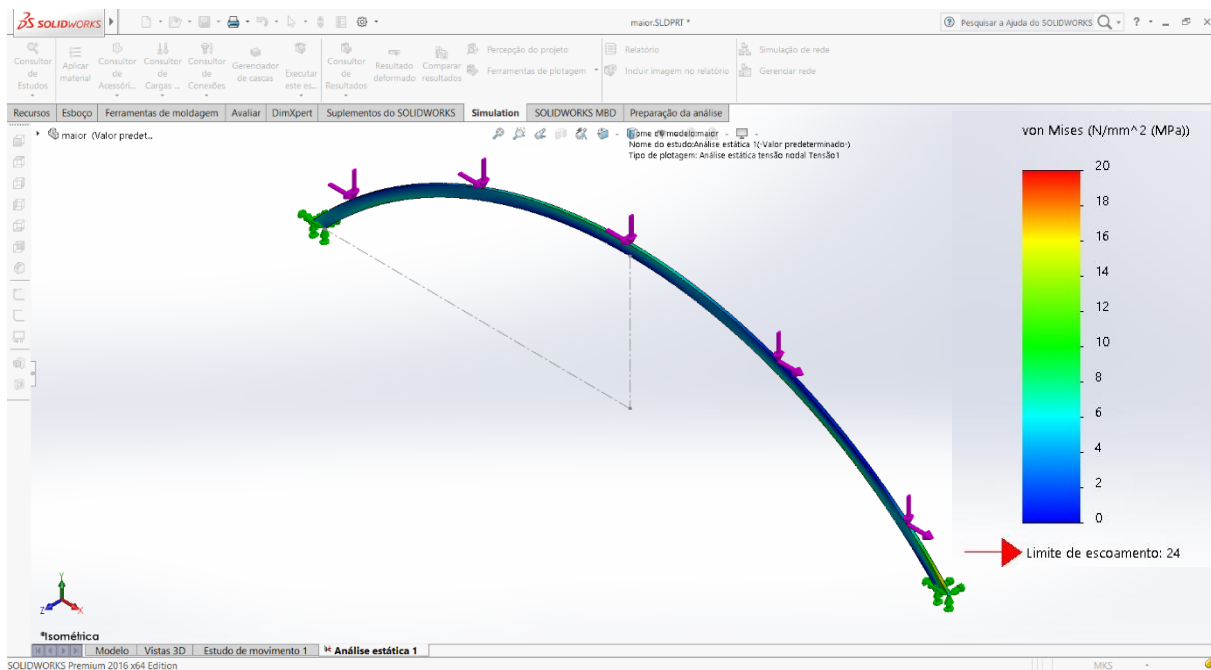


Figura 38 - Análise Estática para viga-pilar de maior tamanho com perfil atualizado

Com a análise finalizada na viga-pilar com o perfil atualizado, pode-se notar que o novo perfil suportou a carga com folga, sendo que a tensão máxima foi de aproximadamente 19 MPa novamente com detalhes podendo ser encontrados em anexo. Com isso, começou-se o desenvolvimento de um sistema de encaixes, para que a viga-pilar pudesse ser fabricada em várias partes e depois reunida na hora da montagem final.

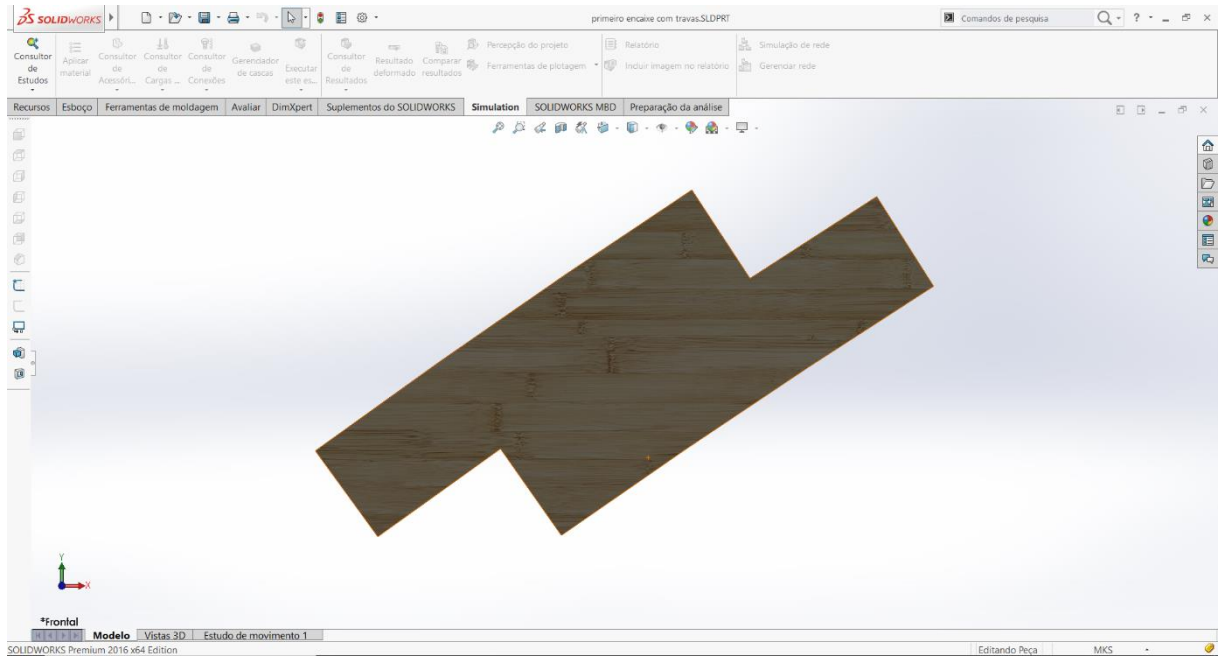


Figura 39 – Vista frontal do encaixe

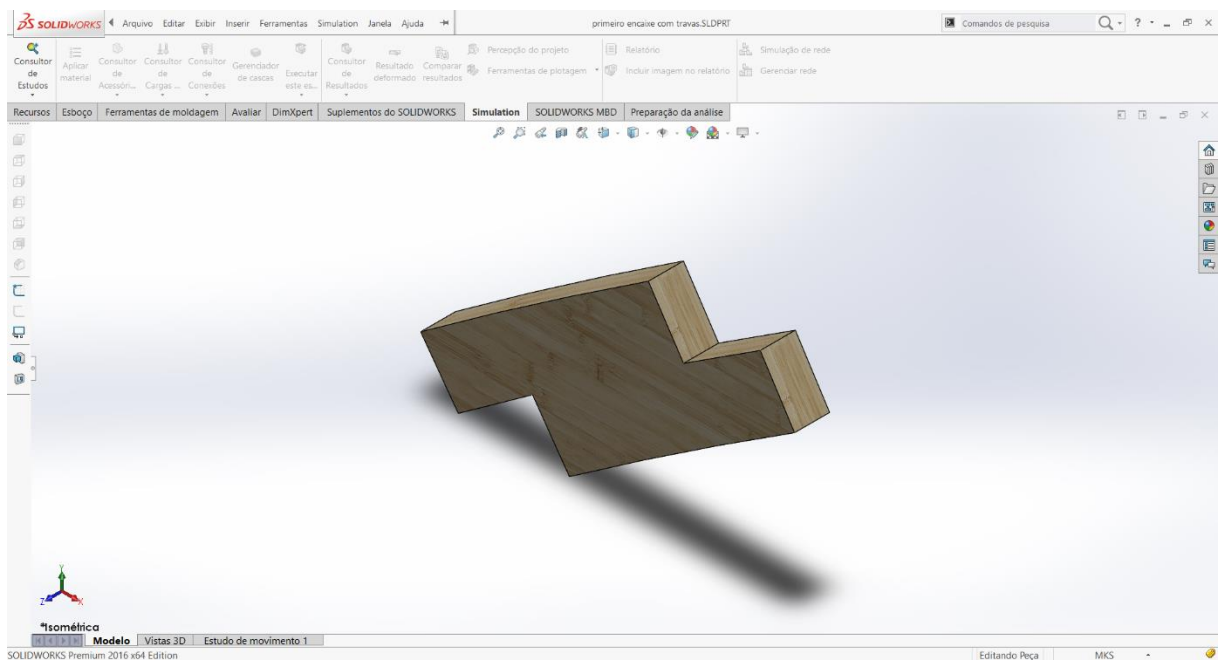


Figura 40 - Vista isométrica do encaixe

Assim, foi montado a viga-pilar no SolidWorks utilizando os encaixes, porém para que toda essa disposição seja estável e rígida é preciso que duas partes dos encaixes estejam sofrendo tensão de modo a unir um encaixe ao outro, como mostrado na Figura 42 . Com essas tensões aplicadas, a estrutura se torna rígida e viabilizada.

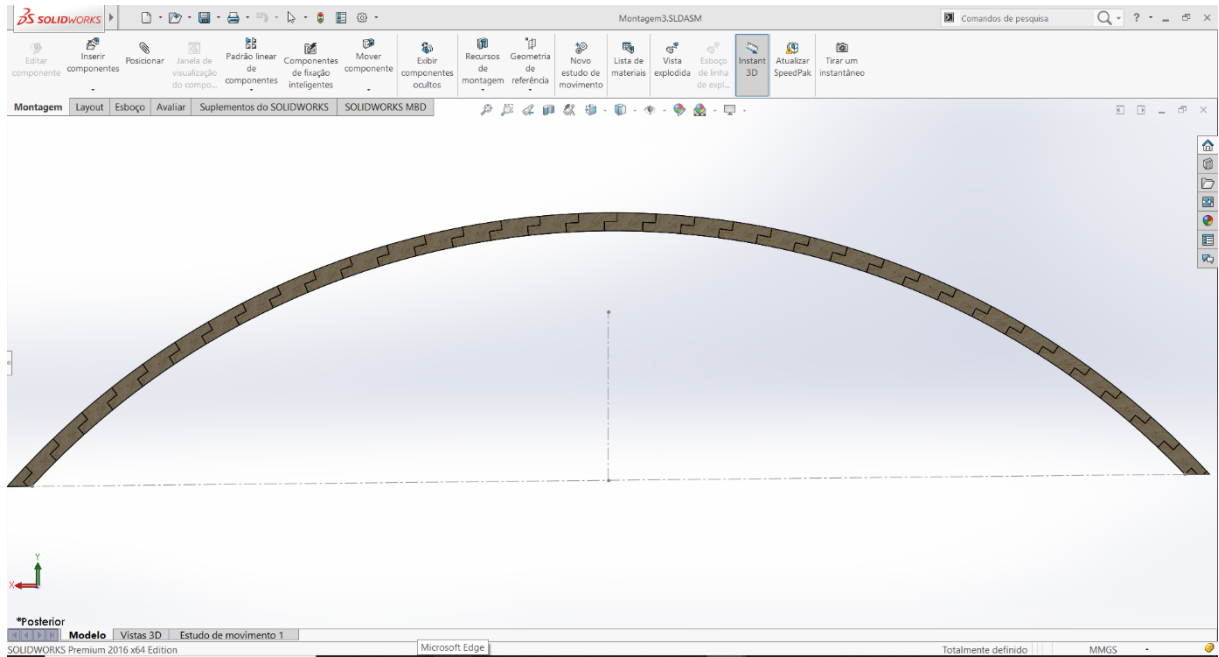


Figura 41 - Maior viga-pilar montada com as partes encaixadas

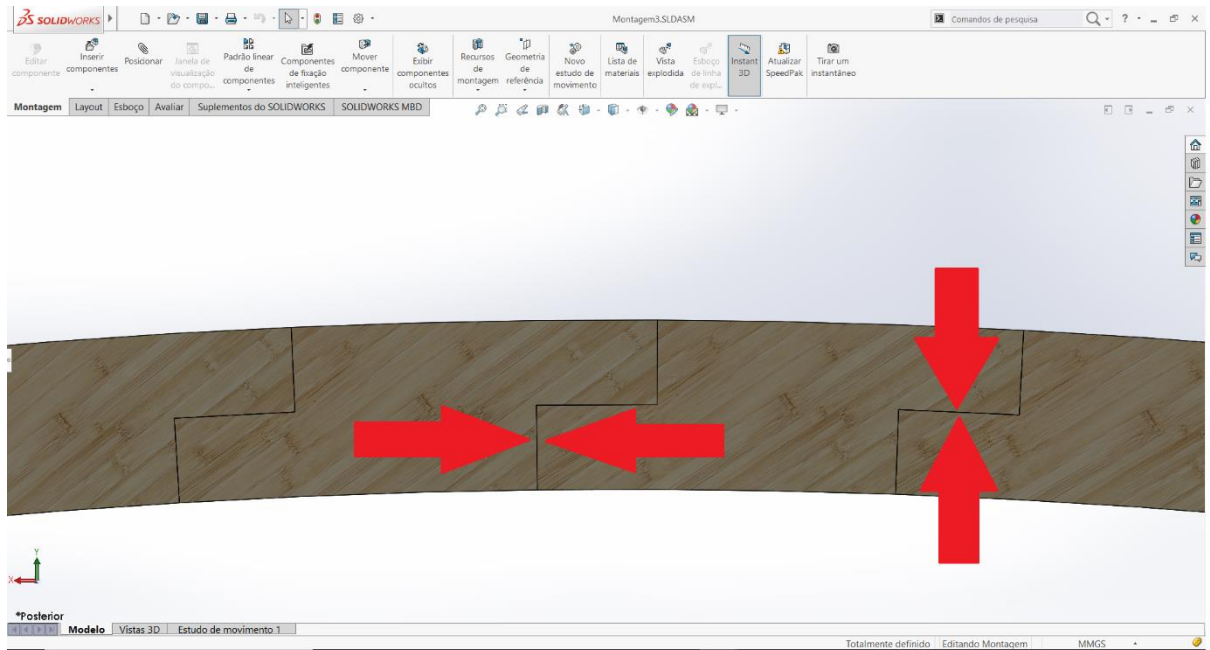


Figura 42 - Tensões necessárias para a união das partes

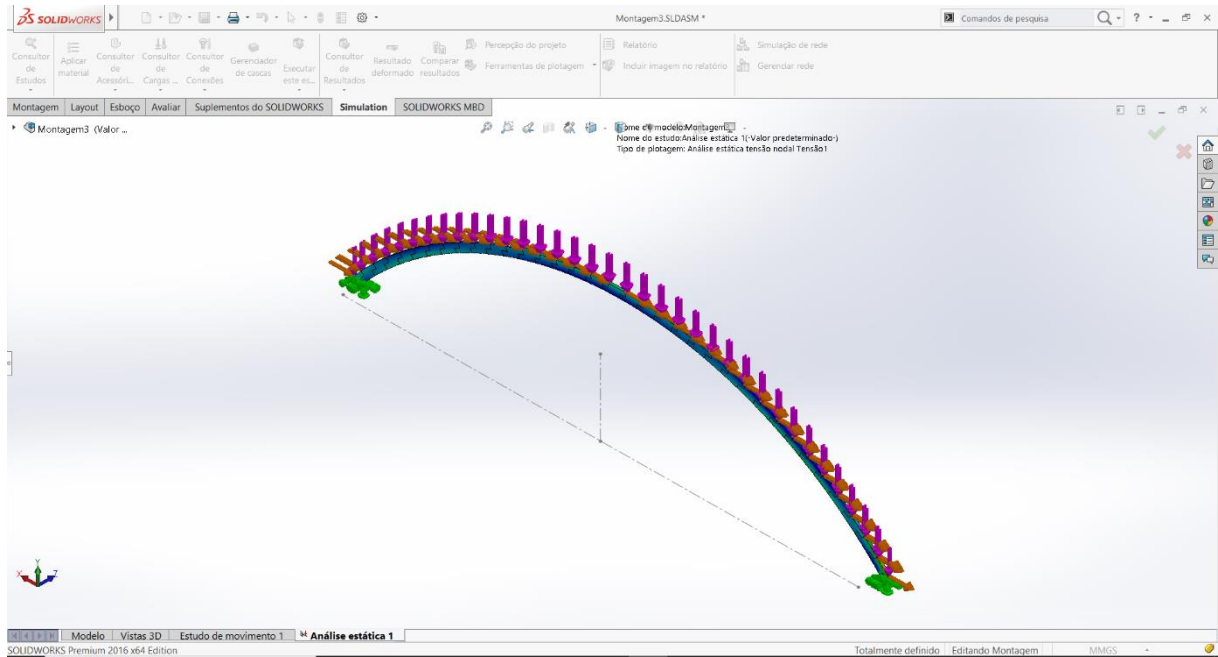


Figura 43 - Análise Estática para maior viga-pilar formada por encaixes

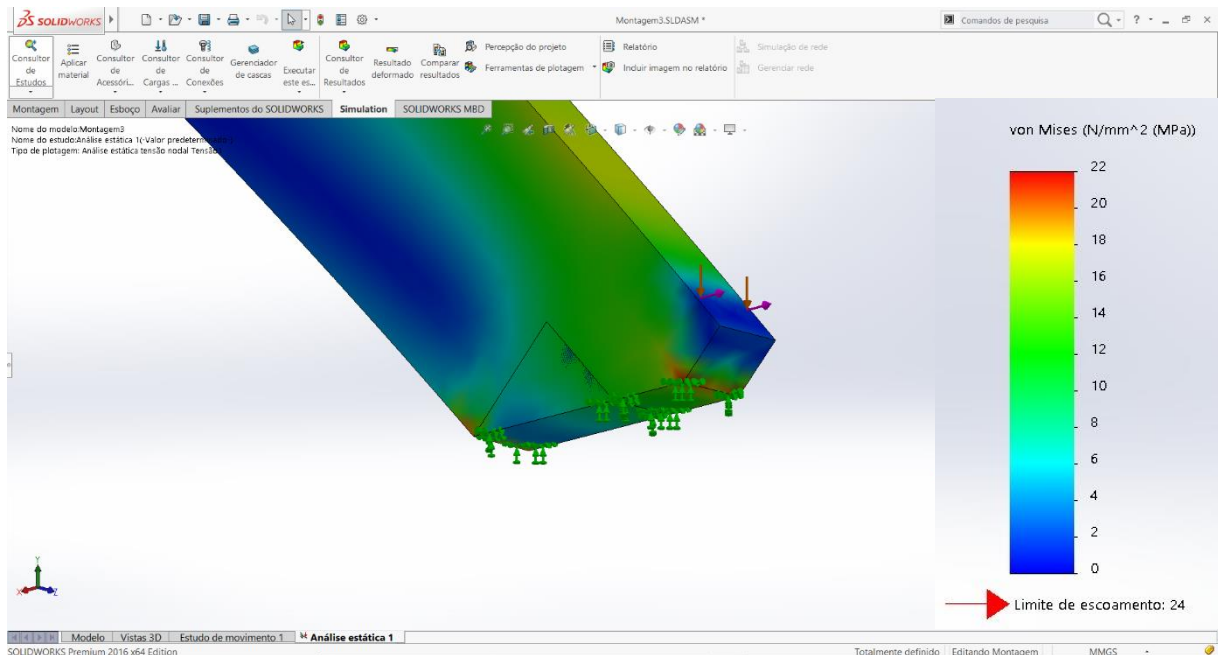


Figura 44 - Ponto de maior tensão de von Mises

A análise estática mostrou que a estrutura montada com os encaixes suportou as tensões aplicadas, pois a tensão máxima foi de aproximadamente 22 Mpa e foi na parte próxima a fixação com o solo, podendo ser facilmente corrigida reforçando o nó aonde essa tensão chegou a esse valor. Para cada análise estática realizada o SolidWorks produziu um relatório e estes relatórios estão disponíveis em anexo.

## Capítulo 4

### 4. *Considerações Finais*

#### 4.1. **Conclusões**

Com a disposição das viga-pilares observada, pode-se perceber que a estrutura seguiu o preceito de ser uma estrutura orgânica feita com materiais sustentáveis. Também pode-se observar que foi alcançado o objetivo de se utilizar recursos do atual Fab Lab, com a utilização do software SolidWorks e a impressora laser GCC X252.

A partir dos resultados obtidos com as análises estáticas pode-se concluir que é possível fabricar as viga-pilares com recursos do Fab Lab IPB, no caso utilizando a OUPLAN 2515, pois a maior viga-pilar suportou as forças dimensionadas com folga. Também é válido salientar que agora, com esses resultados e com a maquete fabricada, existe uma maior facilidade com a captação de recursos tanto no âmbito público quanto privado, pois foi provado que a ideia é executável e possível de ser concretizada.

Em relação ao conhecimento obtido, vários conhecimentos foram colocados a prova, como organização, pesquisa acadêmica e gestão de projetos, já outros foram obtidos durante o estudo como fundamentação do Fab Lab, construção em madeira e destaque para o aperfeiçoamento em desenho industrial no SolidWorks.

#### 4.2. **Sugestões para trabalhos futuros**

Como foi elaborado o escopo para o projeto do Fab Lab vários pontos precisam ser profundamente estudados sobre o que foi apresentado, como um cálculo de estrutura para minimizar custos, a forma com que as tensões de união dos encaixes serão aplicadas e qual o tipo de madeira lamelada que se aplica para a construção considerando preço e resistência. Posteriormente, projetos sobre a parte elétrica e climatização também são necessários para a execução total do projeto.

## Referências

1. **Solillte, Mauro Afonso, et al.** *Gerenciamento do escopo em projetos*. 3<sup>a</sup>. Rio de Janeiro : FGV, 2014.
2. *Estruturas de madeira lamelada colada em Portugal: Instrumentos para a garantia da qualidade* . **Cruz, Helena**. 2007, rpee, Vol. 1, pp. 45-56.
3. *The FAB LAB Network: A Global Platform for Digital Invention, Education and Entrepreneurship*. **Stacey, Michael**. number 1/2, 2014, Innovations/The Dynamics of Development, Vol. 9.
4. **Mikhak, Bakhitar, et al.** *Fab Lab: An Alternate Model of Ict for Development*. 0Bangalore : s.n., 2002.
5. *How to make almost anything: The Digital Fabrication Revolution*. **Gershenfeld, Neil**. 6, 2012, Foreign Affairs, Vol. 91, pp. 43-57.
6. **Eychenne, Fabien e Neves, Heloísa.** *Fab Lab: A vanguarda da nova revolução industrial*. São Paulo : Editorial Fab Lab Brasil, 2013.
7. **IO, Fab Lab.** Fab Lab Map. [Online] [Citado em: 25 de novembro de 2019.] <https://www.fablabs.io/labs/map>.
8. The Fab Lab House. **Archello**. [Online] 2019. [Citado em: 30 de Novembro de 2019.] <https://archello.com/project/the-fab-lab-house>.
9. Cella Bar: o bar mais bonito do mundo! **Homify**. [Online] [Citado em: 20 de Janeiro de 2020.] [https://www.homify.pt/livros\\_de\\_ideias/313912/cella-bar-o-bar-mais-bonito-do-mundo](https://www.homify.pt/livros_de_ideias/313912/cella-bar-o-bar-mais-bonito-do-mundo).
10. **Barbosa, Rui Manuel Teixeira.** Estruturas de madeira lamelada colada reforçada com sistemas compósitos de FRP: Análise da aderência entre os materiais. Porto : s.n., 2008.
11. **Somapil.** Madeiras do mundo. [Online] [Citado em: 30 de novembro de 2019.] <http://www.somapil.com/pt/madeira-para-estruturas>.
12. **Bonafé, Gabriel.** Madeira laminada colada vence grandes vãos e permite estruturas curvas. [Online] [Citado em: 2 de Dezembro de 2019.] [https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/madeira-laminada-colada-vence-grandes-vaos-e-permite-estruturas-curvas\\_15174\\_10\\_0](https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/madeira-laminada-colada-vence-grandes-vaos-e-permite-estruturas-curvas_15174_10_0).
13. **Neto, Carlito Carlil.** A madeira laminada colada. [Online] [Citado em: 2 de dezembro de 2019.] [http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=1473&subject=MLC&title=A%20madeira%20laminada%20colada](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1473&subject=MLC&title=A%20madeira%20laminada%20colada).
14. **Estruturas de Madeira.** *Madeira Estrutural*. [Online] [Citado em: 30 de novembro de 2019.] <https://madeiraestrutural.wordpress.com/2009/05/25/26/>.
15. **Back, N., et al.** *Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, concepção e modelagem*. Barueri : Manole, 2008.

**16. Junior, O.C. e Pacholok, M.** *Método de Projeto Assistido por Computador com Suporte ao Ensino de Engenharia*. Cobenge : s.n., 2003.

**17. 1194:1999, BS EN.** Timber structures - Glued laminated timber - Strength classes and determination of characteristic values. ICS 79.060.99; 91.080.20.

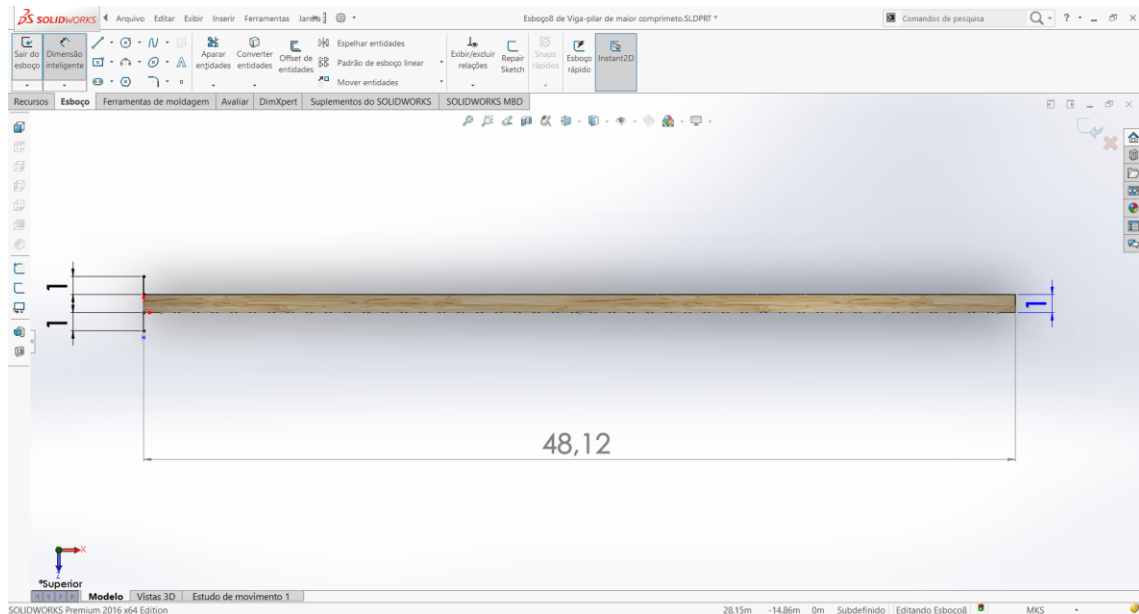
**18. 1991-1-1, NP EN.** Norma Portuguesa. *Eurocódigo 1 Ações em estruturas*. 2009. ICS 91.010.30;93.010.

**19. 1991-1-3, NP EN.** Norma Portuguesa. *Eurocódigo 1 Ações em estruturas*. 2009. ICS 91.010.30;93.010.

**20. 1991-1-4, NP EN.** Norma Portuguesa . *Eurocódigo 1 Ações em estruturas*. 2010. ICS 91.010.30.

## Anexos

### Cálculo da Força Total para a viga-pilar de maior dimensão



Para o cálculo da Força Total que a maior viga-pilar teria de aguentar é necessário saber a área tensionada que fará esforço. Como a distância da lateral de uma viga a outra é de 2 metros e a largura da viga é de 1 metro, foi dividida essa distância por 2, ou seja, cada viga fica “responsável” por metade da área. Sendo assim, 1 metro da viga anterior + 1 metro da próxima viga + 1 metro acima da própria viga temos 3 metros, como representa a imagem acima.

Como a fórmula da área é:  $A = b * h$

$A =$  área

$b =$  base

$h =$  altura

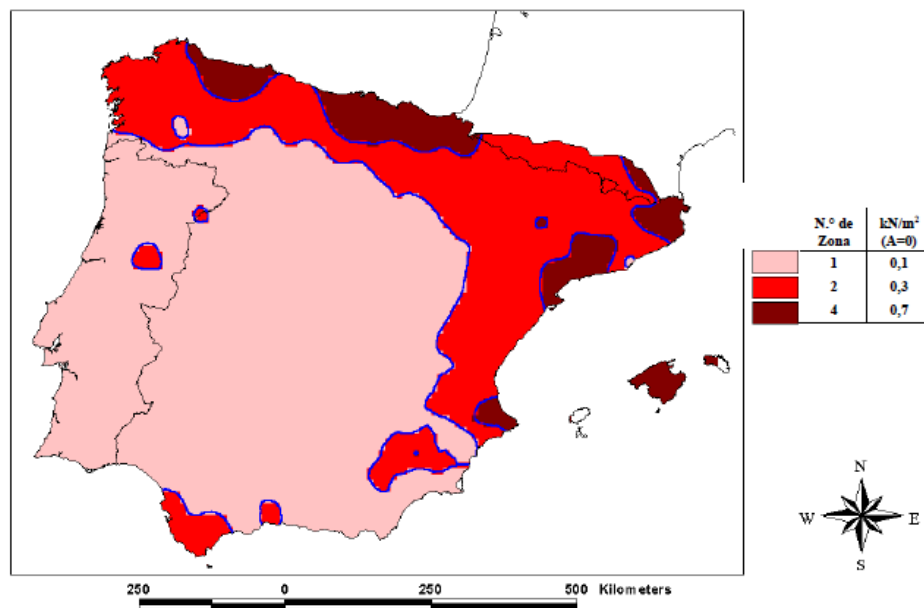
Pode-se considerar  $h = 3$  e  $b = 48,12$  m

Com isso obtém-se  $A = 144,36$  m<sup>2</sup>

Observando a norma EN 1991-1-1 na parte de sobrecargas observa-se:

Categorias de zonas de carga	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$Q_k$ [kN]
Categoria E1	7,5	7

Já na norma EN 1991-1-3, na parte de sobrecarga devido ao acúmulo de neve encontra-se:



Bragança está na zona de N<sup>o</sup> 1, mas para se ter um valor maior, será considerado a zona de N<sup>o</sup> 2.

A sobrecarga considerada será de 7,5 kN/m<sup>2</sup> seguindo a norma EN 1991-1-1, somado com a sobrecarga de neve de 0,3 kN/m<sup>2</sup> observado na norma EN 1991-1-3, totalizando 7,8 kN/m<sup>2</sup>.

Então, força total (F) será o produto da sobrecarga com a área;

Assim,  $F = 1126008 \text{ N}$ , sendo aproximado para 1200000 N para utilização na análise estática.

Para considerações sobre a ação do vento sobre a estrutura foi utilizada a norma EN 1991-1-4/2010, utilizando o tópico 8.3.2 “Força na direção x – Método Simplificado”

$$F_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{ref,x} \quad (8.2)$$

em que:

- $v_b$  valor de referência da velocidade do vento (ver 4.2(2));
- $C$  coeficiente de força do vento;  $C = c_e \cdot c_{f,x}$ , em que  $c_e$  é o coeficiente de exposição indicado em 4.5 e  $c_{f,x}$  é fornecido em 8.3.1(1);
- $A_{ref,x}$  área de referência, indicada em 8.3.1;
- $\rho$  massa volúmica do ar (ver 4.5).

*NOTA:* Os valores de  $C$  poderão ser definidos no Anexo Nacional; no Quadro 8.2 são fornecidos valores recomendados.

Todos os parâmetros foram retirados da própria norma sendo inicialmente conferido que a massa volúmica do ar é de 1,25 kg/m<sup>3</sup>

Para o valor de referência da velocidade do vento:

(2)P O valor de referência da velocidade do vento deve ser calculado através da expressão (4.1):

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad (4.1)$$

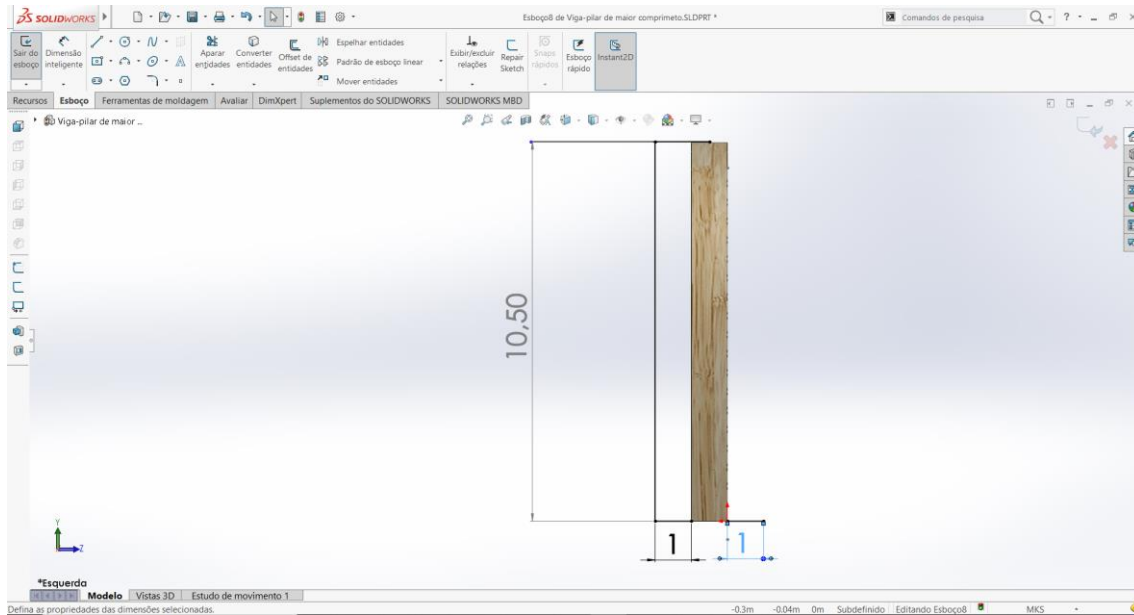
em que:

- $v_b$  valor de referência da velocidade do vento, definido em função da direcção do vento e da época do ano a uma altura de 10 m acima da superfície de um terreno da categoria II;
- $v_{b,0}$  valor básico da velocidade de referência do vento; ver (1)P;
- $c_{dir}$  coeficiente de direcção; ver a Nota 2;
- $c_{season}$  coeficiente de sazão; ver a Nota 3.

Sendo  $v_b$ , a partir da leitura da norma, considerado como 30 m/s, pelo entendimento que a categoria do terreno é a III, o coeficiente de direcção foi considerado 1 após a leitura da Nota 2 e o coeficiente de sazão foi considerado 1 após leitura da Nota 3.

Para o coeficiente de força do vento, foram considerados  $c_e$  como 2,25 a partir do tópico 4.5 e  $c_{f,x}$  como 1,3 a partir da Nota 2 do item 8.3.1

Para a área de referência foi considerado a lateral do edifício como sendo uma parede.



$$A_{ref,x} = b * h$$

Sendo novamente considerado que cada viga fica “responsável” por metade da área tensionada.

Assim,  $b = 3 \text{ m}$  e  $h = 10,5 \text{ m}$

$$A_{ref,x} = 31,5 \text{ m}^2$$

Com isso,  $F_w = 48372 \text{ N}$ , sendo utilizado 50000 na análise estática.



**Simulação de Viga-pilar  
de maior comprimento**

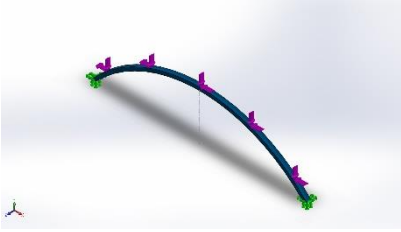
## Propriedades do estudo

<b>Nome do estudo</b>	Análise estática 1
<b>Tipo de análise</b>	Análise estática
<b>Tipo de malha</b>	Malha sólida
<b>Efeito térmico:</b>	Ativada
<b>Opção térmica</b>	Incluir cargas de temperatura
<b>Temperatura de deformação zero</b>	298 Kelvin
<b>Inclui efeitos da pressão de fluidos do SOLIDWORKS Flow Simulation</b>	Desativada
<b>Tipo de Solver</b>	FFEPlus
<b>Efeito no plano:</b>	Desativada
<b>Mola suave:</b>	Desativada
<b>Atenuação inercial:</b>	Desativada
<b>Opções de união incompatíveis</b>	Automático
<b>Grande deslocamento</b>	Desativada
<b>Calcular forças de corpo livre</b>	Ativada
<b>Atrito</b>	Desativada
<b>Usar método adaptável:</b>	Desativada
<b>Pasta de resultados</b>	Documento do SOLIDWORKS (C:\Users\João Bemfica\Documents\Documentos João\2019\Tese de mestrado\SolidWorks\simulação viga + pilar padrão-Análise estática 1\Vigas-pilares)

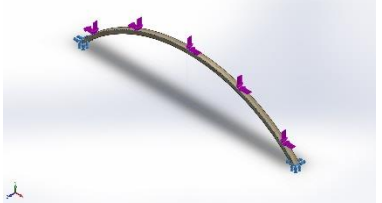
## Unidades

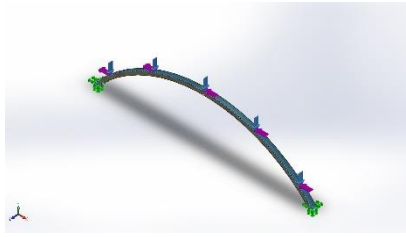
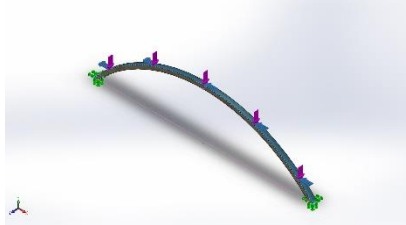
<b>Sistema de unidades:</b>	SI (MKS)
<b>Comprimento/Deslocamento</b>	mm
<b>Temperatura</b>	Kelvin
<b>Velocidade angular</b>	Rad/s
<b>Pressão/Tensão</b>	N/m <sup>2</sup>

## Propriedades do material

Referência do modelo	Propriedades	Componentes
	<p> <b>Nome:</b> Madeira Lamelada  <b>Tipo de modelo:</b> Isotrópico linear elástico  <b>Critério de falha predeterminado:</b> Tensão de von Mises máxima  <b>Limite de escoamento:</b> 2.4e+007 N/m<sup>2</sup>  <b>Resistência à tração:</b> 1.65e+007 N/m<sup>2</sup>  <b>Resistência à compressão:</b> 2.4e+007 N/m<sup>2</sup>  <b>Módulo elástico:</b> 3.9e+008 N/m<sup>2</sup>  <b>Coefficiente de Poisson:</b> 0.35  <b>Massa específica:</b> 380 kg/m<sup>3</sup>  <b>Módulo de cisalhamento:</b> 7.1e+008 N/m<sup>2</sup> </p>	<p>Corpo sólido 1(Corte-extrusão2)(maior)</p>
Dados da curva:N/A		

## Acessórios de fixação e Cargas

Nome do acessório de fixação	Imagem de acessório de fixação	Detalhes de acessório de fixação		
Fixo-1		<b>Entidades:</b> 2 face(s) <b>Tipo:</b> Geometria fixa		
<b>Forças resultantes</b>				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Força de reação(N)	49996.3	1.19999e+006	-1.5022	1.20104e+006
Momento de reação(N.m)	0	0	0	0

Nome da carga	Carregar imagem	Detalhes de carga
Força-1		<b>Entidades:</b> 1 face(s) <b>Tipo:</b> Aplicar força <b>Valores:</b> ---, ---, - 1.2e+006 N
Força-2		<b>Entidades:</b> 1 face(s) <b>Tipo:</b> Aplicar força <b>Valores:</b> ---, ---, 50000 N

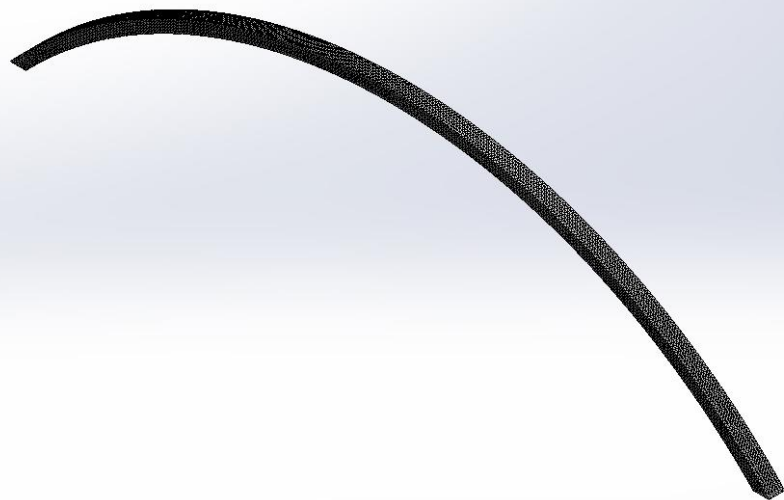
### Informações de malha

<b>Tipo de malha</b>	Malha sólida
<b>Gerador de malhas usado:</b>	Malha padrão
<b>Transição automática:</b>	Desativada
<b>Incluir loops de malha automáticos:</b>	Desativada
<b>Pontos Jacobianos</b>	4 Pontos
<b>Tamanho do elemento</b>	0.171878 m
<b>Tolerância</b>	0.00859391 m
<b>Qualidade da malha</b>	Alta

### Informações de malha - Detalhes

<b>Total de nós</b>	84635
<b>Total de elementos</b>	53594
<b>Proporção máxima</b>	3.9279
<b>% de elementos com Proporção &lt; 3</b>	99.9
<b>% de elementos com Proporção &lt; 10</b>	0
<b>% de elementos distorcidos(Jacobiana)</b>	0
<b>Tempo para conclusão da malha (hh:mm:ss):</b>	00:00:08
<b>Nome do computador:</b>	

Nome do modelo:Viga-pilar de maior comprimeto  
 Nome do estudo:Análise estática 1(-Valor predeterminado-)  
 Tipo de malha: Malha sólida



## Forças resultantes

### Forças de reação

Conjunto de seleção	Unidades	Soma X	Soma Y	Soma Z	Resultante
Modelo inteiro	N	49996.3	1.19999e+006	-1.5022	1.20104e+006

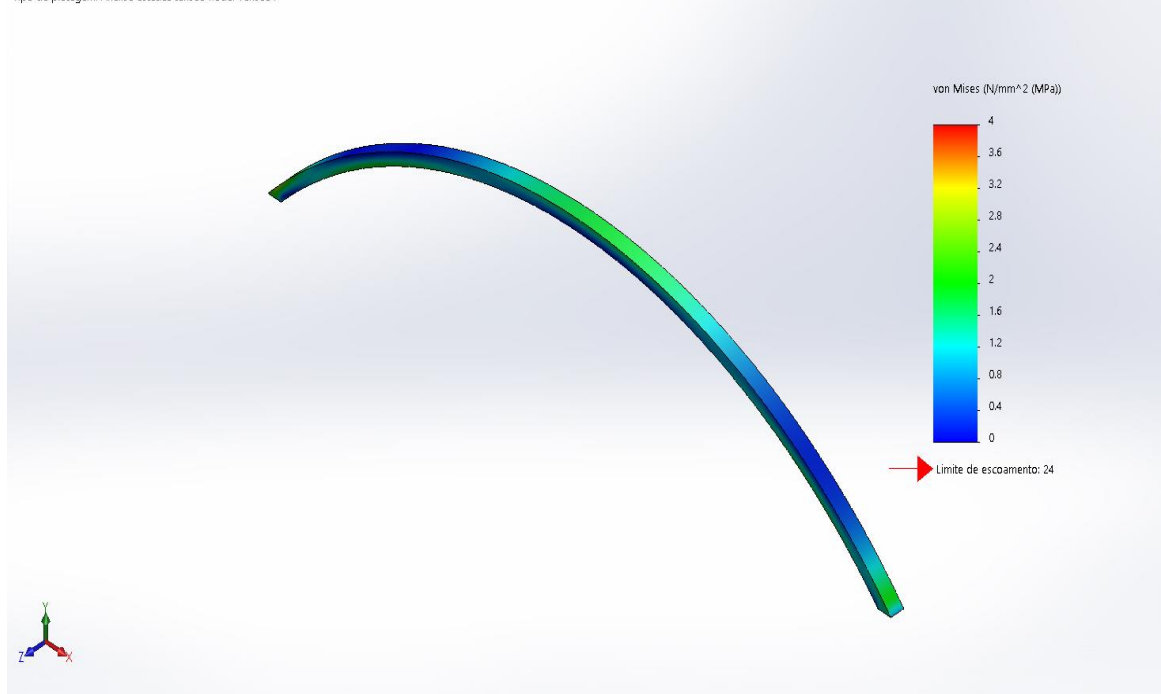
### Momentos de reação

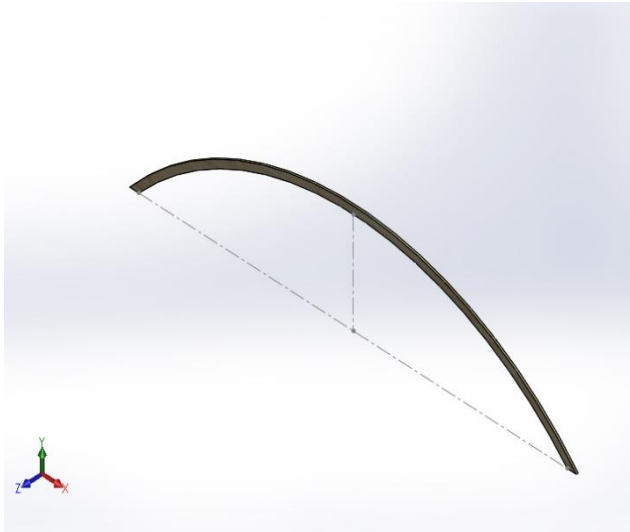
Conjunto de seleção	Unidades	Soma X	Soma Y	Soma Z	Resultante
Modelo inteiro	N.m	0	0	0	0

## Resultados do estudo

Nome	Tipo	Mín.	Máx.
Tensão1	VON: tensão de von Mises	0.00112146 N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nó: 52224	3.3589 N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nó: 3522
Viga-pilar de maior comprimeto-Análise estática 1-Tensão-Tensão1			

Nome do modelo: Viga-pilar de maior comprimeto  
 Nome do estudo: Análise estática 1 (Valor predeterminado)  
 Tipo de plotagem: Análise estática tensão nodal Tensão1





**Simulação da viga-pilar de maior dimensão com perfil ajustado**

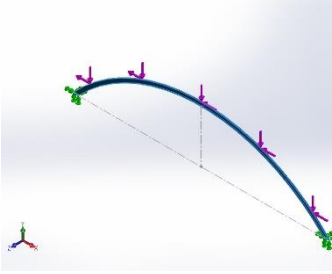
## Propriedades do estudo

<b>Nome do estudo</b>	Análise estática 1
<b>Tipo de análise</b>	Análise estática
<b>Tipo de malha</b>	Malha sólida
<b>Efeito térmico:</b>	Ativada
<b>Opção térmica</b>	Incluir cargas de temperatura
<b>Temperatura de deformação zero</b>	298 Kelvin
<b>Inclui efeitos da pressão de fluidos do SOLIDWORKS Flow Simulation</b>	Desativada
<b>Tipo de Solver</b>	FFEPlus
<b>Efeito no plano:</b>	Desativada
<b>Mola suave:</b>	Desativada
<b>Atenuação inercial:</b>	Desativada
<b>Opções de união incompatíveis</b>	Automático
<b>Grande deslocamento</b>	Desativada
<b>Calcular forças de corpo livre</b>	Ativada
<b>Atrito</b>	Desativada
<b>Usar método adaptável:</b>	Desativada

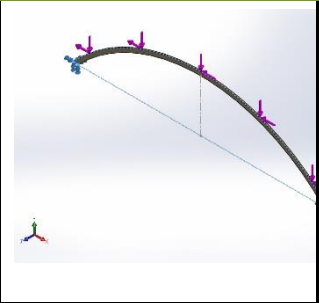
## Unidades

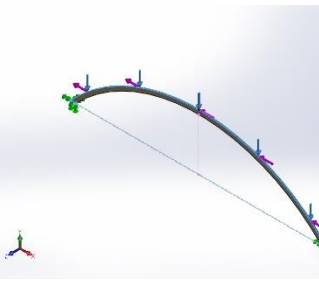
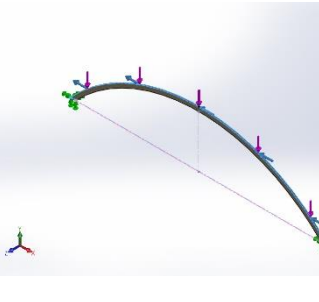
<b>Sistema de unidades:</b>	SI (MKS)
<b>Comprimento/Deslocamento</b>	mm
<b>Temperatura</b>	Kelvin
<b>Velocidade angular</b>	Rad/s
<b>Pressão/Tensão</b>	N/m <sup>2</sup>

## Propriedades do material

Referência do modelo	Propriedades	Componentes
	<p><b>Nome:</b> Madeira Lamelada</p> <p><b>Tipo de modelo:</b> Isotrópico linear elástico</p> <p><b>Critério de falha predeterminado:</b> Desconhecido</p> <p><b>Limite de escoamento:</b> 2.4e+007 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Resistência à tração:</b> 1.65e+007 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Resistência à compressão:</b> 2.4e+007 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Módulo elástico:</b> 3.9e+008 N/m<sup>2</sup></p> <p><b>Coefficiente de Poisson:</b> 0.35</p> <p><b>Massa específica:</b> 380 kg/m<sup>3</sup></p> <p><b>Módulo de cisalhamento:</b> 7.1e+008 N/m<sup>2</sup></p>	<p><b>Corpo sólido 1(Corte-extrusão2)(maior)</b></p>
<p><b>Dados da curva:</b>N/A</p>		

## Acessórios de fixação e Cargas

Nome do acessório de fixação	Imagem de acessório de fixação	Detalhes de acessório de fixação		
Fixo-1		<p><b>Entidades:</b> 2 face(s)</p> <p><b>Tipo:</b> Geometria fixa</p>		
<b>Forças resultantes</b>				
<b>Componentes</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Resultante</b>
<b>Força de reação(N)</b>	50006	1.20002e+006	1.69043	1.20106e+006
<b>Momento de reação(N.m)</b>	0	0	0	0

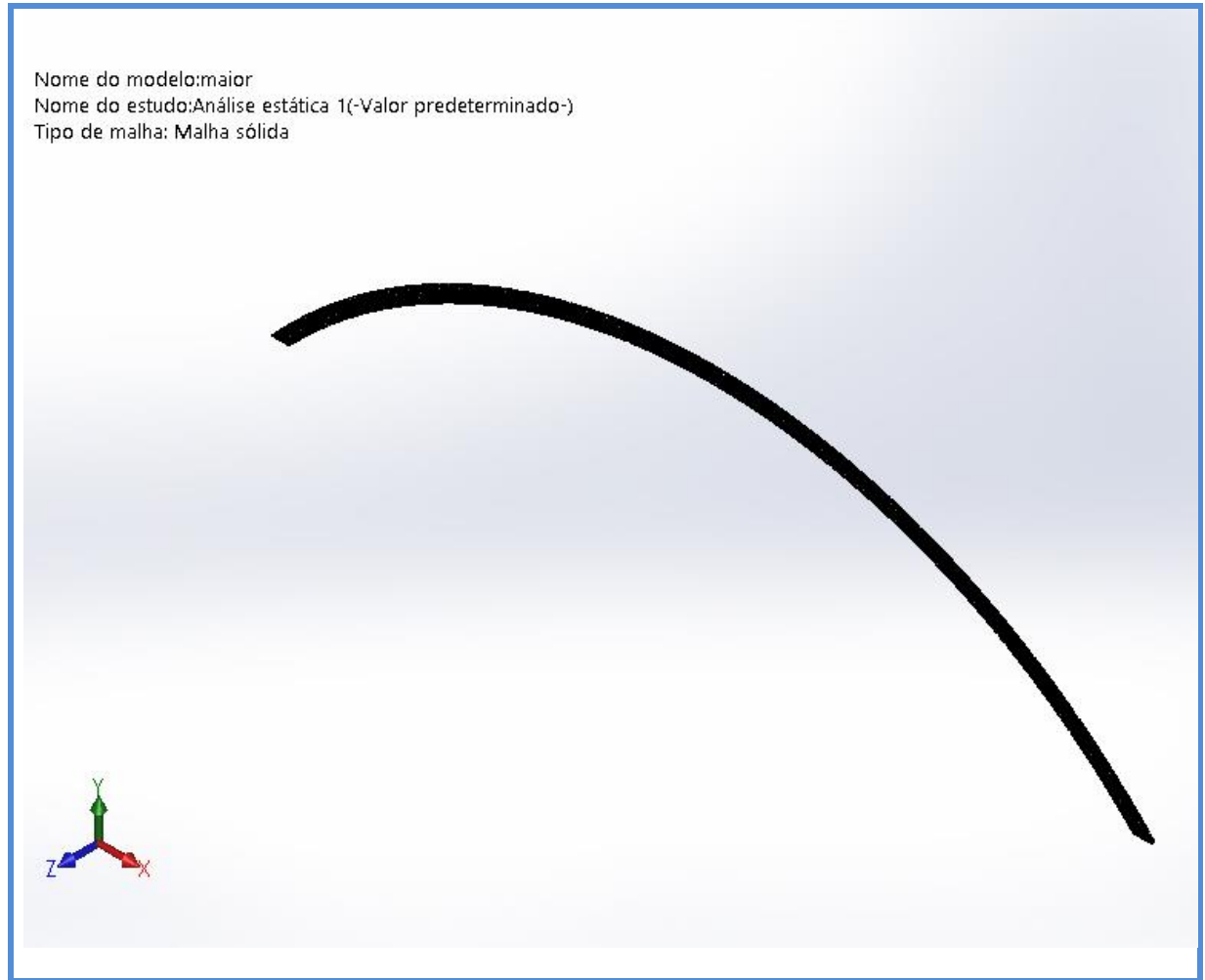
Nome da carga	Carregar imagem	Detalhes de carga
Força-1		<p><b>Entidades:</b> 1 face(s)</p> <p><b>Tipo:</b> Aplicar força</p> <p><b>Valores:</b> ---, ---, 1.2e+006 N</p>
Força-2		<p><b>Entidades:</b> 1 face(s)</p> <p><b>Tipo:</b> Aplicar força</p> <p><b>Valores:</b> ---, ---, 50000 N</p>

## Informações de malha

<b>Tipo de malha</b>	Malha sólida
<b>Gerador de malhas usado:</b>	Malha padrão
<b>Transição automática:</b>	Desativada
<b>Incluir loops de malha automáticos:</b>	Desativada
<b>Pontos Jacobianos</b>	4 Pontos
<b>Tamanho do elemento</b>	0.09903 m
<b>Tolerância</b>	0.0049515 m
<b>Qualidade da malha</b>	Alta

## Informações de malha - Detalhes

<b>Total de nós</b>	103742
<b>Total de elementos</b>	62133
<b>Proporção máxima</b>	5.2306
<b>% de elementos com Proporção &lt; 3</b>	100
<b>% de elementos com Proporção &lt; 10</b>	0
<b>% de elementos distorcidos(Jacobiana)</b>	0
<b>Tempo para conclusão da malha (hh:mm:ss):</b>	00:00:14



## Forças resultantes

### Forças de reação

Conjunto de seleção	Unidades	Soma X	Soma Y	Soma Z	Resultante
Modelo inteiro	N	50006	1.2e+006	1.69043	1.2e+006

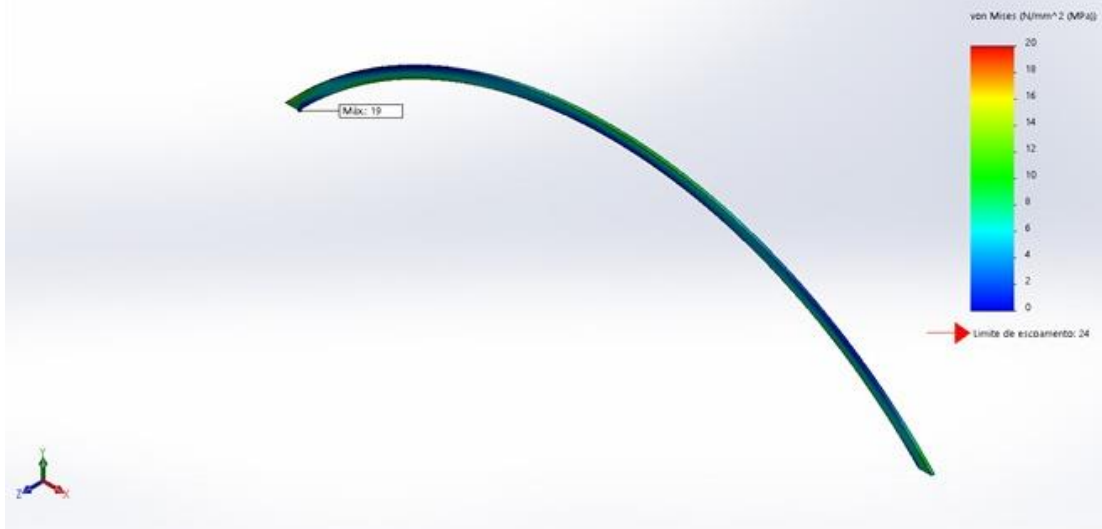
### Momentos de reação

Conjunto de seleção	Unidades	Soma X	Soma Y	Soma Z	Resultante
Modelo inteiro	N.m	0	0	0	0

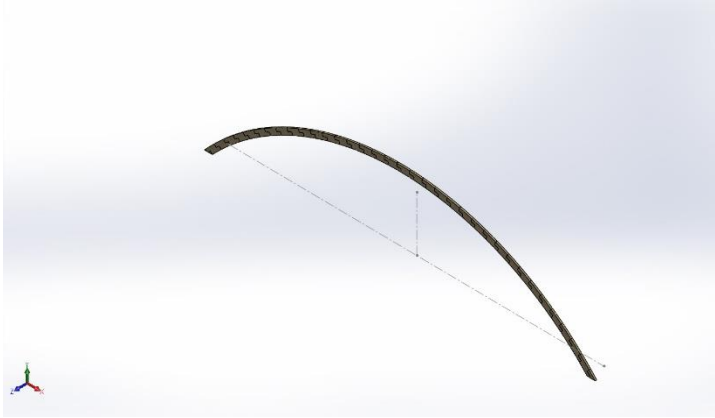
## Resultados do estudo

Nome	Tipo	Mín.	Máx.
<b>Tensão1</b>	VON: tensão de von Mises	0.000682975 N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nó: 40016	18.9369 N/mm <sup>2</sup> (MPa) Nó: 1

Nome do modelo: maior  
Nome do estudo: Análise estática 1!-(Valor predeterminado-)  
Tipo de plotagem: Análise estática tensão nodal Tensão1



maior-Análise estática 1-Tensão-Tensão1



**Simulação da viga-pilar maior  
feita com encaixes**

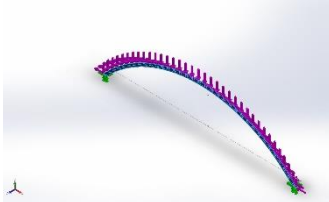
## Propriedades do estudo

<b>Nome do estudo</b>	Análise estática 1
<b>Tipo de análise</b>	Análise estática
<b>Tipo de malha</b>	Malha sólida
<b>Efeito térmico:</b>	Ativada
<b>Opção térmica</b>	Incluir cargas de temperatura
<b>Temperatura de deformação zero</b>	298 Kelvin
<b>Inclui efeitos da pressão de fluidos do SOLIDWORKS Flow Simulation</b>	Desativada
<b>Tipo de Solver</b>	FFEPlus
<b>Efeito no plano:</b>	Desativada
<b>Mola suave:</b>	Desativada
<b>Atenuação inercial:</b>	Desativada
<b>Opções de união incompatíveis</b>	Automático
<b>Grande deslocamento</b>	Desativada
<b>Calcular forças de corpo livre</b>	Ativada
<b>Atrito</b>	Desativada
<b>Usar método adaptável:</b>	Desativada

## Unidades

<b>Sistema de unidades:</b>	SI (MKS)
<b>Comprimento/Deslocamento</b>	mm
<b>Temperatura</b>	Kelvin
<b>Velocidade angular</b>	Rad/s
<b>Pressão/Tensão</b>	N/m <sup>2</sup>

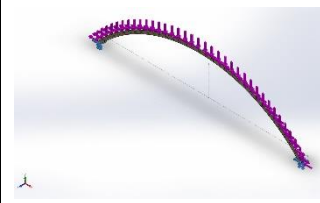
## Propriedades do material

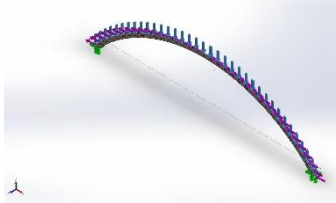
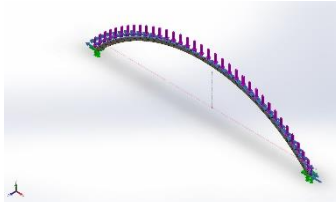
Referência do modelo	Propriedades	Componentes
	Nome: <b>Madeira Lamelada</b>	Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-1),
	Tipo de modelo: <b>Isotrópico linear elástico</b>	Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-10),
	Critério de falha predeterminado: <b>Desconhecido</b>	Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-10),
	Limite de escoamento: <b>2.4e+007 N/m<sup>2</sup></b>	Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-11),
	Resistência à tração: <b>1.65e+007 N/m<sup>2</sup></b>	Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-12),
	Resistência à compressão: <b>2.4e+007 N/m<sup>2</sup></b>	Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-13),
	Módulo elástico: <b>3.9e+008 N/m<sup>2</sup></b>	Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-14),
	Coefficiente de Poisson: <b>0.35</b>	Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-15),
	Massa específica: <b>380 kg/m<sup>3</sup></b>	Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-16),
	Módulo de cisalhamento: <b>7.1e+008 N/m<sup>2</sup></b>	Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-18),
		Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-19),
		Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-2),
		Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-20),
	Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-21),	
	Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-22),	
	Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-23),	
	Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-25),	
	Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-26),	

		<p>Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-27), Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-28), Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-29), Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-3), Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-30), Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-31), Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-32), Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-33), Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-34), Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-35), Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-36), Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-38), Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-4), Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-40), Corpo sólido 2(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-40), Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-5), Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-6), Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-7),</p>
--	--	---

		Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-8), Corpo sólido 1(Ressalto-extrusão1)(primeiro encaixe com travas-9)
Dados da curva:N/A		

## Acessórios de fixação e Cargas

Nome do acessório de fixação	Imagem de acessório de fixação	Detalhes de acessório de fixação		
Fixo-1		<b>Entidades:</b> 4 face(s) <b>Tipo:</b> Geometria fixa		
<b>Forças resultantes</b>				
<b>Componentes</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>Resultante</b>
<b>Força de reação(N)</b>	50006.5	1.19949e+006	-0.251465	1.20053e+006
<b>Momento de reação(N.m)</b>	0	0	0	0

Nome da carga	Carregar imagem	Detalhes de carga
Força-1		<b>Entidades:</b> 35 face(s) <b>Tipo:</b> Aplicar força <b>Valores:</b> ---, ---, 1.2e+006 N
Força-2		<b>Entidades:</b> 35 face(s) <b>Tipo:</b> Aplicar força <b>Valores:</b> ---, ---, 50000 N

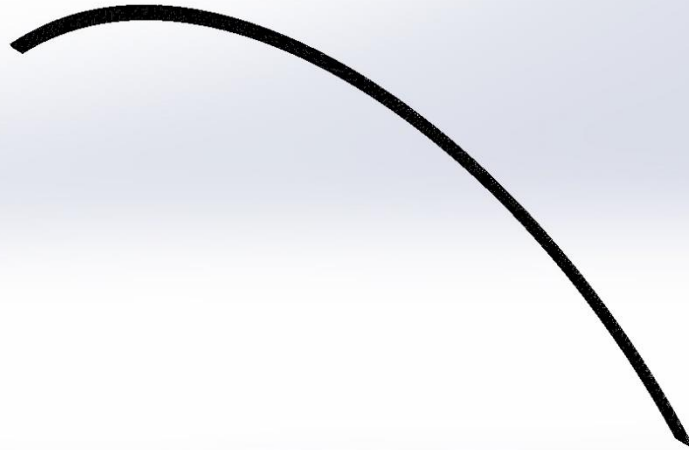
## Informações de malha

<b>Tipo de malha</b>	Malha sólida
<b>Gerador de malhas usado:</b>	Malha padrão
<b>Transição automática:</b>	Desativada
<b>Incluir loops de malha automáticos:</b>	Desativada
<b>Pontos Jacobianos</b>	4 Pontos
<b>Tamanho do elemento</b>	108.521 mm
<b>Tolerância</b>	5.42604 mm
<b>Qualidade da malha</b>	Alta
<b>Refazer malha de peças falhas com malha incompatível</b>	Desativada

### Informações de malha - Detalhes

<b>Total de nós</b>	76735
<b>Total de elementos</b>	43638
<b>Proporção máxima</b>	3.8705
<b>% de elementos com Proporção &lt; 3</b>	99.7
<b>% de elementos com Proporção &lt; 10</b>	0
<b>% de elementos distorcidos(Jacobiana)</b>	0
<b>Tempo para conclusão da malha (hh:mm:ss):</b>	00:00:29

Nome do modelo: Montagem3  
 Nome do estudo: Análise estática 1(-Valor predeterminado-)  
 Tipo de malha: Malha sólida



### Forças resultantes

#### Forças de reação

Conjunto de seleção	Unidades	Soma X	Soma Y	Soma Z	Resultante
Modelo inteiro	N	50006.5	1.19949e+006	-0.251465	1.20053e+006

#### Momentos de reação

Conjunto de seleção	Unidades	Soma X	Soma Y	Soma Z	Resultante
Modelo inteiro	N.m	0	0	0	0

## Resultados do estudo

