

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**GABRIEL OSTAPIV**

**PROJETO E SIMULAÇÃO DE MULETA ALTA FEITA DE BAMBU**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO**

**2020**

GABRIEL OSTAPIV

**PROJETO E SIMULAÇÃO DE MULETA ALTA FEITA DE BAMBU**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica – DAMEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Fabiano Ostapiv

PATO BRANCO

2020

## FOLHA DE APROVAÇÃO

### Projeto E Simulação De Muleta Alta Feita De Bambu

Gabriel Ostapiv

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado no dia 20/10/2020 como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Mecânico, do curso de Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Pato Branco (UTFPR-PB). O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora julgou o trabalho **APROVADO**.

---

Prof. Dr. Bruno Bellini Medeiros  
(UTFPR – Departamento de Mecânica)

---

Prof. Dr. Fabio Rodrigo Mandello Rodrigues  
(UTFPR – Departamento de Mecânica)

---

Prof. Dr. Fabiano Ostapiv  
(UTFPR – Departamento de Mecânica)  
Orientador

---

Prof. Dr. Paulo Cezar Adamczuk  
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Mecânica

\*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Mecânica

## RESUMO

OSTAPIV, Gabriel. **Projeto e simulação de muleta alta feita de bambu** 2020. 56 p. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campus Pato Branco, 2020.

Muletas são equipamentos essenciais para o auxílio de pessoas que possuem algum tipo de limitação temporária ou permanente na locomoção, mas o seu uso frequente pode causar diversos tipos de lesões, principalmente nas axilas e nos pulsos dos usuários, devido à pressão causada pela reação dos apoios sobre estas partes do corpo humano. Este trabalho tem como objetivo principal construir e testar protótipos de uma muleta alta de bambu, com formato inovador sendo mais alta do que o usuário. Espera-se que este tipo de muleta permita diminuir o índice de lesões por uso frequente, bem como ampliar as funções do equipamento possibilitando a utilização de acessórios como guarda chuveiros, e lanternas, uma vez que é difícil o seu uso devido ao fato de o usuário estar com as duas mãos ocupadas no deslocamento. Ainda neste trabalho foram desenvolvidas análises computacionais numéricas sobre um modelo virtual da nova muleta de bambu, buscando avaliar as deflexões sobre o equipamento, causados por esforços mecânicos de carregamento vertical. Pedacos de colmos de bambu da espécie *Phyllostachys aurea*, também conhecida como cana-da-índia, provenientes de varas de pesca, vendidas comercialmente, foram utilizados como material estrutural no protótipo. O objetivo do uso de varas de pesca é permitir a fácil reprodução bem como a redução do custo produtivo, com o intuito de tornar este tipo de muleta acessível à população de baixa renda. A simulação numérica computacional foi realizada com o software *ANSYS academic*, da *Workbench*, usado para análises estruturais de geometrias complexas, e para a criação e melhoria de protótipos. Como resultado a muleta simulada, fabricada e testada mostrou-se mecanicamente resistente, de fácil construção, baixo custo e funcionalmente eficiente, agregando novas funções em relação ao equipamento tradicional. Conforme resultados da simulação numérica, ocorre um deslocamento máximo na região crítica da muleta, foi de cerca de 1,9 mm, tendendo a abrir o arco superior da muleta, quando aplicada a carga de pico encontrada por Goh *et al* (1986). Os testes de campo sugeriram que a muleta cumpriu o objetivo de diminuir a pressão e o desconforto nas axilas do usuário, devido ao uso dos tirantes elásticos e cintas acolchoadas com velcro; e se mostrou funcional, suportando o peso de uma pessoa de 80 kg.

**Palavras-chaves:** Muleta alta, inovação tecnológica, simulação numérica, ANSYS, protótipos de bambu

## ABSTRACT

OSTAPIV, Gabriel. Design and simulation of tall crutch made of bamboo. 2020. Completion of course work - Coordinator of Mechanical Engineering - DAMEC of the Federal Technological University of Paraná - UTFPR. Pato Branco, 2020.

Crutches are essential equipment to help people who have some kind of temporary or permanent limitation in locomotion, but frequent use can cause several types of injuries, especially in the users' armpits and wrists, due to the pressure caused by the reaction of the supports on these parts of the human body. This work has as main objective to build and test prototypes of a tall bamboo crutch, with an innovative shape being taller than the user. It is expected that this type of crutch will reduce the rate of injuries from frequent use, as well as expand the functions of the equipment, making it possible to use accessories such as umbrellas and lanterns, since its use is difficult due to the fact that the user with both hands busy when traveling. Still in this work, numerical computational analyzes were developed on a virtual model of the new bamboo crutch, seeking to evaluate the deflections on the equipment, caused by mechanical efforts of vertical loading. Pieces of bamboo stalks of the species *Phyllostachys aurea*, also known as cane-india, from fishing rods, sold commercially, were used as structural material in the prototype. The purpose of using fishing rods is to allow easy reproduction as well as to reduce the productive cost, in order to make this type of crutch accessible to the low-income population. The computer numerical simulation was performed with the ANSYS academic software, from Workbench, used for structural analysis of complex geometries, and for the creation and improvement of prototypes. As a result, the simulated, manufactured and tested crutch proved to be mechanically resistant, easy to build, low cost and functionally efficient, adding new functions compared to traditional equipment. According to the results of the numerical simulation, there is a maximum displacement in the critical region of the crutch, it was about 1.9 mm, tending to open the upper arch of the crutch, when the peak load found by Goh et al (1986) was applied. The field tests suggested that the crutch fulfill the objective of reducing pressure and discomfort in the user's armpits, due to the use of elastic straps and velcro-padded straps; and proved to be functional, supporting the weight of an 80 kg person.

**Keywords:** Tall crutches, technologic innovation, bamboo prototypes, numerical simulation, ANSYS.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Bambuzal de <i>Phyllostachys aurea</i> , Pato Branco – Pr.....	16
Figura 2 – Construção usando bambu.....	19
Figura 3 – Par de muletas axilares e canadenses.....	20
Figura 4 – Muleta de bambu.....	21
Figura 5 – Malha, elementos e nós em um modelo geométrico computacional.....	23
Figura 6 – Exemplo de elemento finito unidimensional.....	24
Figura 7 – Exemplo de treliça.....	24
Figura 8 – Forças uniaxiais em uma muleta axilar.....	25
Figura 9 – Muleta axilar com cintas para auxílio da sustentação.....	26
Figura 10 – Muleta axilar com cintas para auxílio da sustentação.....	26
Figura 11 – Acessório para elevação das pernas do paciente.....	27
Figura 12 – Muleta com suporte para guarda chuva.....	27
Figura 13 – Peças usadas para as medições de diâmetro e espessura.....	30
Figura 14 – Regiões da muleta.....	31
Figura 15 – Simplificação do modelo geométrico.....	32
Figura 16 – Distribuição das forças aplicadas.....	33
Figura 17 – Malha empregada com diferentes diâmetros, na região inferior, média e superior a muleta.....	34
Figura 18 – Rolo de fio de sisal, e abraçadeiras de nylon.....	35
Figura 19 – Suporte de borracha (pé da muleta) e de madeira (mão e axila).....	35
Figura 20 – Varas de bambu.....	36
Figura 21 – Cinta acolchoada com velcro.....	38
Figura 22 – Malha e deslocamento máximo no modelo.....	39
Figura 23 – Malha e deslocamento total na muleta com reforço.....	40
Figura 24 – Protótipo 1.....	41
Figura 25 – Cinta dupla.....	41
Figura 26 – Protótipo 2.....	42
Figura 27 – Acessórios para muleta alta.....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Energia incorporada nos materiais construtivos.....	17
Tabela 2 - Valores médios de resistência e módulo de elasticidade.....	18
Tabela 3 - Materiais utilizados no protótipo .....	34
Tabela 4 - Valores medidos de diâmetro e espessura, para a base, meio e topo da . muleta alta .....	37
Tabela 5 - Materiais utilizados e seus valores (valores referentes a novembro 2019) . ....	42

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>12</b>
1.1 OBJETIVOS	13
1.1.1 Objetivo Principal	13
1.1.2 Objetivos Específicos	13
1.2 justificativa	13
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>15</b>
2.1 BAMBU	15
2.1.1 Bambu e meio ambiente	16
2.1.2 Propriedades mecânicas dos colmos de bambu	17
2.1.3 O uso de bambu na engenharia	18
2.2 MULETAS	19
2.2.1 Muletas axilares e canadenses	19
2.2.2 Lesões relacionadas ao uso de muletas	20
2.2.3 Muletas de bambu	21
2.3 MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS (MEF)	22
2.3.1 Elementos finitos unidimensionais	23
2.3.2 Forças atuantes em uma muleta durante o seu uso	24
2.4 PATENTES	25
2.5 Inovação tecnológica	28
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>29</b>
3.1 PROCEDIMENTO PARA A ANÁLISE POR ELEMENTOS FINITOS	29
3.2 ANÁLISE DIMENSIONAL DOS COLMOS	29
3.3 SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA MULETA	31
3.3.1 Carregamentos e condições de contorno	33
3.4 A FABRICAÇÃO DO PROTÓTIPO	33
3.4.1 Materiais e equipamentos para a fabricação do protótipo	33



3.5 OS TIRANTES DE SUSTENTAÇÃO .....	35
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>37</b>
4.1 MEDIÇÕES.....	37
4.2 RESULTADOS DA SIMULAÇÃO.....	38
4.3 PROTÓTIPO.....	40
4.4 NOVAS FUNÇÕES PARA A MULETA ALTA.....	42
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	<b>44</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>46</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>49</b>
<b>APÊNDICE B .....</b>	<b>54</b>



## 1 INTRODUÇÃO

As muletas são equipamentos essenciais para o auxílio de pessoas que possuem algum tipo de limitação temporária ou permanente na locomoção. Porém, o seu uso frequente pode causar diversos tipos de lesões nas axilas e pulsos dos usuários, devido à pressão causada pela reação nos apoios, elementos necessários para a sustentação do peso corporal durante a movimentação do usuário com as muletas.

Atualmente, os principais os principais materiais utilizados na construção das muletas são: madeira, alumínio e polímeros, estes últimos com alto custo, dificultando a aquisição para o consumidor de baixa renda. Deste modo, torna-se desejável o uso de um material mais barato, que seja capaz de desempenhar as mesmas funções dos materiais tradicionais usados na fabricação de muletas, sem diminuir a confiabilidade e a qualidade do produto.

Um fator que vem se tornando cada vez mais importante no desenvolvimento de novos produtos é a busca por um maior grau de sustentabilidade. Deste modo, tem aumentado gradativamente, o uso de materiais alternativos para construção de produtos, que causem menos impactos negativos ao meio ambiente, na sua produção, durante o seu uso e após o seu descarte.

O bambu é um material natural com alto grau de sustentabilidade, um composto natural formado de fibras de celulose em uma matriz de lignina. É leve, confiável, estável e possui boas propriedades mecânicas. Assim, torna se interessante o seu uso em diversas aplicações de engenharia, sempre que seja possível substituir os materiais de maior conteúdo energético e impacto ambiental negativo, como os metais e os polímeros derivados de petróleo, por este tipo de polímero natural.

Segundo Fuch *et al*, a palavra inovação relaciona-se ao ato de inovar, de fazer algo novo, e pode ser classificada como incremental ou radical. As inovações tecnológicas incrementais podem ser entendidas como aperfeiçoamentos contínuos e graduais de produtos, serviços ou processos já existentes, e correspondem à maior parte das inovações geradas. Assim, a muleta alta pode ser entendida como uma inovação tecnológica incremental.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Principal

O objetivo deste trabalho é projetar, simular e construir protótipos de uma muleta inovadora, mais alta que o usuário, que permite o uso de um conjunto suspensórios para os braços e outros acessórios como lanterna, guarda-chuva e bolsas de soro, chamada de muleta alta, construída com colmos de bambu *Phyllostachys aurea*.

Simular numericamente os esforços e deformações em um modelo geométrico de uma muleta alta de bambu com o auxílio do software *ANSYS Academic*, da *Workbench*, e realizar testes de campo, para que se tenham parâmetros que possam ser utilizados em projetos futuros.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Esse trabalho possui como objetivos específicos:

- Modelar geometricamente a muleta alta de bambu no *ANSYS Academic*;
- Simular o modelo geométrico usando o *ANSYS Academic*;
- Analisar as novas possibilidades de uso que caracterizam a muleta alta como uma inovação tecnológica;
- Construir um protótipo de muleta alta usando varas de pesca comerciais, (colmos de *P. Aurea*), para torna-la acessível a população de baixa renda.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Segundo Basílio *et. al* 2014, o uso de muletas axilares pode ocasionar lesões vasculares nas axilas dos usuários, podendo levar a obstrução arterial aguda, pois o trauma pelo uso de muleta sob a região axilar leva à compressão traumática repetitiva crônica da artéria axilar, possibilitando tanto a formação de aneurisma, como de espessamento da parede arterial local.

Neste trabalho foi desenvolvido um formato inovador de muletas que permite o uso de tirantes e cintas acolchoadas com velcro para sustentação dos

braços e ombros, deste modo espera-se que com o uso da muleta alta, seja possível diminuir o índice de lesões nas axilas dos usuários das muletas axilares tradicionais. Foi mostrado também que a muleta alta com suspensório é tecnicamente viável e de fácil construção.

Além do uso do conjunto de suspensão para os braços a muleta alta permite novas funções e a fixação na parte superior do equipamento, de diversos tipos de acessórios de proteção e segurança como lanterna e, guarda-chuva e bolsas de soro e medicamentos, ampliando as possibilidades terapêuticas do equipamento.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 BAMBU

O bambu é uma gramínea, pertencendo a família *Bambusoideae*. Existem mais de 1200 espécies registradas, de diferentes tamanhos e características. Cresce principalmente em regiões tropicais, como Ásia, África, América do Sul, e América Central. Por se tratar de um recurso renovável, o seu uso econômico vem crescendo gradativamente no ocidente, porém já é amplamente utilizado em países orientais principalmente na construção civil.

A espécie *Phyllostachys aurea*, mostrada na Figura 1, também conhecida como cana da Índia, que será empregada neste trabalho é conhecida no Brasil por ser muito utilizada como vara de pesca. Possui uma massa específica baixa, e diâmetro pequeno. Sua altura atinge até 12 m e diâmetro entre 2,5 e 5 cm na base. Segundo (NETO, 2016), e a densidade, média das varas de *Phyllostachys aurea* é de 0,50g/cm<sup>3</sup>.

Segundo Librelotto *et al.* (2019), no Brasil o *P. Aurea* é amplamente aproveitado como matéria prima para confecção de varas de pesca, cercas, artesanatos em geral e no meio rural para o tutoreamento de culturas hortícolas. É abundante no Brasil, possui resistência ao ataque de insetos, alta resistência mecânica e comportamento alastrante e invasivo, e por este motivo precisa ser introduzido com cautela nos ambientes.

A Figura 1 mostra as vistas externa e interna de um bambuzal de *Phyllostachys aurea*, em Pato Branco, Paraná.

**Figura 1: Bambuzal de *Phyllostachys aurea*, Pato Branco – Pr.**



**Fonte: Autoria própria, (2019).**

### 2.1.1 Bambu e meio ambiente

O bambu se desenvolve no meio ambiente, utilizando a energia do sol para sequestrar o carbono da atmosfera por meio da fotossíntese e transformá-lo em material lenhoso, e cresce abundantemente, mesmo em solo pobre.

Por se tratar de uma planta, após o fim da vida útil do elemento de bambu, o material pode ser reutilizado, ou descartado facilmente, uma vez que é biodegradável podendo ser transformado em adubo, ou queimado, aproveitando assim a sua energia em forma de calor.

O Brasil conta com a maior diversidade e o mais alto índice de florestas de bambu em toda a América Latina, representando 32% das espécies e 85% dos gêneros, sendo os Estados de São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina, Bahia e Paraná, os detentores da maior parte deste material (Londono, 1999 apud Delgado, 2011).

Por se tratar de uma gramínea tropical abundante e de rápido crescimento, possui um custo energético muito baixo, quando comparado a outros materiais como: ligas de alumínio, aço, e até mesmo a madeira, onde, segundo Oliveira (2015) a produção, o transporte, processamento, beneficiamento e vida útil também influenciam na sua energia incorporada, mostrada na Tabela 1.

**Tabela 1- Energia incorporada nos materiais construtivos.**

Material	E (MJ/Kg)	E (MJ/m <sup>3</sup> )
Alumínio	210	567.000
Aço	30	235.500
Fibra de vidro	24	768
Madeira	0,5	300
Bambu	0,19	106

Fonte: Adaptado de Ghavami (1996) e Oliveira (2015).

### 2.1.2 Propriedades mecânicas dos colmos de bambu.

Por se tratar de um material natural, existem diversos fatores que influenciam nas características mecânicas do bambu, como principalmente a idade da planta, mas também as condições climáticas, a época de colheita, o teor de umidade das amostras, os nutrientes disponíveis no solo, entre outros fatores. Assim, as propriedades mecânicas devem ser determinadas por lotes estatísticos, levando em consideração esses diversos fatores.

A estrutura do bambu consiste em fibras celulósicas incorporada em uma matriz de lignina, assim, é considerado como um compósito natural (Lakkad *et al.*, 1980). Portanto se comporta como um material ortotrópico, uma vez que as fibras de celulose estão direcionadas longitudinalmente em relação ao caule. Logo, o bambu possui uma elevada resistência a tração nesta direção, porém na direção transversal, se comporta como um material frágil, e serompe através da propagação rápida de uma trinca paralela as fibras praticamente sem deformação plástica.

A Tabela 2, adaptada de Vasata (2020), mostra os valores médios de resistência e módulo de elasticidade para a espécie de bambu *Phyllostachys aurea* (amostras com nó), para os principais autores encontrados na literatura, onde: ( $R_c$ ) é a resistência à compressão, ( $R_M$ ) à flexão e ( $R_T$ ) a tração, bem como os módulos de elasticidade médios de compressão ( $E_c$ ), flexão ( $E_M$ ) e tração ( $E_T$ ), para a base (B) e meio (M) dos colmos.



Tabela 2- Valores médios de resistência e módulo de elasticidade.

<b>Autor</b>	<b>R<sub>c</sub> (MPa)</b>	<b>R<sub>M</sub> (MPa)</b>	<b>R<sub>T</sub> (MPa)</b>	<b>E<sub>c</sub> (GPa)</b>	<b>E<sub>M</sub> GPa)</b>	<b>E<sub>T</sub> (GPa)</b>
Nascimento et al. (2008)	48,5	95,2		95,2	27,5	
Carvalho (2004 apud Pereira; Beraldo, 2007)	79,0		115,0			
Cruz (2002)	72,6 (B) 51,3 (M)		174,7(B) 220,3(M)	24,3 (B) 22,7 (M)		19,0 (B) 16,3 (M)
Vasata (2019)	215,64 (B) 205,69(M)					3,61 (B) 5,52 (M)

Fonte: Adaptado de Vasata (2020).

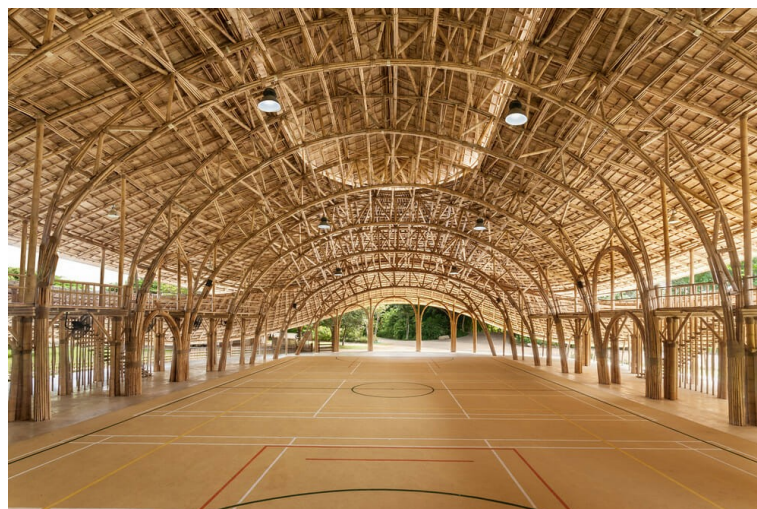
### 2.1.3 Uso do bambu na engenharia

O bambu possui baixo peso específico e alta resistência mecânica, o que o torna um excelente material na construção de estruturas em geral, podendo ser processado com o uso de ferramentas manuais, permitindo soluções rápidas e baratas. Por estes motivos, pode-se dizer que o bambu é um material adequado para a construção de muletas.

Há milhares de anos, povos asiáticos vêm utilizando o bambu como material para fabricação de utensílios domésticos, armas de guerra, pontes e habitações. Porém, foi apenas recentemente que o ocidente começou a explorar este material, em grande parte devido às possibilidades arquitetônicas e a abundância do bambu nas regiões tropicais do planeta. (VASCONSELLOS, 2004).

Segundo SOUZA (2014), o bambu possui uma alta aplicabilidade nas construções de engenharia civil, sendo muito usado como: Vigas de bambu laminado e colado, painéis de partículas orientadas, concreto reforçado pelo bambu (bambucreto), andaimes, e compósitos de fibras de bambu.

**Figura 2: Construção usando bambu.**



**Fonte: Hypheness (2019).**

## 2.2 MULETAS

As muletas são equipamentos que servem para auxiliar uma pessoa a andar quando é necessário retirar ou reduzir a carga de um ou ambos os membros inferiores durante o deslocamento. As muletas mais facilmente encontradas são as do tipo axilares e as canadenses.

### 2.2.1 Muletas axilares e canadenses

Nas muletas axilares, o indivíduo apoia o seu peso sobre as axilas e sobre o pulso, a muleta transfere a carga diretamente ao solo, deste modo permitem que o paciente ande sem apoio em um dos membros inferiores. A pressão exercida pelo apoio sobre as axilas do usuário pode atrapalhar a circulação sanguínea nesta região, podendo gerar incômodo e cansaço nos braços e cotovelos.

As muletas canadenses possuem o seu suporte próximo aos cotovelos, na região do antebraço, e um suporte mais abaixo utilizado para se fixar as mãos. São geralmente mais leves que as axilares devido ao seu tamanho mais compacto, e permitem que o usuário mantenha as mãos mais livres. Segundo Basílio *et. al* são indicadas para pessoas com lesões menos graves, que podem manter uma carga parcial no pé lesionado, aplicando assim apenas uma parcela da carga na muleta.

**Figura 3: Par de muletas axilares e canadenses.**



**Fonte: Ortoponto (2019).**

### 2.2.2 Lesões relacionadas ao uso de muletas

Segundo Basílio *et al.* (2014) o uso das muletas axilares está associado à trombose e à formação de aneurisma de artéria axilar, por um mecanismo de injúria crônica. O uso de muletas axilares pode causar lesões vasculares que levam à obstrução arterial aguda nos pacientes.

O trauma pelo uso de muleta sob a região axilar leva à compressão traumática repetitiva crônica da artéria axilar, possibilitando tanto a formação de aneurisma, como de espessamento da parede arterial local. Deste modo, as muletas do tipo canadense, devem ser preferidas à muleta de apoio axilar sempre que possível. Para Subramony, (1989), devido ao uso prolongado da muleta, as almofadas em que as axilas estão apoiadas acabam danificando os nervos locais, causando a paralisia parcial ou total dos nervos das axilas.

Segundo MacGivillivray *et al.* (2016), o uso de muletas requer muito mais energia para se locomover quando comparado com a caminhada normal, podendo levar a fadiga, e aumento dos batimentos cardíacos. Para McQuade *et al.* (2011), o uso incorreto das muletas pode depositar cerca de 34% do peso do corpo sobre as axilas, esta carga causa uma pressão excessiva sobre as estruturas neurovasculares

desta região, o que com um tempo prolongado de uso pode causar uma série de problemas como um aneurisma ou uma trombose arterial axilar.

### 2.2.3 Muletas de bambu

Diniz, (2017) construiu um protótipo de uma muleta tipo axilar de bambu da espécie *Phyllostachys aurea* na sua estrutura principal, com posição fixa para o apoio de mão, e pé de madeira furado permitindo a regulagem de altura. Os colmos de bambu neste caso foram usados apenas como substituto ao alumínio ou a madeira e mostraram um comportamento mecânico apropriado ao uso com um baixo peso final do produto.

**Figura 4: Muleta de bambu.**



**Fonte: Diniz (2017).**

## 2.3 MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS (MEF)

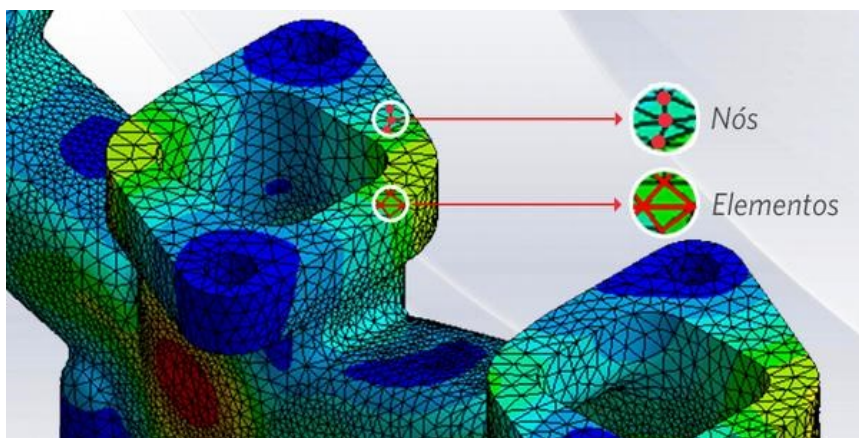
No âmbito da Engenharia de Estruturas, antes do aparecimento do MEF, a análise de tensões e deformações de meios contínuos era feita por meio da resolução dos sistemas de equações de derivadas parciais que regem o fenômeno, considerando as necessárias condições de contorno. Para aplicar esta técnica a problemas não elementares, muitas vezes era necessário o uso de séries de Fourier. Devido à sua complexidade, estes procedimentos só eram aplicáveis a meios contínuos homogêneos e de geometria simples.

Com o desenvolvimento que os computadores e conseqüentemente o MEF tiveram nas últimas décadas, passou a ser possível e viável a análise de estruturas de geometria arbitrária, constituídas por múltiplos materiais e sujeitas a qualquer tipo de carregamento. Deste modo, outros métodos, deixaram praticamente de ser usados. Atualmente, o seu interesse restringe-se ao de fornecer soluções teóricas de problemas simples para validar métodos aproximados.

O método então propõe que o número infinito de variáveis desconhecidas seja substituído por um número limitado de elementos que podem apresentar várias formas, como triangular, quadrilateral, entre outras, como são elementos de dimensões finitas são chamados de elementos finitos.

Estes elementos são conectados entre si por pontos, os quais são chamados de nós ou pontos nodais. O conjunto formado por nós e elementos (Figura 5) são chamados de malha, em função da subdivisão não podem ser resolvidas de maneira exata, mas é aproximado por esse método numérico. A precisão do método depende da quantidade de nós e elementos, do tamanho e dos tipos de elementos que compõem a malha, assim quanto mais elementos e menor o tamanho dos mesmos, maior a precisão dos resultados. (ESSS, 2020)

**Figura 5: Malha, elementos e nós em um modelo geométrico computacional.**



Fonte: ESSS (2019).

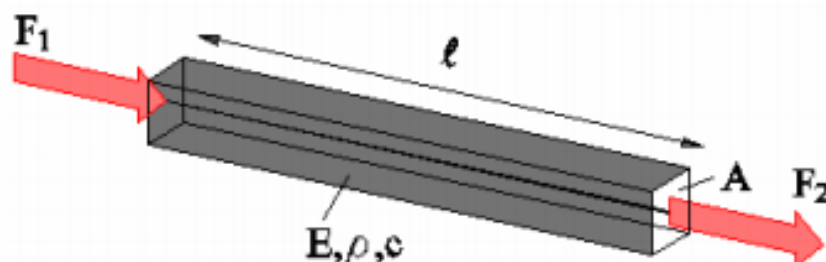
Ostapiv *et al.* (2019) compararam os valores obtidos na simulação numérica com os valores do ensaio mecânico de uma estrutura geodésica de bambu. Os autores verificaram que o bambu usado na geodésica se comportou como material linear elástico até certo limite.

### 2.3.1 Elementos finitos unidimensionais

Em uma estrutura formada por linhas, após a discretização da estrutura cada elemento é constituído por uma pequena linha formada por  $n$  nós. Cada um desses elementos tem comportamento conhecido, sendo considerados apenas os deslocamentos para cada nó e assim o comportamento total é considerado como a soma de todas as partes. Os elementos finitos unidimensionais são muito usados na simulação de treliças.

Elementos de treliça são os elementos mais simples da análise estrutural. São definidos como elementos que trabalham unicamente sob cargas axiais (tração ou compressão). São denominados elementos unidimensionais, por possuírem apenas uma dimensão predominante (PRAZERES 2005).

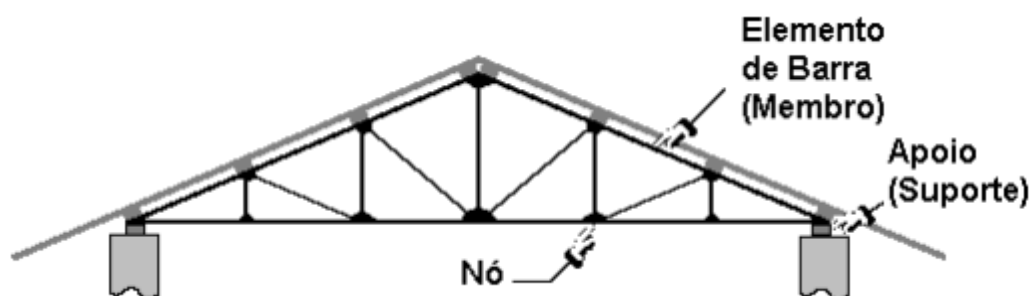
Figura 6: Exemplo de elemento finito unidimensional.



Fonte: Prazeres (2005).

Segundo Lopes *et. al* (2007), as treliças são estruturas reticuladas formadas por elementos retos, também chamados de elementos de barra, conectados por nós e submetidos somente a forças axiais. A modelagem das treliças é feita a partir de elementos unidimensionais. Assume-se, ainda, que o material dos elementos é linear-elástico e obedece à lei de Hooke e que suas deformações são pequenas.

Figura 7: Exemplo de treliça.

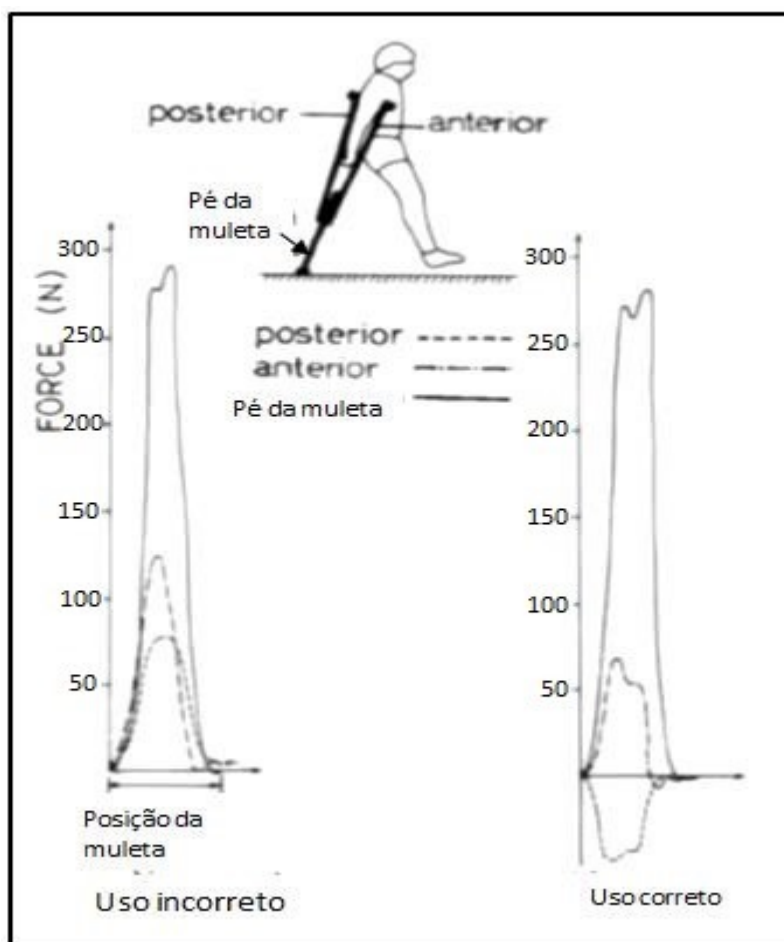


Fonte: Lopes *et. al* (2007).

### 2.3.2 Forças atuantes em uma muleta durante o seu uso

Goh *et al* (1986), fez um estudo biomecânico sobre a caminhada de uma pessoa utilizando apenas uma perna e o auxílio de muletas axilares, e constatou que as componentes de reações das forças verticais do solo, representam uma força 21,6% maior do que em uma caminhada normal. A força transmitida para o braço é de 44,4% do peso do corpo, e que as forças uniaxiais utilizando a muleta podiam alcançar picos de aproximadamente 280 N, como apresentado na Figura 8.

Figura 8: Forças uniaxiais em uma muleta axilar.



Fonte: Goh *et al.* (1986).

## 2.4 PATENTES DE MULETAS INOVADORAS

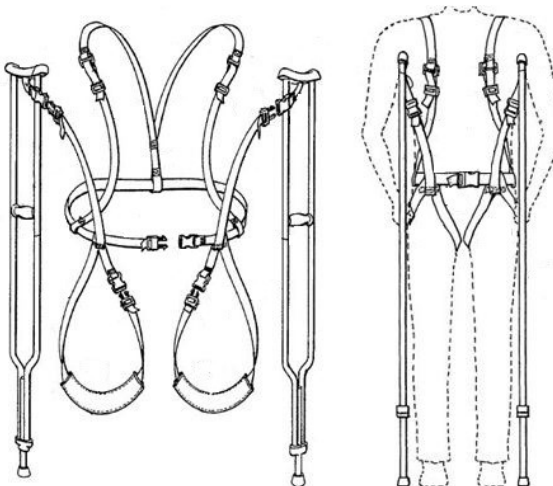
Após uma busca de anterioridade, no site do Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), e no *google patents*, para verificar nos bancos de patentes nacionais e internacionais se já foi patenteado algo relacionado ao assunto, foram encontrados alguns documentos de patente relacionados a muletas com acessórios complementares, e com cintas ou suspensórios que auxiliam na sustentação do usuário, porém aplicadas em muletas axilares convencionais. As Figuras 9, 10, 11, e 12 mostram alguns resultados encontrados.

Porter (1994) desenvolveu um sistema de sustentação da pessoa com o auxílio de cintas reguláveis ajustadas na região do tronco e nas pernas do usuário, ligadas à parte superior da muleta, conforme mostrado nas Figuras 9 e 10. Esta cinta



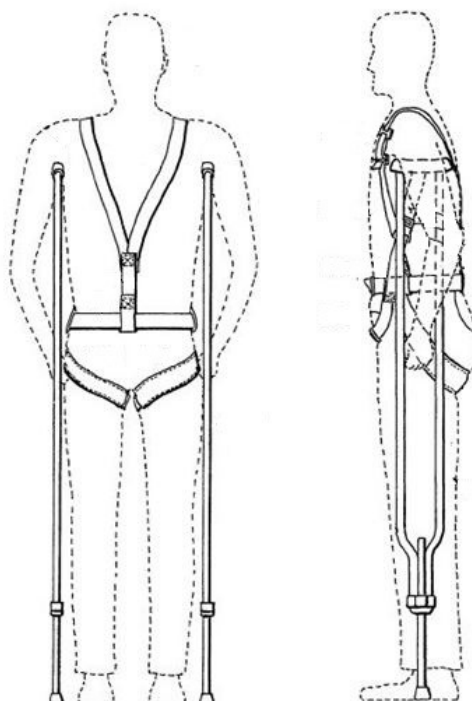
tem como objetivo auxiliar a sustentação do usuário, porém aplicada em um par de muletas axilares convencionais.

**Figura 9: Muleta axilar com cintas para auxílio da sustentação.**



Fonte: USA Patent 5.348.035 (1994).

**Figura 10: Muleta axilar com cintas para auxílio da sustentação.**

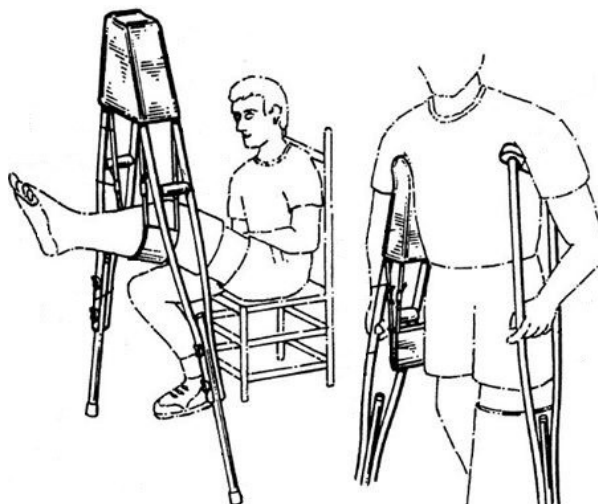


Fonte: USA Patent 5.348.035 (1994).

Na mesma linha de ampliação dos usos das muletas axilares tradicionais, Upshaw (1994) desenvolveu e patenteou um acessório que permite a elevação das

pernas do paciente quando o mesmo está sentado, para fins terapêuticos como mostrado na Figura 11.

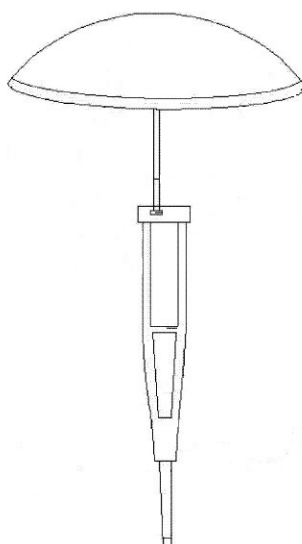
**Figura 11: Acessório para elevação das pernas do paciente.**



**Fonte: USA Patent: 5.313.971 (1994).**

Song Zhengquan (2013), patenteou o conceito de muletas para dias chuvosos, que consiste na fixação de um guarda-chuva também em muletas axilares convencionais, como mostrado na Figura 12, uma vez que o usuário está com as duas mãos ocupadas no seu deslocamento, e, portanto torna-se difícil o uso de quaisquer acessórios enquanto o mesmo está se locomovendo.

**Figura 12: Muleta com suporte para guarda chuvas.**



**Fonte: CHN Patent: 103519517 A (2013).**

## 2.5 INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

Segundo Fuch *et al* (2012), as inovações tecnológicas, podem ser entendidas como a introdução de produtos, serviços ou processos produtivos tecnologicamente novos e melhorias significativas em produtos e processos existentes. Podem ser classificadas como incrementais ou radicais, as inovações incrementais são aperfeiçoamentos contínuos e graduais de produtos, serviços ou processos já existentes e correspondem à maior parte das inovações geradas. As inovações radicais correspondem à introdução de produtos, serviços ou processos totalmente novos no mercado e estão fortemente relacionadas com as atividades de pesquisa e desenvolvimento.

Novos produtos são viáveis, quando se melhora a qualidade e se reduz os custos da produtividade. Pesquisar envolve gerar conhecimentos e desenvolvimento de conhecimentos, em busca da criação e do aperfeiçoamento de produtos, objetivando melhoria e menor custo dos produtos (FERRO, 1997).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foi feita a modelagem geométrica da muleta na aba *design modeler* do *ANSYS academic*, posteriormente a simulação numérica da deflexão do material devido aos carregamentos aplicados no mesmo *software*, a fabricação de um protótipo da muleta de bambu, e testes de campo para verificar a eficácia da nova forma em diminuir o desconforto nas axilas do usuário.

#### 3.1 Procedimentos para a análise por elementos finitos

Para uma análise estrutural por meio de um *software* de elementos finitos, geralmente são necessários os seguintes passos:

- Fazer um modelo geométrico CAD (desenho assistido por computador);
- Dividir o modelo geométrico/CAD em pequenas partes (elementos) para criar uma malha;
- Determinar o comportamento e as propriedades mecânicas e/ou físicas de cada elemento;
- Conectar os elementos e os nós para formar um sistema de equações para cada nó, de modo a contemplar o modelo inteiro;
- Aplicar as condições de contorno e carregamentos;
- Resolver o sistema de equações envolvendo um número arbitrário de nós;
- Calcular as soluções desejadas para cada nó (ex: tensões e deformações).

#### 3.2 Análise dimensional dos colmos

Apesar de os colmos de bambu possuírem diâmetro e espessura variáveis ao longo do seu comprimento, na simulação o colmo de bambu foi considerado como sendo um tubo cilíndrico de diâmetro e espessura constantes e sem nós, em três diferentes regiões da estrutura: região inferior, média e superior da muleta.

Para tanto foi necessário medir estas dimensões com o auxílio de um paquímetro eletrônico, ao longo do comprimento de oito peças de bambu, cortadas em 24 pequenas partes, sendo feitas duas medidas de diâmetro, e duas de espessura

em cada peça, resultando assim em 48 medidas, para fazer a média das grandezas destas dimensões em cada região considerada na muleta.

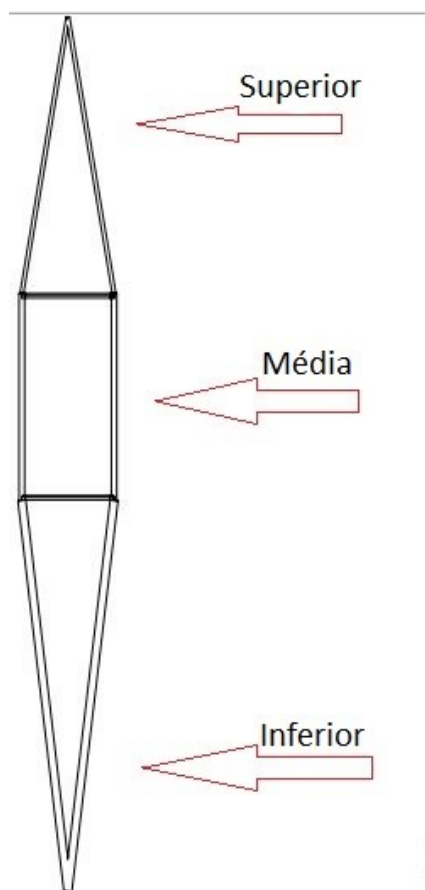
**Figura 13: Peças usadas para as medições de diâmetro e espessura.**



**Fonte: Autoria própria (2019).**

A Figura 14 mostra as três seções transversais que serão adotadas na simulação da muleta, superior, média, e inferior. Espera-se que a região do superior sofra uma deformação muito maior do que as outras, pois possui diâmetro e espessura menores, e conseqüentemente menos material e menor momento de inércia em relação à linha neutra.

**Figura 14: Regiões da muleta.**



Fonte: Autoria própria (2020).

### 3.3 Simulação numérica da muleta

A simulação realizada foi uma análise estrutural estática, desprezando as forças de inércia que podem atuar sobre o componente e considerando um comportamento linear elástico do material.

Sant'Anna (2008) encontrou os valores médios das propriedades mecânicas para a espécie *Phyllostachys aurea*: módulo de elasticidade de 27,5 GPa; coeficiente de Poisson de 0,26. Estes foram os valores adotados para a simulação das muletas de bambu.

Como a muleta foi confeccionada com duas varas de bambu de cada lado, optou-se por simplificar o modelo geométrico como sendo “meia” muleta, utilizando somente uma barra de bambu de cada lado, em vez de duas, conforme mostrado na Figura 15, e lembrando obviamente de aplicar os carregamentos com metade da magnitude para obter a mesma deformação de um modelo completo, com quatro barras.

A muleta foi modelada com o auxílio da ferramenta *cross section* do *ANSYS academic*, que associa uma seção transversal, com momento de inércia e propriedades mecânicas a uma linha, assim sendo a malha atribuída é composta de elementos unidimensionais.

Esta ferramenta proporciona um resultado de deflexões similar ao da simulação de um sólido, sendo amplamente utilizada nas simulações de treliças e problemas simples. Como o modelo é formado por linhas a malha atribuída apresenta uma quantidade significativamente menor de elementos e nós em relação a um sólido, tornando a simulação computacionalmente mais leve.

Foram necessárias três seções transversais tubulares para a base, meio e topo da muleta e cujas dimensões são mostradas na Tabela 4, e uma seção transversal retangular para o apoio de mão, e a outra barra abaixo da axila.

**Figura 15: Simplificação do modelo geométrico.**

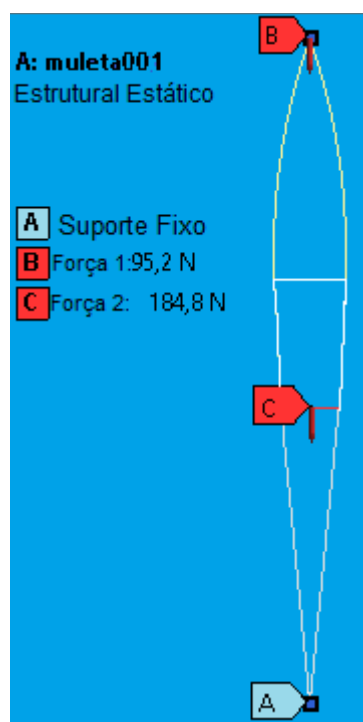


**Fonte: Autoria própria, (2020).**

### 3.3.1 Carregamentos e condições de contorno

Para esta simulação, foi adotada a força de pico de 280 N, encontrada por Goh *et al* (1986). Para McQuade *et al.* (2011), a distribuição desta força é de 34% (95,2 N), do peso do corpo sobre as axilas e o restante no apoio de mão, ou seja 184,8 N como mostrado na Figura 16.

**Figura 16: Distribuição das forças aplicadas.**



Fonte: Autoria própria, (2020).

### 3.4 A FABRICAÇÃO DO PROTÓTIPO

Como descrito anteriormente, um dos objetivos deste trabalho é construir um protótipo de varas bambu. O objetivo do uso de varas de pesca é mostrar que é possível montar, de forma simples, muletas de baixo custo, acessíveis, inovadoras, leves, resistentes e personalizadas, que usam na sua estrutura bambus disponíveis em todo o território brasileiro.

#### 3.4.1 Materiais e equipamentos para a fabricação do protótipo.

Para a fabricação da muleta foram necessários os seguintes equipamentos:

- Arco de serra;
- Grosa;



- Morsa;
- Tesoura.

Os materiais utilizados para a fabricação do protótipo podem ser vistos na Tabela 3.

**Tabela 3- Materiais utilizados no protótipo.**

<b>Descrição</b>	<b>Quantidade</b>
Vara de bambu	4
Ripas de madeira	2
Fio de sisal	6 metros
Fita isolante	1 rolo
Abraçadeiras de nylon	15
Ponteira de borracha vulcanizada	1

**Fonte: Autoria própria (2019).**

As Figuras 17, 18 e 19 mostram os materiais que foram usados para a fabricação do protótipo:

**Figura 17: Rolo de fio de sisal, e abraçadeiras de nylon.**



**Fonte: Autoria própria (2019).**

**Figura 18: Peça de borracha (pé da muleta) e travessas de madeira (suporte mão e axila).**



**Fonte: Autoria própria (2019).**

**Figura 19: Varas de pesca de bambu № 1 com comprimento de 3m.**



**Fonte: Autoria própria (2019).**

### 3.5 OS TIRANTES DE SUSTENTAÇÃO

A cinta acolchoada mostrada na Figura 20, visa aumentar a área de contato que sustenta o usuário, fazendo o uso do braço da pessoa, de modo a reduzir a pressão sobre a axila do usuário. Cabe aqui ressaltar que este tópico precisaria de um estudo mais elaborado sobre a ergonomia necessária para o maior conforto possível do usuário.

Desta maneira, a sustentação do usuário se dá parcialmente pelos tirantes, enquanto a outra parcela é sustentada pelos suportes de mão. O suporte central não sustenta o paciente, e sua função é estrutural, para restringir o movimento de abertura das varas, bem como um final de curso caso o tirante ou a cinta venha a falhar, não permitindo que o usuário caia.

**Figura 20: Cinta acolchoada com velcro (Leash) usado em pranchas de surf.**



**Fonte: Autoria própria (2019).**

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Medições

Após as medições feitas com um paquímetro digital das dimensões das peças de bambu extraídas das varas de pesca, de comprimento similar aos empregados no protótipo, foram obtidos os resultados mostrados na Tabela 4.

**Tabela 4- Valores medidos de diâmetro e espessura, para a região superior, média e inferior da muleta alta.**

Região inferior		Região média		Região superior	
Diâmetro (mm)	Espessura (mm)	Diâmetro (mm)	Espessura (mm)	Diâmetro (mm)	Espessura (mm)
16,62	2,22	13,61	1,88	11,39	1,78
17,53	2,44	13,62	1,83	11,40	1,80
16,87	2,29	13,35	1,83	10,81	1,81
16,21	1,89	12,85	1,79	10,81	1,67
16,21	2,67	12,20	1,74	11,05	1,76
16,15	2,41	12,21	1,92	11,63	1,91
16,50	2,42	12,36	1,96	11,43	1,88
15,49	2,10	12,01	1,79	10,94	1,83
15,77	1,95	11,66	1,59	10,96	1,79
15,86	1,98	12,75	1,70	11,51	1,90
16,11	2,10	12,65	1,81	10,22	1,71
15,30	2,14	12,32	1,72	10,35	1,64
14,62	2,05	12,58	1,75	9,97	1,55
14,93	2,18	12,29	1,83	10,75	1,68
15,40	1,94	12,32	1,98	10,19	1,90
15,08	2,00	12,76	1,80	10,43	1,76
<b>Média</b>	<b>Média</b>	<b>Média</b>	<b>Média</b>	<b>Média</b>	<b>Média</b>
15,92	2,17	12,60	1,81	10,26	1,77
<b>D. padrão</b>	<b>D. padrão</b>	<b>D. padrão</b>	<b>D. padrão</b>	<b>D. padrão</b>	<b>D. padrão</b>
0,77	0,22	0,55	0,10	0,52	0,10

Fonte: Autoria própria (2020).

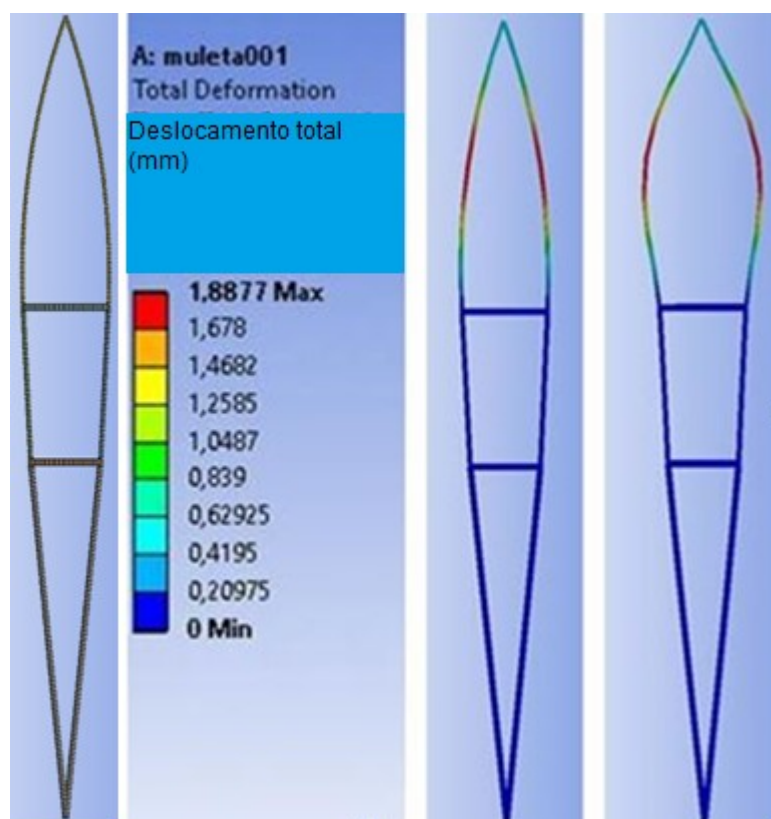
Estas medições mostram que os colmos de bambu tem uma grande variação de diâmetro e espessura. Assim os valores finais que foram utilizados no *software* de simulação numérica foram a média dessas dimensões.

## 4.2 Resultados da simulação

Foi gerada uma malha, com 918 elementos unidimensionais de comprimento 5 mm, e 1834 nós. Após a simulação, percebeu-se que o deslocamento máximo da estrutura ocorreu no arco superior, na direção horizontal, tendendo a abrir a muleta, conforme mostrado na Figura 21, em escala real e na muleta mais à direita da Figura podemos ver o efeito aumentado para uma melhor visualização.

A deformação nas outras regiões é muito menor do que no arco superior, sendo insignificante quando comparadas as suas magnitudes conforme mostrado na Figura 21.

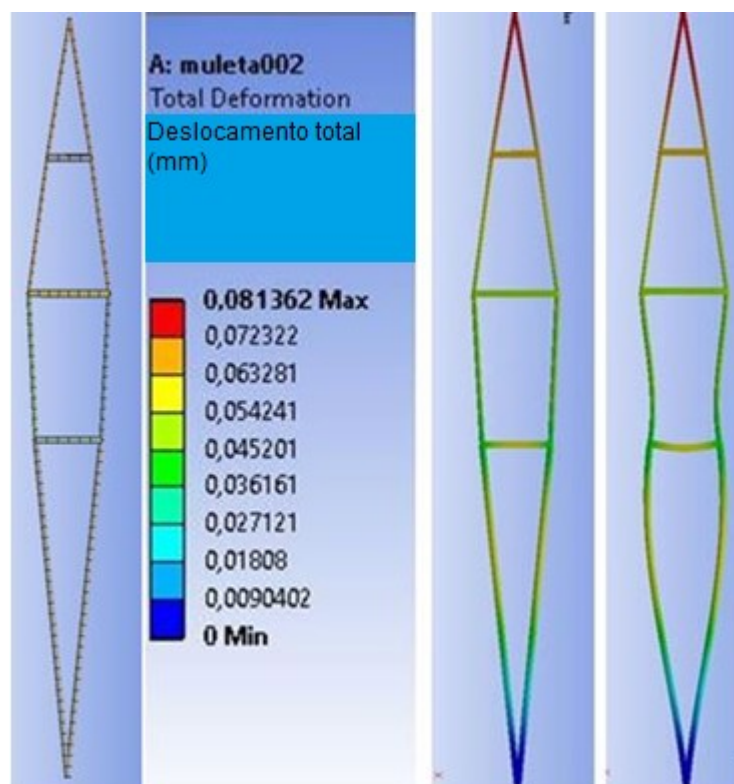
Figura 21: Deslocamento máximo no modelo.



Fonte: Autoria própria, (2020).

Embora a carga aplicada não seja suficiente para produzir uma grande deformação na região crítica da estrutura, a deformação da mesma poderia ser substancialmente diminuída com o emprego de um reforço transversal unindo o ponto crítico das duas barras, como mostrado na Figura 22.

**Figura 22: Malha, e deslocamento total na muleta com reforço.**



Fonte: Autoria própria, (2020).

As Figuras 21 e 22 mostraram que o reforço diminuiu de 1,88 mm para 0,081 mm, ou seja cerca de 23 vezes a deflexão máxima da estrutura para o mesmo carregamento aplicado. Porém não é necessário o emprego do reforço, uma vez que o deslocamento máximo no primeiro modelo é de pequenas proporções, no regime elástico e imperceptível para o usuário.

A força de 184,8 N aplicada no suporte de mão não produziu deformações significativas quando comparada com a parcela superior para ambos os modelos, devido à geometria das barras de bambu, que possuem uma seção transversal menor na região superior das muletas.

#### 4.3 Protótipo

A Figura 23 mostra a muleta finalizada, após a fabricação descrita no apêndice B, e os testes de campo realizados em Pato Branco – PR.

**Figura 23: Protótipo 1.**

Fonte: Autoria própria (2019).

A cinta acolchoada mostrada na Figura 23 sustenta o usuário pelo braço e se mostrou desconfortável quando apertada, deste modo foi confeccionada uma cinta dupla, que sustenta a pessoa tanto pelo braço quanto pelas axilas, aumentando assim a área de contato com o corpo do paciente e diminuindo a pressão exercida.

**Figura 24: Cinta dupla.**



Fonte: Autoria própria (2020).

A Figura 25 mostra o protótipo finalizado e pronto para os testes de campo.

Figura 25: Protótipo 2.



Fonte: Autoria própria (2020).

Conforme mostrado na Tabela 5, o custo total para a fabricação da unidade da muleta foi de R\$ 62,00, ou seja R\$ 124,00 o par, desconsiderando a mão de obra, um preço substancialmente mais barato do que os modelos encontrados comumente



no mercado, pois um par de muletas axilares convencionais de alumínio, custa em média 200 reais.

**Tabela 5- Materiais utilizados e seus valores no varejo referentes a novembro de 2019.**

Descrição	Quantidade	Valor unitário	Valor total
Vara de bambu	4	R\$ 8,00	R\$ 32,00
Pedaço de madeira	2	R\$ 1,00	R\$ 2,00
Fio de sisal	6 m	R\$ 30,00/rolo	R\$ 1,00
Fita isolante	3m	R\$ 10,00	R\$ 10,00
Abraçadeiras de nylon	15	R\$ 0,40	R\$ 6,00
Ponteira de borracha	1	R\$ 11,00	R\$ 11,00
Total		R\$ 62,00	

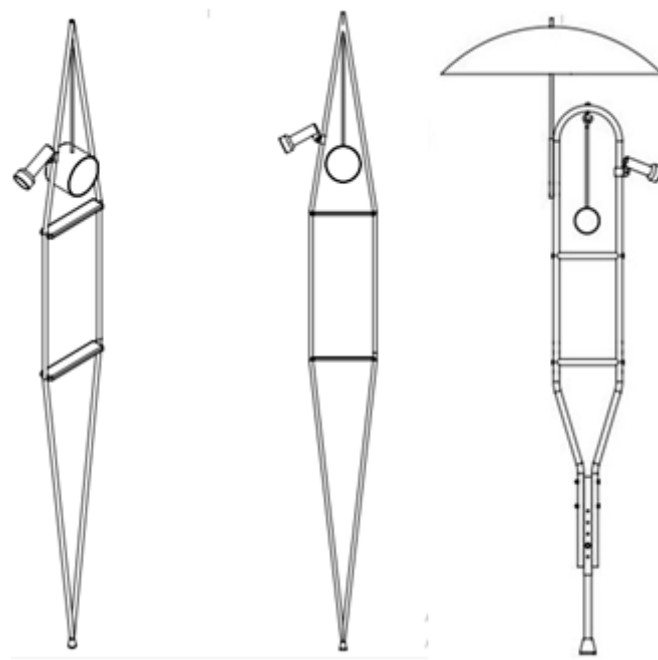
Fonte: Autoria própria (2019).

Deste modo, chegou-se a conclusão de que o bambu, o sisal e as abraçadeiras de nylon são materiais com características que suprem a função do alumínio nas muletas, com baixo custo, elevada resistência mecânica, fácil acesso e manutenção, necessitam de poucos equipamentos para a sua montagem, sendo viável o seu uso por pessoas de baixa renda em substituição as muletas tradicionais.

#### 4.4 NOVAS FUNÇÕES PARA A MULETA ALTA

Devido ao seu formato, onde possui material estrutural acima do nível da cabeça do usuário, a muleta possibilita o uso de equipamentos como bolsas de soro, guarda-chuva, lanternas, que de outra forma seriam muito difíceis de serem usados pois o paciente está com as duas mãos ocupadas para a sua locomoção.

**Figura 26: Acessórios para muleta alta.**



Fonte: Autoria própria (2020).

A partir deste trabalho, foram feitos um pedido de patente de “ Muleta alta com suspensórios elásticos e presilhas para braços e axilas” pela UTFPR, e um artigo para o Seminário de Extensão e Inovação da UTFPR (SEI), entitulado "Desenvolvimento de muletas altas de bambu".

## 5 CONCLUSÕES

O uso do bambu para a construção de muletas foi considerado adequado, devido à sua disponibilidade, resistência mecânica, leveza, e baixo preço.

Na simulação várias simplificações foram adotadas, como a união ideal entre as peças, o bambu como sendo cilíndrico, sem nós, material isotrópico elástico, porém, estas condições não se verificam na estrutura real, o que acarreta em incertezas quanto à precisão do resultado. A simulação mostrou que a estrutura da muleta suporta o carregamento aplicado com uma deformação de pequenas proporções no arco superior, e não requer o uso de reforços estruturais que pode ser adotado ou não.

A muleta de bambu, mesmo sendo um equipamento de baixo custo e construído com materiais alternativos, como o bambu, e fibra de sisal, mostrou-se resistente e adequada para o uso no dia a dia, aparentando ser menos desconfortável do que as muletas axilares tradicionais.

O investimento necessário é consideravelmente menor em relação a uma muleta de alumínio, e a montagem é relativamente simples. Porém, devem ser levadas em conta as características específicas de cada pessoa, como altura, e envergadura, sendo necessária a fabricação sobre medida para cada indivíduo.

O uso do guarda-chuva é facilitado pela altura da muleta, e proporciona uma maior independência ao usuário, assim como os demais equipamentos como a lanterna. Com um sistema de regulagem de altura dos suportes, o usuário poderia optar por usar a cinta acolchoada, ou usar a muleta como uma muleta axilar comum para trajetos mais curtos.

Acessórios importantes para o tratamento de pacientes e que podem ser fixados na parte alta da muleta são as bolsas de soro e medicação, que precisam necessariamente estar mais altas do que o paciente, pois atuam com o auxílio da gravidade. Com a sua fixação na parte alta da muleta, o paciente pode se deslocar em trajetos curtos sem o auxílio de uma outra pessoa, o que aumenta a sua independência.

Sugestões para trabalhos futuros:

- Um estudo de ergonomia para o desenvolvimento de uma cinta acolchoada otimizada, de modo a reduzir ao máximo o desconforto do usuário.
- Um sistema de fácil regulagem para mudar as dimensões da muleta de acordo com a altura do usuário.
- Uma análise dinâmica das forças atuantes devido à inércia na muleta.
- Uma simulação numérica mais refinada, levando em conta as propriedades ortotrópicas do material, com análise de tensões, e ensaio mecânico realizado na EMIC.

## REFERÊNCIAS

AZEVEDO, A. F. M.; **Método dos elementos finitos**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal. [http://www.alvaroazevedo.com/publications/books/livro\\_mef\\_aa\\_1ed/doc/livro\\_mef\\_aa.pdf](http://www.alvaroazevedo.com/publications/books/livro_mef_aa_1ed/doc/livro_mef_aa.pdf)

BASÍLIO, M., R.; CANTADOR, A., A; MOLINARI, G., J., P; MENEZES, F., H. **Oclusão arterial aguda de membro superior associada à utilização de muleta: relato de caso** Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Faculdade de Ciências Médicas, Departamento de Cirurgia, Disciplina de Moléstias Vasculares, Campinas, SP. 2014  
[https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S16774492014000400340&script=sci\\_arttext&lng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S16774492014000400340&script=sci_arttext&lng=pt)

CASTRO, G. C. **Ensaio e simulação computacional de estrutura geodésica tipo icosaedro truncado construída com barras de bambu**. 93 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2019.

CARBONARI, G.; JUNIOR, N. S.; PEDROSA, N. H.; ABE, C. H.; SCHOLTZ, M. F.; ACOSTA, C. C. V.; CARBONARI, L. T.; **Bambu–o aço vegetal**. Mix Sustentável, v. 3, n. 1, p. 17–25, 2017.  
<http://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/1876/0>

CARVALHO, M. S.; **Caracterização mecânica e química do bambu e sua aplicação como reforço em compósitos de poliestireno**. Dissertação (Mestrado) Universidade do Estado de Minas Gerais, 2004.

CONCEIÇÃO, L. M.; **Análise das Propriedades Físicas e Mecânicas de Duas Espécies de Bambu em Três Estágios de Maturidade**. Dissertação (Mestrado) — Universidade federal rural do rio de janeiro instituto de florestas, jun. 2017. <http://repositorio.im.ufrrj.br:8080/jspui/handle/1235813/3211>

COOK, R.D., MALKUS, D. S. PLESHA. M. E.; **Concepts and Applications of Finite Element Analysis** 3ed. Madison: Editora John Wiley and Sons Ltd, 1988.  
<https://www.wiley.com/enbr/Concepts+and+Applications+of+Finite+Element+Analysis,+4th+Edition-p-9780471356059>

CRUZ, M. L. S. **Caracterização física e mecânica de colmos inteiros do bambu da espécie *Phyllostachys aurea*: comportamento a flambagem**. Dissertação (Mestrado) — Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, ago. 2002.  
<https://www.maxwell.vrac.pucRio.br/colecao.php?strSecao=resultado&nrSeq=3846@1>

DELGADO, P. S. **O bambu como material eco-eficiente: caracterização e estudos exploratórios de aplicações**. Dissertação, 67p. (Mestrado em Engenharia de Materiais) Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, 2011. <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2801>

DINIZ, F. R. H. **Muleta híbrida de baixo custo**. 2017. 65p. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2017. <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/9271>

DONADUZZI, L. **Projeto, montagem e simulação numérica de um auxiliador de locomoção para cães**. Trabalho de conclusão de curso (Curso superior de Engenharia Mecânica) -Coordenação de Engenharia Mecânica – DAMEC – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Pato Branco, 2019.

ESSS. Elementos finitos. disponível em <https://www.esss.co/blog/metodo-dos-elementos-finitos-o-que-e/> . Acesso em 4 mar. 2020.

FERRO, J.R. **A administração da tecnologia na universidade e na empresa**. In: Ferro, J.R. (coord). Universidade e Indústria: depoimentos. 2. ed., São Carlos, Ed. da UFSCar, 1997.

FUCH, M. P; VILHA, A. M. **Inovação Tecnológica: da definição a ação**. Ed. UFABC. Contemporâneos:Revista Artes e Humanidade. N.9 .2012. <https://revistacontemporaneos.com.br/n9/dossie/inovacao-tecnologica.pdf>

GHAVAMI, K.; TOLEDO F. R. D. **Desenvolvimento de Materiais de Construção de Baixo Consumo de Energia Usando Fibras Naturais, Terra e Bambu**. Revista Engenharia Agrícola. Publicação Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, Vol.2, p. 1-19, 1992.

GOH, J. C. H.; TOH, S. L.; BOSE, K. **Biomechanical study on axillary crutches during single-leg swing-through gait**. Prosthetics And Orthosis International, [s.l.], v. 10, p.89-95, 1986. [http://www.oandplibrary.org/poi/pdf/1986\\_02\\_089.pdf](http://www.oandplibrary.org/poi/pdf/1986_02_089.pdf)  
Agrícola. Publicação Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola. v. 2. p. 1-19.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**. Pearson-Prentice Hall, 5a ed. 670 p., New York, 2010.

Instituto nacional da propriedade industrial (INPI)  
<https://www.gov.br/inpi/pt-br/servicos/patentes/busca-de-patentes>

LIBRELOTTO, L.I., OSTAPIV, F.(org) **Bambu caminhos para o desenvolvimento sustentável no Brasil** 1<sup>a</sup> ed. Virtuhab, 204p. Florianópolis, 2019.  
<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/197060>

LOPES, A. P., LOPES, R. C., NETO, G. C. S. **O método dos elementos finitos em treliças planas na disciplina de mecânica computacional**. 2007, 14 F. XXXV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia – COBENGE 2007  
<http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/12/artigos/434-Gustavo%20Cunha.pdf>

MACGILLIVRAY, M. K.; MANOCHA, R. H. K.; SAWATZKY, B. **The influence of a polymer damper on swing-through crutch gait biomechanics**. Elsevier: Medical Engineering and Physics, Oxford, v. 38, p.275-279, 2016.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26852356/>

NETO, F., L.; **Caracterização de propriedades físicas e mecânicas da espécie de bambu *Phyllostachys aurea* da região de Pato Branco**. 2017, 96 p. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. Pato Branco, 2017.  
<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/8604>

OLIVEIRA, T., Y., M.; **Estudo Sobre o Uso De Materiais de Construção Alternativos que Otimizam a Sustentabilidade em Edificações** Projeto de Graduação – UFRJ. Curso de Engenharia Civil. Rio de Janeiro 2015  
<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014837.pdf>

OSTAPIV, F., OSTAPIV, G., CASTRO, G.C., STAHLSCHMIDT, J., **Computational simulation and vertical loading tests in bamboo geodesic domes**. In: 25th International Congress of Mechanical Engineering - ABCM, Uberlândia, MG, out. 2019.

OSTAPIV, F., OSTAPIV, G., CASTRO, G.C., STAHLSCHMIDT, J., **Simulação e avaliação experimental de estruturas geodésicas de bambu reforçadas com cabos**. ENSUS 2020 – VIII Encontro de Sustentabilidade em Projeto – UNISUL – Palhoça – 12 a 14 de Maio de 2020.  
[https://issuu.com/revistamixsustentavel/docs/mix\\_18\\_1\\_v6\\_n2](https://issuu.com/revistamixsustentavel/docs/mix_18_1_v6_n2)

PORTER, J.; **Harness assembly for a crutch user**. Patent USA, number: 5.348.035, Charlottesville, Virgínia, Sep. 1994.  
<https://patents.google.com/patent/US5348035A/en>

PRAZERES, P. G. C., **Desenvolvimento de elementos finitos híbridos para a análise de problemas dinâmicos usando superposição modal avançada**. Rio de Janeiro, 2005. 170p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

[https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/7633/7633\\_1.PDF](https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/7633/7633_1.PDF)

SANT'ANNA, E. T. **Construção de um centro de visitantes na Embrapa Fazendinha-Agroecológica utilizando materiais alternativos**. Universidade federal rural do rio de janeiro - UFRRJ Instituto de florestas - IF curso de engenharia florestal Dissertação (Mestrado), 2008.

<http://repositorio.im.ufrj.br:8080/jspui/handle/1235813/2703>

SOUZA, A. M.. **Os Diversos Usos do Bambu na Construção Civil**. 2014. 100 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2014.

[http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5872/1/CM\\_COECI\\_2014\\_1\\_08.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/5872/1/CM_COECI_2014_1_08.pdf)

SUBRAMONY, S. H. **Electrophysiological findings in crutch palsy**. *Electroencephalography And Clinical Neurophysiology*,[s.l.], v. 29, p.281-285, jul. 1989. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2548826/>

UPSHAW, J. L.; **Crutch sling leg support apparatus and method**. Patent USA, number: 5.313.971, Austin, Texas, may, 1994.

<https://patents.google.com/patent/US5313971A/en>

VASCONSELLOS, R. M.; **Cartilha de fabricação de móveis**. Instituto do Bambu (INBAMBU). Maceió. Alagoas. 2004.

<https://www.passeidireto.com/arquivo/26694736/cartilha-de-fabricacao-de-moveis-de-bambu>

VASATA, A. C. D. P., **Análise das propriedades estáticas e dinâmicas das espécies de bambu *Bambusa tuldoides* e *Phyllostachy aurea***. Dissertação, Programa de Pós-Graduação e Engenharia Civil – UTFPR, Campus Pato Branco, 80p., 2020. <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/8604>

XIAOLIN C.: YIJUN L.; **Finite element modeling and simulation with ansys workbench**. CRC Press – Taylor & Francis group.



ZHENGQUAN S., **Muletas para dias chuvosos**. Patent CHN, number: CN 103519517 A, Qinhuai Nanjing Hospital.Jiangsu, oct, 2013.

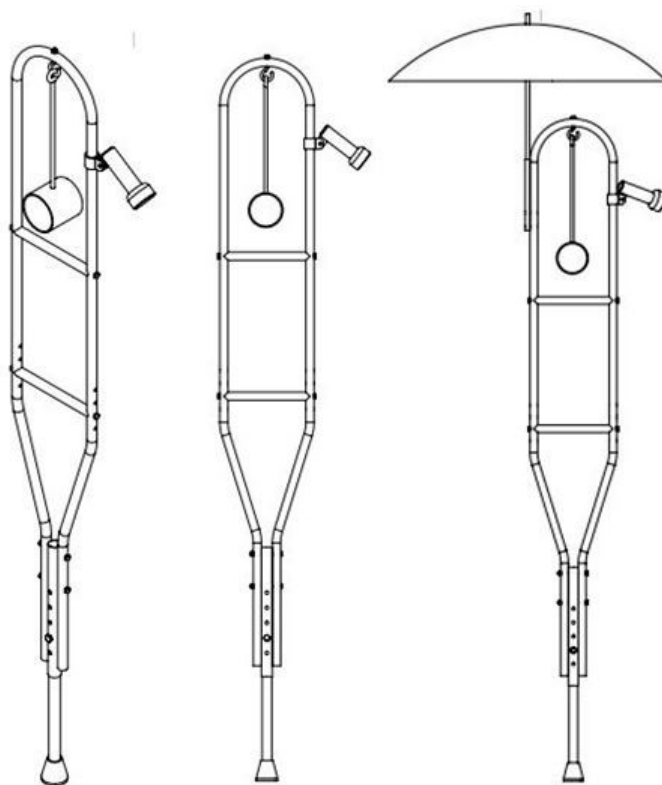
## APÊNDICE A

### PROJETO DE UMA MULETA TIPO ALTA DE ALUMÍNIO

Para uma maior padronização e fácil regulagem de altura total, e dos apoios de mão e axila, foi projetada uma muleta de alumínio liga 6061 T6, amplamente utilizada para aplicações estruturais, como a fabricação de muletas convencionais e quadros de bicicleta.

A Figura 1A, mostra o desenho da muleta, com o sistema de regulagem de altura e posição dos apoios comumente utilizado em modelos convencionais de muletas, além da fácil aplicação de acessórios permitida pela nova forma, como a lanterna, guarda-chuva, bolsa de soro.

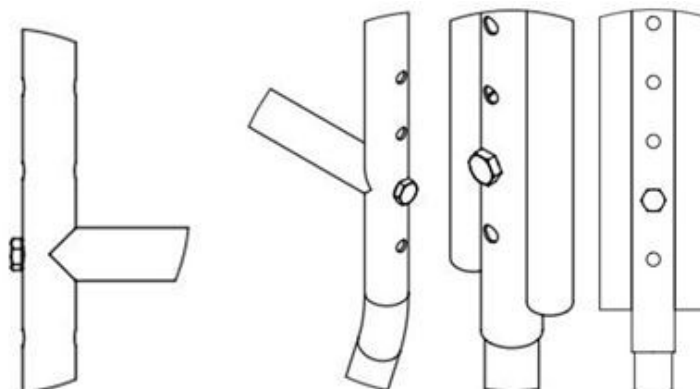
**Figura 1A: Desenho da estrutura da muleta alta de alumínio em forma de gota com acessórios.**



**Fonte: Autoria própria (2020).**

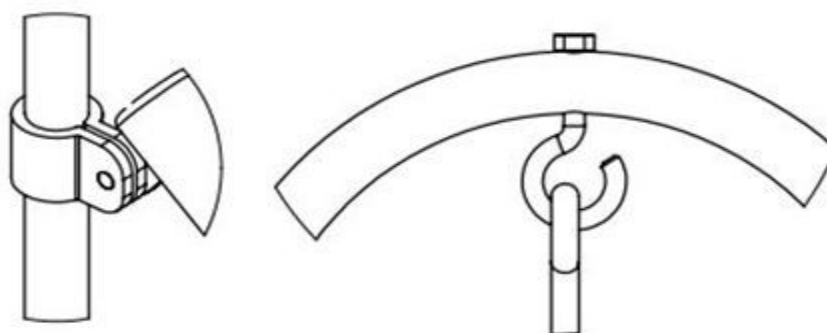
As Figuras 2A e 3A, mostram os detalhes do sistema de regulagem de altura da muleta, e da posição dos apoios de mão e axila de acordo com as dimensões de cada usuário.

**Figura 2A: Regulagem altura total, e dos apoios de mão e axila.**



Fonte: Autoria própria (2020).

**Figura 3A: Implemento de acessórios.**



Fonte: Autoria própria (2020).

Para este projeto foram usados três tamanhos de tubos de alumínio liga 6061 T6 comerciais, mostrados na Figura 4A.

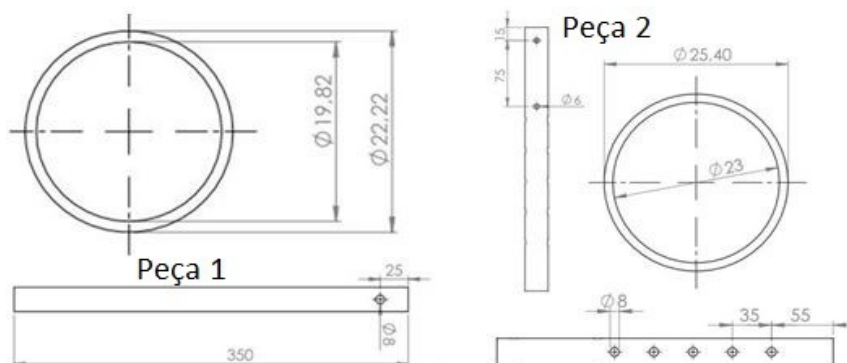
**Figura 4A: Catálogo comercial dos tubos de alumínio a serem utilizados na muleta.**

CÓDIGO	DIÂMETRO POLEGADA	ESPESSURA POLEGADA	DIÂMETRO mm	ESPESSURA mm	PESO Kg/m
TUB-011	3/4"	*	19,05	1,20	0,182
TUB-086	3/4"	*	19,05	1,40	0,210
TUB-014	7/8"	*	22,22	1,20	0,215
TUB-019	1"	*	25,40	1,20	0,247

Fonte: Catálogo Vital Alumínio (2020).

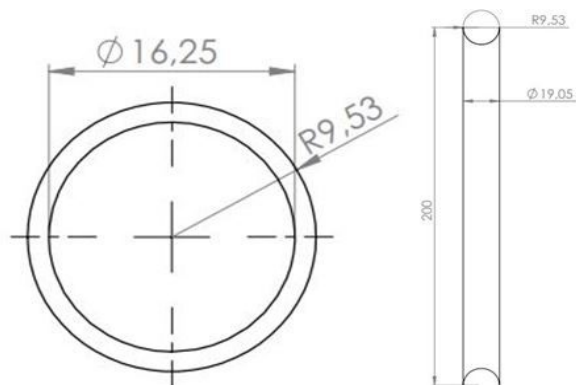
As Figuras 5A, 6A e 7A mostram os desenhos das peças que deverão ser fabricadas.

Figura 5A: Peças 1 e 2.



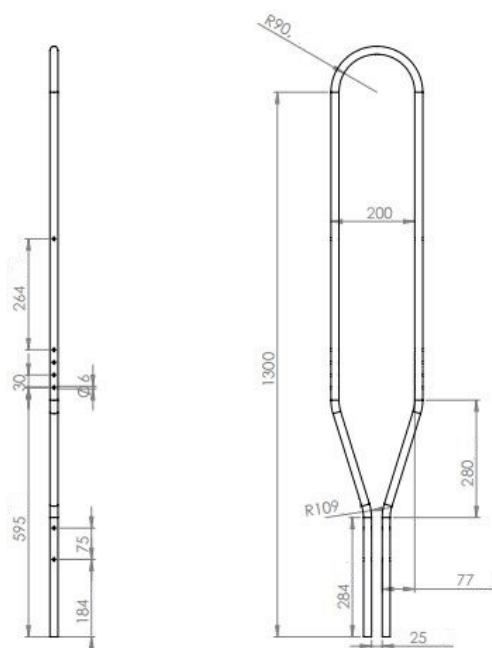
Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 6A: Peças 3 e 4 (iguais).



Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 7A: Peça 5.



Fonte: Autoria própria (2020)

**Tabela 1A: Parafusos utilizados.**

Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Quantidade	Porcas
6	220	2	2
6	70	2	2
8	30	1	1

Fonte: Autoria própria (2020).

Para um maior conforto dos usuários é necessário o uso de revestimentos acolchoados, nos suportes de mão e axila. Será empregado um revestimento de borracha juntamente com o parafuso de fixação, que podem ser encontrados a venda em lojas de equipamentos ortopédicos.

A extremidade inferior da muleta, requer um pé antiderrapante de borracha mostrado na Figura 8A, que pode ser encontrado a venda em lojas de equipamentos ortopédicos.

**Figura 8A: Ponteira antiderrapante de borracha.**

Fonte: Autoria própria (2020).

Com as dimensões de cada peça, e as informações do catálogo do fornecedor, podemos verificar que cada muleta demandará cerca de 850g de alumínio na sua fabricação. O custo dos materiais necessários para a fabricação da muleta está descrito na Tabela 2A, com preços retirados dos catálogos dos fabricantes, e comércio local.

Tabela 2A: Materiais utilizados e seus valores.

<b>Material</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Custo unitário</b>	<b>Custo total</b>
Alumínio 6061 T6	1,7 Kg	R\$ 17,50/Kg	R\$ 29,75
Parafuso M6x220	2 unidades	R\$ 0,55	R\$ 1,10
Parafuso M6x70	2 unidades	R\$ 0,50	R\$ 1,0
Parafuso M8x30	1 unidade	R\$ 0,60	R\$ 0,60
Porca M6	4 unidades	R\$ 0,40	R\$ 1,60
Porca M8	1 unidade	R\$ 0,45	R\$ 0,45
Pé antiderrapante	1 unidade	R\$ 11,00	R\$ 11,00
Manopla de borracha	2 unidades	R\$ 7,50	R\$ 15,00
Cinta de leash com cabo	1 unidade	R\$ 35,00	R\$ 35,00
<b>Total</b>		<b>R\$ 95,50</b>	

Fonte: Autoria própria (2020).

A fabricação das peças não apresenta grandes dificuldades, sendo necessárias as seguintes ferramentas: serra, furadeira de bancada, brocas de diâmetro 6 e 8 mm, e dobradeira de tubos.

## APÊNDICE B

### FABRICAÇÃO DO PROTÓTIPO DE UMA MULETA ALTA DE BAMBU.

Para a montagem do protótipo realizaram-se os seguintes procedimentos:

Junção das varas duas a duas com o auxílio das abraçadeiras de nylon, conforme mostrado na Figura 1B:

**Figura 1B: Pares de segmento similares de varas de pesca de bambu.**



Fonte: Aatoria própria (2019).

Posicionamento de todas as peças e préfixação com as abraçadeiras de nylon.

**Figura 2B: Peças posicionadas, sem fixação.**



**Fonte: Autoria própria (2019).**



Fixação do pé da muleta com o uso do cordão de sisal, de modo a restringir o seu movimento em relação aos outros elementos da estrutura, e suporte de borracha antiderrapante, na sua base, engastado em um pedaço de bambu central, conforme a Figura 3B:

**Figura 3B: Posicionamento do pé da muleta, e suporte de borracha.**



**Fonte: Aatoria própria (2019).**

Amarração dos suportes de mão, e de axila com o fio de sisal, e fita isolante em volta da amarração, para proteção do fio.

**Figura 4B: Enrolamento com cordão de sisal e acabamento com fita adesiva no apoio de mão.**



**Fonte: Autoria própria (2019).**

Fixação da ponta superior com o auxílio do cabo de nylon, conforme mostrado na Figura 5B:

**Figura 5B: Fixação da ponta superior.**



**Fonte: Autoria própria (2019).**

**Figura 6B: Muleta finalizada.**



Fonte: Autoria própria (2019).