



**Universidade Federal do Pará**

---

**Geanilson Brito da Silva**

**Dimensionamento de Soluções Acústicas para  
Máquina Aplicada à Extração de Fibras do  
Pseudocaule da Bananeira**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia**

**2020**



**Geanilson Brito da Silva**

**Dimensionamento de Soluções Acústicas para  
Máquina Aplicada à Extração de Fibras do  
Pseudocaule da Bananeira**

**Dissertação de Mestrado**

**Orientador: Prof. Dr. Alexandre Luiz Amarante Mesquita**

**Tucuruí, 28 de fevereiro de 2020**



**Geanilson Brito da Silva**

## **Dimensionamento de Soluções Acústicas para Máquina Aplicada à Extração de Fibras do Pseudocaule da Bananeira**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético.

Aprovada em 28 de fevereiro de 2020  
Comissão Examinadora.

**Prof. Dr. Alexandre Luiz Amarante Mesquita**

Orientador – Universidade Federal do Pará

**Prof. Dr. Paulo César Monteiro Lamim Filho**

Examinador Externo – Universidade Federal de São  
João del Rei

**Prof. Dr. Leopoldo Pacheco Bastos**

Examinador Interno – Universidade Federal do Pará

**Prof. Dr. Prof. Wassim Raja El Banna**

Examinador Interno – Universidade Federal do Pará

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

S586d Silva, Geanilson Brito da Silva

Dimensionamento de Soluções Acústicas para Máquina Aplicada  
à Extração de Fibras do Pseudocaule da Bananeira / Geanilson Brito da  
Silva Silva. — 2020.

94 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Alexandre Luiz Amarante Mesquita  
Mesquita

Coorientador(a): Prof. Dr. Wassim Raja El Banna

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental, Campus Universitário de  
Tucuruí, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2020.

1. Fibras Naturais. 2. Agroindustrialização. 3. Controle de Ruído. I.  
Título.

CDD 620.23

---

*Para minha família,  
Pelo apoio, amor e dedicação.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus em primeiro lugar pelo dom da vida, pela força, coragem, dedicação e superação diante de obstáculos propostos e superados. A minha família que não mediu esforços em dar-me condições de ir adiante, em especial a minha esposa, Socorro Miranda Silva, meus filhos Liana Gabriela e Daniel Miranda Silva e em memória minha querida mãe Liana da Silva Brito.

Aos professores Dr. Alexandre Luiz Amarante Mesquita, Dr. André Luiz Amarante Mesquita e Dr. Wassim Raja El Banna, Dr. Leopoldo Bastos e o Ms. Walter dos Santos pela atenção, paciência e conhecimento repassado. Aos amigos, Gideão, Marx, Marcos Cepeda, Isabela Lisboa, Manoel Melone, Gabriel Miranda e Waldson Bezerra que contribuíram de forma direta na construção da dissertação. Como também os que souberam entender os mais variados comportamentos que puder manifestar.

Ao meu orientador por todo conhecimento repassado no desenvolvimento da pesquisa, nas coletas de dados de acústicas e vibração, além da retirada de dúvidas e motivação constante. Ao Prof. Dr. André Luiz Amarante Mesquita, sendo o idealizador da linha de pesquisa, além de ser responsável pelas visitas técnicas nas propriedades rurais de Novo Repartimento, Goianésia do Pará e Tucuruí.

Ao Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia (NDAE) através do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético (PPGINDE-UFPA) pelo apoio ao desenvolvimento das pesquisas, incentivando os estudos dentro do Estado do Pará, especificamente na região do Lago de Tucuruí e do subprojeto no Desenvolvimento de Tecnologia em máquinas e processo produtivo.

## RESUMO

A Região de Integração (RI) do Lago de Tucuruí destaca-se pela produção de banana no estado do Pará, tornando-o um dos principais produtores do fruto. Contudo, os rendimentos dos agricultores da região com a bananicultura restringem-se somente à venda do fruto, descartando as demais partes da bananeira, que podem ser aproveitadas para manufatura de produtos com maior valor agregado. Com o aproveitamento principalmente, das fibras do pseudocaule da bananeira, diversos produtos podem ser gerados, impulsionando o desenvolvimento da bananicultura na região e promovendo um aumento de emprego e renda. Visando este crescimento socioeconômico da RI Lago de Tucuruí, o presente trabalho apresenta, em sua primeira parte, uma análise da máquina de extração de fibras do pseudocaule da bananeira na Universidade Federal do Pará, Campus de Tucuruí, que atenderá aos pequenos produtores e cooperativas de agricultores da região. Na operação da máquina, verificou-se que esta apresenta problemas de ruído. Os níveis de pressão sonora medidos no entorno da máquina estão acima dos limites normativos. Desta forma, foram realizados estudos para a definição de soluções acústicas visando a resolução do problema. Na segunda parte, o foco principal deste trabalho consiste em apresentar as soluções acústicas para máquina de extração de fibra, incluído a especificação de isoladores de vibração, troca de ventoinha do motor elétrico e dimensionamento de enclausuramento parcial da máquina.

**Palavras-chave:** Fibras naturais, Agroindustrialização, Controle de ruído, Enclausuramento.

## **ABSTRACT**

The Lake Tucuuruí Integration Region (RI) stands out for its banana production in the state of Pará, making it one of the main producers of the fruit. However, the income of farmers in the region with banana production is restricted only to the sale of the fruit, discarding the other parts of the banana tree, which can be used to manufacture products with higher added value. With the use mainly of the fibers of the banana pseudo-stem, several products can be generated, boosting the development of banana cultivation in the region and promoting an increase in employment and income. Aiming at this socioeconomic growth of the RI Lago de Tucuuruí, the present work presents, in its first part, an analysis of the fiber extraction machine of the banana pseudo-stem at the Federal University of Pará, Campus de Tucuuruí, which will serve the small producers and cooperatives of farmers in the region. In the operation of the machine, it was found that it has noise problems. The sound pressure levels measured around the machine are above the normative limits. Thus, studies were carried out to define acoustic solutions aimed at solving the problem. In the second part, the main focus of this work is to present the acoustic solutions for the fiber extraction machine, including the specification of vibration isolators, replacement of the electric motor fan and dimensioning of the partial enclosure of the machine.

Keywords: Natural fibers, Agroindustrialization, Noise control, Enclosure.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1. Considerações Gerais .....	16
1.2. Objetivos.....	18
1.2.1. Objetivo Geral .....	18
1.2.2. Objetivos Específicos .....	18
1.3. Estruturação do Trabalho.....	18
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>19</b>
2.1. Região de Integração (RI) do Lago de Tucuruí.....	19
2.2. A Bananeira e seus Produtos Processados.....	22
2.2.1. Bananeira .....	22
2.2.2. Produtos do pseudocaule da bananeira.....	26
2.2.3. Viabilidade econômica da fibra.....	32
2.2.4. Máquina para extração de fibra Vegetal.....	33
2.3. Ruído .....	34
2.3.1. Ponderação e nível global.....	35
2.3.2. Pressão, Intensidade e Potência sonora .....	36
2.3.3. Absorção sonora .....	37
2.4. Técnicas para controle de ruído.....	38
2.4.1. Controle de ruído na fonte.....	39
2.4.2. Controle de ruído na trajetória.....	40
2.4.3. Controle de ruído no receptor.....	41
2.5. Normas Brasileira sobre acústica ambiental.....	44
2.6. Controle do Ruído por Enclausuramento .....	45
2.6.1. Enclausuramento Compacto ou pequeno. ....	47
2.6.2. Enclausuramento Grande ou Amplo .....	48
2.7. Isoladores de Vibração e Choques.....	53
<b>3. MÁQUINA DE DESFIBRAR.....</b>	<b>61</b>
3.1. Descrição da Máquina de Extração da Fibra vegetal e níveis acústicos .....	61
3.2. Medições de Nível de Pressão sonora na máquina.....	65
3.3. Níveis de pressão sonora (NPS) medidos.....	66
<b>4. SOLUÇÕES ACÚSTICAS PARA A MÁQUINA DE DESFIBRAR.....</b>	<b>70</b>
4.1. Dimensionamento de isoladores de vibração .....	70
4.2. Atenuação do ruído do motor elétrico .....	73

4.3.	Dimensionamento do enclausuramento parcial da máquina de desfibrar .....	76
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>86</b>
5.1.	Considerações Finais .....	86
5.2.	Sugestões para trabalhos futuro .....	86
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>87</b>

## LISTA DE TABELA

Tabela 2.1: Maiores municípios produtores de banana no Pará em 2016. Fonte: IBGE Adaptado - Produção Agrícola Municipal (2017). .....	21
Tabela 2.2: Atenuação dos ruídos com protetores auriculares. Fonte: Bastos (2007).....	43
Tabela 2.3: Anexo 1 -Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente. Fonte: NR-6 .....	44
Tabela 2.4: Nível de critério de avaliação NC, em dB(A). NBR 10152 .....	45
Tabela 2.5: Propriedades acústicas de materiais para enclausuramento (BARRON, 2003)...	49
Tabela 2.6: Razões de amortecimento típicas de isoladores de vibração. Fonte: Bistafa (2011). .....	57
Tabela 4.1: Valores dB(A) e NC recomendados pela NBR 10152 .....	76
Tabela 4.2: Dados da absorção sonora das paredes e perda de transmissão. ....	78
Tabela 4.3: Resumo tabular sem o enclausuramento .....	81
Tabela 4.4: Resumo tabular dos cálculos de nível de pressão (Lp).....	83
Tabela 4.5: Cálculo do $L_{p,global}$ para o enclausuramento parcial. Fonte (Bistafa, 2011)	84
Tabela 4.6: Cálculo do $L_{p,global}$ para o enclausuramento parcial. Fonte (Bistafa, 2011)	85

## LISTA DE FIGURA

Figura 2.1: Região de Integração (RI) Lago de Tucuruí. ....	19
Figura 2.2: Usina Hidrelétrica de Tucuruí. Fonte: Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A, (2018). ....	20
Figura 2.3: Distribuição da cultura da banana no mundo. Fonte Vieira (2011). ....	22
Figura 2.4: Principais partes da bananeira. Fonte: Vieira (2011). ....	23
Figura 2.5: Fluxograma da geração de resíduos da bananicultura. Fonte: Soffner (2001). ....	24
Figura 2.6: Pseudocaule de Bananeira. Fonte: Casa do Produtor Rural – USP (2017). ....	24
Figura 2.7: Fibra do pseudocaule da bananeira extraídas manualmente e secas ao ar. Fonte: Cordioli (2008). ....	25
Figura 2.8: Esquema de corte do engaço da bananeira. Fonte: Soffner (2011). ....	26
Figura 2.9: Bananeira. Fonte: Autor. ....	27
Figura 2.10: Redução do teor de amido e acúmulo de açúcares durante a evolução da cor amarela da casca da banana. Fonte: Borges (2004). ....	28
Figura 2.11: Montagem de placa da fibra de bananeira. Fonte: Demarchi (2010). ....	30
Figura 2.12: Papel confeccionado com as fibras do pseudocaule da bananeira (CORAIOLA, 2009). ....	32
Figura 2.13: Alternativas de utilização do papel confeccionado utilizando a fibra do pseudocaule da bananeira (CORAIOLA, 2009). ....	32
Figura 2.14: Máquina para extração de Fibra de bananeira (DAS, <i>et al.</i> , 2010). ....	34
Figura 2.15: Circuito de compensação A, B, C e D. Fonte: (GERGES, 2000). ....	36
Figura 2.16: Estrutura de materiais porosos/fibrosos. Fonte: Bistafa (2011). ....	38
Figura 2.17: Balanço energético do som que incide sobre a superfície. Fonte: Bistafa (2011). ....	38
Figura 2.18: trajetória e receptor. Fonte: Gerges (2000). ....	39
Figura 2.19: Enclausuramento total. Fonte: Bastos (2007). ....	41
Figura 2.20: Enclausuramento parcial. Fonte: Gerges (2000). ....	41
Figura 2.21: Equipamento de proteção sonora individual. Fonte: Bastos (2007) ....	43
Figura 2.22: Enclausuramento. Fonte: Adaptada de Barron (2003). ....	47
Figura 2.23: Enclausuramento dentro de uma fábrica. Fonte: Gerges (2000). ....	48
Figura 2.24: Aplicação de isolamento em máquina vibrante. Fonte: Bistafa (2011). ....	54
Figura 2.25: Modelo de sistema vibratório com um grau de liberdade. Fonte: Bistafa (2011). ....	55

Figura 2.26: Gráfico da TF em função de $r$ e de $\zeta$ . Fonte: Gerges (2000).....	56
Figura 2.27: Diversos tipos de Molas de aço. Fonte: Bistafa (2011). .....	57
Figura 2.28: Esquema gráfico da distribuição dos Reações (R).....	59
Figura 3.1: Ilustrações e foto da máquina de extração de fibras. ....	61
Figura 3.2: Algumas etapas da fabricação da máquina. Fonte: Souza e Gaia (2016). .....	62
Figura 3.3: Pseudocaule de bananeira e extração da fibra.....	62
Figura 3.4: Fibras extraídas do pseudocaule por diferentes formas Fonte: Souza e Gaia (2016). .....	63
Figura 3.5: Produção de fibras manual e mecânica. Fonte: Adaptado de Souza e Gaia (2016). .....	63
Figura 3.6: Máquina montada de desfibrar.....	64
Figura 3.7: Desfibramento do pseudocaule de bananeira.....	66
Figura 3.8: Decibelímetro com tripé.....	66
Figura 3.9: Gráfico de NPS dB(A) de 600rpm sem fibra.....	67
Figura 3.10: Gráfico de NPS dB(A) de 600 rpm com fibra. ....	68
Figura 3.11: Gráfico de NPS dB(A) de 900rpm sem fibra.....	68
Figura 3.12: Gráfico de NPS dB(A) de 900rpm com fibra. ....	69
Figura 4.1: Máquina de desfibrar sem os isoladores de vibração.....	70
Figura 4.2: Máquina de extração de fibras e seu CG.....	72
Figura 4.3: Desenho da diferença entre CG e centro geométrico.....	73
Figura 4.4: Motor elétrico da máquina de desfibrar. ....	74
Figura 4.5: Ventoinha com rotor pás retas e curvas. Fonte: Gerges (2000).....	74
Figura 4.6: Motor TEFC da máquina de desfibrar. ....	75
Figura 4.7: Motor TEFC com rotor de discos paralelos. Fonte: Gerges (2000).....	75
Figura 4.8: Área analisada na pesquisa com a máquina de desfibra. ....	77
Figura 4.9: Vistas do desenho do enclausuramento parcial.....	77
Figura 4.10: Desenho do enclausuramento da máquina de desfibrar. ....	78
Figura 4.11: Comparação dos NPS sem e com o enclausuramento parcial. ....	84

## LISTA DE SIGLAS

UFPA: Universidade Federal do Pará  
NDAE: Núcleo de desenvolvimento amazônico  
PPGINDE: Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético  
RI: Região de Integração  
IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
FAPESPA: Fundo da Amazônia de Amparo a Estudo e pesquisas  
APL: Arranjo Produtivo Local  
IDH-M: Desenvolvimento Humano Municipal  
INCRA: Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária  
PDRS: Projeto de Desenvolvimento Rural Sustentável  
ELETRONORTE: Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A  
EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
SEBRAE: Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas  
ABANORTE: Associação Central dos Fruticultores do Norte de Minas  
NRDC: Natural Resources Defense Council  
FAO- ONU: Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação  
PAIR: Perda auditiva induzida por ruído.  
NPS: Nível de Pressão Sonora  
NWS: Nível de Potência Sonora da fonte  
EPI: Equipamento de proteção individual  
CLT: Consolidação das Leis Trabalhistas  
NR-15: Norma Regulamentadora – Atividades e operações insalubres  
NR-7: Norma Regulamentadora – Programa de controle medico de saúde ocupacional  
NR 17: Norma Regulamentadora - Ergonomia  
NR 6: Norma Regulamentadora - Equipamento de proteção individual (EPI)  
NBR 10151: Norma Brasileira - Avaliação de Ruídos em Áreas Habitadas  
NBR 10152: Norma Brasileira – Nível de ruído para conforto acústico  
 $L_{ar}$ : Intervalos apropriados para o Nível de Ruído Ambiente  
dB: Unidade de medida do nível do som, da intensidade sonora, do nível de pressão acústica

NC: Curva de avaliação de ruído

dB(A): Unidade de medida do nível do som, da intensidade sonora, do nível de pressão acústica adequado a audição humana

Hz: Unidade de medida derivada do SI para frequência

$\lambda$  : Comprimento de onda

$L_{max}$ : Maior dimensão interna no enclausuramento

$f$ : Frequência

$c_0$ : Velocidade do som para o ar

$NPS_{rev}$ : Nível de pressão sonora reverberante

$NPS_{ext}$ : Nível de pressão sonora externo a clausura

$R$ : Constante da área em análise, para atenuação de energia desprezível no ar ambiente onde a enclausuramento se encontra

$\bar{\alpha}$  : Coeficiente de absorção média superficial

$s_0$ : Área total em análise do galpão

$\alpha$ : Coeficiente de absorção

$Q$ : Fator de diretividade

$n$ : Número de restrições

$r$ : Distância da fonte ao receptor

$L_p$ : Nível de pressão sonora

$L_w$ : Nível de potência sonora

$s_1$ : Área total do enclausuramento, sem considerar o chão da mesma.

$TL$ : Perda de transmissão das paredes do enclausuramento

$s_{tl}$ : Coeficiente de transmissão de potência sonora para as paredes do enclausuramento

$\alpha_{tj}$ : coeficiente de transmissão sonora para aberturas do enclausuramento

$s_j$ : Produto escalar da área da clausura pelo coeficiente de transmissão

$\alpha_{tj}$ : Área da abertura do enclausuramento pelo coeficiente de absorção

$IL$ : Perda de inserção

$W$ : Potência acústica radiante

$w_{out}$ : Potência acústica radiante externa

$TF$ : Transmissibilidade de força

$k$ : Rigidez do isolador de vibração

$C$ : Constante de amortecimento do isolador

$F$ : Força excitadora

$x$ : Deslocamento da máquina em relação ao equilíbrio.  
 $F_T$ : Força transmitida a base da máquina  
 $\xi$ : Fator ou razão de amortecimento viscoso  
 $R$ : Razão da frequência de excitação pela frequência natural  
 $\Omega$ : Frequência de excitação  
 $\omega_n$ : Frequência natural  
 $P_T$ : Peso Total  
 $\Delta_{est}$ : Delta estático  
 $k_{eq}$ : Rigidez equivalente  
 $m$ : Massa  
CG: Centro de gravidade  
RPM: Rotações por minutos  
TEFC: Totalmente fechado, resfriado por ventilador  
 $La_{eq}$ : Nível sonoro ponderado equivalente  
 $L_{p,global}$ : Nível de pressão global

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Considerações Gerais

A banana é uma das frutas mais consumida no mundo e o Brasil apresenta-se como um dos maiores produtores mundiais deste fruto, sendo que a maioria da sua produção é consumida internamente. Em 2016, o País teve uma produção anual de aproximadamente 6,8 milhões de tonelada (IBGE, 2017). Um dos motivos que fazem o cultivar ser bastante difundido, são o baixo custo do plantio, venda fácil, alimento altamente energético (MEDINA *et al.*, 1995), além da vantagem de poder ser consumido na maioria das vezes *in natura*.

Dentre os estados brasileiros, São Paulo e Bahia são os maiores produtores, seguidos de Minas Gerais, Santa Catarina e Pará, de acordo com o IBGE (2017). Em 2001 o Pará possuía a terceira maior produção de banana em patamares similares ao estado da Bahia, o segundo maior produtor. Contudo, devido aos baixos investimentos tecnológicos na produção e ao alto crescimento no investimento de áreas destinadas à pecuária bovina na região, houve uma queda na produção. Apesar disto, devido às boas condições ambientais e à adoção de técnicas corretas de plantio, o Pará detém aproximadamente 41,4 mil hectares de área plantada ainda hoje, determinando a importância da bananicultura para a economia regional (IBGE, 2017)

No estado do Pará destaca-se a produção de banana do município de Novo Repartimento, que é o 10º município maior produtor do país (IBGE, 2017), o qual faz parte da Região de Integração (RI) Lago de Tucuruí (uma das 12 regiões de integração definidas pelo governo paraense), que é formada por sete municípios: Tucuruí, Goianésia, Jacundá, Nova Ipixuna, Itupiranga, Novo Repartimento e Breu Branco, tendo Tucuruí como o município mais populoso (FAPESPA, 2018).

A produção da banana na região do Lago de Tucuruí acontece sem grandes avanços tecnológicos e sem maiores incentivos governamentais. Basicamente, os pequenos produtores lucram somente com o produto primário, ou seja, somente com a venda do fruto. Esta situação não é inerente somente a este caso específico, mas, em geral, a agricultura no Brasil se desenvolve atrelada à produção e comercialização de matérias-primas (*commodities*), que não sofrem transformações substanciais (CARNEIRO e MATIJASCIC, 2011). Observou-se que boa parte dos pequenos produtores costumam estar à margem do processo produtivo de alto valor agregado. Desta forma, estes não conseguem elevar substancialmente suas rendas, não potencializando, assim, a geração de empregos e renda no campo (MIYASHITA, 1997).

Posteriormente a comercialização dessa matéria prima, o produtor rural descarta o pseudocaule da bananeira que pode gerar uma fonte considerável de contaminação por fungo: Mal-do-panamá, Sigatoka-amarela, Sigatoka-negra, (DEMARCHI, 2010).

Em geral, a quantidade de resíduos gerados pelas culturas agrícolas é maior que a quantidade de material utilizada para fins alimentícios. Dentre os possíveis usos desses resíduos, que são cascas, folhas e palhas, destaca-se a sua transformação, por meio de bioconversão, em matéria orgânica para incorporação ao solo, e de alimentos para os ruminantes, como o feno ou o ensilado (mistura de plantas ceifadas e secas), ou mesmo, a sua utilização como substrato para a produção de biomassa protéica de fungos e de leveduras (TAGLIARI, 2003).

Ainda com o aproveitamento do resíduo, o pseudocaule pode ser utilizado como fibra celulósica que apresenta alto valor de módulo de elasticidade ou módulo de Young que é uma propriedade mecânica que mede a rigidez de um material sólido, através da relação entre tensão e deformação de um material no regime elástico, proporcionando uma boa resistência mecânica, ramo da mecânica que estuda as relações entre cargas externas aplicadas à um corpo deformável e a intensidade das forças internas que atuam dentro de um corpo, (JUSTIZ-SMITH *et al.*, 2007), desta forma ampliando o leque de aplicações destas fibras vegetais em substituição às fibras sintéticas na indústria. A substituição de fibras sintéticas por vegetais traz os benefícios destas últimas serem de uma fonte renovável, biodegradável, economicamente acessível e acarretar menor impacto ambiental (SOUZA *et al.*, 2017).

Nesse sentido, foi desenvolvida na Universidade Federal do Pará- Campus de Tucuruí uma máquina de extração de fibras vegetais que atenderá projeto piloto de geração de produtos a partir das fibras cujos resultados poderão atender aos pequenos produtores e cooperativas visando fortalecer o desenvolvimento de agroindústrias familiares e de um arranjo produtivo local (APL) (SOERGER *et al.*, 2014) na região do Lago de Tucuruí-PA.

O protótipo da máquina de desfibrar foi construído por Souza e Gaia (2016) e nos testes iniciais foi verificado grande benefício em relação a extração manual, contudo, posteriormente, verificou-se problemas dinâmicos em sua operação, principalmente ao ruído emitido durante sua operação.

Os níveis de pressão sonora emitidos pela máquina foram medidos e verificados, estando acima dos níveis permitidos por normais vigentes, de acordo com sua localização. Com isso, foram realizados estudos para proposições quanto a possíveis soluções acústicas a serem tomadas, para eliminar ou minimizar o problema de ruído. Deste modo, o foco deste trabalho, consiste em apresentar soluções acústicas para máquina de extração de fibras, dentre elas, a

especificação de isoladores de vibração, a troca da ventoinha do motor elétrico e o dimensionamento de um enclausuramento parcial da máquina.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo Geral**

Dimensionar os problemas acústicos da máquina de extração de fibras vegetais para um melhor aproveitamento da fibra do pseudocaule da bananeira.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Análise de viabilidade da mecanização na extração da fibra do pseudocaule da bananeira.
- Avaliar o Nível de pressão Sonora (NPS) da máquina de extração de fibras;
- Definir e especificar as soluções acústicas a serem tomadas para adequação dos níveis acústicos da máquina em funcionamento.

## **1.3. Estruturação do Trabalho**

O estudo proposto está dividido em 5 capítulos que têm as seguintes abordagens: o capítulo 2 mostra as características da região do Lago de Tucuruí, as carências da região e descreve sobre quais produtos podem ser produzidos a partir da fibra do pseudocaule da bananeira para impulsionar a economia da região, além das técnicas de controle de ruído e normas. O capítulo 3 apresenta a descrição da máquina de extração de fibras vegetais desenvolvida por docentes e discentes da Universidade Federal do Pará (UFPA) Campus Tucuruí. Em seguida são mostrados o procedimento experimental e os resultados de NPS (Nível de Pressão Sonora) medidas na máquina de extração fibras usando pseudocaule da bananeira. O capítulo 4 trata do procedimento de dimensionamento dos isoladores de vibração, silenciador dissipativo e enclausuramento parcial da máquina de desfibrar. No capítulo 5 apresentam-se as conclusões, dos resultados das análises através das medições e as proposições das principais ações a serem realizadas.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Região de Integração (RI) do Lago de Tucuruí

O Governo do Estado do Pará instituiu, para fins de planejamento, por meio de Decreto Estadual n. 1.066 de 19 de junho de 2008, 12 regiões de integração (RI's). Dentre estas, a RI Lago de Tucuruí, situada no sudeste do Pará é composta pelos municípios de Breu Branco, Goianésia do Pará, Itupiranga, Jacundá, Nova Ipixuna, Novo Repartimento e Tucuruí, como pode ser observado na Figura 2.1

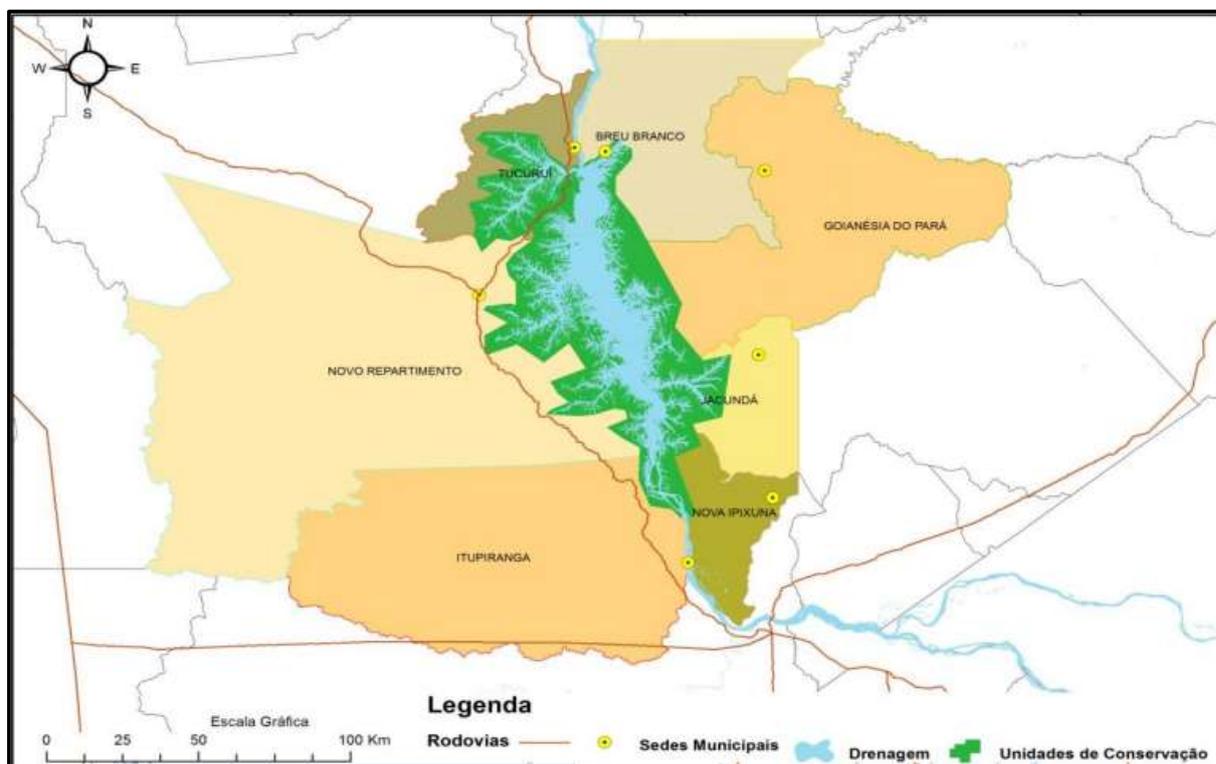


Figura 2.1: Região de Integração (RI) Lago de Tucuruí.  
Fonte: Ministério do Meio Ambiente, IBGE (2010).

A região possui, de acordo com os dados do IBGE de 2017 uma população de 413.446 habitantes em uma área de 39.903,37 km<sup>2</sup>, o que lhe confere uma baixa densidade demográfica de 10,36 habitantes por quilômetro quadrado. Em relação ao Estado do Pará também possui baixa demografia: possui 4,94% da população e 3,20% da área total do estado do Pará.

No que se refere ao IDH-M (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal) segundo dados do IBGE (2010), apenas dois municípios são classificados como tendo um médio desenvolvimento humano, que são Tucuruí (0,668) e Jacundá (0,662). Todos os demais

municípios ficam enquadrados em baixo desenvolvimento, destacando negativamente os municípios de Novo Repartimento (0,537) e Itupiranga (0,528) com os mais baixos IDH-M da região.

De acordo com Pereira e Rocha (2003) os fluxos migratórios foram decorrentes de políticas públicas implantadas pelo Governo Federal, através do INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária), e a construção dos grandes projetos como a Albrás-Alunorte e a Usina Hidrelétrica de Tucuruí que atraíram um grande volume de força de trabalho para a região norte. A construção da usina provocou um grande impacto no espaço e na economia regional, pois demandou uma redefinição na estrutura espacial e reorganização socioeconômica. A economia correspondente ao início da ocupação da região era extrativista e as vilas e cidades eram formadas as margens da estrada de ferro Tocantins e do rio Tocantins, pois havia um sistema flúvio ferroviário para o transporte de mercadorias.

Segundo Costa (2014), a região é conhecida nacionalmente por abrigar a Usina Hidrelétrica de Tucuruí, observada na Figura 2.2 que é a quarta maior do mundo em potência, com capacidade de gerar 8.370MW, atendendo grande projetos minero-metalúrgicos no Estado do Pará, além de fornecer energia para quase todas as regiões do país por meio do Sistema Interligado Nacional.



Figura 2.2: Usina Hidrelétrica de Tucuruí. Fonte: Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A, (2018).

O início da construção da usina hidroelétrica de Tucuruí alterou não somente a configuração geográfica da região como também impulsionou um fluxo migratório para a

região. Trabalhadores e suas famílias vieram em busca de terras e bens sociais, pois viram no Pará a inclusão e oportunidade que não tiveram em seus estados de origem. Assim vários projetos de assentamentos do Incra foram implantados não somente na região do Lago de Tucuruí, mas em todo o Sudeste do Pará (devido a outros grandes empreendimentos). E o caminho encontrado para esses assentamentos envolvia a capacitação de atividade de plantio como forma de sustentabilidade. As florestas deram lugar às áreas de plantio, dando origem a plantações de mandioca, arroz, milho, feijão e banana na região, e fizeram o Pará estar entre os principais produtores de banana do Brasil (QUARESMA e SOARES, 2015).

Na Tabela 2.1 estão listados os principais municípios produtores de banana no estado do Pará, mostrando que a produção de banana no Estado do Pará, está concentrada basicamente em duas mesorregiões, no sudoeste e no sudeste paraense onde se encontra a RI Lago de Tucuruí (IBGE, 2017).

As unidades que foram utilizadas na Tabela 2.1 para área foi o hectare (ha), que é equivalente a 10.000 m<sup>2</sup>, já para produção, a unidade foi a tonelada (t) e para o rendimento, toneladas por hectare (t/ha).

Tabela 2.1: Maiores municípios produtores de banana no Pará em 2016. Fonte: IBGE Adaptado - Produção Agrícola Municipal (2017).

Colocação no Estado	Colocação Nacional	Município	Área Colhida (ha)	Produção (t)	Rendimento (t/ha)
1º	10º	Novo Repartimento	6500	84500	13,00
2º	27º	Medicilândia	2.820	42.300	12,00
3º	29º	Altamira	3.470	39.630	29,22
4º	51º	Tucuruí	1.750	26.250	25,00

Conforme Tabela 2.1, o município de Novo Repartimento é o maior produtor de banana do Estado do Pará, mas com baixo rendimento de produção e o município conta com o mais baixo IDH-M da RI Lago de Tucuruí (117º lugar no Pará). Refletindo a falta de tecnologia no cultivo da planta e a falta de valor agregado nessa quantidade de produção, tendo rendimento somente com a venda do fruto *in natura*. Portanto, há um grande potencial de aumento nos rendimentos, caso ocorra o processamento não só do fruto, mas também de outras partes da bananeira, como o pseudocaule, entre outros, que não são aproveitados. Isto ocorre não só no município citado, mas em todo o Estado (IBGE,2017).

## 2.2. A Bananeira e seus Produtos Processados

### 2.2.1. Bananeira

O centro de origem da banana (*Musa spp.*) é o sudeste asiático e oeste do Pacífico. Foi introduzida na África, nas Américas e no Sul do Pacífico onde ganhou popularidade e importância econômica (DE LANGHE *et al.*, 2009; VALMOR *et al.*, 2001), constituindo-se em uma das principais fontes de alimento para milhões de pessoas (BOONRUANGROD *et al.*, 2009). Por ser um dos maiores produtores mundiais de banana, o Brasil, conseqüentemente, gera grande quantidade de resíduo proveniente desta atividade de cultivo, a qual vem sendo objeto de estudos em um grande número de pesquisas dirigidas ao seu aproveitamento.

Segundo Vieira (2011), a bananeira é uma espécie tipicamente tropical exigindo, para um bom desenvolvimento, calor constante, umidade elevada e adequada distribuição de chuvas. Essas condições são registradas especialmente entre o trópico de Câncer e trópico Capricórnio. De modo geral, quanto mais próximo da linha do Equador, como pode ser observado na Figura 2.3, mais favoráveis são as condições climáticas para o cultivo da banana, ou seja, em regiões onde as temperaturas situam-se entre os limites de 15°C e 35°C.

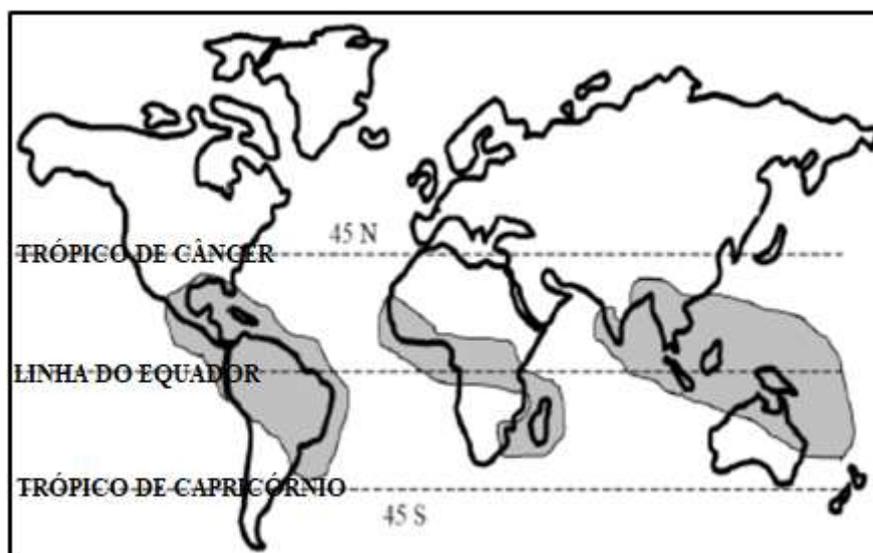


Figura 2.3: Distribuição da cultura da banana no mundo. Fonte Vieira (2011).

As principais partes da bananeira são: sistema radicular (raízes), caule subterrâneo (rizoma), pseudocaule (ou tronco, constituído de bainhas foliares abarcantes), folhas e cacho (engajo, ráquis e coração) (EMBRAPA, 2012).

De comprimento variável, as raízes podem atingir de 5 m a 10 m, mas, em geral, 70% das raízes são encontradas a uma profundidade de até 20 cm. O rizoma da bananeira, que é o seu verdadeiro caule, permanece debaixo do solo e é sustentado pelo falso tronco na sua parte superior e, na sua parte inferior, por suas raízes. Esse rizoma caracteriza-se por formar as gemas de brotação, que se igualam ao número de folhas da bananeira. O pseudocaule, estrutura constituída pelas bainhas das folhas da bananeira, corresponde ao que é normalmente denominado de tronco. O cacho da bananeira possui as seguintes partes: pedúnculo (engaço), ráquis, inflorescência feminina e inflorescência masculina (EMBRAPA, 2012). Os cachos geram frutos abundantes, em forma de bagas alongadas, que lembram dedos (o nome banan vem da palavra árabe para dedo, “banan”) (EMBRAPA, 2008). Os frutos da bananeira se originam das flores localizadas na inflorescência feminina e o coração da bananeira é a estrutura na extremidade do cacho que compreende a inflorescência masculina (EMBRAPA, 2012). A Figura 2.4 ilustra uma bananeira e algumas de suas principais partes.

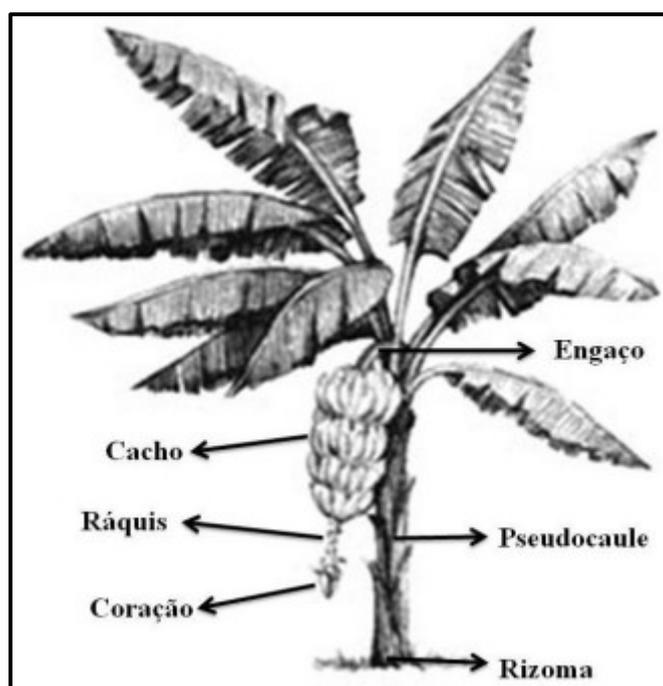


Figura 2.4: Principais partes da bananeira. Fonte: Vieira (2011).

Segundo BORGES *et al.*, (2006a) é grande a quantidade de fitomassa (massa dos seres vegetais que vivem na superfície de uma área de solo) seca produzida pela bananeira na época da colheita. O pseudocaule (composto de bainhas e cilindro central) acumula maior quantidade de fitomassa seca, seguido pelo cacho, este correspondendo a, aproximadamente, 34% da quantidade total produzida na colheita. Assim, 66% da fitomassa seca da colheita é devolvida

ao solo, correspondendo a uma média de 9,6 t de massa vegetal seca restituída ao solo por hectare (BORGES; *et al.*, 2006). Essa fitomassa pode fornecer uma quantidade significativa de quilograma (Kg), em torno de 200 a 590 kg/ha.

De acordo com Souza *et al.*, (2014) para cada tonelada de banana colhida são geradas aproximadamente 4 toneladas de resíduos, incluindo a casca, folhas, pseudocaule e engaço do cacho. Em torno de 75 % desses resíduos é composto de pseudocaule de bananeira.

A geração de resíduos da atividade da bananicultura, é representada na Figura 2.5:

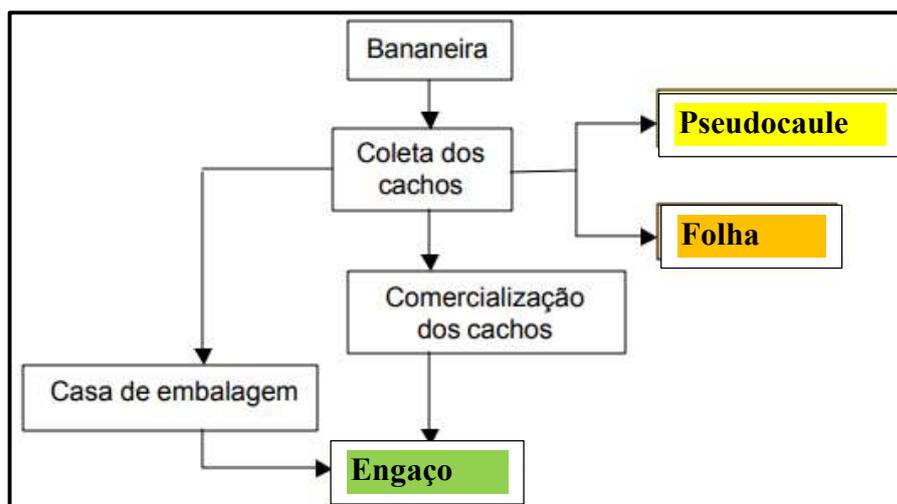


Figura 2.5: Fluxograma da geração de resíduos da bananicultura. Fonte: Soffner (2001).

O pseudocaule de uma bananeira pode ser observado na Figura 2.6.



Figura 2.6: Pseudocaule de Bananeira. Fonte: Casa do Produtor Rural – USP (2017).

No que concerne, o uso de fibras naturais como agentes de reforço de materiais poliméricos tem encontrado diversas tendências ao longo dos anos. Pesquisadores de todo o mundo tentam atingir seus objetivos através da fabricação de materiais que combinem alta

qualidade e recursos renováveis, fundamentando suas teorias no alto ganho ecológico que esses recursos irão oferecer (El BANNA *et al.*, 2011).

Diante disso, o potencial desta fibra no mercado de artesanato ainda é pouco explorado, embora se trate de um recurso natural disponível em várias localidades, não tendo maiores restrições para sua utilização, o manuseio é simples, tanto na coleta como no preparo para trançar, apresentando várias alternativas de trabalhos (LUPION, 2005, p. 25).

Para diminuir os efeitos da sazonalidade da produção, a extração da fibra do pseudocaule surgiu como uma alternativa, sendo para os agricultores fonte de emprego e renda complementar. A fibra de bananeira, Figura 2.7, tem texturas diferentes (capa, seda, renda, fio) e possui assim diversas aplicações. Resultado do descarte do pé de bananeira, pós-colheita do cacho, o pseudocaule da mesma é aproveitado, possibilitando alternativas de uso em artesanatos e compósitos com polímeros podendo substituir outros materiais coletados na mata atlântica (CORDIOLI, 2008).



Figura 2.7: Fibra do pseudocaule da bananeira extraídas manualmente e secas ao ar. Fonte: Cordioli (2008).

Segundo Soffner (2001), o uso do engaço na Figura 2.8, como matéria prima para produção de polpa celulósica, possibilita agregar valor a um resíduo, transformando-o em subproduto, no caso, polpa celulósica, o que contribui para minimização de impactos ambientais negativos. No Brasil grande parte dos resíduos permanecem nos bananais favorecendo o desenvolvimento de organismos biodeterioradores e de animais peçonhentos. Do ponto de vista tecnológico, o engaço representa uma fonte alternativa de fibra longa para produção de papeis especiais e artesanais do engaço da bananeira.

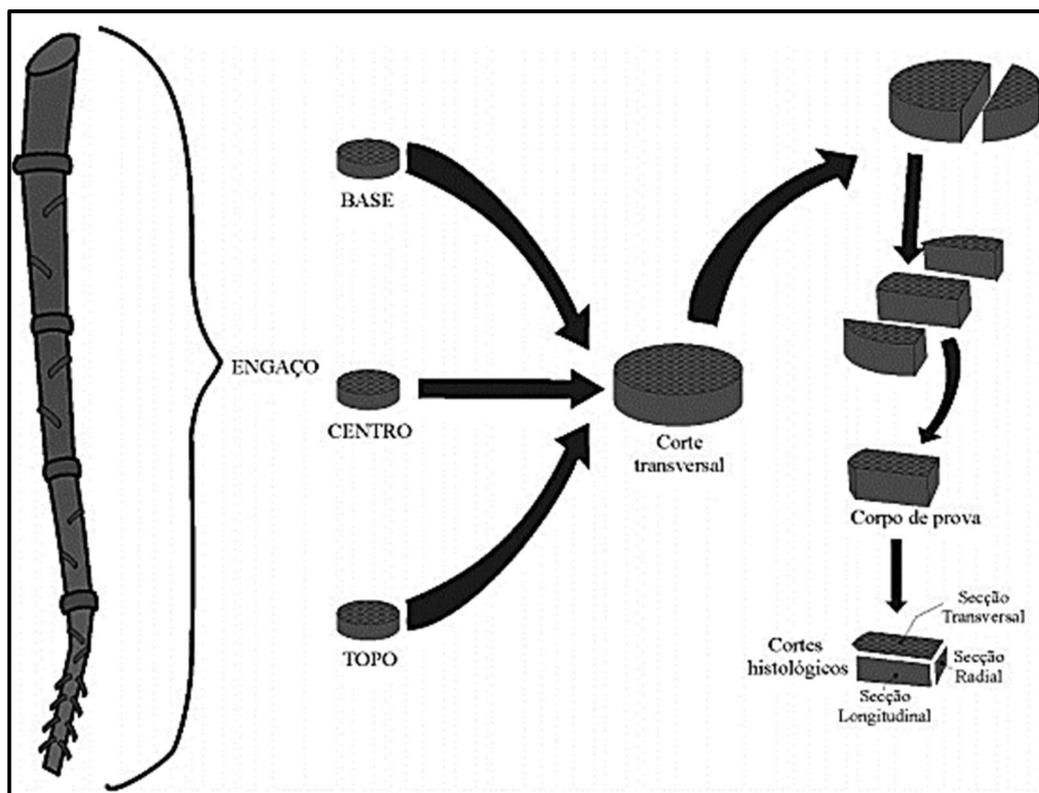


Figura 2.8: Esquema de corte do engaço da bananeira. Fonte: Soffner (2011).

### 2.2.2. Produtos do pseudocaule da bananeira

O fruto da bananeira observado na Figura 2.9, em geral, nasce com uma coloração esverdeada, estando ainda precoce para o consumo, pois, ainda é constituída basicamente de água e amido o que torna sua consistência pegajosa e de paladar desagradável. Mesmo imprópria para o consumo neste estágio, da banana verde pode-se produzir farinha para produção de biscoito e tortas (SEBRAE, 2008).



Figura 2.9: Bananeira. Fonte: Autor

Após a colheita na maturidade fisiológica, a banana caracteriza-se pelo baixo teor de açúcares, alto teor de amido, com o amadurecimento, ocorre a hidrólise do amido e o acúmulo de açúcares solúveis, redução da adstringência e amaciamento da polpa, pois ocorre a degradação da clorofila, pigmento que confere a cor verde e aparecimento dos pigmentos carotenoides responsáveis pela coloração amarela observado na Figura 2.10, sendo um bom indicativo do grau de amadurecimento da banana, sendo o principal critério para a colheita, aliado à idade do cacho (BORGES, 2004).

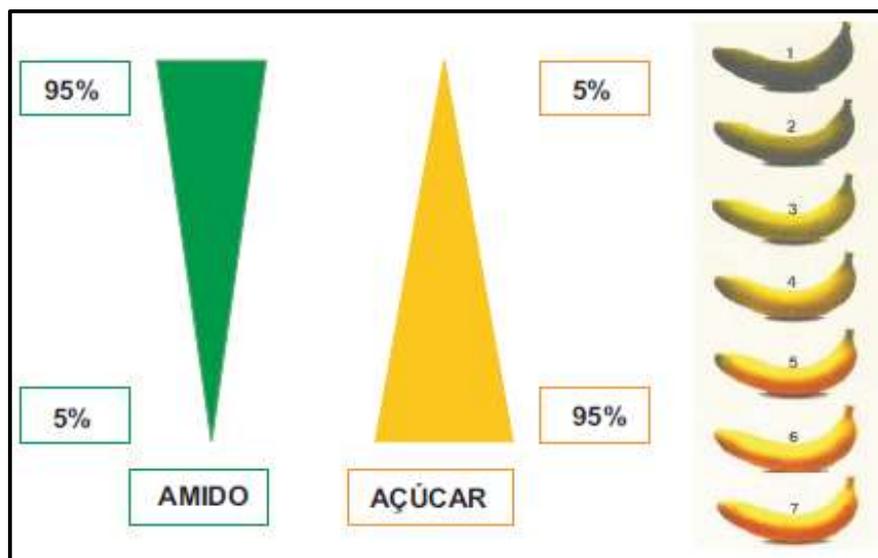


Figura 2. 10: Redução do teor de amido e acúmulo de açúcares durante a evolução da cor amarela da casca da banana. Fonte: Borges (2004).

Ao amadurecer, a banana adquire a coloração amarela com pintas marrons, a transformação do amido em açúcares altera sensivelmente seu paladar e transforma o fruto em um alimento altamente nutritivo e rico em potássio (SEBRAE, 2008).

Além do consumo *in natura*, a banana pode ser usada para acompanhar refeições e sorvetes (banana split), ser frita, e ainda pode ser processada para uma ampla variedade de produtos alimentícios, tais como suco, aguardente, licor, bebidas energéticas, geleias, doces, balas, bolos, tortas, cristalizados, sorvetes, dentre outros (SEBRAE, 2008).

Após o final do ciclo da bananeira, ou seja, após a colheita da banana, novos rebentos (outras mudas da mesma planta) surgem a partir do rizoma (parte submersa da bananeira). O pseudocaule, uma vez extraído, caso não tenha uma destinação, pode levar à proliferação de fungos junto aos bananais, devido ao seu alto teor de umidade (DEMARCHI, 2010). Segundo Becker *et al.*, (2011) uma forma de aproveitar o pseudocaule é a utilização de suas fibras. A fibra do pseudocaule é uma fibra natural celulósica, que apresenta altos valores de módulo de Young, devido ao elevado conteúdo de lignina (polímero orgânico complexo que une as fibras celulósicas, aumentando a rigidez da parede celular vegetal, constituindo, juntamente com a celulose, a maior parte da madeira das árvores e arbustos), além de proporcionar um incremento de resistência à tração (tensão de escoamento), devido ao elevado teor de carbono (JUSTIZSMITH *et al.*, 2007). Na verdade, do pseudocaule podem ser extraídos cinco tipos de fibra com texturas e características diferentes, o que a caracteriza como uma matéria-prima bastante versátil para fabricação de diversos produtos (EMBRAPA, 2008).

O Brasil impressiona também pela grande quantidade de matérias-primas. Os chamados “produtos da floresta” têm mercado garantido, mas por falta de políticas que promovam a capacitação da mão-de-obra e a qualificação da matéria-prima, a produção regional ainda é incipiente. A grande demanda mundial pelos “produtos da floresta” se justifica pela consciência de que contribui para a preservação ambiental e para o desenvolvimento sustentável das populações tradicionais, pois o mercado estrangeiro aprecia o artesanato brasileiro e os compra para ajudar a região produtora e assim promover melhor qualidade de vida de sua população (REVISTA AMAZON VIEW, 2007). Também são aplicadas na produção de móveis de luxo, substituindo o couro e os tecidos nos estofados, trazendo as vantagens de maior resistência às manchas e o *dégradé* natural (VALOR ECONÓMICO, 2018). Essas fibras podem ser usadas na fabricação de papel para convites, embrulho de presentes e capas de cadernos (EMBRAPA, 2008). Quando se fala de papel, é importante conhecer o índice de Runkel (relação entre a espessura da parede e diâmetro do lume da fibra) é citado na literatura como indicativo da flexibilidade das fibras, fornecendo informações sobre a sua capacidade de união, relacionado com a resistência à tração e ao arrebentamento (FOELKEL; BARRICHELO, 1975). Além disso, também têm sido utilizadas na produção de painéis absorvedores acústicos, mostrando em determinadas faixas de frequência, desempenho superior a painéis feitos a partir de lã de vidro e lã de rocha (SALVADOR, 2001).

Segundo Anjos *et al.*, (2003), as mais variadas aplicações têm evoluído da simples utilização como carga, ou seja, outro material que tenha características semelhantes, para aplicações como incremento no desempenho de produtos, em especial, em componentes estruturais. Não só os resíduos industriais têm sido utilizados na construção civil, mas também os oriundos da produção agrícola e agroindustrial.

No que se refere às características gerais, as placas desenvolvidas através de pesquisas, apresentaram elevada viabilidade de uso na construção civil, uma vez que comprovaram desempenho geral compatível com o de outros materiais empregados para os mesmos fins. A fibra de bananeira apresentou melhores resultados de absorção sonora para a faixa de média frequência, entre 125 e 2000 Hertz. O desempenho do material estudado foi superior à lã de vidro, no intervalo de 250 a 1000 Hertz, e, ligeiramente superior, à lã de rocha, entre 500 e 1400 Hertz. Desta forma, destaca-se o valor do material, visto que o emprego do mesmo é compatível com o propósito da construção sustentável (DEMARCHI, 2010).

A Figura 2.11 mostra a placa de fibra de bananeira pronta para ser prensada e também a placa de fibra de bananeira pronta para realizar testes de inflamabilidade e acústico.



Figura 2. 11: Montagem de placa da fibra de bananeira. Fonte: Demarchi (2010).

Na confecção de materiais compósitos, o processo deve ser potencializado aproveitando as características das fibras. Nessa conjuntura, é importante, que a escolha do material utilizado como reforço possua características que ofereçam melhores desempenhos técnico de fabricação e custo adequados ao projeto. A fibra de vidro é o material mais utilizado na confecção de compósitos, em virtude de apresentar propriedades como: resistência mecânica, custo acessível, não ser inflamável e não reagir quimicamente com outros materiais além de apresentar resistência à corrosão e à umidade (OTA, 2004).

Todavia, o contato irrestrito e contínuo com os filamentos de fibra de vidro pode acarretar doenças respiratórias e pulmonares, além de aumentar a probabilidade do desenvolvimento de câncer. Pesquisas feitas pelo Conselho de Defesa dos Recursos Naturais (NRDC- Natural Resources Defense Council; Washington), detectaram que o risco de câncer ligado ao manuseio de fibra de vidro é igual ao causado pelo amianto (GEHLEN, 2014).

A Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação (FAO- ONU – Food and Agriculture Organization of the United Nations) estabeleceu o ano de 2009 como o ano mundial das fibras naturais propondo assim conscientizar e encorajar o emprego de fibras naturais, impulsionando políticas do governo de incentivo ao setor e às ações sustentáveis das empresas, para a sua utilização (FAO, 2009).

O processo de fabricação, influencia diretamente nos resultados, pois a espessura das fibras afeta a densidade do compósito deixando o material menos denso, fazendo com que a interação entre fibra/resina seja menor quanto maior for à espessura. Mas, de acordo com todas as análises e leituras feitas, pode-se perceber que a utilização da fibra de bananeira em compósitos é uma ótima opção de substituição da fibra de vidro, necessitando apenas de um aperfeiçoamento no processo de obtenção das fibras (mecanização do procedimento) e um maior cuidado na fabricação do compósito. Caso isso ocorra, irá agregar um valor maior ao

produto final. Este compósito, por sua fabricação ser de baixo custo e ter um grande potencial de implementação por cooperativas de trabalhadores rurais, pode ser um diferencial na vida dos povos carentes e pequenos produtores de banana (CARVALHO *et al.*, 2017)

Neste sentido, atualmente ocorre um aumento no interesse do emprego de materiais lignocelulósicos (fibras de sisal, coco, banana, curauá e juta), como reforço em compósitos de matrizes termofixas ou termoplásticas. A relevância do emprego das fibras vegetais como responsável pelo reforço nos compósitos está ligada ao seu baixo custo, densidade menor quando comparadas às fibras de vidro, ainda mais por serem fontes renováveis, biodegradáveis e serem abundantes no território nacional (PIRES *et al.*, 2011).

Nos dias de hoje observa-se que a degradação ambiental avança rapidamente. O ser humano busca facilidade, utilizando de forma demasiada e sem controle os recursos naturais produzindo uma grande quantidade de resíduos. A população mundial ultrapassa os sete bilhões e meio de habitantes, e cada vez mais o consumismo, o desperdício, a falta de consciência, reduzem drasticamente os recursos existentes no planeta. É de vital importância o desenvolvimento de projetos que busquem soluções sustentáveis, diminuindo os impactos causados pelo homem. Uma destas alternativas é a confecção de papel ecológico a partir da fibra do pseudocaule da bananeira, que é descartado após a colheita do cacho, um processo artesanal, podendo ser mecanizado, ambientalmente sustentável e economicamente viável para ser desenvolvido em comunidades; também pode ser utilizado como recurso em um processo de Educação Ambiental para a sensibilização da importância de um meio ambiente equilibrado. A produção do papel artesanal não causa degradação ao meio ambiente, substitui materiais convencionais, reduzindo a utilização de recursos naturais e pode ser uma fonte de auto sustentação para as comunidades (CORAIOLA, 2009).

Observou-se que do papel ecológico artesanal confeccionado apenas com a fibra de bananeira obtém-se um material flexível dependendo da espessura, mas quebradiço como pode ser na Figura 2.12. Este tipo de papel pode ser utilizado para forração de paredes de jardins de inverno e provavelmente, devido aos espaços vazios formados entre as fibras, pode ser utilizado como antirruído (CORAIOLA, 2009).



Figura 2. 12: Papel confeccionado com as fibras do pseudocaule da bananeira (CORAIOLA, 2009).

Segundo Coraiola (2009) existem muitas alternativas para o papel ecológico produzido, tais como embalagens, marcadores de livros, capas de agendas, etc., como na Figura 2.13.



Figura 2. 13: Alternativas de utilização do papel confeccionado utilizando a fibra do pseudocaule da bananeira (CORAIOLA, 2009).

### **2.2.3. Viabilidade econômica da fibra**

Quanto à viabilidade econômica da fibra de bananeira, segundo Sobhan (2014) em Bangladesh, há um histórico em produção têxtil, este setor voltou a ser revivido em uma nova dimensão, na forma da indústria do vestiário, visto que responde atualmente por cerca a 75% do faturamento nacional de exportação, como a exigência anual de algodão em Bangladesh é de 2,5 milhões de fardos, em contrapartida, a produção local de algodão é de apenas 0,1 milhão de fardos. Diante da situação surge uma oportunidade de preencher parte da lacuna por fibra bruta da extração de fibra de banana. A área plantada anual de banana em Bangladesh é de 53.970 ha. A produção total esperada de biomassa de pseudocaule de bananeira por ano é de 37.778,74 toneladas. Por hectare a produção esperada de fibra de banana é de 690 kg, e a receita anual esperada com a venda de fibra de banana é US \$ 2,5 / kg (R\$ 9,24/kg). O retorno bruto

pela venda de fibra de banana e composto anualmente é de *US \$ 94.446.850,00 (R\$ 349.009.444,81)*. De acordo com Sobhan (2014), a fibra de bananeira é usada para fios, tecidos, vestuário, artesanato, papel, papel moeda, papel de impressão de segurança, papel ofício, madeira compensada, etc. A extração de fibra de banana irá criar novos empregos na agricultura, pequena indústria e setores empresariais.

Segundo o jornal Valor Econômico (2018), o empresário João Saccaro, diretor-comercial da Saccaro empresa, está fabricando e exportando seus móveis e estofados de luxo, do Rio Grande do Sul com fibra de bananeira para os Estados Unidos, México, Chile Venezuela e Angola, comprando as fibras de banana de produtores do Norte do país. Este nicho de mercado alavancou a economia local, uma vez que o tronco da banana tem remunerado melhor que a própria fruta. Uma caixa de 22 kg de banana nanica, por exemplo, custa *R\$ 8,00*. O quilo da fibra beneficiada sai pelos mesmos *R\$ 8,00*. "O tronco da bananeira (pseudocaule) não tem valor comercial para os produtores", diz Dirceu Colares, diretor da Associação Central dos Fruticultores do Norte de Minas (ABANORTE) e produtor de banana.

#### **2.2.4. Máquina para extração de fibra Vegetal**

Desde a Pré-História, os seres humanos, de alguma forma, processavam pedras, depois metais, depois peças cada vez mais elaboradas até chegar à construção de máquinas simples e eficientes, mas de operação manual. Por isso mesmo, não eram ainda consideradas máquinas-ferramenta, máquinas capazes de prolongar, sem energia própria, a inteligente ação humana. A moderna definição de máquina-ferramenta pode soar um tanto complexa, tal o grau de sofisticação a que chegou prolongar, sem energia própria, a inteligente ação humana (CORRÊA, 2013).

Conhecer a história das máquinas é conhecer a vida de grandes inventores, que com suas invenções contribuíram para o avanço da ciência. Pequenas invenções que resultaram em grandes soluções estratégicas para os modelos econômicos atuais. Hoje, as máquinas geram riquezas, facilitam as vidas, abreviam o tempo e principalmente acompanham a crescente necessidade de consumo. Para entender sua importância, basta imaginar o que seria da humanidade um dia sem elas (DOS *et al.*, 2010).

Segundo Das, P. K *et al.*, (2010), o desenvolvimento de um dispositivo de baixo custo e fácil de usar para extrair fibras do pseudocaule da bananeira podendo ser promissor, visto que, quando comparado ao processo manual é bastante vantajoso, pois será capaz de extrair até 20

kg de fibras provenientes dos resíduos de banana em um dia e o processo manual 0,5 kg por dia. A máquina de extrair fibras oferece um produto final de qualidade superior em termos de comprimento, suavidade, força e cor. Um exemplo de uma máquina desfibrar internacional, pode ser visualizada na Figura 2.14.

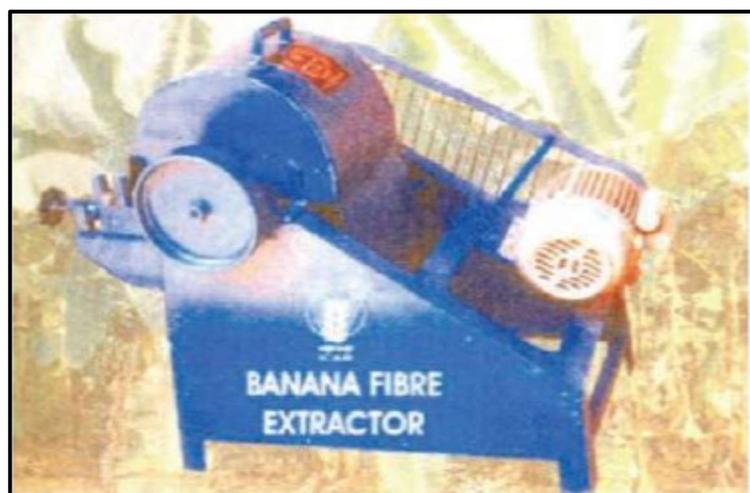


Figura 2. 14: Máquina para extração de Fibra de bananeira (DAS, *et al.*, 2010).

Entretanto, o uso de máquinas gera problemas de ruído que precisa ser solucionado, para que esta ganhe mercado e não represente um fator negativo do equilíbrio. Várias são as aplicações de controle de ruído aplicáveis a este tipo de equipamento, a mais usual, entretanto, envolve o dimensionamento de um enclausuramento parcial (BASTOS, 2007).

### 2.3. Ruído

Para Gerges (2000) a definição do som pode ser compreendida como qualquer variação de pressão em um meio elástico, podendo ser ar ou água por exemplo, a qual o ouvido do ser humano pode ser capaz de captar. Desta maneira entende-se que o som é a vibração propagada em aspecto de ondas e conseqüentemente notada pelas vias auriculares do receptor, porém, quando aplicada aos moldes do ruído torna-se um desagradável e irregular.

Russo e Santos (2005) explicam que a audição humana reage a duas características básicas do som, sendo elas a intensidade e frequência. A intensidade possui relação inerente ao limiar da audição e a frequência refere-se à sensação de tonalidade.

Pimentel (2015) explica que a exposição de uma pessoa a níveis elevados de pressão sonora, pode trazer danos irreparáveis para o aparelho auditivo, sendo analisado a sensibilidade

de cada ouvido, bem como as características do ruído a qual há exposição. Quanto maior o tempo a exposição dos ruídos maiores serão as possibilidades de desenvolvimento de problemas auditivos.

### 2.3.1. Ponderação e nível global

Bistafa (2011) afirma que o som se propaga através de variação de pressão em âmbito longitudinal, podendo este som possuir distintas frequências, sendo assim é relativo o processo de aferição pela audição humana. Nesta vertente, Pinheiro (2015) explica que o ouvido humano só consegue perceber o som caso este tiver frequência entre 20 Hz e 20 kHz, podendo sofrer variação de acordo com a idade da pessoa, bem como as condições normais do sistema auricular.

Segundo Pimentel (2015), afirmando que para avaliar o controle de ruído bem como o conforto acústico das pessoas é necessário estipular valores que estejam entre este parâmetro de frequência, obedecendo os requisitos das normas brasileiras e internacionais a serem desenvolvidas posteriormente.

Segundo Gerges (2000) hoje, entretanto, somente a curva de ponderação A é largamente usado, uma vez as curvas B e C não fornecem boa correlação em testes subjetivos. Uma característica especial, a curva de compensação D, foi padronizada para medições de ruídos em aeroportos. Os níveis mostrados na Figura 2.16 são níveis relativos, isto é, para um Nível de Pressão Sonora (NPS) de 70dB em 1KHz, o ouvido humano percebe integralmente 70dB(A), entretanto, se este nível está em 50 Hz, o ouvido humano percebe  $NPS = 70 - 30,2 = 39,8dB(A)$ .

Algumas características do Circuito de compensação A, B, C e D, são explanadas:

- Ponderação A: simula a resposta de frequência do ouvido para baixos níveis, de 40 a 50 decibéis (mais utilizada), podendo avaliar sons independentemente do seu nível, ou seja, para baixo e altos níveis;

- Ponderação B: simula a resposta de frequência do ouvido para um nível de conversação normal, aproximadamente 70 dB;

- Ponderação C: simula a resposta de frequência do ouvido para altos níveis, maiores de 90 decibéis;

- Ponderação D: é usada para avaliar o aumento de perturbação pelo som de alta frequência presente no ruído produzido por certas aeronaves.

É mostrado na Figura 2.15 o Circuitos de compensação A, B, C e D.

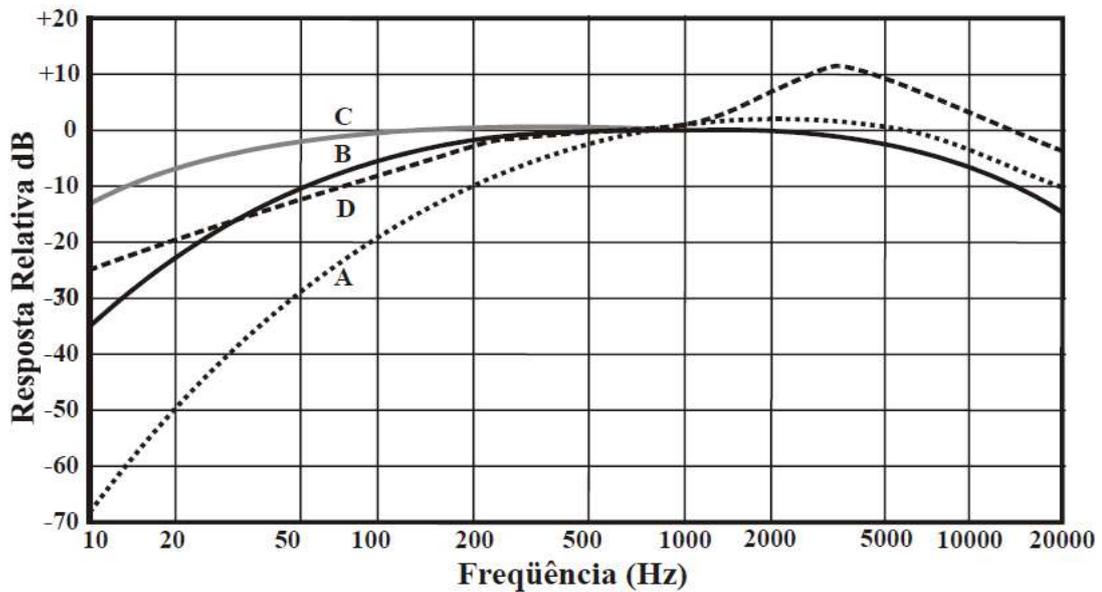


Figura 2. 15: Circuito de compensação A, B, C e D. Fonte: (GERGES, 2000)

Segundo Barron (2003) a expressão geral para determinar a soma de qualquer conjunto de 'níveis' incluindo a pressão sonora de níveis, ou seja, o nível global é dado pela Equação 2.1.

$$L_p = 10 \log\left(\sum_{i=1}^N 10^{\left(\frac{L_{pi}}{10}\right)}\right) \quad (2.1)$$

Onde  $L_p$  é o nível global,  $L_{pi}$  é o nível de pressão sonora a ser analisado, sua unidade é medido em Hz (Hertz); sendo o  $N$ , o último nível de pressão sonora a ser somado.

### 2.3.2. Pressão, Intensidade e Potência sonora

Segundo Pinheiro (2015), o nível de pressão sonora, é a grandeza física geralmente utilizada para descrever quantitativamente um campo sonoro, haja vista que a audição humana responde aos estímulos sonoros até chegar nas vias auriculares. O Nível de Pressão Sonora (NPS) não é suficiente para descrever a magnitude de uma determinada fonte sonora, haja vista que varia com a distância a qual a fonte sonora se encontra do receptor, dependendo também das características físicas e geométricas do recinto. Desta maneira para aferir a força, é necessário saber a capacidade da fonte sonora, sendo expressa a partir do Nível de Potência Sonora (NWS), onde está fonte, gera uma certa quantidade de energia sonora no tempo; isto é,

ela gera uma certa potência sonora, medida em watts (W). Essa é uma medida básica da quantidade de energia sonora gerada pela fonte sonora, independente do meio ambiente.

De acordo com Pinheiro (2015), o NWS é a medida da potência sonora irradiada por uma determinada fonte sonora, sendo seu valor expresso a partir de bandas de oitava, ou terços de oitava. A partir do NWS é possível determinar se uma determinada máquina está ou não dentro dos níveis sonoros estabelecidos pelas normas vigentes no país.

### **2.3.3. Absorção sonora**

De acordo com Beranek (1960) absorção sonora é a conversão de energia acústica em térmica, desta maneira quando uma onda sonora é propagada por um ambiente e encontra um material com propriedades sonoras, propaga-se por meio deste transformando parte desta energia em calor.

Nesses materiais, a absorção se dá essencialmente pela dissipação da energia sonora por atrito, devido ao movimento de partícula do ar no interior do material, quando da passagem da onda sonora. Um bom absorvente de som é o material que “respira”, ou seja, o material que permite as partículas do ar penetrar e se movimentar em seu interior. Tecidos com trama estreitas que não permitem que o ar os atravesse (por exemplo, encerados e algodão) são ineficazes, assim como aqueles que apresentam trama esparsa, que permitem enxergar através deles (gaze, por exemplo). Assim percebe-se que a propriedade fundamental dos materiais absorvente é a *resistência ao fluxo de ar* – a maximização da absorção requer uma resistência ótima através do material (BISTAFA, 2011). A estrutura dos materiais porosos e fibrosos pode ser observada na Figura 2.16.

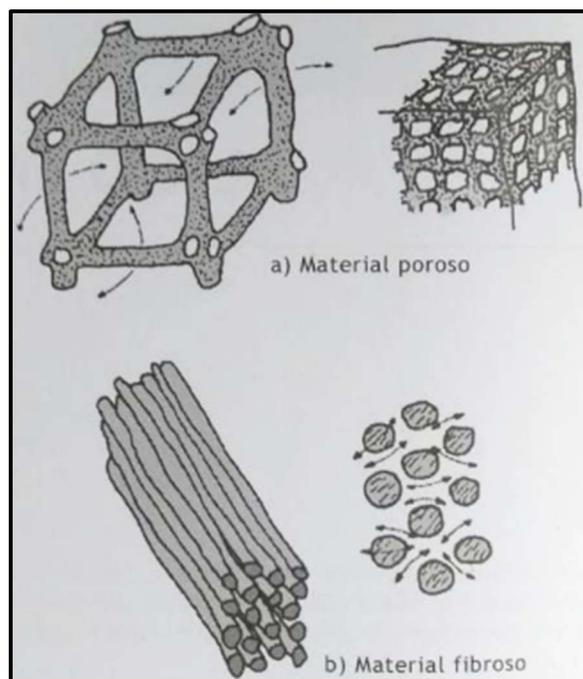


Figura 2. 16: Estrutura de materiais porosos/fibrosos. Fonte: Bistafa (2011).

Segundo Bistafa (2011), para que materiais porosos/fibrosos adquiram toda a sua capacidade de dissipar energia sonora, eles deverão ser aplicados sobre uma *superfície sólida* – fixados na parede do recinto como pode ser observado na Figura 2.17.

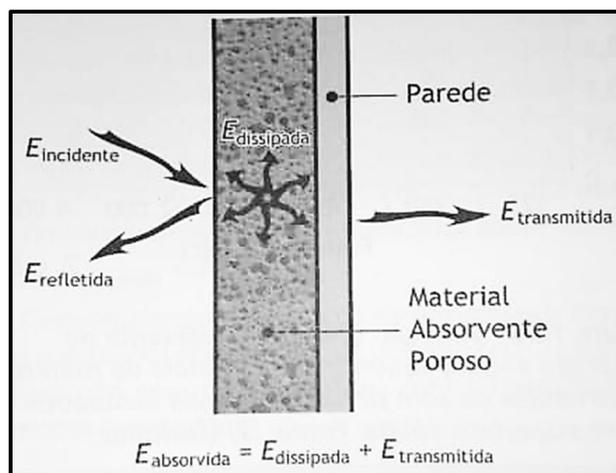


Figura 2. 17: Balanço energético do som que incide sobre a superfície. Fonte: Bistafa (2011).

## 2.4. Técnicas para controle de ruído

Segundo Bistafa (2011), nos últimos anos, vários trabalhos foram desenvolvidos com o objetivo de prever a potência sonora de várias máquinas e equipamentos, ao identificar as

fontes de ruído de cada tipo de máquina ou elemento de máquina e apresentar equações teóricas e/ou empírica que permitem prever o ruído de cada um deles, além de propostas para redução do ruído.

Segundo Mafra (2004), o uso das fibras vegetais no âmbito acústico, como matéria-prima para fabricação de painéis ou mantas, utilizadas para a finalidade de controle de ruído, quando de sua utilização como material de revestimento interno das paredes de ambientes, favorecem o conforto acústico destes, uma vez que devem satisfazer condições acústicas de acordo com suas finalidades.

O Controle de Ruído é uma tecnologia multidisciplinar que visa obter um nível de ruído aceitável em determinado ambiente, consistente com os aspectos econômicos, operacionais, legais, médicos, psicológicos e culturais (BISTAFA, 2011).

O método mais eficaz para controlar o ruído de acordo com Bistafa (2011) seria proceder no controle da fonte geradora, ou seja, nas máquinas, equipamentos, processos industriais entre outras fontes de ruídos que como já citado, que por virtude da irregularidade do som podem ser um tipo de fonte sonora de ruído.

Todo o problema de controle de ruído envolve fonte sonora, trajetória de transmissão e receptor, como se pode observar na Figura 2.18.

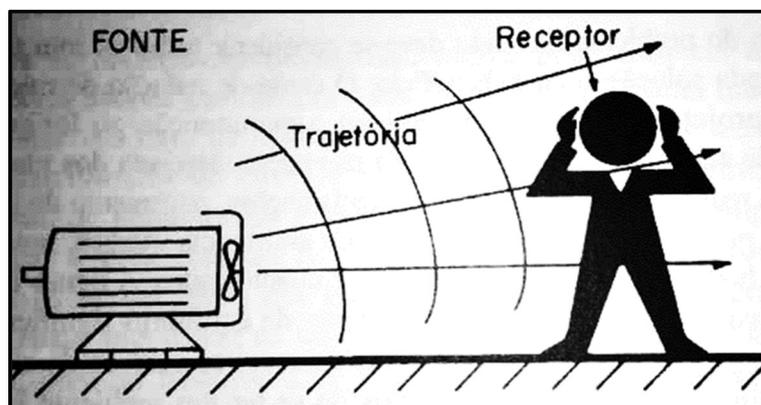


Figura 2. 18: trajetória e receptor. Fonte: Gerges (2000).

#### 2.4.1. Controle de ruído na fonte

Segundo Costa (2003) na vida moderna, as principais causas de ruídos indesejáveis são, de uma maneira geral, as máquinas adotadas nas industriais e nos transportes.

O controle do ruído na fonte, consiste em introduzir modificações que alterem o processo de geração de ruído de determinada máquina (BISTAFA, 2011).

Segundo Costa (2003), em grande parte, os ruídos decorrem de operações industriais de corte, desbaste, polimento, limpeza, conformação, transporte, etc. que são difíceis de eliminar. Vale lembrar, que a causa dos ruídos das máquinas está na vibração ocasionada pelo movimento periódico dos diversos órgãos das mesmas, toda diminuição de amplitude dessas vibrações pode concorrer para a redução dos mesmos.

Bistafa (2011) explica que independentemente do procedimento a ser usado para controlar o ruído, é fundamental compreender os mecanismos básicos da geração de ruído, pois uma vez compreendido torna-se mais fácil proceder as modificações imanentes aos níveis sonoros da fonte.

#### **2.4.2. Controle de ruído na trajetória**

De acordo com Gerges (2000) o controle na trajetória baseia-se na utilização de barreiras entre a fonte geradora do ruído e a pessoa receptora do ruído, reduzindo desta maneira o nível sonoro entre eles. Este procedimento pode ser aplicado tanto em lugares abertos como fechados, onde as barreiras irão atuar de forma a ocasionar o isolamento da fonte, proporcionando o enclausuramento parcial ou total da fonte sonora. Os painéis podem ser fixos ou móveis e o material deve ser de caráter absorvente.

De acordo com Bistafa (2011), o uso de enclausuramento para o controle de ruído na trajetória de transmissão é uma técnica bem comum para minimizar o ruído, principalmente no que se refere a máquinas e equipamentos mecânicos, que por sua natureza podem gerar níveis intensos de ruídos.

Kinsler (1999) também discorre sobre o assunto, explica que o controle de ruído por enclausuramento ou encapsulamento, pode ser uma solução para os problemas onde máquinas de grande porte emitem altos índices de ruído, podendo inclusive ser aplicado quando as máquinas já estão em funcionamento, não interrompendo para isso o índice de produção programado, bem como a frequência de trabalho ou operação.

O uso de enclausuramento para o controle de ruído na trajetória de transmissão é uma técnica bem utilizada, na prática. O enclausuramento de uma máquina, equipamento ou processo ruidoso produz um campo sonoro direto da fonte. Ambos os campos sonoros determinarão o campo sonoro irradiado pelas paredes da clausura, bem como o campo sonoro no seu interior (BISTAFA, 2011).

A Figura 2.19 mostra um exemplo de enclausuramento total de um moto-ventilador em uma torre de resfriamento.



Figura 2. 19: Enclausuramento total. Fonte: Bastos (2007).

Na Figura 2.20 é outro exemplo de enclausuramento, entretanto, enclausuramento parcial.

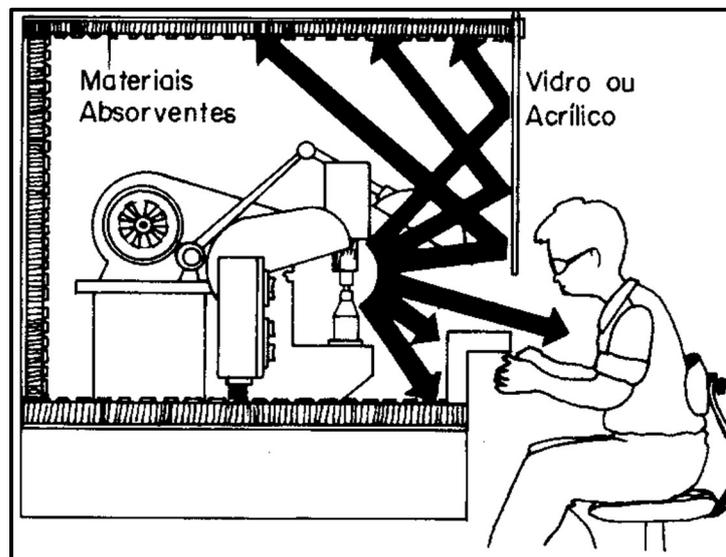


Figura 2.20: Enclausuramento parcial. Fonte: Gerges (2000).

### 2.4.3. Controle de ruído no receptor

O controle de ruído no receptor é normatizado de acordo com os ditames da Norma Regulamentadora 6 (NR-6), na qual trata de equipamento de proteção individual (EPI)

localizada no anexo I da Consolidação das Leis Trabalhistas (CLT), desta maneira em ambientes de trabalho é obrigatória a proteção individual com defesa aos níveis de ruídos.

Conforme a Norma Regulamentadora Número 6 (NR 6), considera como equipamento de proteção Individual (EPI), todo dispositivo ou produto, de uso individual utilizado pelo trabalhador, destinado à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho. A empresa é obrigada a fornecer aos empregados, gratuitamente, EPI adequado ao risco, em perfeito estado de conservação e funcionamento, nas seguintes circunstâncias:

- Sempre que as medidas de ordem geral não ofereçam completa proteção contra os riscos de acidentes do trabalho ou de doenças profissionais do trabalho;
- Enquanto as medidas de proteção coletiva estiverem sendo implantadas;
- Para atender a situações de emergência.

Protetores auriculares, são para trabalhos realizados em locais em que o nível de ruído seja superior ao estabelecido na Norma Regulamentada 15 (NR-15), na qual trata de Atividades e Operações Insalubres, na qual seus anexos, Limites de Tolerância para Ruído Contínuo ou Intermitentes (Anexo I) e Limite de Tolerância para Ruídos de Impacto (Anexo II).

Bistafa (2011) afirma que a proteção individual referente ao ruído consiste no uso de protetores auriculares pelos trabalhadores que estão em contato com o ruído, seja esta proteção de maneira interna ou externa.

Para reduzir os ruídos no próprio órgão auditivo, são usados os chamados protetores auriculares (PAs) individuais. Esses protetores podem ser de diversos tipos, sendo que os mais usados são: os *tampões*, de materiais diversos, como de espuma, fibra vegetal ou animal, moldáveis ou pré-moldados. Há também os protetores tipo *concha*, de diversos materiais, a fim de amoldar o dispositivo na parte externa da orelha. Além desses, há o dispositivo tipo *capacete* com protetores tipo concha embutidos ( COSTA, 2003).

Segundo Costa (2003) a solução de redução sensação auditiva diretamente no ouvido, entretanto, apresentam uma série de restrições, como:

- Problemas de higiene e educação;
- Desconforto térmico e operacional;
- Dificuldade de comunicação;
- Capacidade de atenuação dos ruídos, limitada.

Segundo Costa (2003), a capacidade de atenuação, sensibiliza o órgão auditivo não só através do pavilhão auricular (ouvido externo), pois boa parte da intensidade energética atinge o ouvido interno também através da estrutura óssea e do tecido da cabeça, está é uma razão pela qual a abrangência do protetor auricular nas imediações do pavilhão auricular contribui para uma maior eficiência da atenuação do ruído.

Na Tabela 2.2 , é mostrado vários fabricantes, com valores médios das atenuações em dB conseguidas com estes dispositivos, em função da frequência.

Tabela 2.2: Atenuação dos ruídos com protetores auriculares. Fonte: Bastos (2007).

Frequência (Hz)	Tampão (Hz)	Concha (Hz)	Capacete (Hz)	Tampão + Concha (Hz)
125 Hz	12	15	17	23
250Hz	13	16	18	29
500 Hz	14	17	20	37
1.000 Hz	17	32	34	38
2.000 Hz	26	33	35	38
4.000 Hz	27	40	42	47
8.000 Hz	24	38	40	44

Na Figura 2.21 segue alguns exemplos de protetores auriculares individuais.



Figura 2. 21: Equipamento de proteção sonora individual. Fonte: Bastos (2007)

## 2.5. Normas Brasileira sobre acústica ambiental

Os problemas causados pelo excesso de ruído não só em ambientes de trabalho, mas em qualquer ambiente é do conhecimento geral, entretanto, pouco se faz para reduzir os níveis sonoros a valores adequados. Isso se deve muitas vezes pelo descumprimento ou e a falta de fiscalização das normas nacionais vigentes relacionadas a ruídos, tais como: Equipamento de proteção individual – EPI (NR 6), Programa de controle médico de saúde ocupacional (NR 7), Atividades e operações insalubres (NR 15), Ergonomia (NR 17) , Avaliação de Ruídos em Áreas Habitadas (NBR 10151), Nível de Ruído para Conforto Acústico (NBR 10152), falta de conscientização dos empregados e empregadores, falta de campanhas de mobilização nacional, altos custos para adequação de ambientes de trabalho a níveis satisfatórios, entre outros, são fatores que agravam ainda mais a condição atual do país (BASTOS, 2007).

É mostrado a Tabela 2.3 os limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente da NR 15 Anexo 1, conforme a NR- 6 (Equipamento de proteção individual – EPI) no anexo 1, C (Proteção Auditiva).

Tabela 2.3: Anexo 1 - Limites de tolerância para ruído contínuo ou intermitente. Fonte: NR-15

NÍVEL DE RUÍDO dB(A)	MÁXIMA EXPOSIÇÃO DIÁRIA PERMISSÍVEL
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

Pimentel (2015) afirma que o Brasil possui leis e normas que regem o direito trabalhista, definindo direitos e responsabilidades do trabalhador e empresa imanente aos riscos físicos do ruído, bem como a exposição desordenada as ondas sonoras nocivas.

Segue na Tabela 2.4 a NBR 10152 - 2017 (Acústica-Avaliação do ruído ambiente em recinto de edificações visando o conforto dos usuários – Procedimento), em intervalos apropriados para o Nível de Ruído Ambiente ( $L_{ar}$ ), em dB(A), num recinto de edificação.

Tabela 2.4: Nível de critério de avaliação NC, em dB(A). NBR 10152 (2017).

<b>Locais</b>	<b>dB(A)</b>	<b>NC</b>
<b>Hospitais</b>		
Departamento, enfermarias, centro cirúrgicos	35 - 45	30 - 40
Laboratório, áreas para uso do público	40 - 50	35 - 45
Serviços	45 - 55	40 - 50
<b>Escolas</b>		
Bibliotecas, salas de música, salas de descanso	35 - 45	30 - 40
Sala de aula, laboratórios	40 - 50	35 - 45
Circulação	45 - 55	40 - 50
<b>Hotéis</b>		
Apartamentos	35 - 45	30 - 40
Restaurantes, salas de estar	40 - 50	35 - 45
Portaria, recepção, circulação	45 - 55	40 - 50
<b>Residências</b>		
Dormitório	35 - 45	30 - 40
Salas de estar	40 - 50	35 - 45
<b>Auditórios</b>		
Salas de concertos, teatros	30 - 40	25 - 30
Sala de conferências, cinemas e de uso múltiplo	35 - 45	30 - 35
Restaurantes	40 - 50	35 - 45
<b>Escritórios</b>		
Sala de reunião	30 - 40	25 - 35
Salas de gerência, projeto e administração	35 - 45	30 - 40
Salas de computadores	45 - 65	40 - 60
Salas de mecanografia	50 - 60	45 - 55
Igreja e templos (cultos medicativos)	40 - 50	35 - 45
<b>Locais esportivos</b>		
Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45 - 60	40 - 55

## 2.6. Controle do Ruído por Enclausuramento

Para Tandon (2000), o enclausuramento é uma forma comum utilizada no isolamento de ruído no local de trabalho. Também é possível incorporar os enclausuramentos na concepção das máquinas ou de suas partes. Nele, quaisquer tubos da máquina não devem ser rigidamente fixados às paredes do enclausuramento, devendo ser apoiados por suportes de isolamento de

vibração, aberturas de ar precisam ser minimizadas, dutos de ar fresco e os gases de escape devem ser adequadamente silenciados.

Segundo Barron (2003), uma sala que contém uma fonte de ruído, como uma máquina, o tratamento acústico das paredes do ambiente pode não reduzir o nível do som de forma suficiente. Isto é especialmente verdade, quando o campo direto predomina sobre o campo reverberante no local do receptor. Quando for necessária uma redução no nível de som mais do que 10 dB, uma clausura para a fonte de ruído geralmente é a solução mais prática e eficiente para controlar o ruído de uma máquina existente. Reduções nos níveis de ruído em 20 a 30 dB são comuns com clausura parciais ou totais de máquinas. Reduções de ruído como 50dB pode ser alcançado com tratamento especial de isolamento para o enclausuramento.

Segundo Gerges (2000), o controle de ruído por enclausuramento é uma solução do problema na trajetória de propagação do ruído, sendo uma solução prática e viável para redução de ruído de uma máquina que já está instalada e em funcionamento. O mecanismo de redução de ruído, neste caso, se baseia em manter a energia sonora por reflexão dentro do enclausuramento, e também, dissipar parte desta energia através do revestimento interno do enclausuramento com materiais de absorção sonora.

Segundo Gerges (2000), a eficiência e o comportamento de um enclausuramento dependem de três fatores:

- I. O volume e o número de abertura necessárias como: entrada de ar sistema de arrefecimento, janelas de inspeção, etc., ou qualquer outra trajetória de baixa perda de transmissão na estrutura e/ou paredes do enclausuramento.
- II. Perda de transmissão das paredes do enclausuramento; paredes simples, dupla, compostas, etc.
- III. Energia de ruído absorvida dentro do enclausuramento pelos materiais de revestimento.

Segundo Meduri (2001), existem situações, onde não é possível o enclausuramento total de uma máquina ou sistema, devido a problemas de acesso e transferência de materiais para dentro e fora da máquina. Neste caso, a redução de ruído poderá ser obtida com o enclausuramento parcial, embora a redução dos níveis de ruído não seja tão elevada quanto aquela obtida com o enclausuramento total. Nessa situação, onde reduções superiores a 20 dB são requeridas, um enclausuramento parcial poderá ser adequado.

### 2.6.1. Enclausuramento Compacto ou pequeno.

Segundo Gerges (2000), se o espaço entre a fonte e as paredes do enclausuramento for menor do que um comprimento da onda ( $l < \lambda$ ), existe ligação forte entre as superfícies da máquina e as paredes adjacentes do enclausuramento. Portanto, a rigidez das paredes se torna um parâmetro importante. Uma rigidez alta é necessária para minimizar o movimento produzido pelas forças transmitidas no espaço de ar. Prever com exatidão a perda de transmissão para o enclausuramento compacto é bem complexo.

Segundo Barron (2003), um enclausuramento é considerado compacto ou pequeno, se o comprimento de onda da parede do enclausuramento é grande em comparação com a maior dimensão do painel e se o comprimento de onda do som dentro da clausura é grande, comparado com a maior dimensão interna do gabinete. Para fins práticos o enclausuramento pode ser considerado compacto ou pequeno se a seguinte condição é cumprida, na Equação 2.2.

$$\frac{L_{max}}{\lambda} = \frac{fL_{max}}{c} \leq 1,00 \quad (2.2)$$

onde  $L_{max}$  é a maior dimensão no interior da clausura em metros ( $m$ ) e  $c$  é a velocidade do som para o ar no recinto de  $349 \text{ m/s}$  e  $\lambda$  é o comprimento de onda em metros ( $m$ ) e  $f$  é a frequência analisada em hertz ( $Hz$ ).

O enclausuramento reduz a potência acústica irradiada do sistema, como mostrado na Figura 2.22.

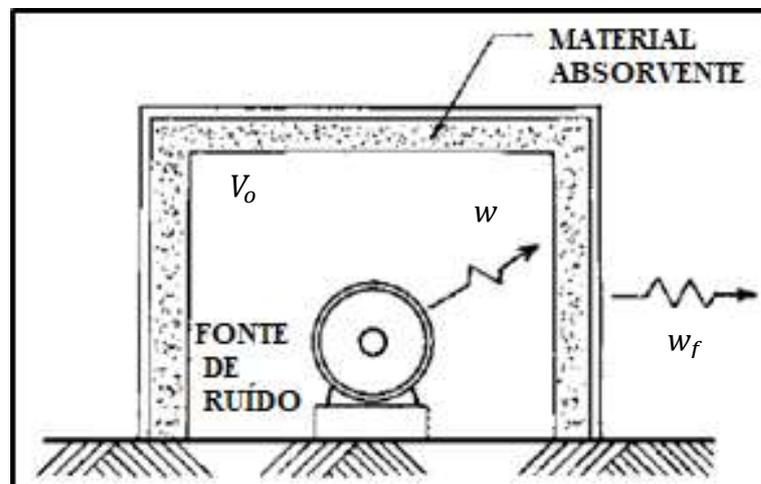


Figura 2. 22: Enclausuramento. Fonte: Adaptada de Barron (2003).

sendo  $V_0$  o volume do enclausuramento, medido em  $m^3$ ,  $w$  a potência acústica sonora irradiada pela fonte de ruído, medida em  $dB$ , e  $w_f$  a potência acústica sonora irradiada externamente, sendo medida em  $dB$ .

### 2.6.2. Enclausuramento Grande ou Amplo

O enclausuramento amplo pode ser feito em campo livre ou dentro de uma fábrica (GERGES, 2000). Nesta seção será tratado apenas do enclausuramento dentro de uma fábrica (Figura 2.23). Segundo Barron (2003) um enclausuramento pode ser considerado "amplo" quando o volume do enclausuramento exibe um grande número de modos ressonantes de vibração. Este tipo de enclausuramento, geralmente atende à seguinte condição da Equação 2.3.

$$\frac{fV_0^{1/3}}{c} \geq 1,00 \quad (2.3)$$

sendo que  $V_0$  é o volume de ar no recinto da fábrica em ( $m^3$ ),  $f$  é a frequência do som no recinto em hertz ( $Hz$ ), e  $c$  é a velocidade do som no ar no gabinete ( $m/s$ ).

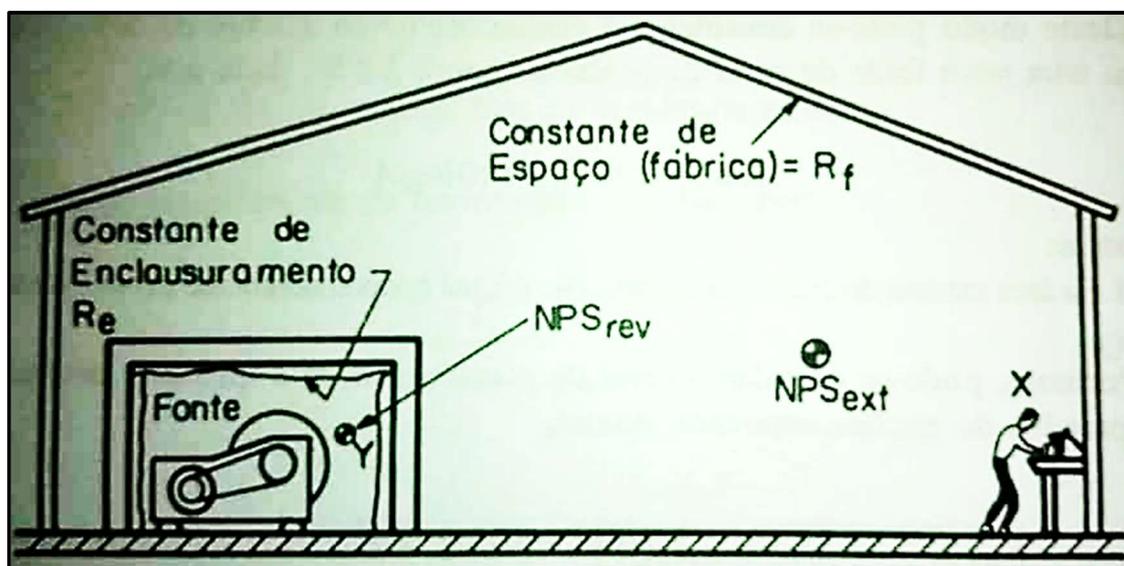


Figura 2. 23: Enclausuramento dentro de uma fábrica. Fonte: Gerges (2000).

Para Barron (2003), existem vários caminhos pelos quais o som pode ser transmitido da fonte de ruído dentro de um enclausuramento para o espaço externo, incluindo através das paredes e das aberturas do enclausuramento e de suportes estruturais sólidos. A magnitude do

som vazando pelas aberturas na clausura também pode ser expresso em termos de um coeficiente de transmissão de energia sonora ( $a_t$ ) das paredes. Usando o isolamento de vibração adequado, a transmissão do som através de suportes sólidos deve ser reduzida a um menor valor possível para o gabinete ser eficaz no controle de ruído.

É importante que uma grande fração da energia acústica irradiada da fonte de ruído dentro do clausura seja dissipada. Entretanto, é igualmente importante bloquear a transmissão do som através das paredes da clausura. Para atingir essa condição, as paredes em questão geralmente são construídas de um material compósito, com a camada interna tendo um grande coeficiente de absorção superficial e a outras camadas com um pequeno coeficiente de transmissão de potência sonora (BARRON, 2003).

Para o enclausuramento parcial, as absorvências e os coeficientes de transmissão de potência sonora para aberturas são necessários. Alguns valores típicos de materiais usados para cobertura de enclausuramento parcial são mostrados na Tabela 2.5.

Tabela 2.5: Propriedades acústicas de materiais para enclausuramento (BARRON, 2003).

Material	Frequências de banda de oitava (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
	Coeficiente de absorção de superfície $\alpha$					
Vidro	0,18	0,06	0,04	0,03	0,03	0,02
Cloreto de polivinila (Plexiglas <sup>TM</sup> )	0,2	0,07	0,05	0,04	0,04	0,03
Cortina em vinil com chumbo	0,33	0,88	0,79	0,69	0,53	0,26
	Coeficiente de transmissão de energia sonora $a_t$					
Vidro 1/4 pol de espessura	0,02	0,005	0,0032	0,002	0,0016	0,013
Vidro duplo 1/4" x 1/2" x 1/4"	0,005	0,004	0,004	0,002	0,0016	0,001
Filme de cloreto de polivinila 0,0015 de espessura, 1 camada	0,95	0,9	0,63	0,17	0,043	0,013
0,0015 de espessura, 2 camadas	0,9	0,7	0,17	0,043	0,013	0,01
Folha de polivinil (Plexiglas <sup>TM</sup> ), com 1/4" de espessura	0,025	0,02	0,0063	0,0016	0,0005	0,000063
Folha de polivinil (Plexiglas <sup>TM</sup> ), com 1/2" de espessura	0,0079	0,005	0,0025	0,0063	0,0063	0,0002
Cortina de vinil com chumbo, com 0,064 de espessura	0,05	0,025	0,01	0,0025	0,0008	0,0003
Cortina de vinil com chumbo, com dupla espessura	0,063	0,025	0,005	0,0005	0,00016	0,00013
Filme de policarbonato (Lexan <sup>TM</sup> ), com 0,25 de espessura.	0,0063	0,0016	0,004	0,002	0,002	0,002
Filme para PC, 0,50 de espessura	0,0016	0,004	0,002	0,002	0,002	0,002
Filme PC, 2 camadas, cada com 0,25" de espessura, com espaço de 2"	0,0013	0,002	0,00063	0,00025	0,0001	0,00006

Segundo Barron (2003), o valor de projeto para a " capacidade de absorção " de uma abertura simples é 1:00. Embora o coeficiente de transmissão de potência sonora para uma abertura também seja igual a 1, existe um efeito direcional para a abertura, na medida em que o operador está em questão. Nesse caso, o coeficiente de transmissão deve ser modificado para os efeitos de diretividade e difração na abertura. Os seguintes valores são recomendados para o coeficiente de transmissão efetivo ( $a_t$ ) para aberturas simples (sem tampa) em um recinto (Faulkner, 1976), assumindo que o operador está localizado em frente a clausura:

- a) Abertura frontal,  $a_t = 1$
- b) Abertura lateral ou superior:
  - sem superfícies refletivas por perto, em  $a_t = 1/3$
  - com superfícies reflexivas próximas,  $a_t = 2/3$

O desenvolvimento das fórmulas a seguir de enclausuramento amplo dentro de uma fábrica, que determinam a eficiência, são baseadas em Barron (2003).

- i) A constante  $R$  é a constante do ambiente fechado (*room constant*), sendo medida em metros quadrados ( $m^2$ ) é dada por:

$$R = \frac{\bar{\alpha} s_0}{1 - \bar{\alpha}} \quad (2.4)$$

sendo que  $\bar{\alpha}$  é o coeficiente de absorção média superficial (adimensional);  $s_0$  é área total do ambiente em análise, medida em  $m^2$ .

- ii) O coeficiente de absorção média ( $\bar{\alpha}$ ) para o galpão é dada por:

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum \alpha_i s_i}{s_0} \quad (2.5)$$

sendo que  $\alpha_i$  é o coeficiente de absorção e  $s_i$  é a área de cada elemento das paredes, medidos em  $m^2$ .

- iii) O fator de diretividade  $Q$  (adimensional) é mostrado na Equação 2.6.

$$Q = 2^n \quad (2.6)$$

sendo  $n$  o número de restrições da trajetória da frente de onda.

- iv) A relação entre nível de potência sonora ( $L_w$ ) e nível de pressão sonora, medido em decibel (dB) a uma distância  $r$  da fonte dentro de um ambiente é dada por:

$$L_w = L_p - 10 \log_{10} \left( \frac{4}{R} + \frac{Q}{4\pi r^2} \right) + 0,1 \quad (2.7)$$

Para o cálculo da clausura, calculam-se a sua área total e a área das possíveis aberturas da clausura.

- v) Área do enclausuramento ( $s_1$ ):

$$s_1 = 2(ab + ac) + bc - (de) \quad (2.8)$$

sendo que  $a, b$  e  $c$  são as dimensões da clausura e  $2(ab + ac) + bc$ , a área do enclausuramento sem o contar com o chão e  $(d \cdot e)$ , a abertura da clausura, ambas medidas em  $m^2$

- vi) O coeficiente de transmissão de potência sonora ( $a_{tl}$ ) para as paredes do enclausuramento (adimensional) é dado por:

$$a_{tl} = 10^{-TL/10} \quad (2.9)$$

sendo  $TL$  a perda de transmissão das paredes do enclausuramento, medida em dB.

Na existência de casos onde há aberturas do enclausuramento, adota-se o coeficiente de transmissão efetivo da abertura  $a_{t2} = 1$ .

- vii) A soma dos coeficientes de transmissão multiplicados pela área da partição, medida em  $m^2$ , é dada pela Equação 2.10.:

$$\sum s_j a_{tj} \quad (2.10)$$

onde  $s_j$  é a área da partição, medida em  $m^2$ , e  $a_{tj}$  o coeficiente de transmissão de potência sonora da partição ou da abertura.

- viii) A soma dos coeficientes de absorção da superfície multiplicado pela área superfície, medida em  $m^2$ , é dada pela Equação (2.11), adotando-se  $\alpha_2 = 1$  para a abertura na clausura:

$$\sum S_j \alpha_j \quad (2.11)$$

onde  $S_j$  é a área da clausura, medida em  $m^2$ , e  $\alpha_j$  o coeficiente de absorção de potência sonora da clausura e da abertura.

- ix) A razão entre as potências sonoras dentro e fora do enclausuramento é dada por:

$$\frac{W}{W_{out}} = 1 + \frac{\sum S_j \alpha_j}{\sum S_j \alpha_{tj}} \quad (2.12)$$

- x) A perda de inserção ( $IL$ ), medida em dB, no enclausuramento pode ser encontrada na Equação (2.13):

$$IL = L_w - L_{w,out} \quad (2.13)$$

sendo  $L_w$  nível de potência sonora e  $L_{w,out}$  o nível de potência sonora externa, ambos sendo medidos em dB.

- xi) A perda de inserção ( $IL$ ), também pode ser desenvolvida na Equação 2.14.

$$IL = L_w - L_{w,out} = 10 \log_{10} \left( \frac{w}{w_{out}} \right) \quad (2.14)$$

sendo  $w$  a potência acústica radiante dentro da clausura e  $w_{out}$  a potência acústica radiante externa, ambas em dB.

- xii) O nível de potência sonora do som irradiado da superfície do enclausuramento ( $L_{w,out}$ ), medida em decibel (dB) é mostrado na Equação 2.15:

$$L_{w,out} = L_w - IL \quad (2.15)$$

- xiii) O nível de pressão sonora ( $L_{p,out}$ ), correspondente a banda de frequência em estudo, é mostrado na Equação 2.16:

$$L_{p,out} = L_{w,out} - \left[ 10 \log_{10} \left( \frac{4}{R} + \frac{Q}{4\pi r^2} \right) \right] + 0,1 \quad (2.16)$$

Após calcular o  $L_{p,out}$  do enclausuramento parcial em  $dB$ , para cada frequência da banda de oitava em Hz, calculando-se o  $L_{p,global}$  na curva de ponderação  $A$  em  $dB(A)$ , sendo o valor do nível de ruído emitido após o enclausuramento.

Segundo Gerges (2000), para se conseguir a redução adequada dos níveis de pressão sonora, deve-se escolher paredes com alta perda de transmissão. Geralmente a perda de transmissão deve ser superior a 20 dB. Segundo o mesmo autor, este método fornece uma variação de até  $\pm 4dB$  em relações aos níveis reais.

## 2.7. Isoladores de Vibração e Choques

Segundo Rao (2008), uma máquina ou sistema pode experimentar vibração excessiva se sofrer a ação de uma força cuja excitação quase coincidir com a frequência natural da máquina ou sistema. Nesses casos, a vibração da máquina ou sistema pode ser reduzida com a utilização de um neutralizador de vibração ou absorvedor dinâmico de vibração.

O absorvedor dinâmico de vibração é projetado de modo tal que as frequências naturais do sistema resultante fiquem longe da frequência de excitação. Levando em consideração que a análise do absorvedor dinâmico de vibração idealizando a máquina como um sistema com um grau de liberdade (RAO, 2008).

Em vários casos, os problemas com ruído e vibrações em instalações industriais e edificações se devem a montagem incorretas das máquinas. Frequentemente, tais problemas são resolvidos, ou minimizados por uma montagem adequada com isoladores de vibração, bloco de inércia e/ou materiais de amortecimento (GERGES, 2000).

Segundo Gerges (2000), isoladores de vibrações devidamente projetados podem eliminar estes problemas. Normalmente, mesmo um baixo grau de isolamento de vibração produz uma significativa redução de ruído. Entretanto, deve-se buscar, na medida do possível, um isolamento mais efetivo pelos motivos expostos anteriormente.

É importante selecionar corretamente o isolador de vibração, já que a colocação de uma simples manta de borracha entre a máquina e sua base de apoio poderá não resolver

satisfatoriamente o problema. Uma estimativa grosseira justifica a importância da seleção do isolador mais apropriado para determinada aplicação. Suponha-se que foi escolhido um isolador que reduz em 90% a transmissão de vibrações para a base de apoio de determinada máquina, que é um valor elevado para o leigo, que imagina que lhe restou apenas 10% do problema. Visto que pelo especialista, o nível de isolamento será de  $20 \log(0,1) = -20dB$ . Ocorre que muitas vezes uma redução de 20 dB no ruído irradiado pode não ser suficiente. Em situações críticas, há necessidades de se isolar pelo menos 99% das vibrações, o que resulta numa atenuação de  $20 \log(0,01) = -40dB$  no nível de ruído irradiado. Conseguir que apenas 1% das vibrações se transmita para a base de apoio requer criteriosa seleção do isolador de vibrações (BISTAFA, 2011). A atenuação analisada é demonstrada na Figura 2.24.

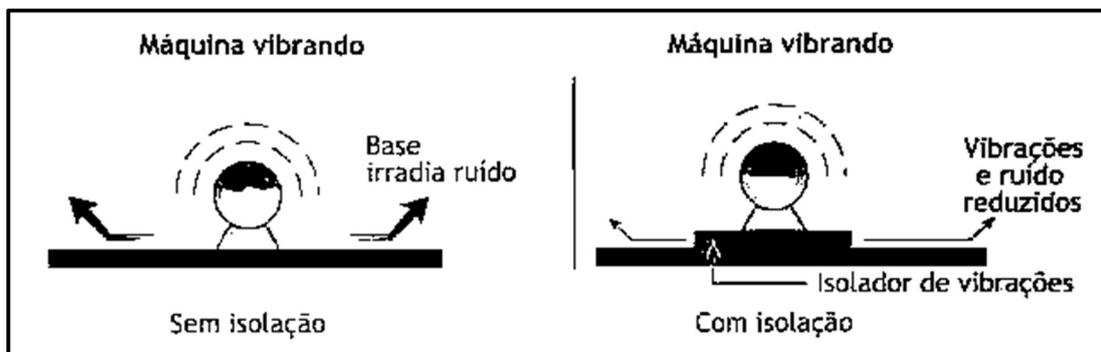


Figura 2. 24: Aplicação de isolamento em máquina vibrante. Fonte: Bistafa (2011).

Segundo Bistafa (2011), para se ganhar familiaridade com a técnica de isolamento de vibração, é útil entender o comportamento dinâmico dos chamados sistemas com um grau de liberdade, que se traduz em sistema livres para vibrar numa única direção. Na Figura 2.25, apesar de sua aparente simplicidade, modela-se adequadamente um grande número de situações práticas.

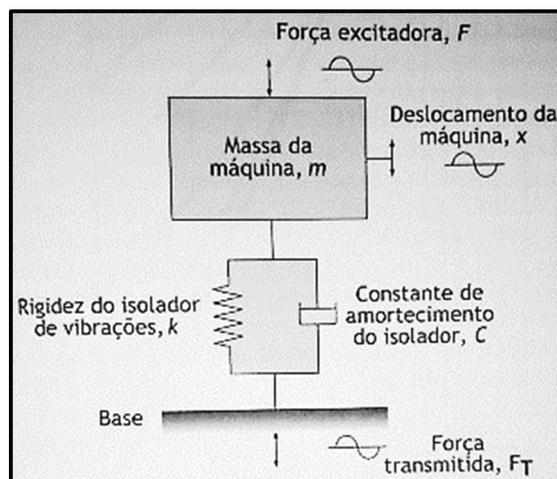


Figura 2. 25: Modelo de sistema vibratório com um grau de liberdade. Fonte: Bistafa (2011).

sendo  $k$ : rigidez do isolador de vibração,  $C$ : constante de amortecimento do isolador:  $F$  a força excitadora da máquina em movimento vibratório,  $x$ : deslocamento da máquina em relação ao equilíbrio da máquina,  $F_T$  força transmitida a base da máquina.

A expressão da transmissibilidade de força ( $TF$ ), que é a razão entre força transmitida e força aplicada, sendo adimensional, é dada pela equação 2.17:

$$TF = \frac{F_T}{F} = \sqrt{\frac{1 + (2\xi r)^2}{(1 - r^2)^2 + (2\xi r)^2}} \quad (2.17)$$

sendo que o  $\xi$  é o fator ou razão de amortecimento viscoso e  $r$  é a razão da frequência de excitação ( $\Omega$ ) sobre a frequência natural ( $\omega_n$ ).

Segundo Rao (2008), alguns aspectos da transmissibilidade de força ( $TF$ ), que merecem ser destacados no Gráfico 2.26, são:

- A transmissibilidade de força ( $TF$ ) será unitária, quando  $r = 0$  e  $r$  assumir valores próximo da unidade;
- Em um sistema não amortecido ( $\xi = 0$ ), a  $TF$  tende a mais infinito em ressonância ( $r = 1$ );
- O valor da  $TF$  será menor que a unidade ( $TF < 1$ ) para valores de  $r > \sqrt{2}$  (para qualquer quantidade de amortecimento  $\xi$ );
- O valor de  $TF = 1$  para todos os valores de  $\xi$  em que  $r = \sqrt{2}$ ;

- Quando  $r < \sqrt{2}$ , os fatores de amortecimento menores levam a valores maiores de  $TF$ , por outro lado, para  $r > \sqrt{2}$ , valores menores do fator de amortecimento levam a valores menores de  $TF$ .

O gráfico da  $TF$  em função de  $r$  e de  $\xi$  é mostrado na Figura 2.26.

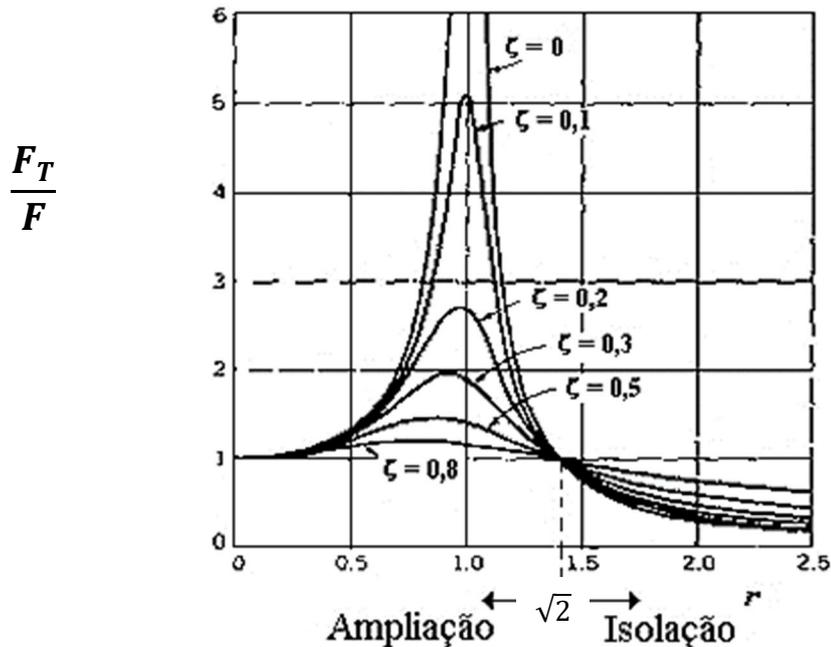


Figura 2. 26: Gráfico da TF em função de  $r$  e de  $\xi$ . Fonte: Gerges (2000).

Para Bistafa (2011), uma situação que merece atenção pode ocorrer quando uma máquina operar na região de isolação de vibrações. Quando a máquina acelera, ao iniciar, ou desacelera, ao finalizar sua operação, a frequência de excitação aumenta no primeiro caso e diminui no segundo, o que faz com que  $r$  varie e, conseqüentemente, a máquina passa pela região controlada pelo amortecimento. Quando a passagem por essa região ocorre rapidamente, é improvável que a transmissibilidade da força aumente; no entanto, caso essa região seja atravessada vagarosamente, a transmissibilidade da força poderá ser elevada. Quando há possibilidade de ocorrência desse tipo de situação, o isolador deve ser escolhido de tal forma a apresentar um amortecimento maior, mesmo que em sacrifício de seu desempenho em regime normal de operação.

Na região de isolação de vibração é desejável que o isolador apresente o menor amortecimento possível, a fim de minimizar a transmissibilidade da força. No entanto,

conforme indicado na Tabela 2.6, todo isolador tem alguma razão de amortecimento (BISTAFA, 2011).

Tabela 2.6: Razões de amortecimento típicas de isoladores de vibração. Fonte: Bistafa (2011).

Material	Razão de Amortecimento ( $\zeta$ )	TF máxima
Molas de aço	0,005	100,0
Elastômero	Borracha natural	10,0
	Neoprene	10,0
	À base de silicone	3,5
	Para baixas temperaturas	4,3
Molas com amortecimento de atrito	0,33	1,5
Palhas de aço	0,12	4,3
Feltro ou cortiça	0,06	8,0
Isoladores pneumáticos	Variável, dependendo do tipo de orifícios e	100,0

Os mais comuns tipos de isoladores de vibração são as molas de aço. São empregadas em casos de cargas verticais, sendo normalmente indicadas para sistemas com frequência naturais inferiores a 6 Hz. Quando se deseja adicionalmente restringir o movimento lateral, podem-se utilizar molas de aço com estabilizadores. Existem também as molas de aço para montagens aéreas (BISTAFA, 2011). Ambas podem ser observadas na Figura 2.27.



Figura 2. 27: Diversos tipos de Molas de aço. Fonte: Bistafa (2011).

Quando o fator de amortecimento, for  $\xi = 0$ , na equação (2.17) a transmissibilidade da força ( $T_F$ ) na região de isolamento ( $r > 1,4$ ) é igual a:

$$T_F = \frac{1}{r^2 - 1} \quad (2.18)$$

A partir da definição de frequência natural ( $\omega_n$ ), determina-se a expressão do coeficiente de rigidez dos isoladores ( $k$ ), desenvolvendo a álgebra da equação (2.18), tem-se:

$$T_F = \frac{1}{r^2 - 1} \therefore r^2 - 1 = \frac{1}{T_F} \therefore r^2 = \frac{1}{T_F} + 1 \therefore \frac{\Omega^2}{\omega_n^2} = \frac{1}{T_F} + 1 \therefore \frac{\Omega^2}{\frac{1}{T_F} + 1} = \omega_n^2 \therefore$$

$$\frac{\Omega^2}{\frac{1}{T_F} + 1} = \frac{k}{m} \therefore \frac{m\Omega^2}{\frac{1}{T_F} + 1} = k_{eq} \text{ e } k_{eq} \Delta_{est} = P_T \therefore$$

$$k_{eq} = \frac{m\Omega^2}{\frac{1}{T_F} + 1} \quad (2.19)$$

$$\Delta_{est} = \frac{P_T}{k_{eq}} \quad (2.20)$$

sendo que massa ( $m$ ) em kg, frequência de excitação ( $\Omega$ ) em Hz, delta estático ( $\Delta_{est}$ ) em metros, rigidez equivalente ( $k_{eq}$ ) em Newton por metro e peso total ( $P_T$ ) em Newton ( $N$ ).

Em uma determinada aplicação, se o centro de gravidade ( $CG$ ) coincidir com o centro geométrico da base da máquina a ser isolada, então, os isoladores serão iguais e sua soma será igual ao coeficiente de rigidez equivalente ( $k_{eq}$ ), como é mostrado a seguir:  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ , sendo medidas em Newton ( $N$ ) tem-se que  $P_T = 4R$ .

No caso do centro de gravidade ser diferente do centro geométrico, para se definir o ( $k_{eq}$ ) e o ( $\Delta_{est}$ ), os coeficientes de rigidez ( $k_i$ ), não serão iguais. Usando a abordagem do trabalho de Almeida e Góz (2003), tem-se um esquema gráfico na Figura 2.28 e o conjunto de Equações 2.20, com desenvolvimentos algébricos do método de resolução.

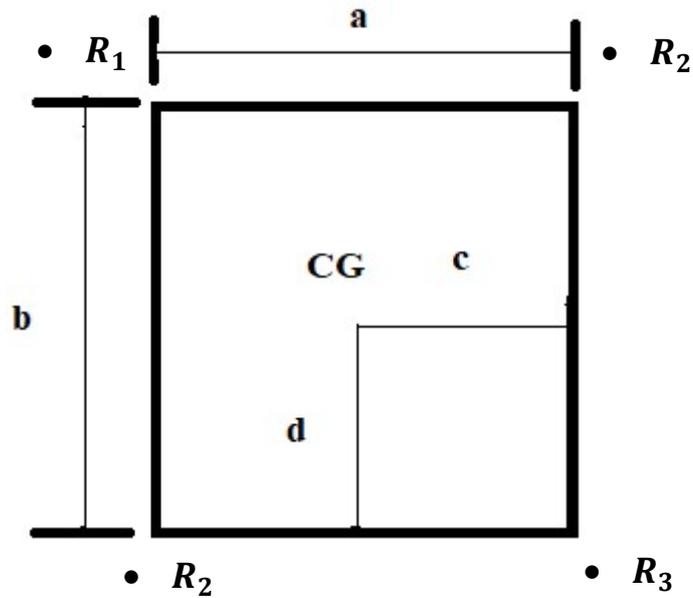


Figura 2. 28: Esquema gráfico da distribuição dos Reações (R).

$$(R_1 + R_2)a = P + (c) \quad (2.20a)$$

$$(R_3 + R_4)a = P + (a - c) \quad (2.20b)$$

$$R_1(b) = (R_1 + R_2)(b - d) \quad (2.20c)$$

$$R_2(b) = (R_1 + R_2)d \quad (2.20d)$$

$$R_3(b) = (R_3 + R_4)d \quad (2.20e)$$

$$R_4(b) = (R_3 + R_4)(b - d) \quad (2.20f)$$

Dado peso total ( $P_T$ ), medido em Newton (N), as dimensões  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$ , são medidas em metro (m), combinando o conjunto de Equações 2.20, obtém-se os valores de  $R_1, R_2, R_3$ , e  $R_4$ , medidas em Newton (N), conhecendo o delta estático ( $\Delta_{est}$ ) em metro (m) e posteriormente serão mostrados no conjunto de equações 2.21 os coeficientes de rigidez em Newton por metro (N/m).

$$K_1 = \frac{R_1}{\Delta_{est}} \quad (2.21a)$$

$$K_2 = \frac{R_2}{\Delta_{est}} \quad (2.21b)$$

$$K_3 = \frac{R_3}{\Delta_{est}} \quad (2.21c)$$

$$K_4 = \frac{R_4}{\Delta_{est}} \quad (2.21d)$$

### 3. MÁQUINA DE DESFIBRAR

#### 3.1. Descrição da Máquina de Extração da Fibra vegetal e níveis acústicos

Visando contribuir para o impulsionamento da agricultura com agregação de valor na Região de Integração do Lago de Tucuruí, a Universidade Federal do Pará, Campus de Tucuruí, desenvolveu, uma máquina de extração de fibras vegetais de baixo custo em relação às existentes no mercado. A máquina possibilita não somente a extração de fibras do pseudocaule da bananeira, sendo objeto de estudo desse trabalho, como também de outras fibras vegetais, essa versatilidade se deve ao fato de a máquina desfibrar com um rotor de lâminas e ter velocidade variável controlada por um inversor de frequência, desta forma a velocidade ideal de corte para cada tipo de fibra é alcançada.

A máquina para extração de fibras é composta por um rotor dotado de lâminas rígidas horizontais, que fazem o trabalho de corte para a extração das fibras. A rotação necessária para extração das fibras é proporcionada por um motor de 2 CV que transmite uma rotação nominal de 1715 rpm, a qual pode ser variada em virtude de um inversor de frequência CFW 08 da WEG. A transmissão de potência e velocidade entre o motor elétrico e o rotor de lâminas é feita por meio de correia. A máquina também conta com dispositivos de proteção ao usuário, tal como a tampa do rotor de lâminas, assim como dois rolos de nylon que além de direcionar o pseudocaule para o corte, também evitam o contato das lâminas com a mão do usuário. A Figura 3.1, mostra ilustrações da Figura 3.1A e 3.1B e na foto da máquina de desfibrar na Figura 3.1C, em diferentes vistas.

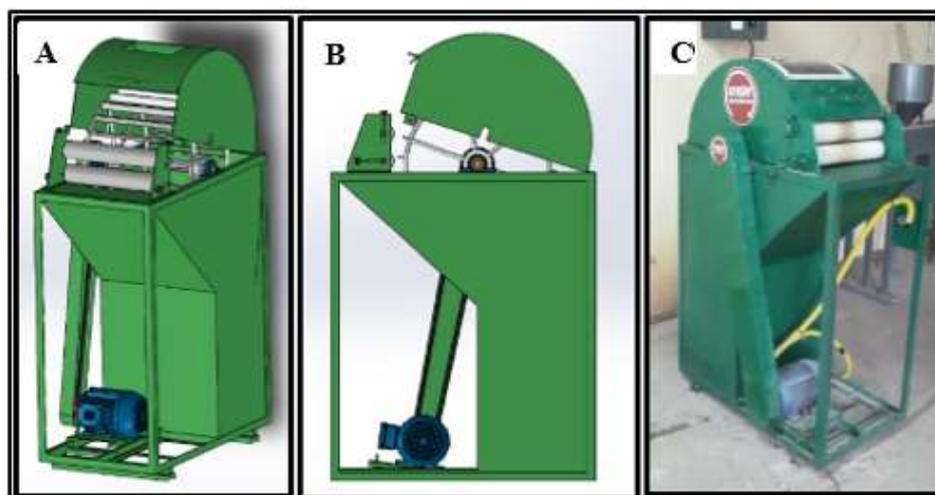


Figura 3. 1: Ilustrações e foto da máquina de extração de fibras.

Outra etapa da configuração da máquina é a montagem de algumas peças, como pode ser observado na Figura 3.2(a), chapa de 0,001m sendo ponteadada; Figura 3.2(b), mesa ponteadada; Figura 3.2(c) mesa pronta para montagem.



Figura 3. 2: Algumas etapas da fabricação da máquina. Fonte: Souza e Gaia (2016).

A máquina reduzir o esforço empregado diretamente pelo trabalhador, como também, amplia sua capacidade produtiva, além de extrair três tipos de fibras de plantas diferentes, bastando apenas modificar alguns parâmetros de regulagem tanto elétricos (inversor de frequência) quanto mecânicos (ajustes manuais dos rolos de nylon), sendo assim, essa a máquina mostrou ser capaz de extrair fibras de sisal, bananeira e curauá.

A operação da máquina de desfibrar é semi manual, pois o operador necessita inserir as camadas de pseudocaule uma por vez, entre os rolos estáticos e com segurança serão direcionados para o rotor, tendo como produto final somente as fibras. Como pode ser observado na Figura 3.3(a) e 3.3(b).

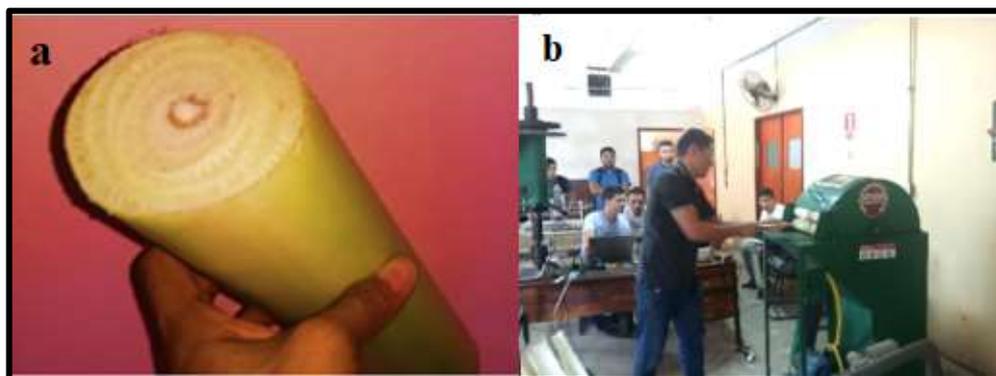


Figura 3. 29: Pseudocaule de bananeira e extração da fibra.

Na Figura 3.4, foi feito um comparativo da extração manual e mecânica, pode-se observar que a extração mecânica produziu uma fibra de boa aparência em comparação com o método manual, como também, uma maior produtividade com menos trabalhadores. A extração

manual 3.4(b) apresenta maior quantidade, porém corresponde a extração de um mês e a mecanizada 3.4(a) de algumas horas de funcionamento da máquina de desfibrar.

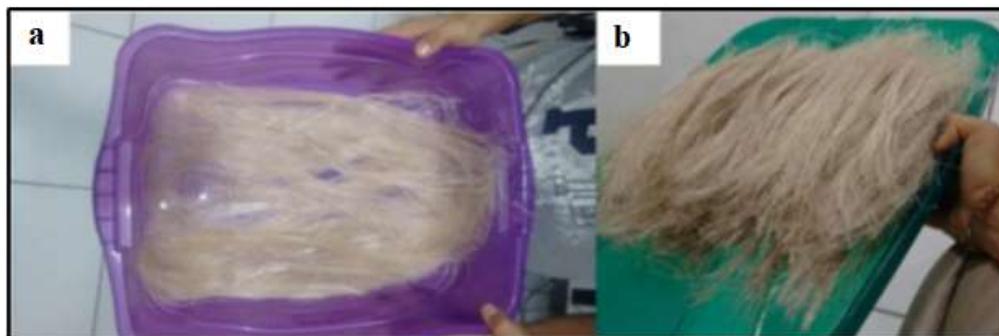


Figura 3. 4: Fibras extraídas do pseudocaule por diferentes formas Fonte: Souza e Gaia (2016).

Para quantificar a diferença entre o tempo de obtenção das fibras entre os dois métodos, manual e mecanizada, em uma tarde, foram selecionados 3 (três) pseudocaules de bananeiras completos, fez-se a extração de cada pseudocaule na máquina de desfibrar, gastando duas horas e com apenas um operário, na qual todos os caules já haviam sido extraídos e as fibras já se encontravam secando ao sol para o processo de cardar as fibras. Já o tempo necessário para desfibrar 3 (três) pseudocaules de maneira manual com dois operários foi de aproximadamente três semanas, apesar de ter apresentado uma melhor aparência nas fibras.

O gráfico da Figura 3.5 ilustra a comparação entre o tempo de extração manual e mecanizadas das fibras.

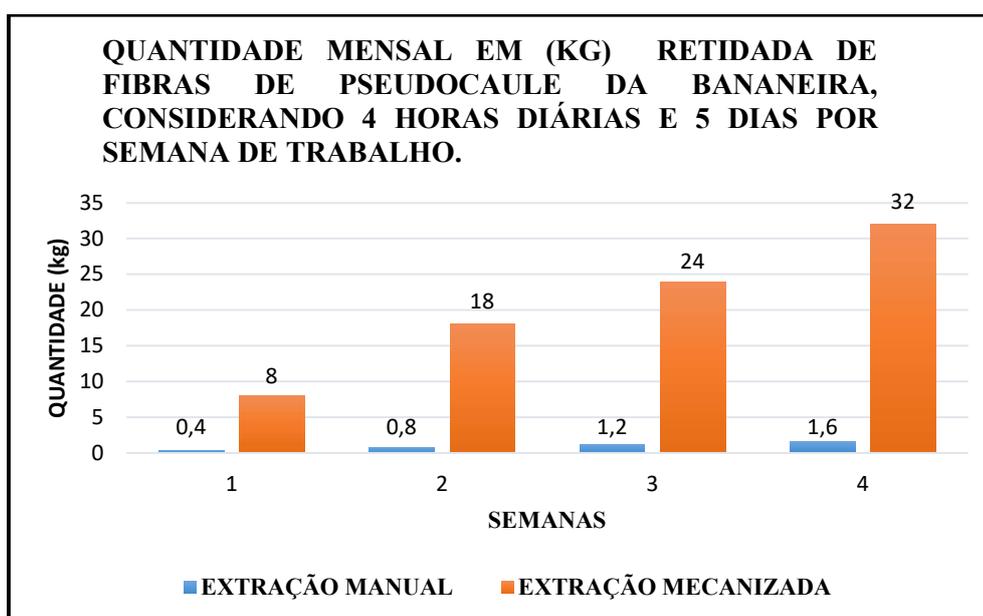


Figura 3. 5: Produção de fibras manual e mecânica. Fonte: Adaptado de Souza e Gaia (2016).

Este gráfico mostra uma estimativa do resultado da máquina em um mês, se as atividades continuarem de maneira normal a quantidade de fibras extraídas mecanicamente seria de 32 kg enquanto que manualmente levando em consideração os mesmos fatores de 1,6 kg, tendo em vista a comparação dos resultados, pode-se dizer que a máquina é viável para o processo de extração de fibras vegetais (SOUZA e GAIA, 2016).

Em relação à viabilidade econômica, buscou-se um método de comparação com o valor de outras máquinas desfibradoras no mercado. A máquina para extrair fibras vegetais construída é capaz de extrair vários tipos de fibras vegetais de caules, pseudocaules e folhas, entretanto, incapaz apenas de extrair as de frutos como, por exemplo, a fibra de coco. Assim, as máquinas e protótipos pesquisados para comparação, eram para extração de uma ou outra variedade de fibras, não sendo encontrado na literatura. Como dito anteriormente, a máquina de desfibrar foi equipada com um inversor de frequência que é capaz além de variar a rotação do motor, se adequando as solicitações impostas, o que a torna versátil e multifuncional. No total da montagem da máquina de desfibrar, foram gastos com mão de obra e materiais R\$ 2.687,40, (SOUZA e GAIA, 2016). A mesma pode ser observada na figura 3.6.



Figura 3. 6: Máquina montada de desfibrar.

Segundo Souza e Gaia (2016), de uma maneira geral, a máquina possui operação acessível, permitindo que o usuário possa operá-la, desde que o mesmo passe por uma capacitação de 20 minutos. Este dispositivo mecânico reduziu o trabalho penoso de extrair manualmente as fibras e proporcionou um ambiente de trabalho limpo e saudável com mais fibras em menor tempo e de maior qualidade com segurança.

Segundo Souza e Gaia (2016), buscou-se comparar o protótipo construído com outros de funções similares. Existem máquinas capazes de realizar tal extração, entretanto, o preço elevado das mesmas não viabiliza a aquisição, sem contar que são importadas. Então as máquinas disponíveis no mercado estão em sites que dispunham de ferramentas e máquinas agrícolas importadas. O preço da primeira máquina de desfibrar similar que é capaz de extrair fibras de juta, sisal e bananeira é de U\$\$ 2.750,00 (R\$ 9.625,00), sem levar em consideração o preço de envio, já a segunda máquina de desfibrar além de desfibrar os caules de juta, rami, sisal e bananeira como prometido no seu programa de marketing realiza o processo de cardagem e separação de bagaço das fibras através de uma correia transportadora e várias ferramentas de rolo. de extrair os caules de juta, rami, sisal e bananeira o valor de U\$\$ 10.000,00 (R\$ 35.000,00) conta com mais componentes e com mais funções.

A diferença financeira entre a máquina de desfibrar construída pela UFPA Campus Tucuruí e outras pesquisadas no mercado, indo do modelo mais simples a mais equipada, mostra a viabilidade econômica para sua aquisição.

### **3.2. Medições de Nível de Pressão sonora na máquina**

Foram realizadas medições de ruído no entorno da máquina de extração de fibras vegetais que está localizado na sala de máquina operatrizes do Laboratório de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Tucuruí. Ressalta-se que existem várias outras salas e laboratórios às proximidades. De acordo com essas medições são propostas ações a serem realizadas para redução do ruído na máquina.

Inicialmente foram realizadas medições de ruído na máquina operando na velocidade de 600 e 900 rpm com e sem carga, ou seja, desfibrando ou não o pseudocaule da bananeira, como pode ser observado na Figura 3.7. Essas são as duas velocidades de trabalho para desfibramento de diferentes camadas do pseudocaule da bananeira.



Figura 3. 7: Desfibramento do pseudocaule de bananeira.

Nas medições de ruído em campo foi utilizado o medidor de nível de pressão sonora da marca Solo 01dB mostrado na Figura 3.8.



Figura 3. 8: Decibelímetro com tripé.

### 3.3. Níveis de pressão sonora (NPS) medidos

De acordo com as medições foram obtidos vários espectros sonoros, em termos de NPS (Nível de Pressão Sonora) em dB(A). Podendo ser observado nas Figuras 3.9, 3.10, 3.11 e 3.12

O gráfico da Figura 3.9 mostra o Nível de Pressão Sonora (NPS) da máquina funcionando sem carga, ou seja, sem está desfibrando. Foi verificado que o nível de pressão sonora equivalente ponderado em A ( $L_{Aeq}$ ) foi de 61,96 dB(A).

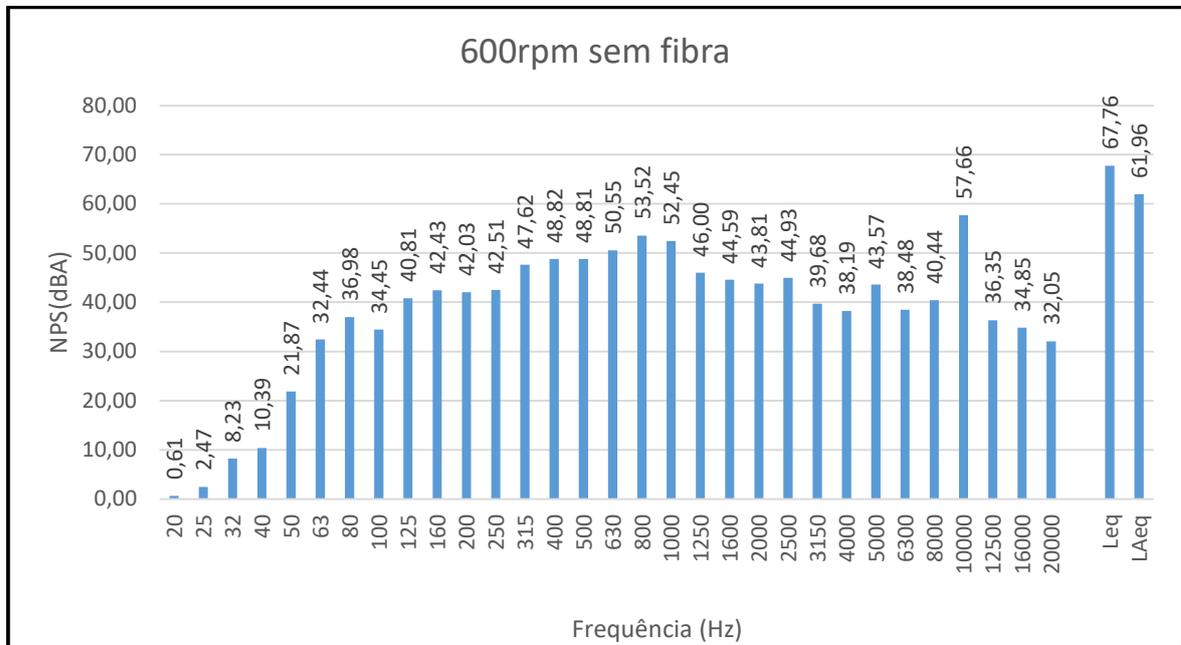


Figura 3. 9: Gráfico de NPS dB(A) de 600rpm sem fibra.

No gráfico da Figura 3.10 a máquina de desfibrar realiza retirada de algumas fibras da parte interna do pseudocauce a 600 rpm, cujo nível de pressão sonora equivalente ponderada ( $L_{Aeq}$ ) medido foi de 73,44dB(A), estando a distância de um metro. Portanto, verificou-se um leve aumento no nível de ruído da máquina, quando em processo de retiradas de fibras nessa velocidade de operação. Pode ser observado que os maiores níveis de pressão sonora estiveram presentes nas faixas centrais, com nenhum NPS em destaque para que possa ser analisado.

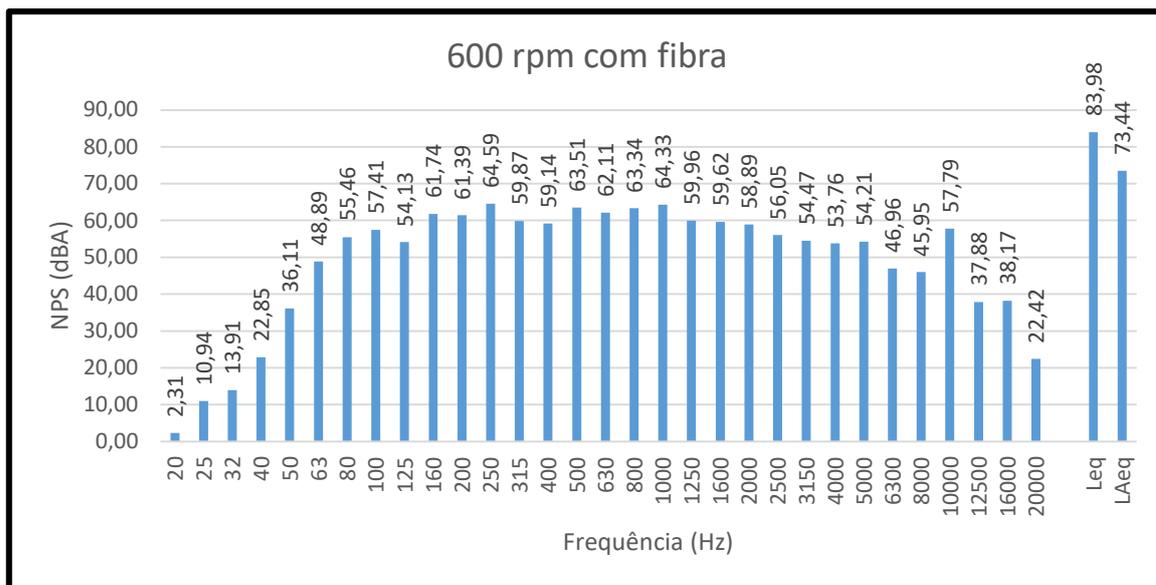


Figura 3. 10: Gráfico de NPS dB(A) de 600 rpm com fibra.

No gráfico da Figura 3.11 são mostrados os dados do NPS a 900 rpm com a máquina funcionando sem carga, o nível de pressão sonora equivalente ponderada foi de 67,31 dB(A), foi percebido a presença de um tonal na frequência de 10.000 Hz, entretanto, quando a máquina entra em trabalho de carga, esse tonal não se destaca.

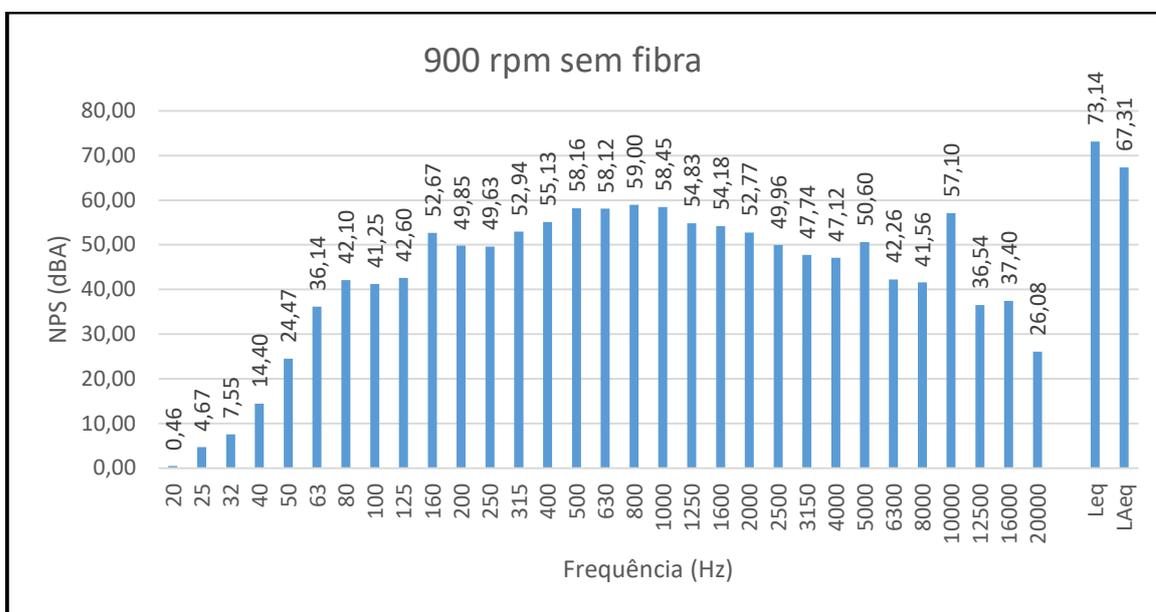


Figura 3. 11: Gráfico de NPS dB(A) de 900rpm sem fibra.

O gráfico da Figura 3.12 mostra os dados do NPS a 900 rpm com a máquina funcionando com carga, ou seja, desfibrando a parte externa do pseudocaule da bananeira. Os

resultados mostram que o nível de pressão sonora equivalente ponderada em A ( $L_{Aeq}$ ) é igual a 86,16 dB(A). Este nível é o maior nível de pressão sonora global obtido nas medições, um valor acima dos níveis permitidos por normas, NR15 Anexo 1 e NBR 10152 como ressaltado no Capítulo 2.

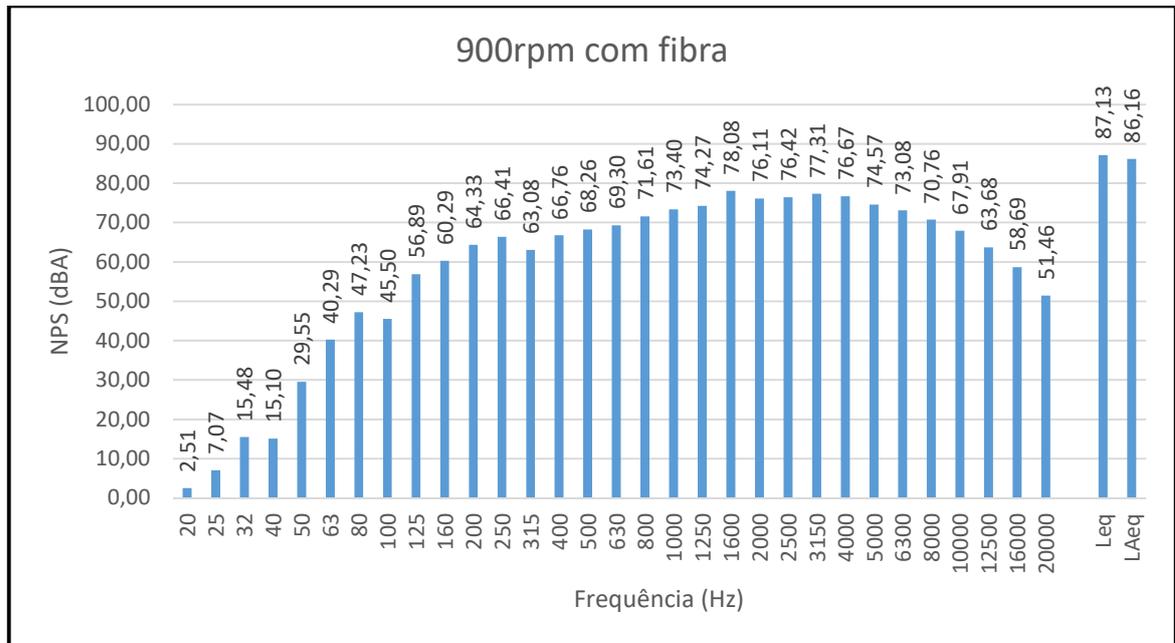


Figura 3.12: Gráfico de NPS dB(A) de 900rpm com fibra.

De acordo com os resultados apresentados e com base nos os estudos de Literatura definiram-se os seguintes procedimentos a serem realizados na máquina para atenuar o nível ruído (e vibração):

- i. Balanceamento do rotor.
- ii. Troca da chapa traseira (1mm) por uma mais espessa.
- iii. Instalação dos isoladores de vibração.
- iv. Trocar a ventoinha da ventilação do motor elétrico.
- v. Dimensionamento de enclausuramento parcial da máquina de desfibrar.

## 4. SOLUÇÕES ACÚSTICAS PARA A MÁQUINA DE DESFIBRAR

### 4.1. Dimensionamento de isoladores de vibração

Como todo problema de ruído envolve sempre uma fonte sonora, a trajetória de transmissão e o receptor, faz-se necessária uma criteriosa avaliação para a seleção adequada dos isoladores de vibração, de acordo com a necessidade do sistema dinâmico. Ao analisar o funcionamento da máquina de desfibrar vegetal, aplicada a extração de fibras do pseudocaule da bananeira sem os isoladores de vibração, conforme Figura 4.1, a máquina apresentou níveis de ruído e conseqüentemente vibrações elevadas.



Figura 4. 1: Máquina de desfibrar sem os isoladores de vibração

Para o dimensionamento dos isoladores de vibração, deverá ser utilizado uma base de concreto, fazendo com que o centro de gravidade (CG) da máquina esteja com a altura menor, dessa forma a máquina ficará mais estável.

Para determinar a massa da base de concreto, será preciso o volume ( $V$ ) medido em  $m^3$ , o peso ( $P$ ) medido em Newton (N) e o peso específico ( $p$ ) do concreto, medido em  $kg/m^3$ . As dimensões da base são  $a = 0,690 m$ ,  $b = 1,090 m$  e  $c = 0,080 m$ , sendo determinado o

volume de  $0,06 \text{ m}^3$  e peso específico  $p = 2500 \text{ kg/m}^3$ . Para (ATKING, 2001) a utilização da fórmula  $p = \frac{P}{V}$ , resulta na massa da base de concreto de  $150,420 \text{ kg}$ .

Para determinar os coeficientes de rigidez dos isoladores ( $K_{eq}$ ), será necessário a massa total do sistema, sendo  $150,42 \text{ kg}$  da base de concreto e  $120 \text{ kg}$  da massa da máquina, resultando em  $270,52 \text{ kg}$  e rotação ( $\Omega$ ) de trabalho de  $900 \text{ rpm}$ , sendo igual a  $30 \pi \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ .

Adotando uma transmissibilidade da força de  $10\%$  na Equação 2.18, para encontrar a razão de frequência de excitação sobre a frequência natural ( $r$ ), tem-se:

$$0,10 = \frac{1}{r^2 - 1} \quad \therefore r = 3,31$$

Após determinar o  $r$ , deve-se encontrar o coeficiente de rigidez equivalente dos isoladores ( $K_{eq}$ ) na equação 2.19.

$$k_{eq} = \frac{\Omega^2 m}{\frac{1}{T_F} + 1} \quad \therefore \frac{(30\pi)^2 \cdot 270,520}{\frac{1}{0,10} + 1} \quad \therefore k_{eq} = 218448,44 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

A partir da equação 2.20, deve-se calcular o  $\Delta_{est}$ .

$$\Delta_{estático} = \frac{270,520}{218448,440} \quad \therefore \Delta_{estático} = 0,0012 \text{ m}$$

O centro de gravidade (CG) não coincide com o centro geométrico da máquina de desfibrar, como pode ser observado nas Figura 4.2 e 4.3.

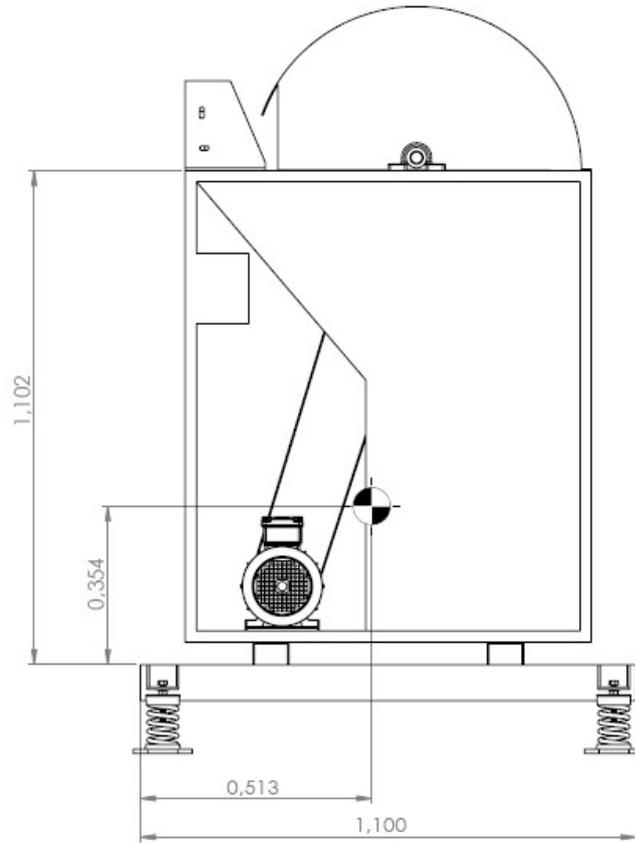


Figura 4. 2: Máquina de extração de fibras e seu CG.

De acordo com Almeida e Góz (2003), quando o centro de gravidade (CG) e centro geométrico diferem na posição, o conjunto de coeficientes de rigidez dos isoladores, assumem valores também diferentes.

A partir do conjunto de Equações 2.21 e trabalhando com resoluções de sistemas lineares, foi determinado o conjunto de reações, com  $a = 0,690$ ;  $b = 1,090$ ;  $c = 0,360$ ;  $d = 0,508$  e  $P_T = 2653,801 N$

$$\begin{cases} (R_1 + R_2)a = P + (c) \\ R_1(b) = (R_1 + R_2)(b - d) \end{cases} \therefore R_1 = 645,296 N \text{ e } R_2 = 739,296 N$$

$$\begin{cases} (R_3 + R_4)a = P + (a - c) \\ R_3(b) = (R_3 + R_4)d \end{cases} \therefore R_3 = 591,521 N \text{ e } R_4 = 677,688 N$$

Isto fornece 65,78 kg no apoio  $R_1$ , no apoio  $R_2$  75,36 kg, no apoio  $R_3$  60,29 kg e no apoio  $R_4$  69,08 kg, sendo mostrados na figura 4.3.

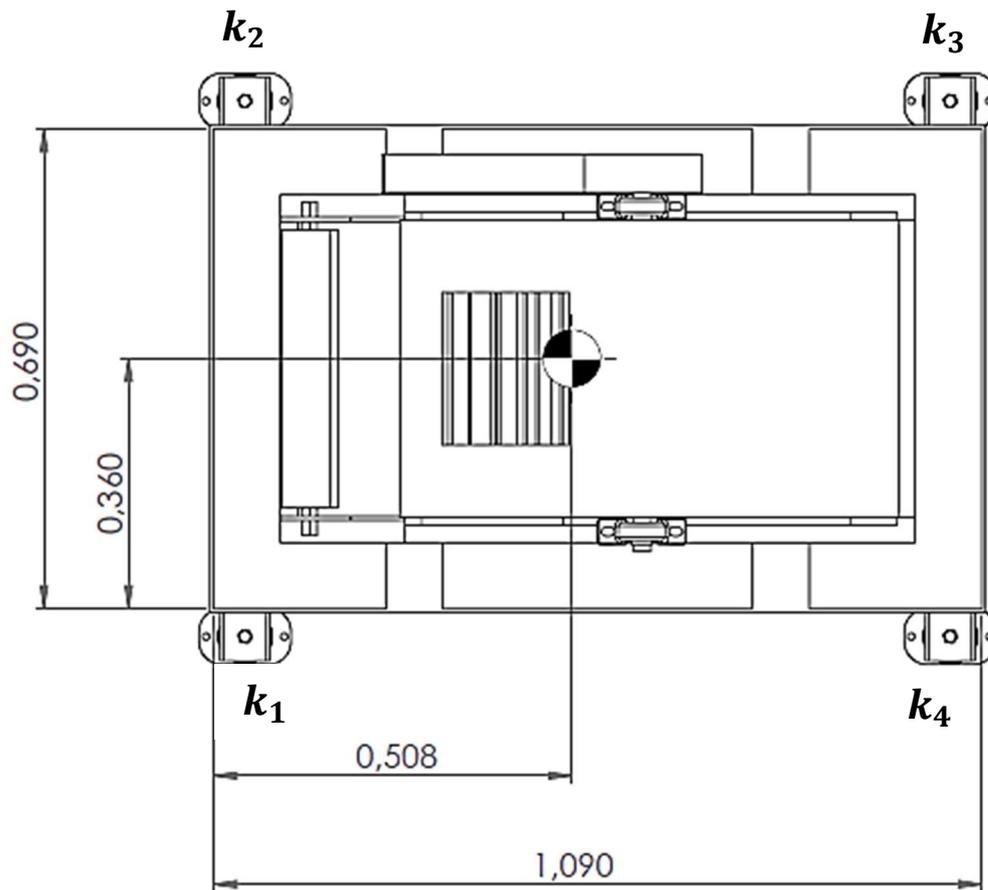


Figura 4. 3: Desenho da diferença entre CG e centro geométrico.

Após as devidas combinações das Equações 2.20, foram determinados todos os coeficientes de rigidez dos isoladores,  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  e  $K_4$  medidos em  $\frac{N}{m}$ .

$$K_1 = \frac{R_1}{\Delta} \therefore K_1 = \frac{645,296}{0,0012} \therefore K_1 = 537.746,67 \frac{N}{m}$$

$$K_2 = \frac{R_2}{\Delta} \therefore K_2 = \frac{739,296}{0,0012} \therefore K_2 = 616.080,00 \frac{N}{m}$$

$$K_3 = \frac{R_3}{\Delta} \therefore K_3 = \frac{591,521}{0,0012} \therefore K_3 = 492.934,17 \frac{N}{m}$$

$$K_4 = \frac{R_4}{\Delta} \therefore K_4 = \frac{677,688}{0,0012} \therefore K_4 = 564.740,00 \frac{N}{m}$$

## 4.2. Atenuação do ruído do motor elétrico

Uma outra opção para atenuar o problema do ruído excessivo no funcionamento da máquina de desfibrar, seria atuar na fonte, ou seja, no motor elétrico da máquina, pois ele

apresenta o TEFC (Totally Enclosed, Fan-Cooled – Totalmente Fechado , resfriado por ventilador) como pode ser observado na Figura 4.4.



Figura 4.4: Motor elétrico da máquina de desfibrar.

Segundo Gerges (2000), existem várias soluções para resolver o problema de ruído semelhantes ao da máquina de desfibrar.

- A primeira solução seria a colocação de um silenciador na entrada de ar do motor, esta solução é efetiva e fornece atenuação de até 10 dB no nível total de ruído, entretanto, dependendo da frequência com nível máximo de ruído e do tamanho do silenciador, porém está solução é considerada onerosa;
- A segunda solução poderia ser conseguida através da substituição da ventoinha de pás reta (ver Figura 4.5a) por ventoinha de pás curvas (ver Figura 4.5b). Vale ressaltar que neste caso deve-se usar o motor sempre em rotação num único sentido. Esta solução fornece uma redução total de 3 a 7 dB dependendo de cada caso, como observado na Figura 4.5.

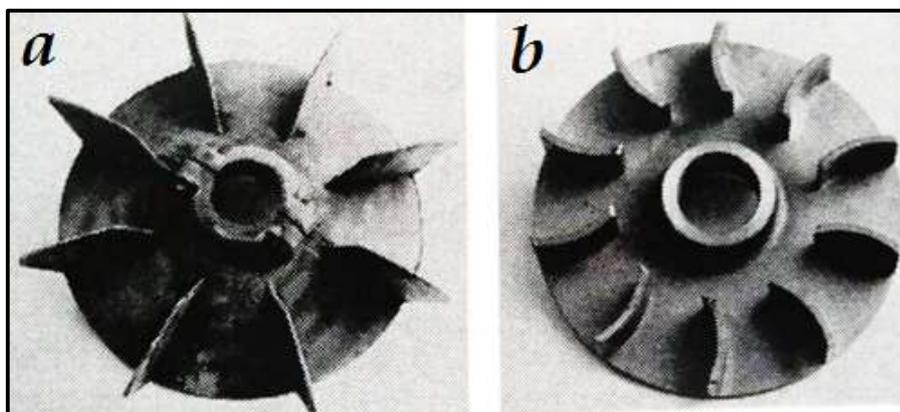


Figura 4. 5: Ventoinha com rotor pás retas e curvas. Fonte: Gerges (2000).

A Figura 4.6 mostra a ventoinha de pás retas do motor elétrico, usado na máquina de desfibrar.



Figura 4.6: Motor TEFC da máquina de desfibrar.

- A terceira solução é através da substituição da ventoinha original de pás retas por ventoinha de discos paralelos. Neste caso consegue-se uma atenuação de até 22 dB. Como pode ser observado na Figura 4.7.

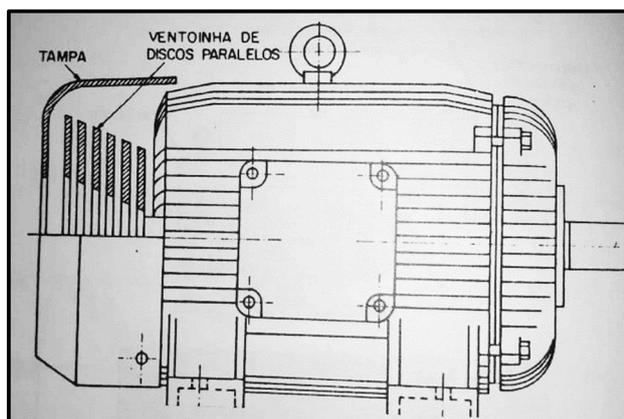


Figura 4. 7: Motor TEFC com rotor de discos paralelos. Fonte: Gerges (2000).

A solução mais viável economicamente para atenuar o ruído do motor elétrico da máquina de desfibrar é a 2ª abordagem das opções descritas, ou seja, substituição da ventoinha de pás retas por uma ventoinha de pás curvas, essa ação fornecerá uma redução total a partir de 3 dB, podendo chegar até 7 dB (GERGES, 2000).

### 4.3. Dimensionamento do enclausuramento parcial da máquina de desfibrar

Foi realizada na sala de máquina operatrizes do Laboratório de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Tucuruí, a medição do nível sonoro equivalente ponderado de  $Lae_q = 86,16 \text{ dB}(A)$  com a máquina de desfibrar trabalhando a 900 rpm, onde pode se observar a necessidade de se adequar a Norma Brasileira (NBR) 10152- (Acústica - Avaliação do ruído ambiente em recintos de edificações visando o conforto dos usuários – Procedimento), conforme Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Valores dB(A) e NC recomendados pela NBR 10152.

Locais	dB(A)	NC
<b>Hospitais</b>		
Departamento, enfermarias, centro cirúrgicos	35 - 45	30 - 40
Laboratório, áreas para uso do público	40 - 50	35 - 45
Serviços	45 - 55	40 - 50
<b>Escolas</b>		
Bibliotecas, salas de música, salas de descanso	35 - 45	30 - 40
Sala de aula, laboratórios	40 - 50	35 - 45
Circulação	45 - 55	40 - 50
<b>Hotéis</b>		
Apartamentos	35 - 45	30 - 40
Restaurantes, salas de estar	40 - 50	35 - 45
Portaria, recepção, circulação	45 - 55	40 - 50
<b>Residências</b>		
Dormitório	35 - 45	30 - 40
Salas de estar	40 - 50	35 - 45
<b>Auditórios</b>		
Salas de concertos, teatros	30 - 40	25 - 30
Sala de conferências, cinemas e de uso múltiplo	35 - 45	30 - 35
Restaurantes	40 - 50	35 - 45
<b>Escritórios</b>		
Sala de reunião	30 - 40	25 - 35
Salas de gerência, projeto e administração	35 - 45	30 - 40
Salas de computadores	45 - 65	40 - 60
Salas de mecanografia	50 - 60	45 - 55
Igreja e templos (cultos medicativos)	40 - 50	35 - 45
<b>Locais esportivos</b>		
Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45 - 60	40 - 55

Na Figura 4.8, observa-se o galpão com dimensões de  $a = 11,50 \text{ m}$ ,  $b = 10,20 \text{ m}$  e  $c = 4 \text{ m}$ ; ao fundo existe uma sala de professores e técnicos, estando a máquina de desfibrar localizada a esquerda.



Figura 4.8: Área analisada na pesquisa com a máquina de desfibra.

Com intuito de adequar o ruído da máquina de desfibrar com às normas da NR15 Anexo 1, NBR 10152 e NBR 10151 vigentes no Brasil, uma possível solução é trabalhar na trajetória de transmissão, que neste caso optou-se pelo enclausuramento parcial, suas vistas e medidas pode ser observado na Figura 4.9.

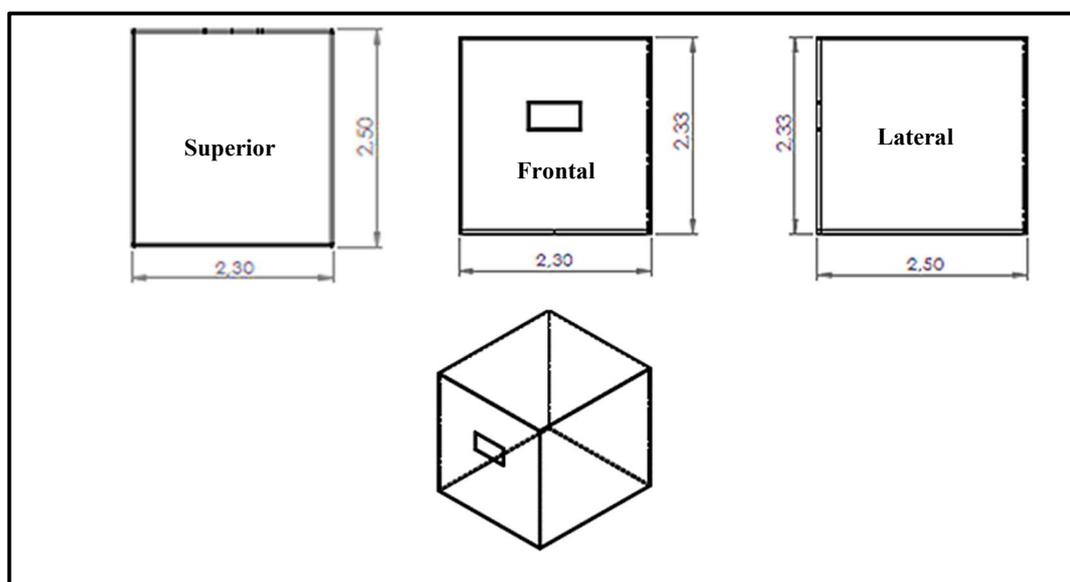


Figura 4. 9: Vistas do desenho do enclausuramento parcial.

Na Figura 4.10, mostra-se o desenho do enclausuramento parcial com as dimensões  $a = 2,5\text{ m}$ ,  $b = 2,3\text{ m}$  e  $c = 2,33\text{ m}$ , cuja construção será utilizado um material sólido (compensado com espessura de 25mm), e coberto internamente com uma camada de 25,4 mm de material absorvente acústico. A abertura retangular de dimensões 0,70 m por 0,2 m existente

no enclausuramento parcial, tendo a finalidade de inserir as camadas do pseudocaule da bananeira na máquina e posterior transformação destas em fibras.

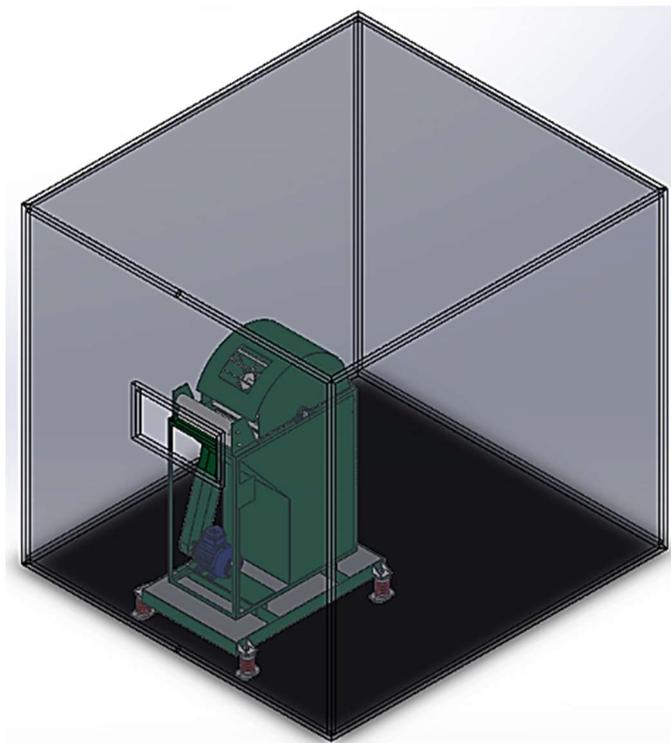


Figura 4. 10: Desenho do enclausuramento da máquina de desfibrar.

Na Tabela 4.2 são mostradas as características dos índices de perda de transmissão e os coeficientes de absorção da parede do enclausuramento usados nos cálculos a seguir, segundo Barron (2003).

Tabela 4.2: Dados da absorção sonora das paredes e perda de transmissão.

	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Coeficiente de absorção sonora das paredes do enclausuramento ( $\alpha$ )	0,16	0,27	0,63	0,97	0,99	0,96	0,96
Perda de transmissão IL (dB)	9,77	12,21	15,70	17,51	17,60	20,72	2,08

Os cálculos serão feitos em detalhes para a banda de oitava de 500 Hz e os resultados para as outras bandas de oitava são apresentados em resumo tabular.

Será utilizado para confirmação do enclausuramento amplo, a Equação 2.21, usando as medidas da clausura parcial definidas com  $a = 2,50\text{ m}$ ,  $b = 2,30\text{ m}$  e  $c = 2,33\text{ m}$ , assim

como, a frequência  $f = 500\text{Hz}$ , o volume de ar na clausura de  $V_0 = 13,39\text{ m}^3$  e velocidade do som no ar  $c_0 = 349\text{ m/s}$ .

$$\frac{fv_0^{1/3}}{c_0} \geq 1 \therefore \frac{500 \cdot 13,39^{1/3}}{349} > 1 \therefore \frac{1.185,55}{349} = 3,40 > 1$$

diante do cálculo realizado, o enclausuramento em análise deve ser classificado como um enclausuramento amplo.

A superfície da área total com as dimensões do galpão  $a = 11,50\text{ m}$ ,  $b = 10,20\text{ m}$  e  $c = 4\text{ m}$ ) é igual a:

$$s_0 = 2 \cdot (11,50 \cdot 4 + 10,20 \cdot 4 + 11,50 \cdot 10,20) \therefore s_0 = 408,20\text{ m}^2 \text{ (área do galpão)}$$

Todos os coeficientes de absorção sonora ( $\alpha_i$ ), serão utilizados com a equação (2.5).

- Paredes de reboco liso, retirando a área de duas portas de  $1,20 \times 2,20$  e tendo o coeficiente de absorção sonora  $\alpha_1 = 0,04$ :

$$\alpha_1 = 0,04 \text{ para frequência de } 500\text{ Hz}$$

$$s_1 = 408,200 - 2(1,20 \cdot 2,20) = 402,92\text{m}^2$$

- Portas de madeira compensada, painéis de madeira sobre espaço aéreo de  $25\text{mm}$  em suporte sólido e tendo o coeficiente de absorção sonora  $\alpha_1 = 0,10$ :

$$\alpha_2 = 0,10 \text{ para frequência de } 500\text{ Hz}$$

$$s_2 = (1,20 \cdot 2,20) = 2,64\text{m}^2$$

- Forro simples de PVC com dimensões  $11,50$  por  $10,20$  e tendo o coeficiente de absorção sonora  $\alpha_3 = 0,98$ :

$$\alpha_3 = 0,98 \text{ para frequência de } 500\text{ Hz}$$

$$s_3 = (11,50 \cdot 10,20) = 117,30\text{m}^2$$

- Chão com superfície de concreto ou cimentado liso desempenado com dimensões de 11,50 m por 10,20 m e tendo o coeficiente de absorção sonora  $\alpha_4 = 0,01$ :

$$\alpha_4 = 0,01 \quad \text{para frequência de 500 Hz}$$

$$s_4 = (11,50 \cdot 10,20) = 117,30m^2$$

Determinando o coeficiente de absorção média para o galpão com a Equação 2.5

$$\bar{\alpha} = \frac{(0,04 \cdot 402,920) + (0,10 \cdot 2,640) + (0,98 \cdot 117,30) + (0,01 \cdot 117,30)}{408,200}$$

$$\bar{\alpha} = 0,33$$

Determinando a constante  $R$  do galpão com a Equação 2.4.

$$R = \frac{0,33 \cdot 408,20}{1 - 0,33} \therefore R = 196,54 m^2$$

O fator de diretividade ( $Q$ ), é uma grandeza adimensional, sendo determinado através do número de restrições  $n$  (chão, teto, paredes e outros), que será a mesma em todas as faixas de frequência deste estudo, através da Equação 2.6:

$$Q = 2^n \therefore Q = 2^2 = 4 \text{ restrições.}$$

O nível de potência acústica para a faixa de frequência de 500 Hz sem o enclausuramento, tendo o nível de pressão sonora na referida faixa de  $L_p = 68,26 \text{ dB(A)}$ , após ponderação passa à  $L_p = 71,26 \text{ dB}$ , aplicados na Equação (2.16) e levando em conta que o raio ( $r$ ) foi de um metro (1 m), tem-se:

$$L_w = L_p - 10 \log_{10} \left( \frac{4}{R} + \frac{Q}{4\pi r^2} \right) + 0,1$$

$$L_w = 71,260 - 10 \log_{10} \left( \frac{4}{196,541} + \frac{4}{4\pi 1^2} \right) + 0,1$$

$$L_w = 71,260 - (-4,702) + 0,1 \therefore L_w = 76,06 \text{ dB}$$

Na Tabela 4.3 é apresentado um resumo tabular com os cálculos para determinação do nível de potência sonora ( $L_w$ ) irradiada pelo galpão e nas demais bandas de frequências estudada pelo trabalho.

Tabela 4.3: Resumo tabular sem o enclausuramento

Linha	Procedimento no galpão	Frequência central da faixa de oitava, Hz						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Nível medido de pressão sonora $L_p$ , dB	72,89	75,41	71,26	73,40	77,11	77,67	69,
2	Enclausuramento grande $((f \cdot V^{1/3})/c) > 1$	0,84	1,69	3,39	6,77	13,55	27,10	54,21
3	Fator de diretividade Q	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
4	Perda de transmissão (TL)	18,40	19,00	19,00	19,00	19,00	25,00	25,00
5	Coefficiente de absorção sonora ( $\bar{\alpha}$ )	0,08	0,16	0,33	0,28	0,19	0,05	0,04
6	Constante R do galpão $R = (\bar{\alpha} S_0) / (1 - \bar{\alpha})$	38,41	79,49	196,54	160,32	95,75	19,68	19,24
7	$10 \log((4/R+Q)/(4\pi r^2))$ , dB	- 3,74	- 4,33	4,70	4,64	- 4,44	2,83	2,79
8	Nível de potência acústica ( $L_w = L_p - 10 \log((4/R+Q)/(4\pi r^2)) + 0,1$ )	76,73	79,84	76,06	78,14	81,65	80,59	72,73

Será desenvolvido o cálculo para determinação do nível de potência sonora ( $L_w$ ) irradiado pelo enclausuramento na banda de frequência de 500 Hz.

Para calcular a área do enclausuramento parcial, adota-se que a máquina ocupará todo o piso da clausura e será retirado a área da abertura para a entrada do pseudocaule, utilizando a Equação (2.8), têm-se:

$$s_{0'} = 2(2,50 \cdot 2,33 + 2,30 \cdot 2,33) + 2,50 \cdot 2,30 - 0,7 \cdot 0,20 \therefore s_{1'} = 27,98 m^2$$

A área da abertura do enclausuramento parcial, será obtida utilizando a equação da área do retângulo:

$$s_{1'} = 0,70 \cdot 0,20 \therefore s_{1'} = 0,14 m^2$$

O coeficiente de transmissão de potência sonora da faixa de 500 Hz para as paredes do enclausuramento pode ser encontrado pela definição de perda de transmissão ( $TL$ ) dada pela Equação (2.9):

$$a_{tl} = 10^{-TL/10} \therefore a_{tl} = 10^{-19/10} \therefore a_{tl} = 0,01258$$

A abertura está na parte frontal do gabinete e não há refletores superfícies próximos, para que o coeficiente de transmissão efetivo da abertura seja  $a_{t2} = 1$ . A soma dos coeficientes de transmissão sonora é dada pela equação (2.10).

$$\sum S_j \alpha_{tj} = (27,978)(0,01258) + (0,140)(1) \therefore \sum S_j \alpha_{tj} = 0,49m^2$$

A soma dos coeficientes de absorção da superfície para a banda de frequência de 500 Hz é dada pela equação (2.11), usando  $\alpha_1 = 0,63$  e  $\alpha_2 = 1$  para a abertura:

$$\sum S_j \alpha_j \therefore \sum S_j \alpha_j = (27,978)(0,63) + (0,140)(1) \therefore \sum S_j \alpha_j = 17,77 m^2$$

A taxa de potência sonora para o gabinete é encontrada de acordo com a equação na equação (2.2):

$$\frac{W}{W_{out}} = 1 + \frac{\sum S_j \alpha_j}{\sum S_j \alpha_{tj}} = 1 + \frac{17,776}{0,492} = 1 + 36,130 \therefore \frac{W}{W_{out}} = 37,13$$

A perda de inserção é encontrada na equação (2.14):

$$IL = 10 \log_{10} \left( \frac{W}{W_{out}} \right) \therefore IL = 10 \log_{10}(37,130) \therefore IL = 15,70dB$$

O nível de potência sonora do som irradiado da superfície do gabinete na banda de frequência de 500 Hz é mostrado na Equação (2.15):

$$L_{w,out} = L_w - IL \therefore L_{w,out} = 76,062 - 15,697 \therefore L_{w,out} = 60,37dB$$

O nível de pressão sonora correspondente a banda de frequência de 500 Hz, é mostrado no desenvolvimento da Equação (2.16):

$$L_p = L_{w,out} + (-4.702) + 0,1 \therefore L_p = 60,365 - 4,702 + 0,1 \therefore L_p = 55,76 \text{ dB}$$

São apresentados um resumo tabular dos cálculos para determinação do nível de pressão sonora ( $L_p$ ) irradiada pelo enclausuramento parcial e também são mostradas as outras bandas de frequências em análise, como pode ser observado na Tabela 4.4

Tabela 7: Resumo tabular dos cálculos de nível de pressão ( $L_p$ ).

Linha	Procedimento	Frequência central da faixa de oitava, Hz						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Área do enclausuramento $A=2(ac+bc)+ab-(0,7*0,2)$	27,98	27,98	27,98	27,98	27,98	27,98	27,98
2	Área (m <sup>2</sup> ) da abertura do enclausuramento $S_2=b \cdot h$	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
3	Coefficiente de transmissão de potência sonora $\alpha_{tl}=10^{(-TL/10)}$	0,014	0,013	0,013	0,013	0,013	0,003	0,003
4	Coefficiente de absorção sonora ( $\alpha$ )	0,16	0,27	0,63	0,97	0,99	0,96	0,96
5	Somatório dos coeficiente de transmissão sonora $\sum S_j t_j \text{ m}^2$	0,54	0,49	0,49	0,49	0,49	0,23	0,23
6	Somatório dos coeficientes de absorção das superfícies $\sum S_j \alpha_j$	4,62	7,69	17,77	27,28	27,84	26,99	0,14
7	Taxa de potência sonora para enclausuramento $W/W_{out}=1+(\sum S_j \alpha_j)$	9,48	16,63	37,13	56,42	57,56	119,17	1,61
8	Perda de inserção $IL=L_w-L_w(W_{out})$	9,77	12,21	15,70	17,51	17,60	20,76	2,08
9	Nível de potência sonora irradiada na superfície $L_w(W_{out})=L_w-IL \text{ dB}$	63,12	63,20	60,37	55,89	59,51	56,91	67,68
10	Nível de pressão sonora no salão $L_p \text{ dB}$	59,48	58,97	55,76	51,34	55,17	54,18	64,99

Após calcular o  $L_{p,out}$  do enclausuramento parcial, em cada frequência da banda de oitava em Hz, será calculado o  $L_{p,global}$  como pode ser observado na Tabela 4.5 e Tabela 4.6.

Tabela 8: Cálculo do L (p, global) para o enclausuramento parcial. Fonte (Bistafa, 2011)

Cálculo do Enclausuramento Parcial							
Faixas	125	250	500	1000	2000	4000	8000
NWS do galpão dB	76,73	79,84	76,06	78,14	81,65	80,60	72,65
Ponderação	-16,00	-9,00	-3,00	0,00	1,00	1,00	-1,00
NWS do galpão dB(A)	60,73	70,84	73,06	78,14	82,65	81,60	71,65
NPS do enclausuramento dB	59,48	58,97	55,76	51,34	55,17	54,18	46,31
Ponderação	-16,00	-9,00	-3,00	0,00	1,00	1,00	-1,00
NPS do enclausuramento dB(A)	43,48	49,97	52,76	51,34	56,17	55,18	45,31

Após realizar os cálculos e com o intuito de comparar os NPS em dB(A), antes e depois do enclausuramento parcial, pode-se observar as reduções em cada banda de frequência, conforme o gráfico da Figura 4.11.

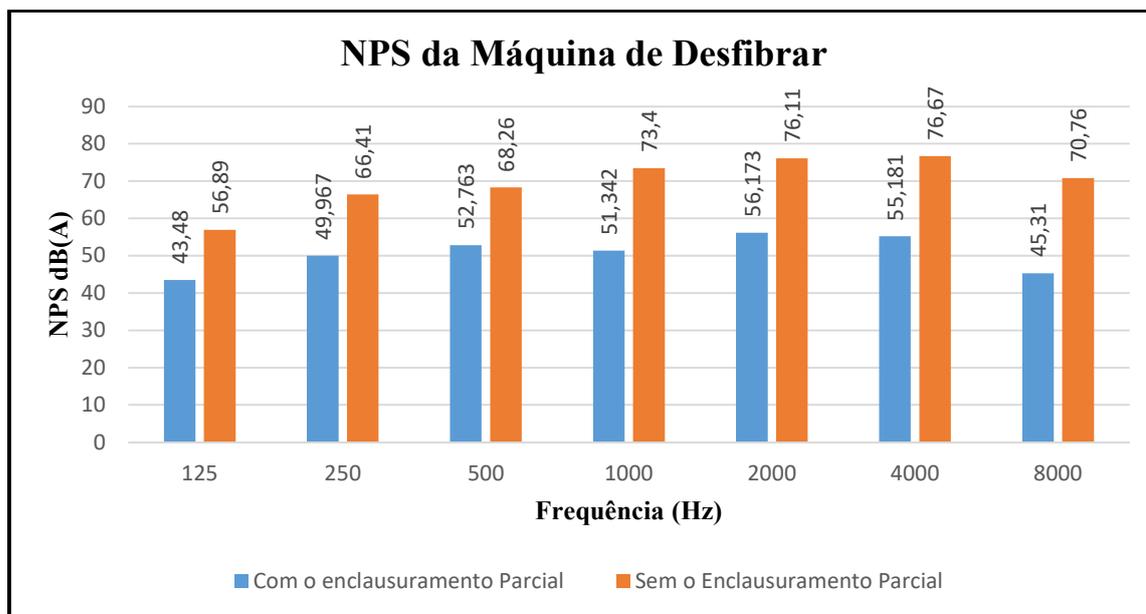


Figura 4. 11: Comparação dos NPS sem e com o enclausuramento parcial.

A seguir é apresentado o cálculo para determinar o  $L_{p,global}$  para o enclausuramento parcial.

Tabela 9: Cálculo do  $L_{p,global}$  para o enclausuramento parcial. Fonte (Bistafa, 2011)

Linha anterior em ordem crescente	43,48	45,31	49,97	51,34	52,76	55,18	56,17
Varição do nível de pressão sonora	1,83	4,66	1,38	1,42	2,42	0,99	
NPS do Enclausuramento dB(A) (gráfico logarítmica)	47,31	50,97	53,34	54,76	57,18	58,17	
Usando a fórmula $L_{p,global} = 10 \log[10^{(L_1/10)} + \dots]$ , dB(A)				62,59			
$L_{p, global}$ dB(A)				62,59			

Após o desenvolvimento dos cálculos, observou-se que antes do enclausuramento o nível de pressão sonora era  $L_{p,global} = 86,16 \text{ dB(A)}$ , após a atuação do enclausuramento parcial o nível passou para  $L_{p,global} = 62,59 \text{ dB(A)}$ . Este procedimento analítico fornece um erro de até  $4 \text{ dB}$  para mais ou para menos segundo Gerges (2000). Considerando uma situação em que se apresente um erro de  $4 \text{ dB}$ , o enclausuramento fornecerá uma atenuação de  $66,59 \text{ dB}$ , um valor levemente superior ao limite da norma, que é de  $65 \text{ dB(A)}$ . Contudo, com a leve redução a ser proporcionado pela alteração da troca da ventoinha do motor elétrico, o objetivo da redução total deve ser alcançado.

## 5. CONCLUSÃO

### 5.1. Considerações Finais

A máquina de desfibrar analisada apresentou benefícios no processo de extração de fibras do pseudocaule da bananeira. A produção de fibras com a máquina chega a 32 kg, enquanto que para a extração manual a quantidade fica em torno de 1,6 kg. Assim, com a adoção do processo mecanizado, diminuiu-se o trabalho manual penoso, proporcionando aos agricultores que residem em torno do Lago de Tucuruí, uma fonte de renda complementar, diferente da usual, que é a venda da banana *in natura*. A máquina poderá ser replicada para a utilização em comunidades, agroindústria familiar e cooperativas da região.

Na operação da máquina foi verificado níveis de ruído excessivo, especialmente trabalhando em carga, constatados por meio de medições de ruído realizadas *in loco*, para embasar as ações a serem tomadas.

Foram definidas três ações para solucionar o nível excessivo de ruído na máquina de desfibrar: dimensionamento de isoladores de vibração; atenuação de ruído do motor elétrico e dimensionamento de enclausuramento parcial. Quanto ao primeiro, foi dimensionado isoladores de vibração com valores diferentes de carga, pois o centro de gravidade (CG) da máquina de desfibrar não coincidia o seu centro geométrico. Para atenuação do ruído no motor elétrico, é sugerido a substituição da ventoinha de pás retas, por ventoinha de pás curvas. Por fim, optou-se pela enclausura parcial para atenuar os níveis de ruído, que eram de  $L_{p,global} = 86,16 \text{ dB}(A)$ , e passaram para  $L_{p,global} = 62,59 \text{ dB}(A)$ . Considerando uma situação em que se apresente um erro de  $4 \text{ dB}$ , o enclausuramento fornecerá uma atenuação de  $66,59 \text{ dB}$ , um valor levemente superior ao limite da norma, que é de  $65 \text{ dB}(A)$ . Entretanto, realizando a troca da ventoinha do motor elétrico, o objetivo da redução total deve ser alcançado.

### 5.2. Sugestões para trabalhos futuro

Para futuros estudos recomendam-se:

- Proporcionar o funcionamento da máquina de desfibrar vegetais com fontes de energia renováveis;
- Executar Modelagem completa da máquina de desfibrar no ANSYS;
- Construir um sistema acoplado na máquina de desfibrar vegetal que possibilite que as fibras já saiam lavadas.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] ABNT NBR 10151 – *Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento*. 2017.
- [2] ABNT NBR 10152 – *Níveis de Ruído para conforto acústico*. 2017
- [3] ALMEIDA, Márcio T.; GÓZ, Ricardo D. S, *Curso de Controle e Isolação de Vibrações em Sistemas Mecânicos*. Fundação de Pesquisa e Assessoramento a Indústria (FUPAI), Minas Gerais, 2003.
- [4] ANJOS, Marcos A. S. dos; GHAVAMI, Khosrow; BARBOSA, Normando P. *Compósitos à base de cimento reforçados com polpa celulósica de bambu*. Parte I: Determinação do teor de reforço ótimo. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.* maio/ago. 2003, v.7, n.2, p.339-345. ISSN 1415-4366.
- [5] ATKINS, P. e Jones, L. *Princípios de Química: questionando a vida moderna e o meio ambiente*, Porto Alegre: Bookman, 2001, p.39-40.
- [6] BASTOS, L. P. *Controle de Ruído em instalações de grupos geradores: um estudo de caso*. 2007. 114 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.
- [7] BECKER, Daniela I; KLEINSCHMIDTI Ana C. I; BALZER Palova S. II; SOLD. Valdir, *Influência da sequência de mistura do PP-MA nas propriedades dos compósitos de PP e fibra de bananeira*. *Polímeros*, vol. 21, nº 1, p. 7-12, 2011
- [8] BERANEK, L. L. *Noise Reduction*. 1 ed. New York: McGraw-Hill, 1960, 758 p.
- [9] BISTAFA, Sylvio R. *Acústica Aplicada ao Controle do Ruído*. São Paulo: Edgard Blucher, 2011.

- [10] BOONRUANGROD, R.; FLUCH, S.; BRUG, K. *Elucidation of origin of the present day hybrid banana cultivars using the 5'ETS rDNA sequence information. Molecular Breeding*, v. 24, n.1, p. 77-91, Aug. 2009
- [11] BORGES, *et al.*, *O cultivo da bananeira*. Embrapa Mandioca e Fruticultura. Cruz das Almas- Bahia. 2004, 279p.
- [12] BORGES, A. L.; SOUZA, L. da S.; CORDEIRO, Z. J. M. *Cultivo orgânico da bananeira*. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2006a. 10p. (Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical. Circular Técnica, 81).
- [13] BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 15 - *Atividades e Operações Insalubres* – PCMSO. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 1996. Disponível em: < [http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BEF19C09E2799/nr\\_07\\_sst.pdf](http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BEF19C09E2799/nr_07_sst.pdf) >. Acesso em: 17 out. 2017.
- [14] BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 06 - *Equipamento de Proteção Individual* – PCMSO. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 1996. Disponível em: < [http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BEF19C09E2799/nr\\_07\\_sst.pdf](http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BEF19C09E2799/nr_07_sst.pdf) >. Acesso em: 17 out. 2017
- [15] CARNEIRO. Ricardo de Medeiros; MATIJASCIC. Milko. *Desafios para o desenvolvimento brasileiro*. IPEA. Instituto Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília. 2011
- [16] CARVALHO *et al.*, *Substituição da fibra de vidro por fibra de bananeira em compósitos*. 2017. Faculdade Única de Ipatinga.
- [17] CASA DO PRODUTOR RURAL ESALQ-USP. *Corte de pseudocaule de bananeira*. ESALQ-USP (Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo. 2017
- [18] CENTRAIS ELÉTRICAS DO NORTE DO BRASIL S.A - ELETROBRÁS ELETRONORTE.Pará.<<http://www.eletronorte.gov.br/opencms/opencms/pilares/geracao/estados/para/>>Acessado em 10 de Novembro 2018.

- [19] CORAIOLA, Márcio; MARIOTTO, Sandra Carla. *Proposta metodológica para produção artesanal de papel utilizando a fibra do pseudocaule da bananeira*. 2009. Paraná. Pontificia Universidade Católica do Paraná.
- [20] CORDIOLI, S. *Oficina de Avaliação e Planejamento do Projeto Fibra da bananeira 2008/2009*. Santa Catarina, 2008
- [21] CORRÊA, R. A. *Tendências tecnológicas para máquinas ferramenta de alta velocidade-HSM/HSC*. 2013. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- [22] COSTA, N.M.V. TESE. *A qualificação e a elevação da escolaridade nos cursos do Proeja Fic, em Tucuruí-Pa*. UFCE (Universidade federal do Ceará), Fortaleza-Ceará, 2014
- [23] COSTA. Ennio Cruz da. (2003). *Acústica Técnica* (1ª edição). São Paulo. Blucher. (Cap.5)
- [24] DAS, P. K. *et al.*, *Machinery for extraction and traditional spinning of plant fibres*. Indian Journal of Traditional Knowledge, v. 9, n. 2, p. 386-393, 2010.
- [25] DE LANGHE, E. VRYDAGHS, L.; MARET, P. de; PERRIER, X.; T. *Why bananas matter: na introduction to the history of banana domestication*. Ethnobotany Research and Application, v.7, p.165-177, 2009.
- [26] DEMARCHI, Carlos Alberto. *Aplicabilidade de placas de fibra de bananeira: caracterização, produção e absorção sonora*. 2010. 106 fl. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2010
- [27] DOS *et al.*, S. A. *Protótipo de uma máquina desfibradora de sisal de corte paralelo, utilizando uma garra para a realização movimento de retirada da folha durante o desfibramento*. 2010.
- [28] EL BANNA, W. R. *et al.*, *Fibras de bananeira como material de engenharia*. In: Congresso Brasileiro de educação em engenharia - COBENGE, 2011. Anais... 2011.

- [29] EMBRAPA. *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária* (2016). <https://www.embrapa.br/dia-de-campo-na-tv/busca-de-noticias/-/noticia/18432597/embrapa-lanca-nova-cultivar-de-bananeira-desenvolvida-para-o-para> acessado em 20/10/2018
- [30] EMBRAPA. *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária* (2012). <https://www.embrapa.br/> acessado em 18/10/2018
- [31] EMBRAPA. *Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária* (2008). <https://www.embrapa.br/> acessado em 19/10/2018
- [32] FAO (*Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação*) 2009. <http://www.fao.org/natural-fibres-2009/es/>>. Acessado em 04/02/2018.
- [33] FAPESPA. *Fundação Amazônia de Amparo a estudos e Pesquisa* (2018) <http://www.ibge.gov.br/> acessado em 22/10/2018.
- [34] FAULKNER, L. L. 1976. *Handbook of Industrial Noise Control*, p. 199. Industrial Press, New York.
- [35] FOELKEL, C.E.B.; BARRICHELO, L.E.G. *Relações entre características da madeira e propriedades da celulose e papel*. O Papel, São Paulo, v.36, n.9, p.49- 53, 1975.
- [36] GEHLEN, Larissa Rossi. *Efeito da Utilização de Fibras Lignocelulósicas (Açaí e curauá) em compósitos com matriz de resina Poliéster insaturado*. 2014. 104 f. Dissertação Mestrado. Universidade Federal do Paraná.
- [37] GERGES, S. N. Y. *Ruído: Fundamentos e Controle*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.
- [38] IBGE. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística* (2010). <http://www.ibge.gov.br/> Acessado em: 21/10/2018.
- [39] IBGE. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística* (2017). <http://www.ibge.gov.br/>. Acessado em 21/10/2018.

- [40] JUSTIZ-SMITH, Nilza G.; VIRGO G. Junior; BUCHANAN, Vernon E. *Potential of Jamaican Banana, Coconut Coir and Bagasse Fibres as Composite Materials. Materials Characterization* 2007.
- [41] KINSLER, L. E. *et al.*, *Fundamentals of acoustics*. 4. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 1999. 548 p.
- [42] LUPION, M.R. *Trabalhador no artesanato: folhas de taboa e fibra de bananeira*. Curitiba: Senar, 2005.
- [43] MAFRA, Márcio Paulo de Araújo, *Desenvolvimento de infraestrutura para caracterização e análise de painéis acústicos*. 2004. 135f. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Pará, Belém, 2004.
- [44] MEDINA, J.C.; BLEINROTH, E.W.; MARTIN, Z.J. de; TRAVAGLINI, D.A.; OKADA, M.; QUAST, D.G.; HASHIZUME, T.; MORETTI, V.A.; BICUDO NETO, L.C.; ALMEIDA, MEDURI. Marcos Vinicius. (2001). *Acústica e Controle de Ruído Industrial*. São Paulo, Campinas. O CPDEC (Centro de Pesquisa, Desenvolvimento e Educação Continuada). Unicamp. Módulo 04.
- [45] MIYASHITA, Hadjimu. *Programa de verticalização da pequena produção agrícola*. Brasília, 1997. In: [inovando.fgvsp.br/conteúdo/documentos/20experiencias1997/4%20-%20prove.pdf](http://inovando.fgvsp.br/conteúdo/documentos/20experiencias1997/4%20-%20prove.pdf)
- [46] NORMA REGULAMENTADORA (NR) 15 – *Atividades e Operações Insalubres*.
- [47] NORMA REGULAMENTADORA (NR) 6 – *Equipamento de Proteção Individual*.
- [48] OTA, Waldyr Naoki. *Análise de Compósitos de Polipropileno e Fibras de Vidro utilizadas pela indústria automotiva nacional*. 2004. Universidade Federal do Paraná.
- [49] PEREIRA, I. C. N.; ROCHA, G. M. *População e recursos: crescimento populacional e o uso dos recursos hídricos na cidade de Tucuruí/PA*. In: Encontro Transdisciplinar sobre população, 2003, Campinas-SP. 3º Anais do Encontro Nacional sobre Migrações, 2003.

- [50] PIMENTEL, H. C. G. A. 2015. *Análise para controle de ruído de uma serraria utilizando técnicas experimentais e numéricas com base na acústica geométrica*. Dissertação de Mestrado. UFPA.
- [51] PIRES, Eduardo N.; et al., *Efeito do Tratamento alcalino de fibras de juta no comportamento mecânico de compósitos de matriz epóxi*. 2012. <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-14282012000400006](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282012000400006)>. Acessado em 12/02/2018
- [52] QUARESMA. Mayara. SOARES. Luana Soares. *Reconfiguração dos territórios e cidades da região de integração do lago de Tucuruí – Pa. VI CODES (Colóquio Organização, Desenvolvimento & Sustentabilidade)*.2015
- [53] BARRON, R.F. *Industrial Noise Control and Acoustics*. Editora Louisiana Tech University Ruston, Louisiana, U.S.A.2003
- [54] REVISTA AMAZON VIEW. *História do artesanato*. 2007 Disponível em:<<http://www.inteligentesite.com.br/modelos/modelo70/suconteudo.asp?ID=358&ID> SUBLINK...> Acesso em 28 novembro. 2018.
- [55] RUSSO, I. P.; SANTOS T. M. *A prática da audiologia clínica*. São Paulo: Cortez, 2005. RAO, Singiresu S. *Vibrações mecânicas*. Editora Pearson Prentice Hall. São Paulo.2008
- [56] SALVADOR, Sofia. *Inovação de produtos ecológicos em cortiça*. Projeto apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica do INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO. Lisboa, Portugal, 2001. Disponível em: 17º CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 15 a 19 de novembro de 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil. 4214. Acesso em: 20/10/2018.
- [57] SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micros e Pequenas Empresas). *Estudos de mercado SEBRAE/ESPM - Relatório Completo – 2008*. Brasília, 2008. (Série Mercado)
- [58] SOBHAN. M. A. UBINING (*Policy Research for Development Alternative*). 20 de novembro de 2014. Disponível em: <http://>

<http://www.ubinig.org/index.php/blog/showAerticle/129/>. Acessado em: 03 e novembro de 2018.

[59] SOERGER, E. M.; OLIVEIRA, E.A.A.Q.; CARNIELLO, M. F.; *Arranjos produtivos locais e suas influências no desenvolvimento da economia regional*. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional v. 10, n. 3 (número especial), p. 268-294, set/2014.

[60] SOFFNER. Maria de Lurdes Aparecida Prudente. *Produção de polpa celulósica a partir de engaço de bananeira*. Piracicaba, São Paulo. 2001

[61] SOUZA *et al.*, *Substituição da fibra de vidro por fibra de bananeira em compósitos*. 2017. Engenharia Química da Faculdade Única de Ipatinga-MG

[62] SOUZA. Daniel Augusto de. GAIA Juveniano Pinto. 2016. *Projeto e construção de uma máquina para retirada de fibras vegetais*. Universidade Federal do Pará.

[63] SOUZA, E. L., LIEBLB, G. F., MARANGONIA, C., SELLINA, N., MONTAGNOLIA, M. S., SOUZA, O. *Bioethanol from fresh and dried banana plant pseudostem*. Chemical engineering transactions. Volume 38. 2014.

[64] TAGLIARI, C. V. *Desenvolvimento de um bioprocesso para produção de cafeína e teofilina demetilase por Rhizopus delemar em fermentação no estado sólido usando casca de café como substrato*. 2003. 133 p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

[65] TANDON, N. *Noise-reducing designs of machines and structures*. 2000

[66] VALOR ECONÔMICO. 02 de novembro de 2018. Disponível em: <http://www.remade.com.br/noticias/2558/fibra-da-bananeira-sai-do-campo-para-revestir-moveis-de-luxo>. Acesso em: 02 de novembro de 2018.

[67] VIEIRA, L. C. R. *Avaliação de cultivares de bananeira na microrregião de Aquidauana - MS*. 2011. 36 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade Universitária de Aquidauana, Aquidauana/MS.