

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**SILO VERTICAL DE MADEIRA PARA ARMAZENAMENTO DE GRÃOS  
DE GUARANÁ NO ESTADO DO AMAZONAS**

**HUMBERTO DE SÁ ALVES**

**Campina Grande -PB**

**Novembro - 2000**



A474s Alves, Humberto de Sa  
Silo vertical de madeira para armazenamento de graos de guarana no Estado do Amazonas / Humberto de Sa Alves. - Campina Grande, 2000.  
67 f. : il.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Agricola) - Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e Tecnologia.

1. Silo de Madeira 2. Armazenagem de Graos de Guarana 3. Dissertacao I. Nascimento, Jose Wallace Barbosa do II. Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande (PB) III. Título

CDU 631.24(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

COPEAG - PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

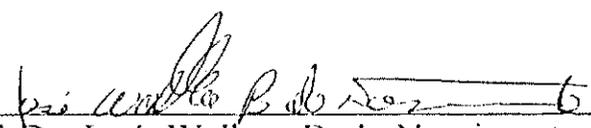
PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

HUMBERTO DE SÁ ALVES

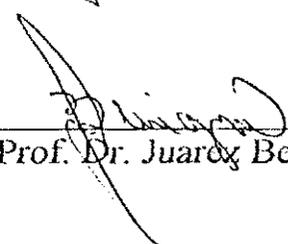
Título: "Silo Vertical de Madeira para Armazenamento de Grãos de Guaraná no Estado do Amazonas".

BANCA EXAMINADORA

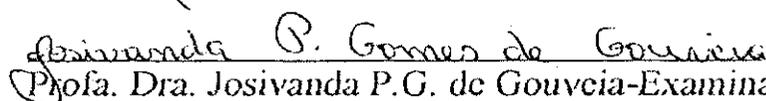
PARECER

  
Prof. Dr. José Wallace B. do Nascimento-Orientador

APROVADO

  
Prof. Dr. Juaréz Benigno Paes-Examinador

Aprovado

  
Profa. Dra. Josivanda P.G. de Gouvêa-Examinadora

Aprovado

AGOSTO - 2000

## DEDICATÓRIA

Àqueles que, futuramente, venham a se beneficiar  
técnico-cientificamente deste trabalho;  
Àqueles que venham a fazer uso deste trabalho,  
e aplicá-lo, diretamente ou indiretamente,  
no desenvolvimento de uma sociedade  
mais justa e mais uniforme.

## AGRADECIMENTOS

Ao todo Supremo;

A Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e ao grupo de docentes, que participaram diretamente, na criação de mais uma área de concentração em nível de pós-graduação, no ano de 1997.

Ao Prof. Dr. José Wallace Barbosa do Nascimento pela orientação, pela paciência e por conceder bibliografias fundamentais ao desenvolvimento deste trabalho.

A todo corpo docente pelas críticas fundamentadas em um melhor aproveitamento e em um maior desempenho.

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Tucci e ao Prof. Dr. José Américo Leite, Diretor da Faculdade de Ciências Agrárias e Chefe do Departamento de Engenharia Agrícola e Solos da Universidade do Amazonas-UA, respectivamente, pelas facilidades, incentivos e indicações concedidas a mim de instituições de pesquisas e local para trabalho.

A Engenheira Necy, responsável pela marcenaria da UA, que permitiu a construção do silo modelo e disponibilizou máquinas e ferramentas na mesma marcenaria.

Aos marceneiros João e Raimundo, funcionários da UA, que participaram diretamente na confecção de peças e montagem do silo.

Aos Drs. Manoel Cravo, Newton Bueno e André Luiz Atroch pesquisadores da EMBRAPA-AM, pela concessão de informações e material bibliográfico sobre o guaraná e amostras de grãos, para que a Área de Construções Rurais - DEAg - (UFPB) iniciassem os testes de propriedades físicas e mecânicas com o guaraná.

Ao Prof. Msc. Francisco de Assis e aos funcionários do Laboratório de Ensaio de Materiais da Faculdade de Tecnologia - FT da Universidade do Amazonas por ceder o laboratório e disponibilizar equipamentos durante os experimentos.

Ao Prof. Msc. Marcos Paiva, FT da Universidade do Amazonas, por conceder material bibliográfico e sugerir idéias para os experimentos.

Ao Setor de Transportes da UA por me disponibilizar veículos para o deslocamento do silo e das sacas de guaraná para experimento.

A Antártica S.A. de Maués - AM, por permitir visitas as instalações e ao Engenheiro de Alimentos, Clodomir de Aquino, por fornecer dados referentes ao grão de guaraná.

Ao Grupo Simões de Manaus - AM pelo o empréstimo de treze sacas de grãos de guaraná para realização dos ensaios.

Ao Pesquisador do INPA, Jadir de Souza Rocha e ao Engenheiro William Washington, pela identificação da espécie de madeira e por disponibilizar o secador solar para secagem da madeira serrada.

A Rivanilda, Secretária da Coordenação de Pós - Graduação em Engenharia Agrícola da UFPB, pelo carinho e dedicação aos alunos de pós-graduação.

A amigos e familiares, que direta ou indiretamente, participaram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	i
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	iii
<b>RESUMO</b> .....	iv
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>1 INTRODUÇÃO</b>	
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	
2.1 Histórico do Guaraná .....	05
2.1.1 Colheita e métodos de beneficiamento .....	06
2.1.2 Comercialização do guaraná .....	09
2.2 Armazenagem em nível de fazenda .....	10
2.2.1 Armazéns convencionais e silos .....	11
2.2.2 Condições de armazenagem do guaraná no Estado do Amazonas .....	11
2.3 Silos em nível de fazenda .....	12
2.3.1 Silos verticais .....	13
2.3.2 Características do produto armazenado .....	13
2.3.3 Ações em silos verticais .....	14
2.3.4 Teoria de cálculo adotada para as pressões em silos verticais .....	14
2.3.5 Fluxo em silos verticais .....	15
2.3.6 Sobrepressões durante o enchimento e durante a descarga de silos verticais .....	15
2.3.7 Método de cálculo de deflexão nas paredes em silos verticais .....	16
2.3.8 Teoria de cálculo adotada para as pressões nas paredes da tremonha .....	21

2.4 Madeira como material de construção .....	21
2.4.1 Generalidades .....	21
2.4.2 Planejamento na comercialização da madeira .....	23
2.4.3 Política de incentivos fiscais ao reflorestamento .....	23
2.4.4 Formas de utilização da madeira .....	24
2.4.5 Características fundamentais da madeira .....	24
2.4.6 Propriedades físicas da madeira .....	24
2.4.7 Propriedades mecânicas da madeira .....	25
2.4.8 Defeitos de secagem e de ataques biológicos .....	26
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b>	
3.1 Seleção da espécie de madeira .....	27
3.2 Pré - dimensionamento .....	28
3.2.1 Dados gerais .....	28
3.2.2 Cálculo de pressões .....	29
3.2.3 Cálculo da espessura da parede .....	30
3.2.4 Dimensões adotadas .....	32
3.3 Aquisição da madeira .....	34
3.4 Secagem da madeira .....	35
3.5 Processo construtivo do silo .....	36
3.5.1 Limpeza e planeamento das peças .....	36
3.5.2 Corte das peças .....	36
3.5.3 Planeamento .....	36
3.5.4 Confecção dos furos nas peças laterais .....	37
3.5.5 Parafusos .....	37
3.5.6 Confecção das paredes do silo .....	37
3.5.7 Confecção das faces da tremonha .....	38
3.5.8 Encaixe das faces da tremonha .....	38
3.5.9 Vigas laterais .....	40
3.5.10 Orifício de descarga .....	40
3.6 Ensaio experimentais com o silo modelo .....	40
3.6.1 Aquisição do grão de guaraná .....	40

3.6.2	Pontos escolhidos para obtenção das deflexões .....	40
3.6.3	Enchimento do silo .....	41
3.6.4	Descarga do silo .....	42
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	
5	Critérios adotados na montagem do silo modelo .....	43
5.1	Deflexões nas paredes do silo .....	44
5.2	Comparação entre as deflexões experimentais e os modelos teóricos propostos .....	52
5.3	Umidade do produto .....	58
5.4	Vazão de descarga e tipo de fluxo .....	58
5.5	Granulometria dos grãos .....	59
5.6	O silo e as condições ambientais .....	60
5.7	Conveniência do silo modelo .....	61
5.8	Recomendações para projetos e nas instalações .....	62
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>63</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>65</b>

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 - Cachos de guaraná em ponto de colheita .....	07
FIGURA 02 - Forno para torrefação do grão de guaraná .....	08
FIGURA 03 - Secador solar para secagem dos de guaraná .....	08
FIGURA 04 - Formas do guaraná na comercialização .....	09
FIGURA 05 - Modelo teórico das pressões em silos proposto por JANSEN .....	15
FIGURA 06 - Placa retangular bi-articulada e com $\lambda > 3$ .....	17
FIGURA 07 - Vigas com cargas uniformemente distribuídas .....	20
FIGURA 08 - Curvas de pressões pelo modelo JANSEN em carregamento estático e pela norma DIN 1055 (1987) no estado dinâmico .....	30
FIGURA 09 - Vista superior e lateral do modelo do silo .....	34
FIGURA 10 - Peças de madeira serrada .....	35
FIGURA 11 - Corpo da tremonha .....	39
FIGURA 12 - Conjunto Barra de aço - Suporte - Relógio comparador e a tremonha .....	41
FIGURA 13 - Vista parcial do silo modelo .....	44
FIGURA 14 - Curvas de deflexão nos três estados de carregamento para o ponto B .....	47
FIGURA 15 - Curvas de deflexão nos três estados de carregamento para o ponto C .....	48
FIGURA 16 - Curvas de deflexões nos três estados de carregamento no ponto médio da tremonha .....	50

FIGURA 17 - Curvas das deflexões experimentais nos estados estático e dinâmico .....	52
FIGURA 18 - Curvas de modelos teóricos propostos e valores experimentais das deflexões .....	54
FIGURA 17 - Curva granulométrica do guaraná .....	60

## LISTA DE TABELAS

TABELA 01 - Resultados teóricos das pressões estáticas fundamentadas por JANSEN e pressões dinâmicas pela norma DIN 1055(1987) .....	30
TABELA 02 - Valores das profundidades do produto armazenado e das deflexões nas paredes do silo para três estados de carregamento .....	45
TABELA 03 - Valores médios das deflexões observadas em função da Profundidade .....	51
TABELA 04 - Deflexões teóricas e experimentais no estado estático de carregamento da paredes do silo .....	53
TABELA 05 - Valores das deflexões teóricas e experimentais no ponto médio, na parede da tremonha .....	56
TABELA 06 - Valores das deflexões em função da pressão no ponto C no estado dinâmico de carregamento .....	57

## RESUMO

ALVES, Humberto de Sá. **Silo Vertical de madeira para armazenamento de grãos de guaraná no Estado do Amazonas**. Campina Grande-PB: Universidade Federal da Paraíba, 2000.67p. Tese de Mestrado.

Este trabalho foi desenvolvido para testar um modelo de silo, construído com madeira, material esse, muito abundante na região Norte do Brasil, para armazenar grãos de guaraná, sendo que, tal produto é armazenado ainda, na forma convencional, ou seja, em sacarias. Assim sendo, o modelo projetado e construído foi desenvolvido para introduzir no Estado do Amazonas uma outra forma de armazenagem do grão de guaraná podendo dar ao produtor vantagens sobre a armazenagem em sacarias. O modelo de silo proposto tem seção quadrada, com tremonha, construído de madeira. A espécie de madeira utilizada foi a quaruba (*Vochisia maxima*), que é uma espécie comum e de custo relativamente baixo. O produto utilizado para realização dos testes foi o guaraná (*Pallinia cupana H.B.K*) de potencial econômico considerável no Estado do Amazonas. Os testes realizados foram para avaliar as deflexões nas paredes do silo, tomando como pressões teóricas horizontais as obtidas pelo método de JANSEN, e o cálculo das deflexões teóricas, obtidas através de equações aplicadas a vigas bi-engastada e bi-articulada, fazendo em seguida, comparações com os resultados experimentais. O processo construtivo do silo foi simples. Na avaliação das deflexões, o método que apresentou melhor aproximação das deflexões experimentais, foi quando considerada a parede do silo como viga bi-engastada. Durante os experimentos foram analisados a umidade do produto, a forma de fluxo no descarregamento e a velocidade de fluxo.

Palavras-chave: grão de guaraná, madeira, modelo, armazenagem, parede, deflexão.

## ABSTRACT

ALVES, Humberto de Sá. **Vertical of wood silo for stored guaraná grains in Amazonas State**. Campina Grande-PB: Universidade Federal da Paraíba, 2000. 67p. Tese de Mestrado.

This work was developed for to test one silo model, builded of wood, that is an abundant material in Brazil of North Region, for to store guaraná (*Paullinia cupana* H.B.K.) grains, considering that this product, still is stored, in the conventional form, or, in sacks. Thus, the model builded and designed was developed for to introduce at Amazonas of State a new form of stored of guaraná in grain, giving at producer advantages about the stored in sacks. The silo model proposed, has quadrate section, has hoopper toward discharge, was make with wood and screwed. The species utilized of timber was the quaruba (*Vochisia maxima*), that is a common species and of cost relativement lower, the product utilized to realization of tests was the guaraná (*Paullinia cupana* H.B.K.) of economy potential considerable in the Amazonas of State. The tests were make for know the wall deflection in the silo, when in condition of filling, in condition static and in condition of discharge. The theoretical deflections were evaluated by horizontal theoretical pressures obtained for method of JANSEN and DIN( Standard German), while that the deflection were evaluate by equation adapted at study in two setting beam and two supported beam, making after comparisons with the result experimental. The process of construction the of silo was simple. In the evaluation the of deflection, the theoretical method that presented approximation the of experiments deflection, was when considering the wall of silo by two setting beam. During the experiments, too, was obtained the humidity of product, evaluated flow form and the flow velocity.

Keywords: Guaraná grain, wood, model, stored, wall, deflection.

## 1 INTRODUÇÃO

A pesquisa associa a importância do guaraná na economia agrícola do Estado do Amazonas, às dificuldades de armazenamento do produto em nível de produtor, ao benefício dos silos verticais como uma nova tecnologia e a disponibilidade de madeira considerada não-nobre para a elaboração de móveis.

Assim, como em outros produtos agrícolas granulares, o aumento da produção do guaraná implica em uma crescente necessidade de armazenamento eficiente, com respeito aos tipos de estruturas para estocagem e transporte dos grãos de guaraná.

Nota-se que o armazenamento em sacarias, para a maioria dos produtos agrícolas na forma de grãos, não apresenta eficiência no manejo e no controle de qualidade do produto por um longo período de tempo.

O guaraná em grãos e em pó, é um produto que apresenta algumas particularidades, que não se aplica aos demais grãos, farelos, pós, outros. Ele é um produto que pode, além de secado natural ou artificialmente, ser torrado e posteriormente armazenado.

A armazenagem do guaraná é ainda na forma de sacarias. Não se pratica, até então, outras formas de armazenamento, para grandes quantidades do produto, como exemplo a armazenagem a granel (MANOEL CRAVO, EMBRAPA-AM, informações prestadas em 1999). Para armazenar em sacarias é necessário, tentar impedir a ação de roedores, que exige custeio com instalações auxiliares a exemplo das paredes; fazer a secagem do guaraná pelo método da torrefação, que implica no aumento de custo com mão-de-obra ou fazer a secagem natural, que permite ao produto aumento no teor de umidade e conseqüentemente perda da qualidade, exigindo um rápido beneficiamento, se não efetuado implica em perdas ou diminuição do preço (CLODOMIR T. AQUINO e VALMIR FERRARI, Antactica S.A., Maués-AM, informações prestadas

em 1999 e 2000, respectivamente) e (RODRIGO PINHEIRO, Grupo Simões Ltda, Manaus-AM, informações prestadas em 2000).

A produção de guaraná, no Estado do Amazonas, concentra-se no município de Maués, no município há um núcleo da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) que desenvolve pesquisas voltadas ao guaraná. O local possui também fábrica de refrigerantes, que produz 80% do guaraná que consome. Outras empresas, também fabricantes de refrigerante, consome o produto "in natura", ressaltando-se que o produto é comprado diretamente dos produtores amazonenses, e também de outros estados produtores na região. A comercialização do guaraná, no Estado ocorre na forma de bastões, de pó e em grãos. Há refrigerantes que são fabricados com altos teores da essência do guaraná, cerca de 0,11%, o que está bem acima que o mínimo exigido pela "lei do suco" que é de 0,02% EMBRAPA(1991). Além do refrigerante fabricado com a essência do guaraná, vale salientar o alto consumo do guaraná em pó e na forma de suco, em lanchonetes e restaurantes, na região amazônica. O guaraná tem importância tanto cultural e econômica, sua tradição, na região principal produtora do estado é forte, a ponto de ser sempre lembrado em grandes manifestações culturais. Durante os festivais, o guaraná é consumido nas mais variadas formas e em grande escala. Com a evidente importância do guaraná no estado, há a necessidade de um estoque regulador por parte dos produtores.

No Estado, assim como nos demais estados do Brasil, os preços dos derivados do guaraná são relativamente altos, por causa de uma produção insuficiente, mercado às vezes incerto e ausência de estruturas para uma armazenagem mais adequada. A forma de armazenamento atual do guaraná, que é em sacaria propicia a ação de roedores, pela facilidade com que esses animais fura as sacas para ingerir o grão; propicia o aumento do teor de umidade do grão, por terem contato direto com o ambiente externo, que viabiliza em pouco tempo a ação de fungos e onera os custos com mão-de-obra, que são imprescindíveis após a colheita, durante armazenagem nos galpões das fazendas, no transporte e nas fábricas durante a armazenagem e antes de serem transformados em outras formas de utilização.

A utilização de silos verticais que é uma forma de armazenamento do produto, bem mais eficiente, não é utilizada e nem difundida para os produtores de guaraná. Os

silos verticais apresentam vantagens na armazenagem do guaraná e de outros grãos, além de serem estruturas de armazenagem que podem ser adequadas, também, aos pequenos e médios produtores de grãos.

Os silos verticais, em geral, são estruturas de seções circulares ou retangulares. Projeto de silos, não são perfeitamente conhecidos o que pode ser complicado para o projetista por exigir experiência. Os silos verticais, são estruturas de armazenagem que, apesar das vantagens que apresentam em relação aos estoques em sacarias, podem trazer prejuízos e acidentes quando mal projetados e manejados (CALIL JUNIOR, 1985).

A utilização dos silos verticais, em nível de produtor, no Estado do Amazonas pode reduzir os custos com a mão-de-obra e com estruturas de armazenagem, tendo em vista que, na estocagem em sacarias, são necessários galpões contornados com paredes, para evitar a ação das chuvas com ventos, o que provoca o aumento de umidade do grão, e também, para evitar a ação dos roedores e insetos.

Os silos garantem ao produtor uma armazenagem mais segura, ao controlar, roedores e insetos que comprometem a qualidade do produto, além de oferecer um melhor conforto térmico, o que garante a longevidade na armazenagem sem perder as propriedades organolépticas, isto ocorre mesmo para grãos secos naturalmente, por evitar que fiquem mais propícios ao ganho de umidade, e conseqüentemente à proliferação de microorganismos no interior da massa.

Os silos verticais podem ser confeccionados de chapas metálicas, de concreto, de tijolos ou de madeira. A madeira, particularmente, é o material de uso muito comum e em abundância na Região Norte. A utilização da madeira não-nobre na região é muito comum em construção de casas de madeira, em coberturas e em forros nas construções de alvenaria, e em outras estruturas como elementos construtivos, suportando altas solicitações de cargas, a exemplo de vigas, colunas, pisos e outros.

Em virtude das inúmeras aplicações da madeira não-nobre, no Estado do Amazonas, sua utilização na construção de silos irá melhorar as propriedades térmicas, e proporcionar ao produto armazenado relativa durabilidade sem alteração de suas propriedades organolépticas. O custo do silo tende a ser relativamente baixo, além da estrutura de apoio que tem custos mínimos.

Atualmente, no Estado, a indústria de madeira encontra-se maior e bem mais aprimorada que no final da década de 70 e início dos anos 80, quando a madeira serrada tinha sua aplicabilidade limitada, dado ao baixo nível tecnológico da época, IBDF (1985). O crescente desenvolvimento da indústria madeireira no estado tende a viabilizar, além de outras aplicações nas estruturas rurais, a construção de silos verticais para armazenagem de produtos agrícolas. Assim o crescente desenvolvimento agrícola associado ao guaraná, por ser um produto de elevado valor econômico e por ser uma cultura secular no Estado do Amazonas, e os silos verticais de madeira por apresentarem vantagens sobre as outras estruturas de armazenagem e serem imprescindíveis ao desenvolvimento tecnológico de qualquer região, esta pesquisa teve os seguintes objetivos: Projetar e construir um modelo de silo vertical com madeira para armazenagem de grãos e sementes de guaraná; Avaliar a técnica construtiva e o material utilizados na construção e as deflexões teóricas, nas paredes do silo modelo; Relacionar os valores das deflexões teóricas com os das deflexões experimentais; Demonstrar as facilidades no manejo do produto em silos verticais confeccionados com madeira.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Histórico do Guaraná

O Guaraná (*Pallinia cupana* H.B.K.) é uma espécie de grande importância econômica na Amazônia. O seu cultivo data da época pré-colombiana por diversas tribos indígenas. Até 1925 era cultivado exclusivamente nos Estados do Amazonas e do Pará. No mesmo ano foi levado à Bahia pela Sociedade Baiana de Agricultura, por Gregório Bondar (BONDAR et al citado pela EMBRAPA & UEPAE, 1983).

Os autores citam que na década de 60, a exploração do guaraná era essencialmente extrativista, mas já se havia iniciado as primeiras pesquisas com um trabalho de seleção de plantas, com a preocupação de racionalizar a cultura. Embora já se disponha de conhecimentos naquela época, o processo era rudimentar em nível de propriedade.

No decênio de 70, com a elaboração do sistema de produção aliado aos incentivos de crédito rural, procurou-se introduzir uma nova tecnologia. Nessa mesma década, foram aprovados os primeiros projetos de investimento e custeio. A diversificação da produção, em forma de pó, xarope, concentrado vitaminado, guaraná solúvel e em pastilhas está sendo exercitada, todavia, o refrigerante detém a maior participação no mercado de sementes (BRAND citado pela EMBRAPA & UEPAE, 1983).

Recentemente, o cultivo do guaraná, com o desenvolvimento tecnológico, vem se expandindo em outras regiões do país, sendo cultivado, além do Amazonas, nos Estados do Pará, Bahia, Acre, Mato grosso, Rondônia e Roraima. Assim, pode-se afirmar que a indústria do guaraná no Amazonas é tão antiga quanto o próprio guaraná.

Em relatos datados de 1664, o Pe. Phelipe Betendof comenta sobre sementes de guaraná pisadas e misturadas com água, ingeridas antes da caça e para eliminar febres, cãibras e dores de cabeça. Em 1948, um Boletim da Associação Comercial, escrito por Cosme Ferreira, destaca a situação instável do guaraná na Suécia, Finlândia, Alemanha, na França, nos EUA e na Argentina, onde eram conhecidas as qualidades do guaraná e a compra do produto sempre frustrado pela exiguidade das. Havia a ausência de um sistema industrial típico para absorver, transformar e disponibilizar a matéria-prima, oferecendo-a à comercialização regular. Esta situação começou a ser regularizada a partir de 1966 (EMBRAPA & UEPAE, 1988).

Os autores afirmam que o Brasil é, praticamente, o único produtor de guaraná do mundo. Estima-se, atualmente, que a produção nacional seja de 2.390 ton/ano, tendo produtividade média de 150 kg/há no Amazonas, 80 kg/há no Pará e 400 kg/há na Bahia.

### **2.1.1 Colheita e métodos de beneficiamento**

A EMBRAPA & Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Ocidental (CPAA), em 1998, informam os procedimentos de colheita, beneficiamento e comercialização do guaraná.

O guaranazeiro apresenta uma frutificação desuniforme. Logo, a colheita é realizada várias vezes na fase produtiva. Na região de Maués-AM, a colheita é processada no período de outubro a dezembro e, pode ser antecipada ou retardada, o que depende das variações climáticas locais. O procedimento da colheita é feita manualmente, ao coletar os frutos já abertos, ou com auxílio de uma tesoura de poda, ao cortar os cachos inteiros que apresentarem mais da metade dos frutos abertos. Normalmente, efetuam-se duas colheitas por semana. Contudo, a frequência é definida em função da intensidade da maturação. A Figura 01 mostra cachos inteiros com frutos já abertos com coloração em estado de colheita. Após a colheita, os frutos são postos para fermentar, amontoados ou em sacos, durante três dias. Logo após, faz-se o despulpamento e a lavagem das sementes, que é feita manual ou mecanicamente.



FIGURA 01 - Cachos de guaraná em ponto de colheita

A semente lavada é submetida imediatamente a secagem. Os métodos de secagem utilizados para sementes de guaraná:

Torrefação - As sementes são torradas em fornos metálicos, como apresentado na Figura 02, ou de barro, ao colocar uma camada de semente e água a seus níveis, e manter sob a ação de fogo brando por um período de três a quatro horas, em fornos metálicos, ou de quatro a cinco horas em fornos de barro. E m seguida, o material é revolvido, constantemente, para uniformizar a torrefação. A torrefação pode ser feita sem a adição de água. As sementes são consideradas secas quando atingirem um teor de umidade em torno de 5% base úmida (b.u.).

A torrefação deve-se deve ser homogênea para que parte dos grãos não apresentem sabores diferenciados e não tenham ganho de umidade durante o armazenamento. As sementes do guaraná não apresentam tamanho uniforme, assim antes de se proceder a torrefação, processa-se uma classificação, com auxílio de peneiras de malhas diferentes.



FIGURA 02 - Forno para torrefação dos grãos de guaraná

Secagem ao sol - Neste método podem ser utilizadas barcaças ou secadores solares (Figura 03). Durante o período de secagem a temperatura atinge, em média, 70°C, e permite que o teor umidade final das sementes varie de 12 a 13%. O produto após seco é utilizado para o consumo "in natura".

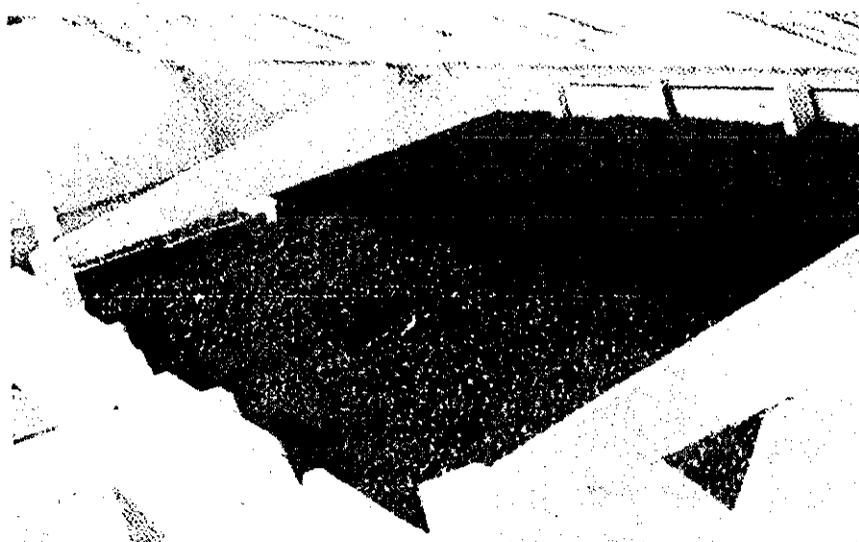


FIGURA 03 - Secador solar para secagem dos grãos de guaraná

Após a torrefação ou secagem, as sementes são climatizadas classificadas e armazenadas, em sacos de aniagem com capacidade de 50 kg. Ainda não há definição precisa sobre o tempo que as sementes, após torradas ou secas podem ser armazenadas sem sofrer alterações em suas propriedades organolépticas. Contudo, recomenda-se que as sementes sejam dentro de no máximo um ano.

### 2.1.2 Comercialização do guaraná

O guaraná é comercializado de diversas formas em função do seu emprego (Figura 04). As formas de comercialização são as seguintes:

- Guaraná em bastão - Após a torrefação elimina-se o esquilho do grão e tritura-se ou pila-se a semente, mistura-se com água para formar uma pasta consistente que, em seguida, é moldada na forma de bastão. O bastão passa por um processo de “panificação”, que consiste na defumação prolongada, para consolidar o formato comercial em bastões.
- Guaraná em rama - É o grão torrado. Constitui a forma de comercialização mais comum pelos agricultores amazonenses.
- Guaraná em pó - Consiste no grão torrado e moído. Esta forma é pouco usada pelos agricultores, porém é um das mais comum no comércio varejista.

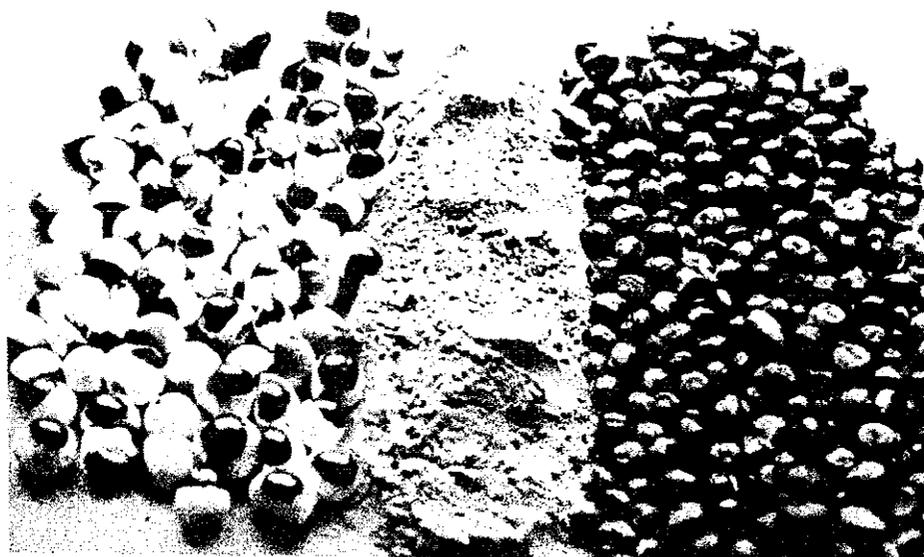


FIGURA - 04 Formas do guaraná na comercialização

## 2.2 Armazenagem em nível de fazenda

Em países desenvolvidos, que possuem uma agricultura de alta produtividade, em virtude do nível tecnológico utilizado, cerca de 70% de produção de grãos é armazenado nas propriedades. Nos Estados Unidos cerca de 65% da produção de grãos é armazenado na fazenda, na Argentina, está em aproximadamente 35 a 37%, (CORRÊA, 1983).

No Brasil, aproximadamente 85% das propriedades rurais têm área inferior 100 hectares e sua produção corresponde a 65% da produção nacional. Infelizmente, apenas 4% dos produtores armazenam a produção na própria fazenda (HARA et al, 1997). Sem o conhecimento de um armazenamento adequado, a produção é vendida, logo após a colheita, por preços desfavoráveis ao produtor, e lucro bem considerável para o intermediários (CORRÊA, 1983). O autor cita que no Brasil, é estimada uma perda de 20% da produção de grãos, por falta de armazenagem e ou por causa de uma armazenagem inadequada e problemas de regulagem das máquinas na fase de colheita.

Segundo o autor, o armazenamento em nível de fazenda implica numa série de vantagens ao produtor:

- Propicia a comercialização da produção em melhores períodos.
- Minimiza as perdas, devido a atrasos na colheita e durante o armazenamento em lugares inadequados.
- Economia no transporte, uma vez que, no pique da safra o preço do frete é maior;
- Melhor qualidade do produto, por evitar um processamento inadequado, tendo em vista o grande volume a ser processado.

Os pequenos agricultores constituem, no Brasil, uma categoria especial e muito diversificada de empresários. Estão distribuídos em todo o território brasileiro, sob diversas condições de trabalho e nos mais variados níveis de preparo técnico. Todavia, técnicas mais adequadas relacionadas a armazenagem em nível de fazenda, em grande parte das diferentes regiões do país, são praticamente desconhecidas.

### **2.2.1 Armazéns convencionais e silos**

O armazenamento em sacarias é prática dominante no Brasil. É uma forma de armazenagem dispendiosa e quando estocados em sacos, o produto fica sujeito a variações ambientais. Em regiões úmidas, a qualidade do produto é muito prejudicada pela ação de fungos; pois, o grão um material higroscópico que absorve umidade e favorece a proliferação de microrganismos. Em condições de armazéns, os cereais e legumes têm perdas estimadas em 10% ao ano (HARA et al, 1997).

O autor destaca que quando uma produção é armazenada a granel, em silos, têm-se as seguintes vantagens:

- A diminuição das perdas, que em alguns casos, pode atingir 5%.
- O armazenamento por diversos anos sem alterar substancialmente o produto, evitando flutuações no abastecimento.
- Redução, em pelo menos 10% de sacarias.
- Impedimento da racionalização do produto, quando especificação por amostragem;
- Obtenção de um produto mais uniforme, limpo, livre do ataque de insetos, de roedores e de microrganismos.

### **2.2.2 Condições de armazenagem do guaraná no Estado do Amazonas**

Não há bibliografias sobre o sistema de armazenagem do grão de guaraná a granel. Entretanto, por contato direto com os produtores, compradores e pesquisadores, as informações obtidas, levam a crer que a armazenagem é feita em sacarias.

Na região de Maués, a estocagem por parte dos compradores é efetuada de forma semelhante a de outros cereais, em lotes retangulares, com lastro de madeira sobre o piso, para evitar o contato direto com o piso e distantes, aproximadamente, um metro da parede. Em outras regiões produtoras de guaraná, como a Bahia e Mato Grosso, o guaraná é seco ao sol, e pode absorve rapidamente umidade durante a estocagem e o transportado em sacarias (CLODOMIR T. AQUINO, Antarctica S.A.-Maués-AM, informações prestadas em 1999).

Os grandes compradores do guaraná, como as fábricas de refrigerantes, no estado, armazenam o produto em lotes de (5,40x7,60x3,45m), que constitui em 1216 sacas de 50 kg, ou seja, cada lote com 60.800 kg, expostos a uma umidade relativa do ar, na base de 70% a 80%; e temperatura, em média de 30 °C (Maués-AM, dados obtidos em visitas realizadas).

Obtidos também em visitas realizadas na EMBRAPA-AM(Manaus, 2000), constatou-se que as sacas guaraná, armazenado a um ano e meio, já continham fungo em virtude da variação de temperatura e da alta umidade local.

### **2.3 Silos em nível de fazenda**

São unidades armazenadoras de produtos agrícolas, que possibilitam o mínimo de influência do meio externo com o ambiente de estocagem. Os silos devido a sua natureza hermética oferecem condições técnicas para conservação dos produtos estocados por longos períodos, de tempo sem não alterando as características físicas, químicas e biológicas do produto (CALIL JUNIOR, 1983)

Conforme BEARD (1982) a necessidade de armazenar grãos nas fazendas cresceu, tendo em vista as colheitas consecutivas. Na Inglaterra, dois tipos de silos de alvenaria de tijolos foram construídos por uma empresa sem equipamento especializado. Os silos eram circulares e altos; outros, quadrados e baixos.

O autor cita que em alguns países, em 1950, foram construídos silos nas fazendas para armazenamento, e o Grupo Tijolo de Londres deu grande contribuição à construção dos silos. Em 1955, o Grupo foi designado a construir cinco silos circulares de tijolos, em fazendas distintas. Os silos foram equipados com cobertura, fundo plano, transportador automático para enchimento e uma boca para descarga, destinado ao armazenamento por longos períodos. Em 1964, levantaram-se propostas para construir silos a pequenos períodos de colheita. Para isso foi preciso maquinário e aumentar o tamanho dos silos, o que implicou na utilização de reforços, os quais foram obtidos pela disposição de cintas de aço, que contorna o perímetro dos silos. Ambas as formas de silos foram bem difundidas em outros locais.

O Brasil, devido as suas características, as propriedades agrícolas apresentam inúmeras diferenças entre si, quer sejam em nível de desenvolvimento, área, produtividade, produção e diversidade de produtos, ou ainda, na quantidade ou fração da produção estocada na fazenda.

Uma unidade armazenadora em nível de fazenda será sempre satisfatória quando projetada usando os conceitos e princípios elementares de armazenagem e aproveitando os recursos locais (NASCIMENTO, 1997).

De uma forma geral, os silos podem apresentar dispositivos especiais para:

- Circulação do produto a granel e Recebimento do produto, limpeza, secagem, expurgo, descarga e transilagem. Sendo esses dispositivos automáticos ou semi-automáticos, utilizado para viabilizar a diminuição de mão-de-obra.

### **2.3.1 Silos verticais**

Os silos verticais, a altura predomina em relação a largura ou ao diâmetro da base da célula. Os silos são construídos de concreto armado, concreto protendido, chapas metálicas, com ou sem isolantes térmicos e ainda, no caso de pequenos silos, hoje estão sendo desenvolvidos modelos de alvenaria ou de madeira. A base do silo pode ser plana ou com tremonha de forma cônica ou piramidal para permitir a descarga (CALIL JUNIOR, 1983 ).

### **2.3.2 Características do produto armazenado**

As pressões exercidas nas paredes laterais e no fundo do silo são as principais cargas a serem levadas em consideração para o dimensionamento dos silos. Tais pressões recebem a denominação de empuxo, e assemelha-se às forças exercidas pela água nas barragens. Os materiais granulosos apresentam propriedades que influenciam as pressões. Logo, são importantes no dimensionamento dos silos. As propriedades imprescindíveis nos projetos e execução de silos são a densidade: o peso específico do produto, o atrito interno do produto, o ângulo de atrito do produto com o material que o silo será construído.

### 2.3.3 Ações em silos verticais

De acordo com a ABNT - NBR 8671 (1984) citado por CALIL JUNIOR. et al (1997) as ações em silos são consideradas as permanentes, variáveis e excepcionais.

**Permanentes** - Constituem-se pelo peso próprio da estrutura, da plataforma e dos equipamentos mecânicos instalados nas coberturas e/ou suspenso por tremonha. Os limites inferior e superior devem ser estimados e usados na combinação das ações.

**Variáveis** - São as cargas acidentais do produto quando armazenado e descarregado; forças das correias presas à estrutura do silo; pressão e sucção interna dos gases; forças de contenção lateral, força de elementos externos presos à estrutura; ação dos ventos; e ainda ações especiais como recalque da fundação, diferencial de temperatura e ação do produto na descarga.

**Excepcionais** - São considerados os impactos de veículos e pressões de explosão de pós.

### 2.3.4 Teoria de cálculo adotada para as pressões em silos verticais

Segundo FORTES FILHO(1985) JANSEN, em 1895, desenvolveu e apresentou uma equação de reconhecimento internacional para calcular as pressões estáticas nas paredes e no fundo do silo, com o objetivo de dimensionar silos.

Na condição estática de carregamento, JANSEN obteve as pressões laterais mediante a consideração de equilíbrio de uma fátia elementar do produto armazenado, como é apresentado na Figura 05, que determinam equações para se calcular a:

$$\text{pressão vertical : } P_v = \frac{\gamma \cdot R}{\mu' \cdot k} \left(1 - e^{-\frac{\mu' \cdot k}{R} y}\right) \quad (01)$$

$$\text{pressão horizontal } P_h = \frac{\gamma \cdot R}{\mu'} \left(1 - e^{-\frac{\mu' \cdot k}{R} y}\right) \quad (02)$$

$$\text{e a pressão de atrito por 1,0m de superfície de parede : } P_w = (\gamma Y - 0,8 P_v) R \quad (03)$$

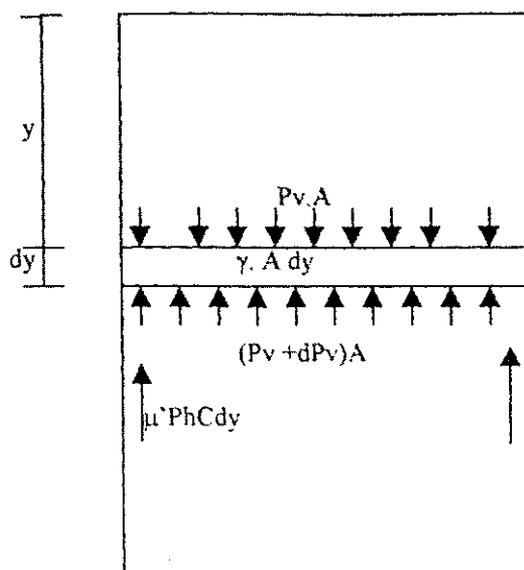


FIGURA 05 - Modelo teórico das pressões em silos proposto por JANSEN

### 2.3.5 Fluxo em silos verticais

O fluxo no interior de um silo vertical pode ocorrer de duas maneiras, fluxo de funil ou por fluxo de massa. Para o desenvolvimento deste trabalho, foi destacado o fluxo de massa.

Conforme FORTES FILHO (1985), o fluxo global, atualmente denominado fluxo de massa, implica que quando o material armazenado, durante a descarga, movimenta-se por completo, camada por camada, sem haver consolidação do produto, por não existir regiões inertes, por permitir que as primeiras partículas que entraram sejam as primeiras a saírem.

### 2.3.6 Sobrepressões durante enchimento e descarga de silos verticais

As sobrepressões nos silos foram estudadas por vários estudiosos e são de grande valia no projeto de silos verticais. FORTES FILHO (1985) descreve que a magnitude das pressões exercidas no interior do silo pelo o material armazenado, no enchimento e na descarga, superam em muito as pressões estáticas. Essas sobrepressões contribuem para colapso da estrutura do silo.

A autor destaca, que durante o enchimento, os grãos causam pressões verticais, que se expandem lateralmente, e provocam pressões, ligeiramente maiores que as estáticas. Todavia, são as sobrepressões de descarga que apresentam maior perigo.

Segundo o autor, DEUTSCH & CLYDE expõem que ondas acústicas e suas reflexões e superposição, são responsáveis pelas sobrepressões, enquanto JENIKE & JOHANSON estudando profundamente o assunto, definiram três estados de carregamento: carregamento inicial, em que o produto está inerte no silo durante o enchimento; carregamento no escoamento, que ocorre em algum tempo após a descarga e o carregamento de transição que ocorre quando o produto passa do estado estático para o estado dinâmico.

### 2.3.7 Modelo de cálculo de deflexão nas paredes em silos verticais

#### a) Avaliação das deflexões pela Teoria dos Grandes Deslocamento (TGD)

A Teoria dos Grandes Deslocamento é aplicada, de acordo com TROITSKY citado por CALIL JUNIOR et al (1997), para placas elásticas. O autor cita que, quando o deslocamento máximo se aproxima da espessura da placa, o efeito de membrana será aproximadamente igual ao da flexão. No entanto, quando os deslocamento superam, em grandeza, a espessura da placa, há predominância do efeito de membrana. Ao tratar da mesma teoria, o autor cita que, AALAMI & WILLIAMS ao estudar as placas tratadas pela TGD implicam na interação entre os efeitos de flexão e de membrana.

TIMOSHENKO citado por CALIL JUNIOR et al (1997) analisando as placas retangulares, cuja relação entre o comprimento do maior vão (b) e o comprimento do menor vão (a), é maior que 3, definida por:  $\lambda = \frac{b}{a}$  (04)

O cálculo do deslocamento na placa (Figura 06), desde que seja considerada como longa, fina, retangular e com bordas bi-articulada, sujeita a uma carga uniformemente distribuída (q) sobre uma faixa de largura unitária ( $l_0=1$ ), esta placa é considerada como uma barra de comprimento ( $L=a$ ) e seção transversal retangular de

altura ( $t$ ) e a equação diferencial dos deslocamentos de uma faixa elementar terá a seguinte forma:

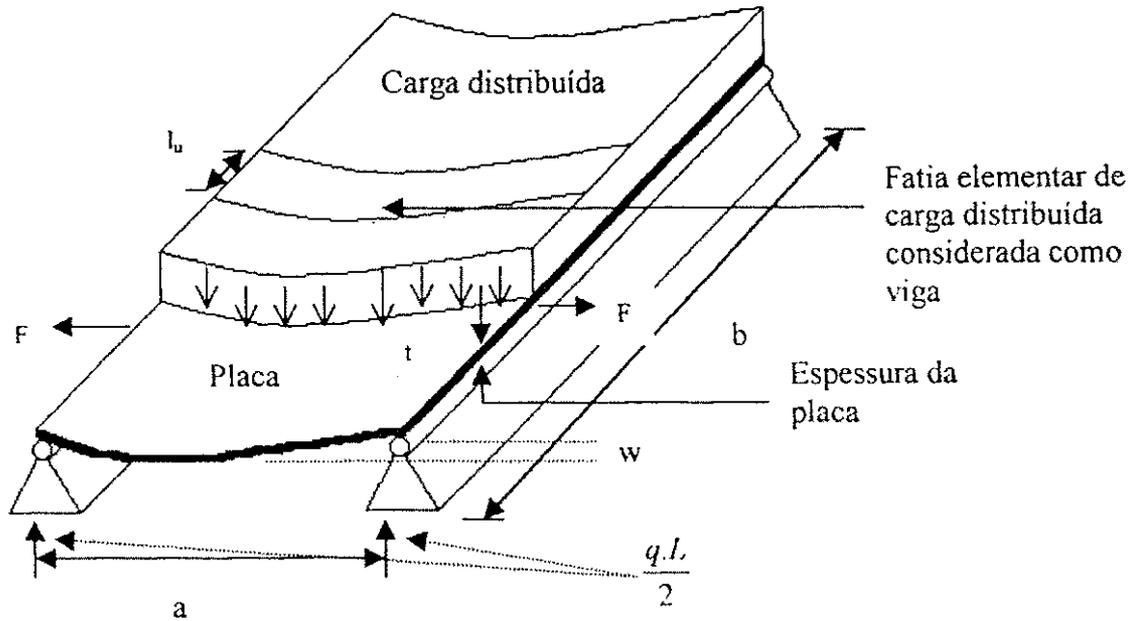


FIGURA 06 - Placa retangular bi-articulada e com  $\lambda > 3$

$$D \frac{d^2 w}{dx^2} = -M \quad (05)$$

em que rigidez à flexão da placa ( $D$ ), substituí a quantidade ( $EI$ ) e o momento de flexão em uma seção transversal genérica da barra ( $M$ ), é obtido pela seguinte

$$\text{equação: } M = \frac{q \cdot l}{2} x - \frac{q}{2} x^2 - F \cdot w \quad (06)$$

$$\text{e a rigidez à flexão dada por: } D = \frac{E t^3}{12(1 - \nu^2)} \quad (07)$$

sendo o coeficiente de poisson ( $\nu$ ) da material da placa.

Substituindo a equação (06) na equação (05) chega-se a uma equação diferencial linear não homogênea e de segunda ordem com solução apresentada por PISKNOV citado por CALIL JUNIOR et al (1997), na qual  $F$  continua sendo uma incógnita. Entretanto, para o caso de bordas bi-articulas, pode-se obter uma boa

aproximação para  $F$  admitindo-se que a curva elástica seja senoidal, em que o cálculo

do deslocamento é feito por: 
$$w = w_m \cdot \sin \frac{\pi}{L} x \quad (08)$$

onde o deslocamento no meio do vão é  $w_m$ .

Segundo TIMOSHENKO citado por CALIL JUNIOR et al (1997) o deslocamento no meio do vão ( $w_m$ ) de uma barra flexo-tracionada são reduzidas e podem ser aproximados satisfatoriamente pela expressão:

$$w_m = \frac{w_o}{1 + w_\alpha} \quad , \quad (09)$$

onde  $w_o$  é o deslocamento no meio é provocado exclusivamente pela carga lateral ( $q$ ) e calculado pelos métodos elementares e desprezando-se o efeito da carga axial ( $F$ ). O  $w_o$  é obtido pela expressão:

$$w_o = \frac{5 \cdot q \cdot L^4}{384 \cdot D} \quad , \quad (10)$$

a grandeza adimensional  $w_\alpha$  é obtida pela expressão:

$$w_\alpha = \frac{F}{F_{cr}} = \frac{FL^2}{\pi^2 D} \quad , \quad (11)$$

considerando que ( $u$ ) nesta teoria é função da força axial ( $F$ ), sendo calculado por:

$$u = \frac{\pi}{2} \sqrt{w_\alpha} \quad , \quad (12)$$

onde para placas a carga crítica ( $F_{cr}$ ) é obtida pela expressão:  $F_{cr} = \pi^2 \cdot \frac{D}{L^2}$  (13)

por uma correlação de expressões a grandeza adimensional  $w_\alpha$  pode ser obtido por:

$$w_\alpha (1 + w_\alpha)^2 = \frac{3 \cdot w_o}{l^2} \quad , \quad (14)$$

devido ao efeito da carga axial ( $F$ ), o deflexão máxima no meio do vão é obtida pela equação:

$$w_{max} = w_o \cdot \varphi_1 \quad (15)$$

e que o valor de  $\varphi_1$  pode ser obtido pela expressão: 
$$\varphi_1 = \frac{24}{5u^4} \left( \frac{1}{\cosh u} + \frac{u^2}{2} - 1 \right) \quad (16)$$

## b) Avaliação das deflexões pela Teoria dos Pequenos Deslocamento (TPD)

A Teoria dos Pequenos Deslocamento - TPD, segundo TIMOSHENKO (1940) citado por CALIL JUNIOR et al (1997) são recomendadas para placas retangulares elásticas, onde a deformação em seu plano médio é praticamente desprezível em relação a espessura da placa.

Para placas retangulares (Figura 06), cuja relação entre o maior e o menor vão é maior que 3, podem ser tratadas como vigas, com bordas biarticuladas e engastadas. Segundo o autor, placas sujeitas a cargas distribuídas as expressões triviais e para calcular o deslocamento pode-se adotar as expressões:

$$\text{tratada como viga bi-articulada, } w_{\max} = \frac{5 \cdot q \cdot a^4}{384 \cdot EI} \quad (17)$$

$$\text{e tratada como viga engastada, } w_{\max} = \frac{q \cdot a^4}{384 \cdot EI} \quad (18)$$

sendo o comprimento do menor vão ( $a$ ), largura do vão ( $l_u$ ), o momento de inércia ( $I$ ), o módulo de elasticidade na flexão do material que constitui a placa ( $E$ ) e a carga lateral distribuída ( $q$ ) em função da pressão lateral ( $P_h$ ) é obtida pela expressão:

$$q = P_h \cdot l_u \quad (19)$$

Quando a placa considerada não apresenta geometria retangular é necessário converter. Para placas triangulares e trapezoidais serem convertidas em placas retangulares, o autor cita as expressões recomendadas por TROITSKY e GAYLORD, que são:

$$\text{para placas triangulares: } b_e = b - \frac{b}{3} \quad (20)$$

$$\text{e } h_e = h - \frac{h}{6} \quad (21)$$

$$\text{para placas trapezoidais: } b_e = \frac{2b_1(b_1 - 2b_2)}{3(b_1 + b_2)} \quad (22)$$

$$\text{e } h_e = h - \frac{b_1(b_1 - b_2)}{6(b_1 + b_2)} \quad (23)$$

sendo para as placas trapezoidais a dimensão do maior lado dos dois paralelos ( $b_1$ ), a dimensão do menor lado dos dois paralelos ( $b_2$ ), a altura ( $h$ ) e para placas triangulares a base ( $b$ ) necessários para o cálculo da altura efetiva ( $h_e$ ) e a base efetiva ( $b_e$ ) das placas retangulares convertidas.

### c) Avaliação das deflexões por vigas com cargas uniformemente distribuídas

Segundo estudos de BEER (1915), com publicação traduzida por CASTILHO (1982), na elaboração de equações para fornecer a curvatura de uma curva plana, em um dado ponto de uma viga sob ação de um carregamento, para vigas bi-articulada com carga uniformemente distribuída (VBUD), o cálculo da deslocamento ou deflexão no meio do vão da viga é efetuado pela seguinte expressão:

$$w_{\max} = \frac{5.q.L^4}{384.E.I} \quad (24)$$

e para viga bi-engastada com carga uniformemente distribuída (VEUD)

$$w_{\max} = \frac{q.L^4}{384.E.I} \quad (25)$$

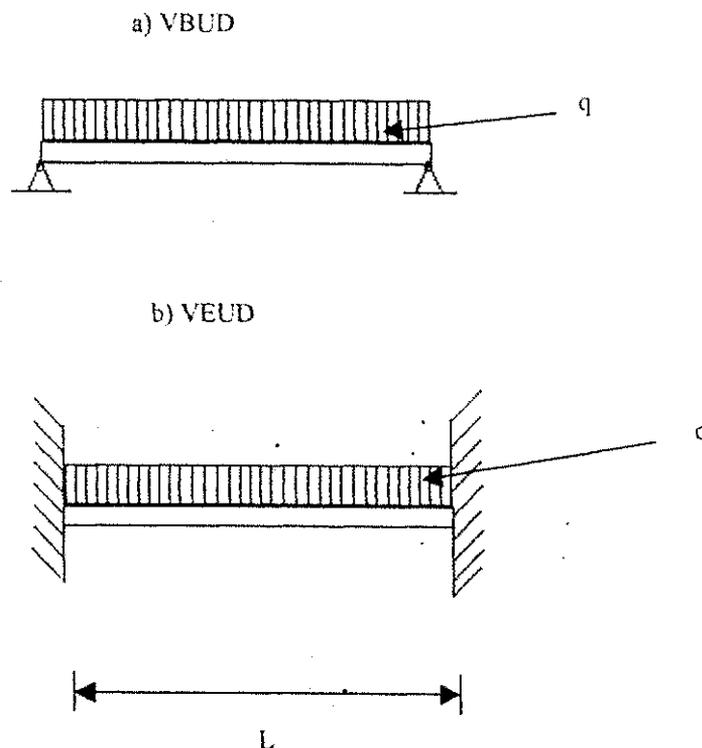


FIGURA 07 - Vigas com cargas uniformemente distribuídas

### 2.3.8 Teoria de calculo adotada para pressões nas paredes da tremonha

Pela norma alemã DIN 1055 (1987) citada por CALIL JUNIOR et al (1997) as pressões nas paredes da tremonha ( $P_n$ ), com influência do produto unicamente da tremonha é obtida por:

$$P_n = 2,4 \cdot \gamma \cdot R \cdot K \cdot \frac{(\text{sen}^2 \alpha)}{\sqrt{\mu}} \quad (26)$$

Pressão no fundo da tremonha ( $P_{nu}$ ), determinada por :  $P_{nu} = P_v \cdot C_d \cdot \cos^2 \alpha$  (27)

e a pressão no encontro da tremonha com o corpo do silo ( $P_{no}$ ) expressa por:

$$P_{no} = (P_v \cdot C_d \cdot \cos^2 \alpha + P_h \cdot \text{sen}^2 \alpha) \times \left( 1 + \frac{\text{sen}(2\alpha)}{4 \cdot \mu} \right) \quad (28)$$

sendo que a pressão normal no ponto médio da tremonha ( $R_n$ ) é dada por:

$$R_n = P_n + P_{nu} + \left( \frac{P_{no} - P_{nu}}{2} \right) \quad (29)$$

onde o ângulo entre as paredes da tremonha e o plano horizontal é definido por ( $\alpha$ ) e o coeficiente de sobrepressões adotado para a tremonha é definido por ( $C_d$ )

## 2.4 Madeira como material de construção

### 2.4.1 Generalidades

A madeira é um material de construção excepcional e como matéria-prima industrial é de grande sustentabilidade econômica. Sua utilização nas mais diversas formas tem ocorrido desde os primórdios da humanidade.

A madeira, na condição de material de construção, apresenta uma série de características técnicas, econômicas e estéticas quando bem aplicada, o que dificilmente são reunidas em outros materiais existentes. É um material que apresenta propriedades físicas e mecânicas especiais, e exige habilidade dos projetistas em construções arrojadas.

A forma mais comum de utilização é a madeira serrada, e a fonte principal da matéria prima principal são as florestas naturais, tendo maior destaque, no Brasil. A

Região Amazônica. Porém para a região, quase sempre não há programa de manejo florestal e reflorestamento.

No final dos anos 70, o projeto RADAMBRASIL ao executar o levantamento dos recursos naturais da Amazônia, o avaliou em 8,7 bilhões de m<sup>3</sup> de madeira, o que daria ao Brasil divisas de 700 bilhões de dólares. Segundo INPA, estimava-se para a Amazônia, em 1979, 260 milhões de hectares de florestas, sendo 234 milhões de terra firme, onde se encontra, riquezas em madeira não exploradas. Entretanto, por causa do desmatamento desordenado praticados, até o final daquela década, contribuíram para que as formações florestais no Brasil decrescessem de 58% para 52.5% em 1976, e a Amazônia que representava 40% de todas as formações florestais brasileiras, decresceu para 36% (LOREIRO, 1979).

A produção de madeira no Estado do Amazonas em 1976 foi de 4,5 milhões de m<sup>3</sup> (14% da produção do Brasil), em 1987 de 24.6 milhões de m<sup>3</sup> ( 54% do total produzido no Brasil) IBGE (1987) citado BARROS & VERÍSSIMO (1996).

Nos anos 90, cerca de 75% da madeira consumida no Brasil provinha da floresta Amazônica. A atividade madeireira mais importante da Região Norte encontra-se no Estado do Pará. O setor madeireiro, participou no Pará, de 13% do Produto Interno Bruto (PIB) do Estado no ano de 1993 (BARROS & VERÍSSIMO, 1996).

A Superintendência de Desenvolvimento de Desenvolvimento da Amazonas (SUDAM) estima que 5 milhões de quilômetros quadrados é definida como Amazônia Legal no Brasil. Atualmente, a SUDAM divulga estimativas de levantamentos executados pela Organização das Nações Unidas (FAO) a que, 2,5 milhões de quilômetros quadrados da na Amazônia Legal Brasileira, constituída pela "Floresta de Terra Firme", que corresponde a parte da floresta que durante as cheias não ficam alagadas (CALIL JUNIOR, NASCIMENTO, 1997).

#### **2.4.2 Planejamento na comercialização da madeira**

A indústria de processamento da madeira, particularmente no Amazonas, opera sem um planejamento satisfatório de oferta de toras com base em inventários florestais, o que não favorece uma introdução, de forma sistemática, da madeira no mercado interno do estado, que é uma forma legal, mais é pouco conhecida. A distribuição da madeira ocorre por rodovias, hidrovias e ferrovias. O transporte rodoviário é o dominante, com custo relativamente baixo quando comparado aos demais. No entanto, ainda considerado dispendioso, chegando a limitar oferta de madeiras amazônica no mercado das Regiões Sul e Sudeste do Brasil (IBDF, 1985).

O transporte fluvial na Região Norte é muito intenso, por causa do Rio Amazonas e seus afluentes. O transporte é executado por jangadas e balsas, na área de Manaus. Até 1978 cerca de 80% das toras eram transportadas por jangadas e 20% por balsas. As toras, peças com casca, roliça, com diâmetro mínimo de 20cm, em sua maior parte retiradas de igarapés para facilitar o transporte por via fluvial. A madeira serrada, que é obtida pelo desdobramento das toras por meio de várias modalidades de serras o que gera perdas e os produtos obtidos. Na região, em 1978, a indústria era menos aprimorada e não disponibilizava de estruturas para um melhor aproveitamento da madeira (IBDF, 1985).

Atualmente, em Manaus, capital do Estado do Amazonas, tem-se um bom aproveitamento da madeira nas várias formas de utilização, por causa do conhecimento técnico-científico das mais variadas espécies, melhor qualificação de mão-de-obra na exploração e aproveitamento das espécies utilizadas, e contando ainda com centros de excelência, que desenvolvem estudos em nível de graduação e pós-graduação, relacionados a ciência e a arte de exploração e utilização da madeira.

#### **2.4.3 Política de incentivos fiscais ao reflorestamento**

Foi implantada no Brasil, a partir de uma legislação específica de 1966, reformulada em 1970 a 1974 com vistas a aprimorar a expansão do reflorestamento. Assim, ocorreu um crescimento de 100 a 150 hectares entre 1968 e 1974 deu-se por

ano e de 450 mil hectares entre 1974 e 1982, e atingiu em 1985, 5 milhões de hectares (IBDF, 1985).

#### **2.4.4 Formas de utilização da madeira**

A forma mais comum de utilização da madeira é a serrada. Este mercado de madeira serrada exige madeiras secas, em condições de uso, logo a secagem tem sido um problema especial para os pequenos empresários na Amazônia. Diante de tal problemática o INPA, o Centro Internacional de Pesquisas para o Desenvolvimento do Amazonas (IDCR) e o SEBRAE/AM desenvolveram projetos de construção de um secador solar para madeiras (BARROS & VERÍSSIMO, 1996).

#### **2.4.5 Características fundamentais da madeira**

Estudiosos e técnicos destacam as seguintes vantagens:

- Apresenta boa resistência a esforços de tração, compressão e flexão.
- Resistência superior ao concreto, com vantagem de apresentar um peso reduzido.
- Resiste bem a choques e a esforços dinâmicos.
- Funciona bem como isolante térmico e acústico.
- Tem finalidade de afeiçoamento e simplicidade de ligações.
- Em geral apresenta custo de produção reduzido, dentre outros.

#### **2.4.6 Propriedades físicas da madeira**

As vantagens que a madeira oferece são explicadas por meio de suas propriedades físicas e mecânicas, definidas em laboratórios, determinadas através de testes, que são publicadas em artigos e em alguns livros didáticos.

Conforme BAUER (1999), as propriedades físicas de destaque são:

Umidade - é a quantidade de água além da água de constituição presente na madeira, considera-se que a madeira está completamente seca ou seca em estufa, a temperaturas de 100 a 105 °C. A madeira está seca ao ar quando, exposta por algum tempo não apresenta variação no seu peso, logo esse teor de umidade dá-se por volta de 13 à 17% b.u.

Retratibilidade - É a propriedade que a madeira apresenta em sofrer alterações volumétricas em estado de umidade diferente.

Densidade aparente - É o peso aparente de uma amostra por unidade de volume que a constitui, sempre no teor de umidade no qual foi submetido.

Condutibilidade Térmica - É definida pelo número de calorías (k) que atravessa uma parede de 1m<sup>2</sup> deste material, durante uma hora, por um metro de espessura e por graus de diferença de temperatura entre as duas faces. Conforme PETRUCCI (1976) a condutibilidade térmica varia em função do grau de umidade e segundo a direção de transmissão de calor, que é maior paralelamente que transversalmente às fibras.

Durabilidade natural - É conferida pela quantidade de substâncias tóxicas presentes na madeira e pelas suas características anatômicas. Algumas espécies apresentam resistência a agentes biológicos. A baixa durabilidade de certas espécies podem ser compensadas por tratamento preservativo.

Fluência - é a deformação sofrida pela peça de madeira, ao longo do tempo, sob a ação de algum tipo de carregamento.

#### **2.4.7 Propriedades mecânicas das madeiras**

Conforme CALIL JUNIOR (1996), as propriedades mecânicas das madeiras são divididas em propriedades de:

Elasticidade- é a capacidade que um dado material possui de voltar ao seu estado inicial, após a ação de uma força externa, sem sofrer deformação residual. A madeira apesar de não ser um material elástico perfeito, pode ser considerada como tal, para várias situações estruturais. As propriedades elásticas são descritas por três constantes: pelo módulo de elasticidade longitudinal (E), pelo módulo de elasticidade

transversal ( $G$ ) e pelo coeficiente de Poisson ( $\nu$ ). Sendo a madeira um material ortotrópico, as suas propriedades elásticas variam de acordo com a direção das fibras.

Resistência- É descrita pela resistência última de um material quando solicitado por uma força. Como exposto anteriormente, a resistência da madeira é influenciada pelo ângulo as fibras.

A madeira apresenta resistência diferenciada na compressão, na tração, na flexão, no cisalhamento, na torção e no choque.

#### **2.4.8 Defeitos de secagem e de ataques biológicos**

É muito comum encontrar peças de madeira apresentando algum tipo de curvatura e ou perfuração ou manchas. Quando as peças apresentam algum tipo de curvatura, sem que haja a aplicação de um esforço externo, ele pode ser denominado de encanoamento, arqueamento, encurvamento, torcimento e pode, também ocorrer rachaduras, que são chamados de defeitos de secagem, que são promovidos pela deficiência de secagem e armazenamento das peças. Quando as peças apresentam perfurações cores escuras diferenciadas da cor natural da madeira e ou manchas e podridoes, esses defeitos são provocados por ataques biológicos e são causados por fungos e insetos (CALIL JUNIOR, 1996).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa foi desenvolvida na Área de Construções Rurais do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). No entanto, todos os levantamentos de dados e a estrutura física do trabalho foram efetuadas no Estado do Amazonas em Empresas Privadas, Grupo Simões Ltda. e Antarctica S.A.; em Instituições de Pesquisas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e o Instituto de Pesquisa da Amazônia (INPA) e a Universidade do Amazonas (UA).

#### 3.1 Seleção da espécie de madeira

A madeira selecionada foi a quaruba, *Vouchysia maxima* (INPA,1991), por apresentar um módulo de elasticidade relativamente baixo, não transmitir cheiro ao produto e ser uma espécie de fácil aquisição na região.

Propriedades mecânicas da madeira utilizada conforme INPA (1991):

Espécie de madeira : quaruba (*Vouchysia maxima*)

Módulo de elasticidade na flexão :  $E_f = 11400 \text{ MPa}$

Resistência à tração normal às fibras :  $f_{190} = 3,5 \text{ MPa}$

Resistência ao cisalhamento paralelo às fibras :  $f_{s0} = 10,2 \text{ MPa}$

Resistência à compressão paralela às fibras :  $f_{c0} = 48,5 \text{ MPa}$

Módulo de Ruptura na flexão :  $f_f = 93 \text{ MPa}$

### 3.2 Pré - dimensionamento do silo

#### 3.2.1 Dados gerais

Densidade do grão de guaraná:  $\gamma = 534 \text{ kgf/m}^3$

Fonte: Pela norma DIN 1055(1987) citada por CALIL et al (1997) (Soja - Ângulo de atrito interno:  $\phi=25^\circ$ ) - Valor assumido para o grão de guaraná,  $\phi=23^\circ$

Coefficiente de atrito interno:  $\mu = \text{tg}(23^\circ) = 0,42$

Para se obter os dados do silo, necessários ao desenvolvimento da pesquisa, assumiu-se o comprimento lateral da seção transversal (b), 86cm; a altura do corpo silo (h), 186cm; o perímetro da seção transversal do corpo do silo (C):  $C = 4.b = 344\text{cm}$ ; o raio hidráulico (R):  $R = \frac{A}{C} = 22\text{cm}$ ; a altura do corpo da tremonha ( $h_1$ ), 45cm; o volume do silo (V):  $V = h.b^2 + \frac{1}{3}b^2 h_1 = 1,49\text{m}^3$ ; a capacidade total do silo ( $C_t$ ):  $C_t = \gamma.V = 796 \text{ kg}$  e a área de seção transversal (A):  $A = b^2 = 7396\text{cm}^2$  ou  $0,74\text{m}^2$ .

Por fontes da mesma norma citada pelo autor ( Soja - Coeficiente de atrito com a parede:  $\mu'$  : parede rugosa- 0,40 ; parede lisa- 0,25 ) o valor assumido para o grão de guaraná do coeficiente de atrito com a parede :  $\mu' = 0,30$

O valor do coeficiente de atrito com a parede, assumido para o guaraná, tomado com referência os valores aplicados ao grão de soja, é justificado por considerar que a superfície do grão deste produto aproxima-se a superfície do grão da soja e ambos apresentam forma geométrica semelhante e o valor intermediário escolhido é assumido por considerar que a parede é de madeira, ou seja nem rugosa nem lisa. Quanto ao valor do ângulo de atrito interno, assumido para o grão de guaraná, um pouco abaixo do ângulo de atrito interno do grão de soja, foi considerado o baixo teor de umidade do produto que foi adquirido para os experimentos, 10,8 %b.u.

### 3.2.2 Cálculo das pressões

O cálculo do coeficiente (k), que é a razão entre a pressão horizontal e a pressão vertical, quando o produto é considerado não coesivos é obtido por:  $k = \frac{1g^2(45-\phi/2)}{1000} = 0,43$ .

Adotando os valores do dados gerais na equação (1), para o cálculo pressão vertical assume-se uma nova expressão, que é:  $P_v = 747,6(1 - e^{-0,573y})$  (30)

adicionando a equação (2) na equação (1) a pressão horizontal pode ser calculada pela expressão:  $P_h = 0,43P_v$  (31)

e a equação (3) adotando os valores dos dados gerais passa a ser expressa:

$$P_w = (534y - 0,8P_v)0,22 \quad (32)$$

Para obter os valores de  $P_v$ ,  $P_h$  e  $P_w$  para cada profundidade considerada, aplicou-se as expressões (28), (29) e (30), e os valores das profundidades e das respectivas pressões são apresentados na TABELA 01.

A norma DIN 1055(1987) citada por CALIL JUNIOR et al (1997), adota coeficientes de sobrepressão ( $C_b$ ) que são aplicados no cálculo das pressões horizontais na descarga ( $P_{hd}$ ):  $P_{hd} = P_h \times 1,4$  (33)

e das pressão de atrito por metro linear na descarga ( $P_{wd}$ ):  $P_{wd} = P_w \times 1,1$  (34)

A norma recomenda, na situação de descarga, o cálculo da pressão adicional ( $P_s$ ):  $P_s = \gamma \cdot b = 534 \cdot 0,86 = 459,2 \text{ kgf/m}^2$  que deve ser adicionada a pressão de descarga no encontro do corpo do silo com a tremonha. Os valores das pressões na descarga e da pressão adicional são apresentados na Tabela 01. Os valores calculados das sobrepressões geradas na descarga e das pressões no estado estático, podem ser comparados através do gráfico mostrado na Figura 08.

Tração nas paredes laterais (T), segundo MORAL; TROISTK & RAVENER citados por CALIL JUNIOR et al (1997):  $T = \frac{1}{2} P_{hd} \times b = 323,9 \text{ kgf/m}$ , sendo  $P_{hd} = 294,1 + 459,2 = 753,3 \text{ kgf/m}^2$  ou  $753,3 \text{ MPa} \cdot 10^{-5}$ .

Considerando o valor adotado da largura de cada peça (l) que constitui a parede, seja de 23cm, a força de tração nas paredes(F) é calculada por:  $F = T \cdot l = 323,9 \cdot 0,23 = 74,5 \text{ kgf}$ .

TABELA 01: Resultados teóricos das pressões estáticas fundamentadas por JANSEN e pressões dinâmicas pela norma DIN 1055(1987).

$Y (m)$	$P_v(MPa)$ $\cdot 10^{-5}$	$P_h(Mpa)$ $\cdot 10^{-5}$	$P_w$ ( $kg_f/m$ )	$P_{hd}(MPa)$ $\cdot 10^{-5}$	$P_{wd}$ ( $kg_f/m$ )
0	0	0	0	0	0
0,50	186,2	80,1	27,8	112,1	30,1
1,00	326,1	140,2	50,9	196,3	56
1,50	431,1	185,4	67,2	259,6	73,9
1,86	490,1	210,1	76,4	294,1	84

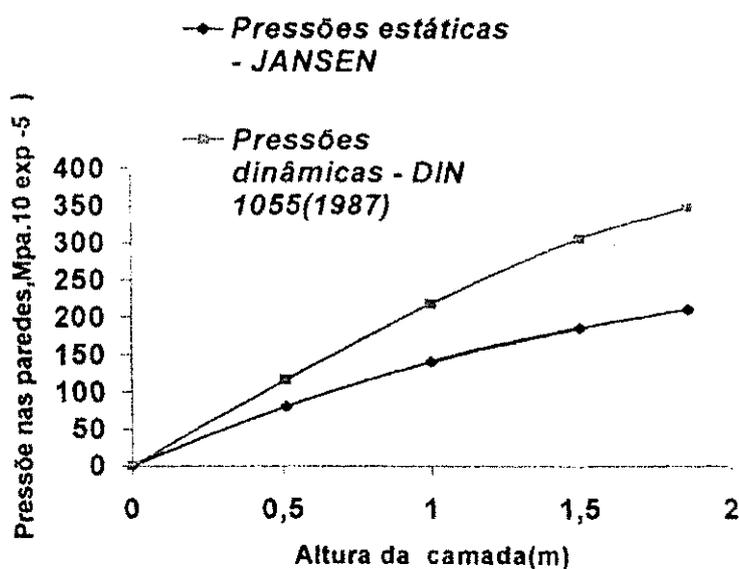


FIGURA 08 - Curvas de pressões pelo modelo JANSEN e pela norma DIN 1055 (1987) no descarregamento.

### 3.2.3 Cálculo da espessura da parede

Adotando método dos estados limites de acordo com a ABNT-NBR 7190, em que a resistência à compressão paralela às fibras é  $48,5MPa$  o cálculo da tensão característica na tração paralela às fibras ( $f_{t0,k}$ ) é efetuado por:

$$f_{co,k} / f_{to,k} = 0,77 \Rightarrow f_{to,k} = \frac{48,5}{0,77} = 63MPa$$

para a tensão de cálculo na tração paralela às fibras ( $f_{t,0d}$ ) aplicou-se a seguinte expressão:

$$f_{t,0,d} = K_{mod} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_w} \Rightarrow f_{t,0,d} = \frac{0,521 \times 63}{1,8} = 17,92MPa,$$

na qual o coeficiente de ponderação assumida ( $\gamma_w$ ) foi 1,8 e o coeficiente de modificação ( $K_{mod}$ ) foi obtido pelo produto dos coeficientes, por:  $K_{mod} = K_{mod1} \cdot K_{mod2} \cdot K_{mod3} \Rightarrow K_{mod} = 0,521$ , em que o coeficiente em função da ação variável principal e classe de carregamento ( $K_{mod1}$ ) assumido foi 0,80, o coeficiente em função da classe de umidade e tipo de material ( $K_{mod2}$ ) assumido foi 0,80 e o Coeficiente em função da categoria da madeira ( $K_{mod3}$ ) assumido foi 0,80.

Obtida a tensão de cálculo, o cálculo da espessura ( $e$ ) da parede na tração é efetuada por:

$$f_{t,0,d} \geq \sigma_{td} = \frac{F}{A_p} \Rightarrow 17,92 \geq \frac{74,5}{23cm \cdot e} \Rightarrow e \geq 0,2mm$$

sendo a tensão admissível ( $\sigma_{td}$ ), a força de tração nas paredes ( $F$ ) e a área de seção transversal de cada peça ( $A_p$ ).

O cálculo da tensão característica na compressão normal às fibras ( $f_{c90,k}$ ) é efetuado pela razão entre as tensões características à compressão normal e paralela às fibras, satisfeita pela relação:

$$f_{c90,k} / f_{co,k} = 0,25 \Rightarrow f_{c90,k} = 48,5 \cdot 0,25 = 12,13 MPa,$$

assim sendo, assumindo o coeficiente de ponderação de 1,4, a tensão de cálculo na compressão paralela às fibras ( $f_{c90,d}$ ) é obtida pela expressão:  $f_{c90,d} = K_{mod} \frac{f_{c90,k}}{\gamma_w} \Rightarrow$

$$f_{c90,d} = 0,521 \times \frac{12,13}{1,4} = 4,44MPa,$$

logo, o cálculo da espessura ( $e$ ) da parede na compressão é calculada por:

$$f_{c90,d} \geq \sigma = \frac{F_c}{A_t} \Rightarrow 44,4 \geq \sigma_c = \frac{72,2}{0,86 \cdot e} \Rightarrow e \geq 0,2mm,$$

sendo a tensão de compressão ocorrida nas paredes ( $\sigma_c$ ), a área da seção longitudinal da peça ( $A_l$ ) e a força de compressão nas paredes ( $F_c$ ) calculada pela expressão:

$$F_c = P_{wd} \cdot b = 72,2 \text{ kg}_f$$

A espessura adotada foi de 1,2cm, por considerar que para espessuras inferiores a um milímetro, a avaliação das deflexões, possivelmente, apenas apresentaria resultados satisfatórios por teorias aplicadas ao estudo de deflexões em placas. Outro ponto a considerar, foi na avaliação do comportamento das paredes do silo sob ação direta de sol e chuva, que implicou na necessidade de uma parede com espessura bem superior à calculada e pela espessura ser mais próxima as dimensões comerciais.

A tensão normal ao plano da tremonha ( $R_n$ ) é obtida através da tensão resultante ( $R$ ) das pressões verticais ( $P_v$ ) e das sobrepressões horizontais ( $P_{hd}$ ), considerando o ângulo da parede da tremonha com a horizontal ( $\alpha$ ), para avaliar a condição de flexão na parede, adotou-se as seguintes expressões:

$$R^2 = P_v^2 \cos^2 45^\circ + P_{hd}^2 \sin^2 45^\circ = 490^2 \cos^2 45^\circ + (806)^2 \sin^2 45^\circ = 667 \text{ kg/m}^2$$

$$\beta = \arctg\left(\frac{P_{hd}}{P_v} \text{tg} 45^\circ\right) \text{ e } \varepsilon = 45 - \beta$$

$$R_n = R \cos \varepsilon = 648 \text{ Kg}_f / \text{m}^2$$

A tensão de cálculo na flexão ( $f_{f,d}$ ), para o coeficiente de ponderação adotado de

$$1,8, \text{ foi calculada pela expressão: } f_{f,d} = K_{\text{mod}} \frac{f_{f,k}}{\gamma_w} \Rightarrow f_{f,d} = 0,521 \frac{93}{1,8} = 265 \text{ Kg}_f / \text{cm}^2$$

e a espessura da parede da tremonha ( $e_t$ ) foi calculada por:

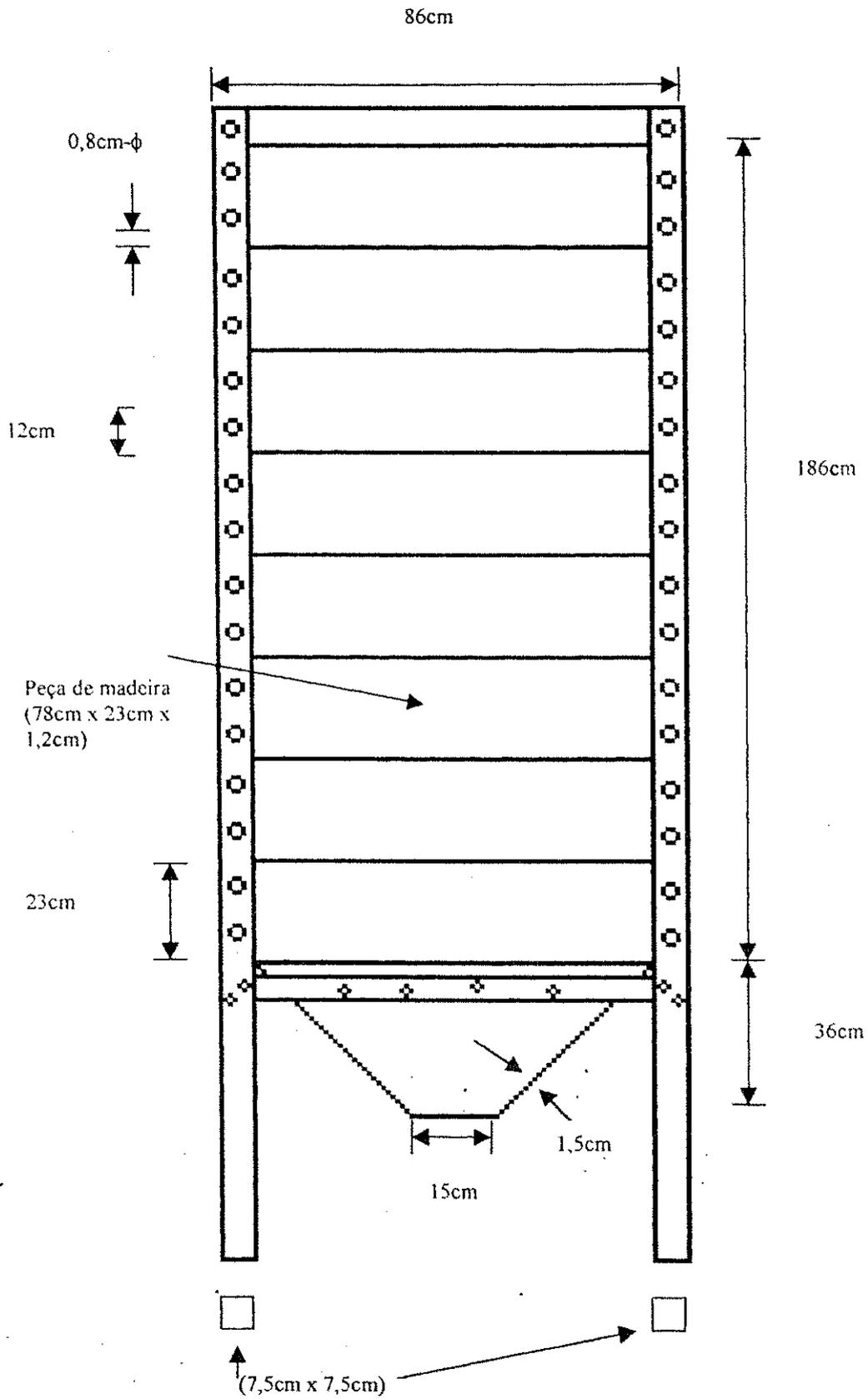
$$e_t^2 = R_n \cdot \frac{l^2}{2 \cdot f_f} = \frac{648 \times (0,502)^2}{2 \times 265} \Rightarrow e_t = 0,56 \text{ cm}$$

A espessura da parede da tremonha adotada foi de 1,5cm, considerando os mesmos pontos abordados para a parede do corpo do silo.

### 3.2.4 Dimensões adotadas

As dimensões adotadas do silo são apresentadas nas Figuras 09a e 09b, em vista lateral e vista superior, respectivamente.

## a) Vista lateral



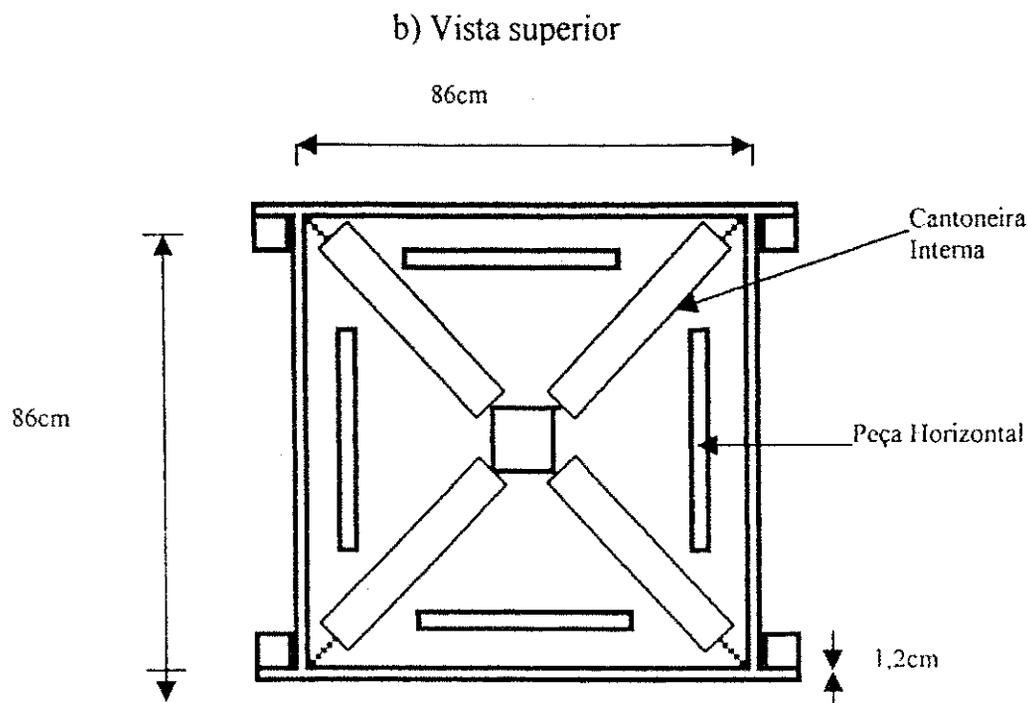


FIGURA 09 - Vistas superior e lateral do modelo do silo

O silo é constituído de paredes de madeira, com 1,2cm de espessura, seção (0,86cm x 0,86cm), altura do corpo de 1,86m, colunas com dimensões (7,5cmx7,5cmx250cm). Cada peça de madeira foi ligada as colunas por parafusos, arruelas e porcas de aço em suas laterais, espaçados de 12cm. A tremonha é independente do corpo do silo, mas encaixadas em vigas transversais, que são ligadas às colunas por dois parafusos em cada lado. A tremonha foi conformada com paredes de 1,5cm de espessura, inclinação de 45° e orifício de descarga simétrico. A Figura 07b apresenta detalhes internos da tremonha, mostrando que nos cantos internos foram colocadas cantoneiras de madeira para cobrir os parafusos, com a mesma finalidade foram também, colocadas em cada face da tremonha as peças horizontais.

### 3.3 Aquisição da madeira

A madeira foi adquirida serrada, em peças com dimensões mais ou menos definidas conforme são mostradas nas Figuras 10a e 10b. As peças para coluna apresentaram dimensões (7,5cm x 7,5cm x 3,00m), as tábuas com dimensões (1,3cm x

23cm x 700cm), para as paredes do corpo do silo e as tábuas com dimensões (1,8cm x 26cm x 6cm) para as paredes da tremonha.

a) Peças de madeira serrada para confecção das colunas do silo



b) Peça de madeira serrada para confecção das paredes do silo e da tremonha

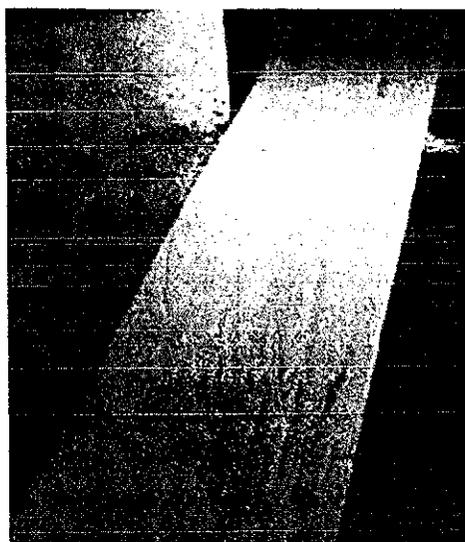


FIGURA 10 - Peças de madeira serrada

### 3.4 Secagem da madeira

As peças foram levadas para o INPA. Com um medidor elétrico de umidade foi obtido teor de umidade do lote, que foi de 45%, o lote foi deixado exposto às condições naturais por sete dias. Após este período de tempo, o teor de umidade do lote foi novamente obtido, estando em média a 37%. Foram introduzidas no secador solar, organizadas de forma que a perda de umidade na madeira fosse uniforme nas

duas faces para não provocar curvaturas nas peças. O lote foi retirado após quinze dias, a umidade registrada foi de 9,5%. Ocorreu o encanoamento em algumas peças destinadas a confecção das paredes e rachaduras nas peças destinadas a confecção das colunas. No entanto, os defeitos não foram expressivos a ponto de inutilizar as peças.

### **3.5 Processo construtivo do silo**

Após a secagem, a madeira foi conduzida a marcenaria da UA, onde foram trabalhadas todas as etapas, desde a confecção das peças até o término da montagem do silo modelo.

#### **3.5.1 Limpeza e planeamento das peças:**

A limpeza e a uniformização da espessura nas tábuas e os sarrafos, para colunas de sustentação do silo, foram executado numa desingrossadeira.

#### **3.5.2 Corte das peças:**

As tábuas foram medidas na bancada da máquina e foram cortadas em peças de um metro destinadas para as paredes do silo e em dimensões diferenciadas para as faces da tremonha enquanto os sarrafos foram reduzidos a 2,5 metros de comprimento.

#### **3.5.3 Planeamento:**

O ajuste da seção transversal consolidou a espessura das tábuas em 1,2cm, para as paredes do silo e em 1,5cm para as paredes da tremonha. As duas espessuras adotadas não atendem aos requisitos da ABNT-NBR 7190 em termos de espessura, que estabelece para peças secundárias, espessura de 2,5 cm. As espessuras adotadas atende às dimensões comerciais e aos valores assumidos, bem acima do índice calculado, tendo como objetivo, também, atender às condições de intempéries e proporciona maior durabilidade à estrutura.

### **3.5.4 Confeção dos furos nas peças laterais:**

As peças de madeira com dimensões (100cm x 23cm x 1,2cm) foram perfuradas, em cada extremidade, com dois furos distanciados de 4cm das extremidades e mantidas uma distância de 6,5cm de cada furo às laterais da tábua, espaçados 12cm um furo do outro, para atender aos requisitos da ABNT-NBR 7190, a exceção dos furos em relação as extremidades, em que a norma estabelece 7d, ou seja, uma distância de sete vezes o diâmetro. As peças foram sobrepostas de quatro em quatro, juntas e comprimidas por garras de ferro e efetuados os furos com diâmetro de 0,80 cm.

### **3.5.5 Parafusos:**

Os parafusos foram confeccionados de barras roscadas, visou à economia nos custos com material. As barras rosqueadas mediram 1 metro de comprimento e o diâmetro adotado foi de 0,80 cm. A barra foi reduzida em peças menores (parafusos) de 10cm.

### **3.5.6 Confeção das paredes do silo:**

As peças foram unidas em "L" unidas lateralmente no sentido longitudinal, com o objetivo de se fazer a sobreposição de uma na outra, por cavas de 1,5cm. Em seguida, as peças foram parafusadas nas colunas. Em duas faces do silo as peças de madeira foram sobrepostas internamente, e outras duas as peças sobrepõem-se externamente as colunas. Cada peça foi presa, pelas extremidades, nas colunas por dois parafusos, perfazendo um total de 4 parafusos, oito porcas e oito arruelas por peça. O posicionamento das fibras nas peças de madeira, que compõem as paredes do silo, foi na horizontal, ou seja paralela aos esforços de tração que são gerados quando o produto é armazenado.

O ajuste da peças de madeira na posição horizontal, que constitui a parede do silo, ocorreu por causa das trações nas paredes quando a célula é carregada, ou seja,

quando o produto é armazenado. As peças na posição horizontal, como foram conformadas no silo, permitem que o sentido das fibras da madeira fiquem paralelas ao esforço de tração, gerados nas paredes do silo no carregamento. A vantagem de posicionar o sentido das fibras da madeira paralela aos esforços de tração, parte do conhecimento de que madeira apresenta maior resistência nesta direção.

### **3.5.7 Confeção das faces da tremonha:**

Diferente das peças de madeira nas paredes do silo, que posiciona as fibras na horizontal, o posicionamento das fibras nas peças de madeira que compõem cada face da tremonha como pode ser visualizado na Figura 11a, foi no sentido meridional, ou seja, plano inclinado em relação à vertical, onde ocorrem os maiores esforços de tração, principalmente durante a descarga do produto. Cada peça foi confeccionada separadamente, fendilhadas em “L”, sobrepostas lateralmente em 1,5cm e coladas. Em seguida, foram serradas nas dimensões planejadas, para fornecer assim, formato a uma tremonha de tronco piramidal, de 45° de inclinação, medindo a base superior 86cm de lado e 15cm de lado no orifício de descarga.

### **3.5.8 Encaixe das faces da tremonha:**

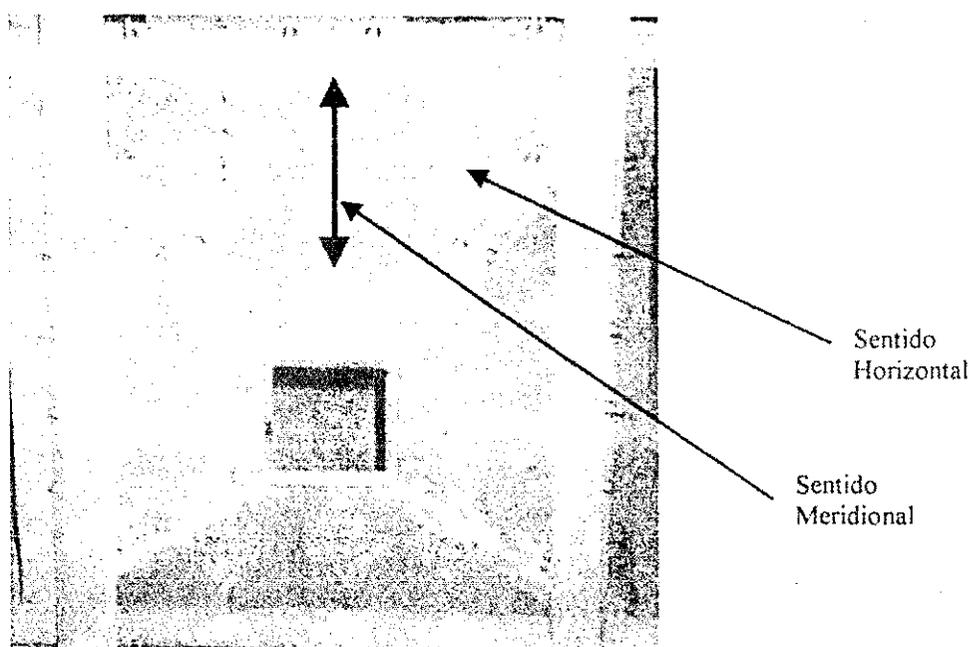
As extremidades laterais de cada face da tremonha foram cortadas, com inclinação que combinou o encaixe com as demais faces, como são representadas, já concluído o encaixe, pelas Figura 11b. Após decorrerem 24 horas, coladas nos cantos as faces pregadas e foram efetuados os furos, orientados pelas cantoneira externas, previamente furadas e conformadas para serem encaixadas nos cantos da tremonha, com objetivo de oferecer maior resistência.

Os parafusos, colocados para reforçar os recantos da tremonha, ligando as faces através de chapas metálicas (Figura 11a), conformados de maneira que não houvesse o encontro no interior da tremonha. A distância entre parafusos na cantoneira adotada foi de 15cm, sendo que para cada lado da cantoneira utilizou-se três à quatro parafusos. A

chapa metálica utilizada foi de 1,5mm. As Figuras 11a e 11b representam o corpo da tremonha, que destacam o lado externo e o lado interno, respectivamente.

Internamente, a tremonha constitui-se de cantoneiras confeccionadas de madeira, com a finalidade de diminuir o atrito entre as paredes e os grãos, por considerar que os parafusos nos quatros cantos da tremonha iriam oferecer resistência ao escoamento do produto durante a descarga do silo.

a) Lado externo da tremonha



b) Lado interno da tremonha

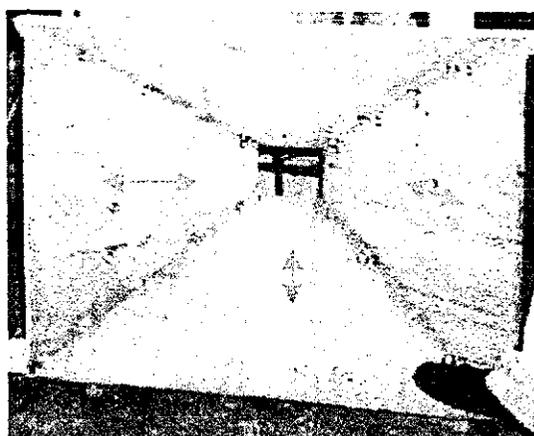


FIGURA 11 - Corpo da tremonha

### **3.5.9 Vigas laterais :**

As vigas laterais foram dispostas para oferecer sustentação a tremonha, ligadas por quatro parafusos, espaçados em 11cm. O comprimento mínimo adotado de cada viga foi igual a largura total do silo. As vigas foram ligadas às colunas de sustentação de todo o silo, por dois parafusos em cada extremidade.

### **3.5.10 Orifício de descarga :**

A abertura externa mediu 15 x 15cm. Todavia, devido à inclinação da face e espessura das peças, a seção de fluxo mediu 12 x 12cm. A tampa de descarga consistiu de um suporte de madeira posicionado em faces simétricas. Cada suporte teve um “talho” para permitir que a tampa se movimente para assegurar a abertura e o fechamento do orifício de descarga do silo.

## **3.6 Ensaio experimentais com o silo modelo**

### **3.6.1 Aquisição dos grãos de guaraná:**

Os grãos foram obtidos cedidos pelo Grupo Simões, durante 15 dias . Os grãos encontravam-se armazenados em sacos, sendo treze sacas de 50 kg. O teor de umidade do produto foi obtida em seis amostras aleatórias de todo o conteúdo. As amostras foram pesadas e levadas à estufa 105 °C por 24 horas. Os ensaios foram realizados na Faculdade de Tecnologia (FT) da Universidade do Amazonas.

### **3.6.2 Pontos escolhidos para obtenção das deformações:**

Os pontos escolhidos foram a 0,45 m, 0,90 m e 1,41m de profundidade no corpo do silo e no ponto médio em uma das faces da tremonha com o silo carregado. A ponta do relógio comparador foi posicionada perpendicularmente à parede do silo. O relógio foi encaixado num suporte magnético que foi encaixado a uma base metálica sobre bancos. Para evitar a vibração do banco, foram colocadas barras de concreto

pressionando e protegendo o banco. É observado na Figura 12, um medidor de deflexão, entre os pontos escolhidos, em uma das faces da tremonha.

### 3.6.3 Enchimento do silo:

O enchimento foi manual, com o emprego de recipientes de 20 litros, tendo esta capacidade para 10,7 kg de grãos de guaraná. O relógio comparador foi constantemente monitorado durante o enchimento do silo, efetuando quatro repetições para cada ponto, totalizando doze observações. Por não ter sido controlado o enchimento, o produto lançado ficava descentralizado no interior do silo e era uniformizado, ou seja, nivelado a cada oito lançamentos com o referido recipiente contendo o produto.

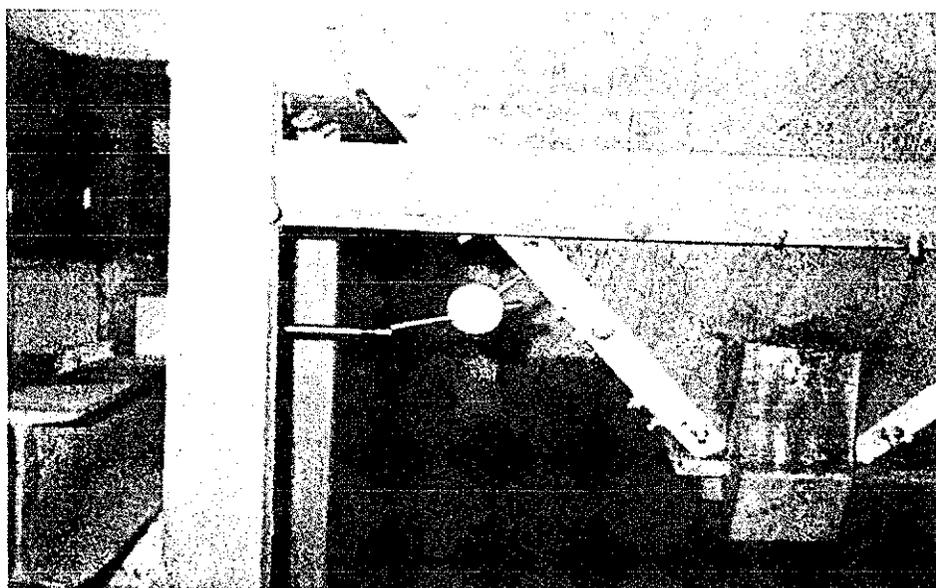


FIGURA 12 - Conjunto Barra de aço - Suporte - Relógio comparador e a tremonha do silo

### **3.6.4 Descarga do silo:**

O orifício de descarga do silo foi aberto e o produto ao escoar foi rapidamente varrido, para evitar a formação do talude natural do produto sobre o piso e sob o orifício de descarga e, assim, impedir a descarga do produto, tendo em vista que a altura da saída do produto, em relação ao piso, era pequena. O produto foi escoado durante 5 segundos apenas, tal procedimento foi adotado pela necessidade em se obter os picos de deflexões no início do descarregamento, ou seja, no intervalo em que ocorriam as sobrepressões nas paredes do silo.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Critérios adotados na montagem do silo modelo**

O corte das peças nas dimensões estabelecidas e a confecção dos furos, não apresentaram dificuldades. Todavia, a confecção dos furos nas colunas e o encaixe das peças de madeira nas paredes do silo, exigiram mais habilidade, em virtude do possível encontro dos parafusos de peças, entre paredes laterais vizinhas, com a coluna.

Na confecção do corpo da tremonha, o posicionamento das peças, que pôde ser vista pela representação na Figura 12 e também na Figura 13, foram ajustadas de forma a precaver-se das pressões que, são geradas quando a célula é carregada. As peças de madeira que confeccionaram as paredes da tremonha, foram ajustadas para que as fibras da madeira ficassem paralelas ao sentido meridional e normal ao sentido horizontal. Os critérios adotados, são fundamentado que, durante o carregamento do silo são geradas trações meridionais e trações horizontais. Sendo prevista as trações meridionais e horizontais, na tremonha, buscou-se orientar as fibras da madeira para suportar as tensões de tração e oferecer rigidez ao corpo da tremonha no sentido horizontal. A rigidez ao corpo da tremonha, no sentido horizontal, foi promovida ao colocar as cantoneiras externas em cada canto da tremonha, onde as mesmas funcionaram como enrijecedores. A necessidade da rigidez promovida, foi executada ao considerar baixa a resistência à tração normal às fibras que a madeira apresenta, valendo abordar que o módulo de elasticidade à tração normal às fibras, na madeira, é de 1/20 o módulo do elasticidade à tração paralela às fibras, segundo critérios estabelecidos pela ABNT-NBR 7190.



FIGURA 13 - Vista parcial do silo modelo

#### 4.2 Deflexões nas paredes do silo

Os valores das deflexões experimentais são apresentados na Tabela 02, em que foram considerados os pontos A, B, C e na tremonha, a 0,45m, 0,90m, 1,41m de profundidade no corpo do silo e no ponto médio do seguimento meridional do corpo da tremonha.

O motivo de se determinar as deflexões nas peças de madeira das paredes do silo, decorre da necessidade de se ter uma idéia aproximada das pressões geradas nas paredes do silo pelo produto armazenado. As deflexões e as propriedades mecânicas da madeira que constituem a parede, são parâmetro incontestáveis para se avaliar as tensões ocorrentes. Tais deflexões podem, ainda oferecer indicações do nível de segurança que a estrutura oferece e podem ser comparadas com os valores recomendados por norma.

TABELA 02 - Valores das profundidades do produto armazenado e das deflexões nas paredes do silo para três estados de carregamento.

Ponto	Enchimento(mm)				Estático(mm)				Dinâmico(mm)			
	$\delta_{e1}$	$\delta_{e2}$	$\delta_{e3}$	$\delta_{e4}$	$\delta_{e1}$	$\delta_{e2}$	$\delta_{e3}$	$\delta_{e4}$	$\delta_{d1}$	$\delta_{d2}$	$\delta_{d3}$	$\delta_{d4}$
A - 0,45m					0,36	0,33	0,33	0,35				
B - 0,90m	0,65	0,65	0,68	0,69	0,55	0,45	0,65	0,60	0,60	0,55	0,93	0,70
C - 1,41m	0,94	0,78	0,83	0,73	0,84	0,79	0,82	0,72	1,05	1,04	1,20	1,03
Tremonha	0,90	0,78	0,78	0,75	1,10	0,78	0,80	0,75	1,15	0,80	0,81	0,76

Por ser a madeira um material dúctil, que por apresentar deformação mesmo sem eminência de ruptura. Caso se queira adotar critérios para projetos com esse material, pode-se avaliar, segundo NICHOLAS (1934) pelos critérios de escoamento, pois, com base no comportamento linear, lei de Hooke, o fato da tensão de escoamento ter sido atingido é considerado, crítico para a estrutura, por analisar o carregamento no material em sua zona elástica real.

Com base na análise deste autor, entende-se que por meio das deflexões nas paredes, mesmo sendo de madeira, poderão ser avaliados também o nível de segurança que apresenta a estrutura, as paredes do silo e as paredes da tremonha.

Os resultados das deflexões obtidas no experimento, variaram em função da profundidade de cada ponto, do estado de carregamento do silo e da forma de enchimento. Os ponto destacados foram:

Ponto A - Localizado a 0,45m de profundidade da camada do produto armazenado, foi um ponto pouco explorado, em que foram medidas apenas as deflexões no estado estático de carregamento, que podem ser observados por serem representadas na Tabela 02. O motivo das deflexões não serem exploradas nos outros estados de carregamento, foi porque o ponto está praticamente fora da zona de influência, que são zonas que sofrem os efeitos das sobrepressões nas paredes do silo durante a descarga. Como o deslocamento depende das pressões geradas nas paredes,

implicaria em valores de deflexões praticamente iguais, se comparados aos valores de descarga.

Ponto B - As deflexões obtidas pelo produto na condição estática de carregamento foram inferiores aos valores das deflexões, durante as últimas fases do estado de enchimento. As deflexões para este ponto são representadas na Tabela 02 e pode ser melhor interpretados pelas curvas da Figura 14. A origem das diferenças nos valores e consequentemente, das curvas apresentadas, provavelmente, tenha sido pelo impacto do produto sobre a camada existente. Como enchimento foi manual, a camada superior dentro da célula, recebia aproximadamente 11kg de forma intercalada e a várias alturas de queda, o que provoca, além de uma compressão instantânea, também vibrações. O impacto do produto sobre a camada superior dentro do silo, teve como provável hipótese, compressão na camada superior e nas camadas próximas, o que gerou acréscimos de tensões laterais, que chegaram à parede do silo e resultou em deflexões, superiores as deflexões registradas com o produto na condição estática no interior do silo.

Em condições de descarga, com o produto no estado dinâmico, os valores das deflexões foram superiores aos dois outros estados de carregamento. A distância do ponto considerado em relação ao orifício de descarga, por ter ficado em um ponto de pouco efeito da zona de influência durante a descarga, as deflexões registradas foram razoavelmente expressivas em relação as deflexões obtidas durante o enchimento e no regime estático.

A superioridade dos valores das deflexões, mostrado também pelas curvas, representadas na Figura 14, nas duas primeiras repetições durante o enchimento, possivelmente, ocorreu em função do tipo de enchimento e consequentemente, a forma de distribuição do produto dentro da célula, que não foi controlado para que fosse um enchimento centralizado.

A razão entre a maior deflexão registrada na parede do silo durante a descarga e a deflexão no estado-estático, foi de 1,43, ocorrida na terceira repetição. A importância que se verificar a razão entre as deflexões, que é a relação entre os estados dinâmico e estático de carregamento, é para se saber o nível de superioridade de um estado sobre o outro, assim como, em termos de pressões, são avaliados o estado

estático de pressão proposto por JANSEN e o dinâmico com coeficientes de sobrepressões recomendados, por exemplo, pela norma DIN 1055/1987.

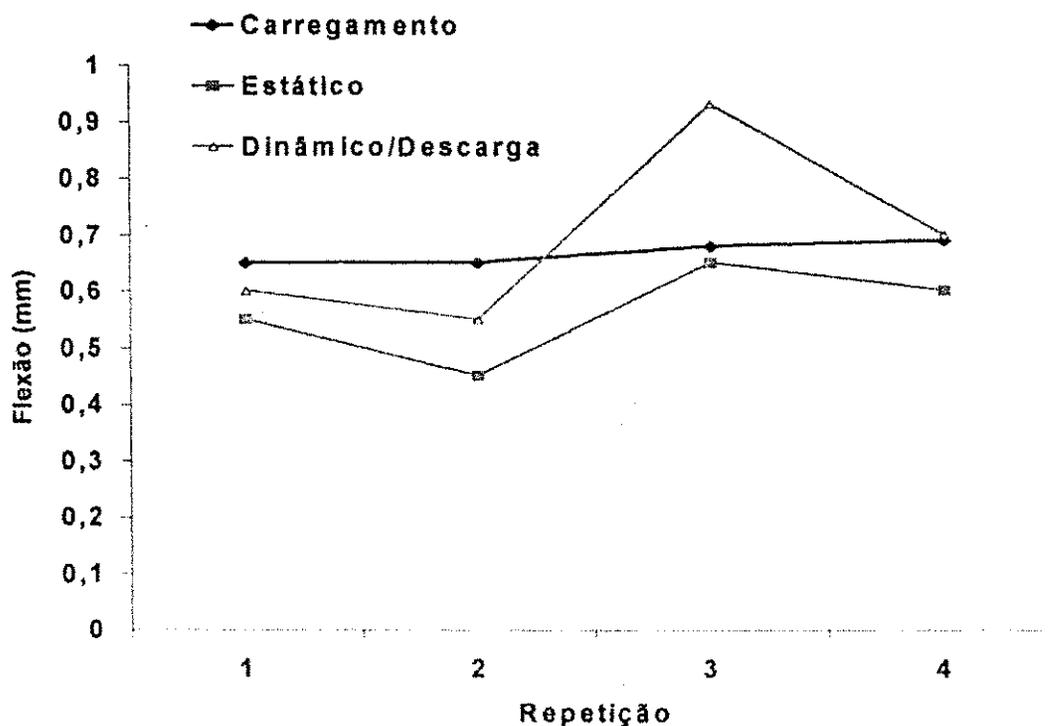


FIGURA 14 - Curvas das deflexões nos três estados de carregamento no ponto B

Ponto C - Foi o ponto localizado a 1,41m de profundidade, as deflexões ocorridas nas paredes do silo, no enchimento e as deflexões no estado estático, foram praticamente as mesmas e podem ser compreendidas na representação da Figura 15. A aproximação dos valores obtidos das deflexões, provavelmente, tenha sido provocada pela distância entre a camada considerada neste ponto e camada superior, ou mesmo próxima ao topo do silo no enchimento. Isto demonstra que o impacto do produto sobre a camada existente, nas últimas fases do enchimento, não eram afetadas, ou seja, a compressão nesse nível de profundidade era mínimo, logo, não afetaram nas deflexões registrada na parede do silo.

Durante a descarga, as deflexões ocorridas nas paredes, foram bem superiores às deflexões obtidas nos outros dois estados de carregamento, como representa a curva do estado dinâmico de carregamento mostrada na Figura 15. O ponto em questão, por estar situado no encontro do corpo do silo com tremonha, em termos de pressões,

durante a descarga, são geradas sobrepressões nessa região de encontro. Tais sobrepressões, geram aumento de carga nas paredes do silo, que implicaram em aumento expressivo das deflexões.

A razão entre a maior deflexão na descarga e a deflexão no estado estático, ocorreu na repetição de número 3, e foi de 1,46, que evidenciou que a deflexão ocorrida na parede, com o produto no regime dinâmica superou em 46 % a deflexão ocorrida com o produto no regime estático. A maior deflexão registrada ocorreu neste ponto, por motivos já abordados, foi de  $1,20\text{mm} < 3,9\text{mm}$ , que é a razão  $780\text{mm} / 200$  estabelecida pela ABNT-NBR 7190.

A diferença entre as curvas das deflexões no enchimento e a curva no estado estático, na primeira repetição, possivelmente, tenha sido por causa da forma desorganizada de enchimento, o que produziu camadas com níveis de compactação diferenciados a uma mesma profundidade.

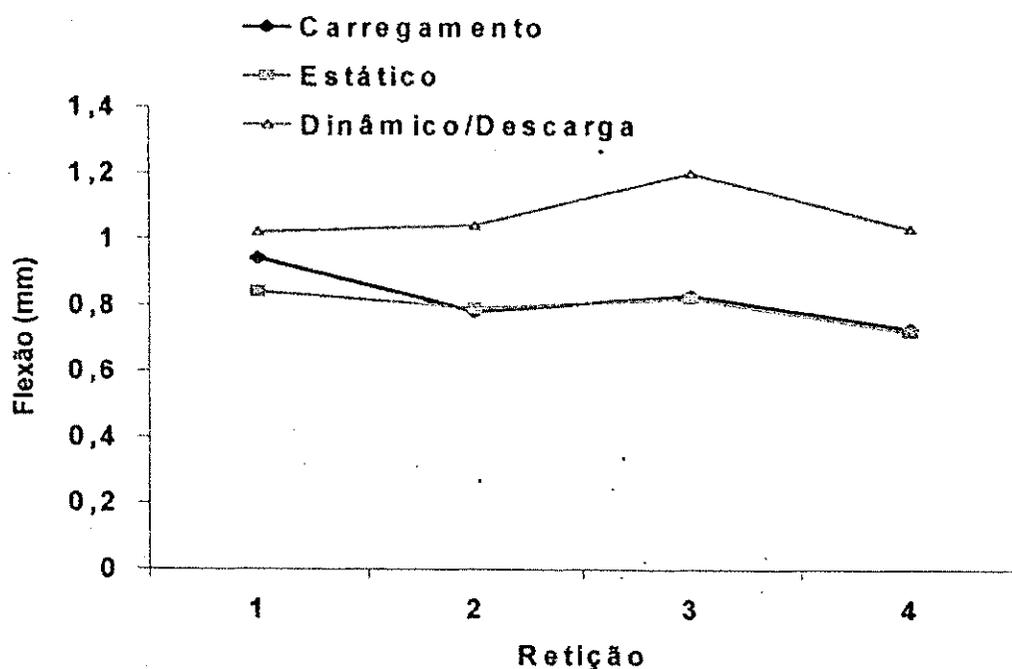


FIGURA 15 - Curvas das deflexões nos três estados de carregamento no ponto C

Na avaliação das deflexões nas paredes do silo, nas três etapas de carregamento, nas profundidades consideradas, pôde-se observar que as deflexões geradas pelos

carregamentos, tiveram como prováveis fatores, que influenciaram em maior ou menor deflexão, foram:

- A largura do silo - Influenciou na determinação da distância que estarão as paredes do ponto de enchimento. Quanto mais distante das paredes, menor o efeito provocado pelas vibrações, que são transmitidas grão a grão e diminui ao longo do percurso, e o efeito do impacto que comprime a camada e provoca acréscimo de pressão horizontal, conseqüentemente aumente na deflexão da parede.

- A altura do silo - Determina o nível de impacto ocorrido durante o enchimento. Quanto mais alto o silo maior o impacto nas primeiras fases do enchimento para uma mesma quantidade de produto lançado, o impacto é menor a medida que vai enchendo, conseqüentemente, menor compressão da camada superior, na qual o produto é lançado.

- A profundidade da camada - Consiste na camada a ser considerada em relação à camada superior, que é a camada que está recebendo o produto no enchimento, ao serem comprimidas por causa do impacto promovido, em qualquer fase do enchimento, provoca compressão nas camadas inferiores, sendo menor a compressão quanto maior for a referida profundidade.

- A vazão no enchimento - Corresponde a quantidade, em peso, que o produto é lançado dentro da célula e a forma de enchimento. Quanto maior a quantidade lançada maior o impacto causado sobre a última camada, ou mesmo, a camada superior, conseqüentemente maior a compressão nas camadas inferiores, o que implica em maiores deflexões. A forma de enchimento pode promover zonas de compactação diferenciadas, principalmente quando o enchimento é descentralizado, implicando em distribuição de pressão desigual dentro do silo, na mesma camada, conseqüentemente, provocou efeito nas paredes e variação na deflexões ocorridas no enchimento.

Análise das deflexões obtidas no ponto médio da tremonha - No ponto médio do sentido meridional da tremonha, durante o enchimento, em regime estático e a descarga, as deflexões ocorridas foram praticamente as mesmas. A parte central da tremonha, onde foram medidas as deflexões, teoricamente, não ocorrem altas pressões, mesmo durante a descarga, implicando em deflexões, aproximadamente iguais como

são representadas pelas curvas mostradas na Figura 16. Segundo JENIKE & JONHANSON citado por FORTES FILHO (1983), no material armazenado no estado dinâmico, há um equilíbrio de tensão resultantes nas paredes da tremonha, ou seja, em regime estático prevalecem as tensões verticais sobre as horizontais, e durante a descarga, há um aumento das pressões horizontais e diminuição das pressões verticais, o que resulta em sobrepressões perpendiculares ao plano da tremonha.

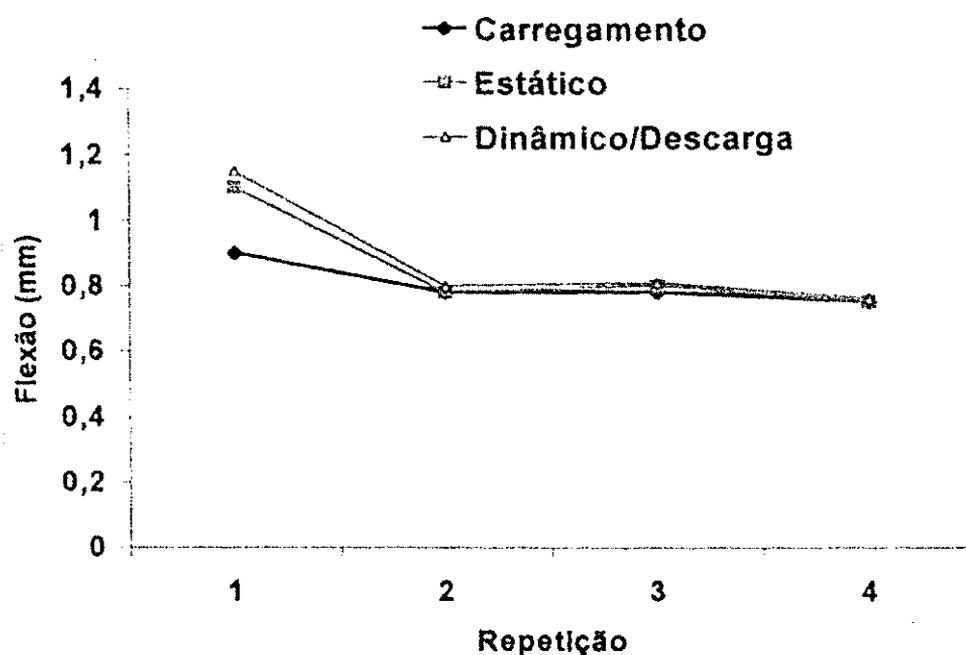


FIGURA 16 - Curvas das deflexões nos três estados de carregamento no ponto médio da tremonha.

As deflexões não foram mais significativas, dada a forma como foram confeccionadas as paredes da tremonha, ao permitir bastante rigidez e diminuir, assim, o efeito de flexão e, por causa da espessura da parede adotada de 1,5cm. Pois, quanto menor a espessura da parede, menor o momento de inércia, e maior a deflexão na parede quando submetida a algum tipo carregamento. Outro parâmetro a ser considerado foi a distância da região de encontro da tremonha com o corpo do silo, pois, é nessa região onde ocorrem grandes sobrepressões durante a descarga, e conseqüentemente, é uma região propícia a ocorrer maiores deflexões.

Análise das médias das deflexões experimentais - Os valores médios das deflexões obtidas são apresentadas na Tabela 03, ao tomar como referência a mesma, nota-se que os valores foram condizentes, pelas diferenças obtidas dos diferentes níveis de profundidade nos três tipos de carregamento já abordados. Neste item são abordados apenas o estado estático e o estado dinâmico de carregamento, em virtude da importância desses dois estados de carregamento, quando se deseja avaliar pressões.

TABELA 03: Valores médios das deflexões observadas em função da profundidade

<i>Ponto</i>	<i>Enchimento(mm) <math>\delta_{mc}</math></i>	<i>Estático(mm) <math>\delta_{me}</math></i>	<i>Dinâmico(mm) <math>\delta_{md}</math></i>
A - 0,45m	—	0,43	—
B - 0,90m	0,67	0,56	0,70
C - 1,41m	0,82	0,80	1,08
Tremonha	0,80	0,86	0,88

Na média, os valores das deflexões, na parede do silo, no estado estático de carregamento foram sempre inferiores as deflexões ocorridas no estado dinâmico de carregamento. As curvas da Figura 17 representam com discernimento as deflexões médias nos dois estados já avaliadas. A destacada diferença entre a duas curvas demonstram que as deflexões, evidentemente, foram influenciadas pelas sobrepressões geradas com o produto no estado dinâmico durante a descarga. Além de representarem as deflexões no estados estático e dinâmico, destaca também, o valor máximo, já discutido anteriormente no ponto C, e comparado com as curvas das deflexões médias, em que o valor máximo das médias, foi de 1,08mm. Com referência na Tabela 03, pode-se verificar que a razão entre os valores no estado dinâmico e o valores no estado estático, nos pontos B e C, foram de 1,25 e 1,35, respectivamente.

Para as pressões, a razão entre os valores, no estado dinâmico e no estado estático de carregamento do silo, são tratados por coeficientes de sobrepressão, que indiretamente, pode prevenir o projetista a considerar e diferenciar os dois estados de carregamento. Com base em tais fundamentos, as deflexões avaliadas nas paredes do

silos nos dois estados de carregamento citados, podem fornecer indicações sobre os níveis de pressão e sobrepensões nas paredes dos silos.

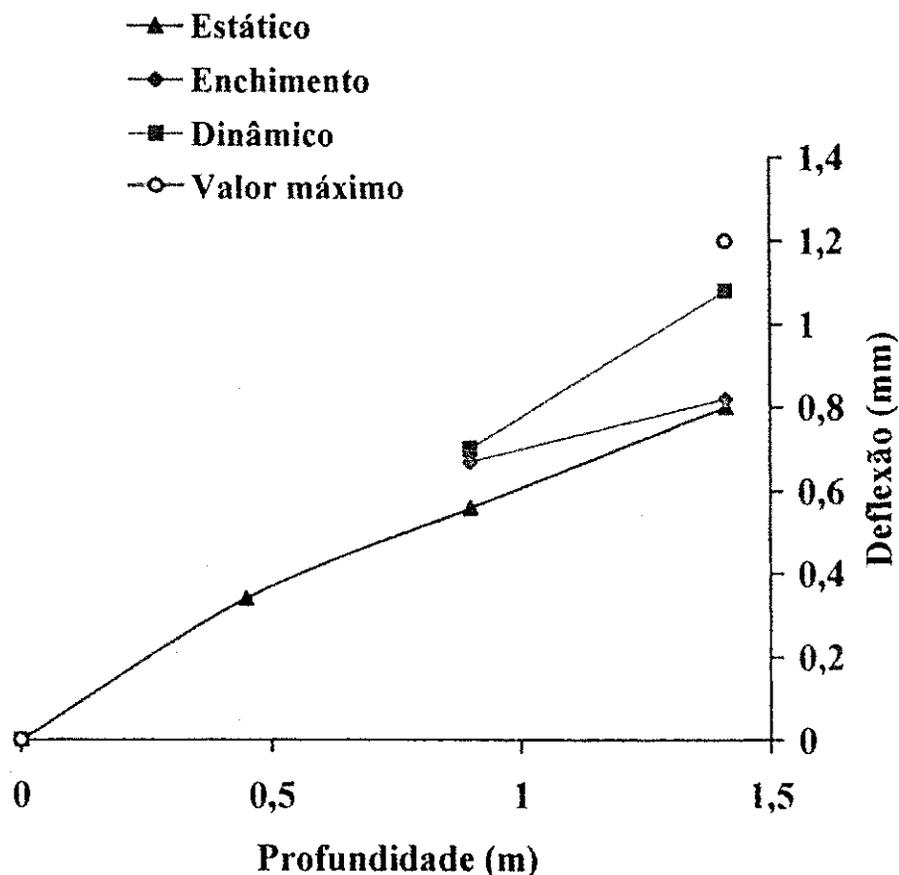


FIGURA 17 - Curvas das deflexões experimentais nos estados estático e dinâmico

#### 4.3 Comparação entre as deflexões experimentais e os modelos teóricos propostos

Os métodos teóricos, realizados por TIMOSHENKO e TROISTKY citado por CALIL JUNIOR et al (1997), para o cálculo das deflexões em placas, já abordado anteriormente, não foram aplicados por serem, inadequados a vigas e também, por causa do comportamento mecânico da madeira, que, por ser um material anisotrópico, sob ação de carregamento, comporta-se diferentemente do aço. Assim sendo, assumiu-se como vigas, as peças de madeira que constituíram a parede do silo. Segundo a forma de carregamento, foram tratadas com distribuição uniforme, e quanto ao apoio considerou-se como bi-articulado e bi-engastado.

No estado estático de carregamento do silo, nas profundidades que se encontram os pontos A, B e C, ao assumir  $R=0,22$  m,  $\gamma=534$  kg $_f$ ,  $\mu'=0,30$  e  $k=0,43$  calculou-se as pressões verticais ( $P_v$ ) e as pressões horizontais ( $P_h$ ) aplicando as equações (1) e (2), respectivamente. O cálculo da carga linear ( $q$ ) foi obtida através da equação (19) ao assumir  $I_u = 23$ cm e o cálculo das deflexões máximas ( $w_{max}$ ) nas paredes foi efetuado ao adotar as equações (24) e (25), ao assumir  $I=23$ cm,  $t=1,2$ cm, obtendo  $I=3,312$ cm $^4$  e ao assumir, também,  $L=78$ cm e  $E=114000$  kg $_f$ /cm $^2$  (11400MPa) para obter os valores das deflexões teóricas e que, juntamente com as deflexões médias experimentais ( $\delta_{mc}$ ) são apresentadas na Tabela 04.

TABELA 04 : Deflexões teóricas e experimentais no estado estático de carregamento das paredes do silo.

$Y$ (m)	$P_v$ (MPa).10 $^{-5}$	$P_h$ (MPa).10 $^{-5}$	Viga $w_{max}$ (mm)UD		$\delta_{mc}$ (mm)
			Bi-articulada	Bi-engastada	
0,45	169	72,2	2,15	0,43	0,34
0,90	301,2	129,5	3,80	0,76	0,56
1,41	414,3	178,2	5,25	1,05	0,80

UD - Para carga uniformemente distribuída

As curvas apresentadas na Figura 18 demonstram que, das hipóteses assumidas, a curva que representa as deflexões teóricas na viga biarticulada não se ajustou bem a curva que representa as deflexões experimentais obtidas. Todavia, a curva que representam as deflexões teóricas em viga biengastada, ficou bastante próximas à curva que representa as deflexões experimentais. A observação da curva dos modelos teóricos que melhor se ajustou a curva dos valores experimentais pela análise gráfica, foi a curva que representa as deflexões em viga biengastada com carga uniformemente distribuída, por superar em área, a curva que representa os valores experimentais, o que dá segurança e mostrar confiabilidade do método aplicado, por está próxima à curva experimental.

Os resultados deste item mostram, que a forma como as peças, que constituíram a parede do silo, foram dispostas, funcionou mais adequadamente como viga bi-engastada.

As deflexões obtidas pelo do modelo teórico na condição adotada para viga biarticulada, representadas na Tabela 04, além de subestimarem as deflexões experimentais, resultou em valor máximo de 5,25mm, superior ao recomendado pela ABNT-NBR 7190, que, para ações de longa duração estabelece  $L/200$ , o que resulta em 3,9mm.

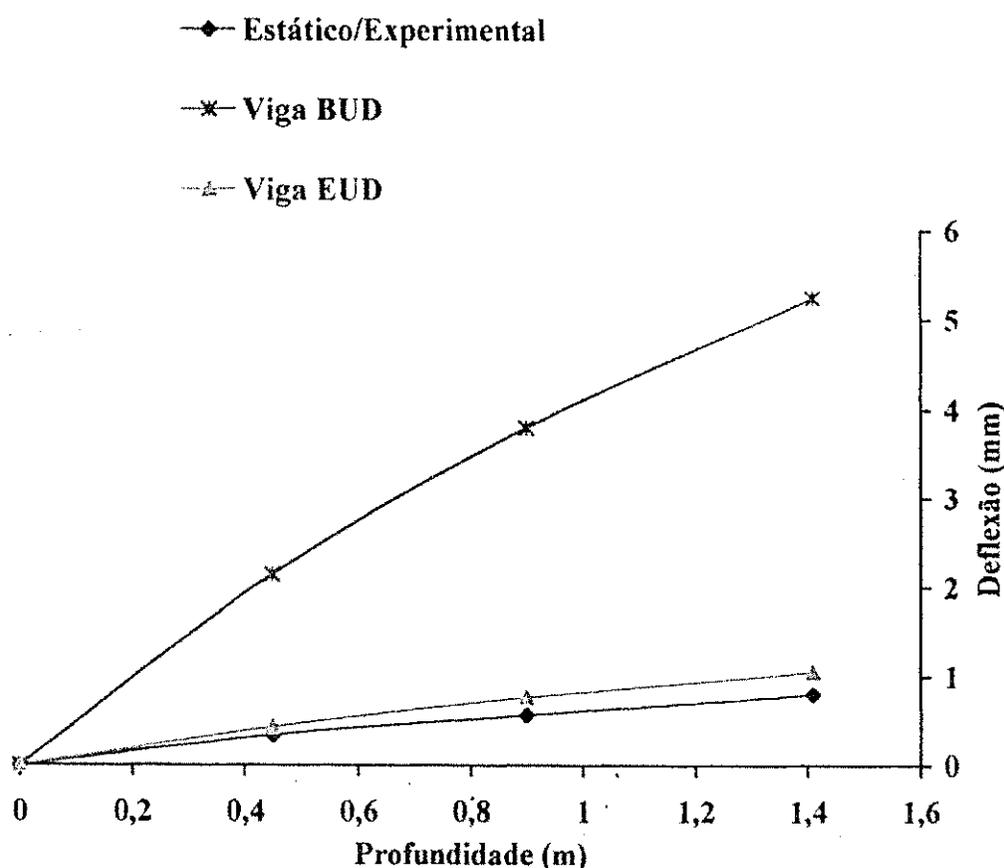


FIGURA 18 - Curvas de modelos teóricos propostos e valores experimentais das deflexões

No estado estático de carregamento na parede da tremonha, o cálculo teórico das deflexões ( $w$ ) apresentadas na Tabela 05, referente ao ponto médio da parede da tremonha, antes de ser efetuado fez-se a convenção da geometria da face, de

trapezoidal para retangular. Seguindo as recomendações GAYLORD citado CALIL JUNIOR et al (1997), para obter a base efetiva ( $b_e=50\text{cm}$ ) e a altura efetiva ( $h_e=41\text{cm}$ ), por ser  $b_1/b_2=6,3 > 4$ , foram aplicadas as equações (20) e (21) ao ser considerada a largura maior do vão na face da tremonha ( $b_1=75\text{cm}$ ), a largura menor do vão na face da tremonha ( $b_2=12\text{cm}$ ) e o comprimento da diagonal do vão na face da tremonha ( $h=53,6\text{cm}$ ).

Para o cálculo das deflexões, também, foram consideradas duas situações. A primeira situação, considerou-se que eixo longitudinal da viga coincidiu com o sentido horizontal e os valores assumidos foram: o momento de inércia na face da tremonha no sentido horizontal ( $I_h= 11.6 \text{ cm}^4$ ), a largura do vão ( $I_u=b_e=41\text{cm}$ ), o comprimento do vão ( $L=50\text{cm}$ ), o módulo de elasticidade adotado no sentido horizontal ( $E_{1,90}= E_{1,90}/20 = 5700 \text{ kgf/cm}^2 \text{ ou } 570\text{MPa}$ ) paralela às fibras e a carga linear ( $q$ ) obtida através da tensão normal na tremonha ( $R_n=484,9 \text{ kgf/m}^2 \text{ ou } 484,9.10^{-5}\text{MPa}$ ), que foi calculado pela ordem sucessiva de equações, desde (26) até a (29) sem adotar o coeficiente ( $C_d$ ) por considerar que o produto, para esta ocasião, ficou em estado estático. A segunda situação, considerou-se que eixo longitudinal da viga coincidiu com o sentido meridional e os valores assumidos foram: o momento de inércia na face da tremonha no sentido meridional ( $I_m= 14 \text{ cm}^4$ ), o módulo de elasticidade adotado no sentido meridional ( $E_{1,0}=114000 \text{ kgf/cm}^2 \text{ ou } 11400\text{MPa}$ ) paralela às fibras, o comprimento do vão ( $L=41\text{cm}$ ) a carga linear ( $q$ ) obtida através da tensão normal na tremonha ( $R_n=484,9 \text{ kgf/m}^2 \text{ ou } 484,9.10^{-5}\text{MPa}$ ) e a largura do vão ( $I_u=h_e=50\text{cm}$ ).

Os valores das deflexões teóricas das situações consideradas e juntamente com os valores das deflexões experimentais são apresentados na Tabela 05. Os modelos teóricos aplicados não apresentaram resultados satisfatórios fazendo uma análise de comparação dos resultados.

A condição de viga assumida para o cálculo da deflexão, nas duas hipóteses adotadas para o ponto médio da tremonha apresentaram valores, que algumas vezes foram muito superiores, e em outras vezes apresentaram valores muito inferiores, quando comparados com os valores experimentais das deflexões.

TABELA 05 - Valores das deflexões teóricas e experimentais no ponto médio na parede da tremonha

<i>Esforço normal</i>	<i>Horizontal</i>	<i>Meridional</i>	<i>Pm - 22,5cm</i>
$R_n=484 \text{ kgf/m}^2$	$w_{max}(mm)$	$w_{max}(mm)$	$\delta_{me}(mm)$
	L=50cm	L=41cm	
<i>Viga bi-engastada</i>	4,9	0,11	0,86
<i>Viga bi-articulada</i>	24	0,55	0,86

Pm - Ponto médio do seguimento meridional e horizontal da tremonha

Provavelmente, a forma geométrica da tremonha, a maneira como as faces da tremonha foram confeccionadas e as condições de contorno oferecidas pelas cantoneiras, tenham sido determinantes na disparidade entre os valores experimentais e os modelos teóricos aplicados.

As duas situações consideradas, no eixo meridional e no eixo horizontal, apresentaram valores que analisados, em situações práticas pode ser recomendado na elaboração de projetos de tremonha com geometria tronco piramidal, utilizar as peças de madeira de forma que as fibras fiquem paralelas ao eixo longitudinal no sentido meridional, pois neste sentido as deflexões teóricas são menores que as experimentais. As condições adotadas ao eixo horizontal, em que o módulo de elasticidade perpendicular às fibras na tração é 1/20 do módulo de elasticidade paralelo às fibras na tração, apresentou deflexão de 24 mm, para viga bi-articulada, muito superiores as recomendadas pela ABNT-NBR 7190, onde L/200, que implica numa deflexão de 2,5 mm, sendo também inferior a uma valor 4,9 mm, que foi a deflexão teórica obtida na condição de viga bi-engastada.

As deflexões ocorridas no estado dinâmico do ponto C; na parede do silo, teve com maior valor registrado 1,20mm durante a descarga do célula. Neste ponto, em termos de pressões, pela norma DIN 1055/1987 assumiu-se um coeficiente de sobrepressão( $C_d$ ) de 1,4 para aplicar no cálculo da pressão horizontal de descarga ( $P_{hd}$ ), que é obtida por  $Ph.C_d$ , em que a pressão horizontal ( $P_h$ ) é calcula pela equação (2) adotando a profundidade ( $y$ ) de 1,41m e a pressão de descarga somada a pressão adicional ( $P_s=\gamma.b$ ),  $P_{hd}=P_{hd}+P_s$ . Os resultados dos cálculos das pressões e das flexões

teóricas juntamente com a deflexão máxima experimental de descarga ( $\delta_d$ ) são apresentadas na Tabela 06. O carregamento considerado no cálculo das deflexões teóricas máximas ( $w_{max}$ ), foi como viga bi-articulada com carga uniformemente distribuída (VBUD) e como viga bi-engastada com carga uniformemente distribuída (VEUD) e aplicou-se as equações (24) e (25).

TABELA 06 - Valores das deflexões em função da pressão no ponto C no estado dinâmico de carregamento

Ponto (m)	Cd - DIN	Ph (kg/m <sup>2</sup> )	Phd (Kgf/m <sup>2</sup> )	w <sub>max</sub> (mm) VBUD	w <sub>max</sub> (mm) VEUD	δ <sub>d</sub> (mm) Máximo
1,41	1,4	178,2	249,5	7,35	1,47	1,20
		P <sub>s</sub> = 459,2	708,7	20,75	4,15	

As deflexões experimentais foram subestimadas, quando comparadas as deflexões teóricas para a condição VEUD, mas apresentaram valores próximos, e foram muito subestimada, quando comparadas as deflexões teóricas para a condição de VBUD. As deflexões teóricas para a condição VEUD e para a condição VBUD, calculada ao considerar a pressão adicional na pressão horizontal de descarga, foram, significativamente, superior a deflexão experimental máxima obtida, o que pode ser observados nos dados da Tabela 06. A condição assumida de VEUD, considerando no cálculo das deflexões as pressões adicionais estabelecidas pela norma DIN 1055/1987 apresentou deflexão teórica de 4,15 > 3,9mm permitido pela ABNT-NBR 7190, para a parede em questão já citada anteriormente. Vale ressaltar que as comparações feitas foram aplicadas a um silo modelo, com a razão altura ( $H$ ) sobre o lado da seção transversal do silo ( $L_a$ ),  $H/L_a=1,41/0,86 = 1,64$ .

Em situações práticas, o projetista deve atentar para o estado de fluência nas paredes do silo, considerando que em trabalhos desenvolvidos por CALIL JUNIOR et al (1995), sobre a aumento da flecha no ensaio de fluência, observou acréscimo nas deflexões de 8 a 29%.

#### 4.4 Umidade do produto

O teor de umidade de um produto que influencia em seu peso específico, para o decorrente estudo, o teor de umidade do guaraná foi de 10,8 %b.u. e o peso específico apresentado de  $534 \text{ kg}_f/\text{m}^3$ . Todavia, com teor de umidade de aproximadamente 7 %b.u. o peso específico do guaraná foi de  $480 \text{ kg}_f/\text{m}^3$  ( CLODOMIR T. AQUINO, Antartica - Informações prestadas em 1999). Deve-se considerar que, o teor de umidade de um produto armazenado em silos verticais, aumentam o atrito interno e o atrito do produto com as paredes, o que pode influenciar na descarga e alterar a forma de fluxo.

A conservação de um produto granular está relacionado ao teor de umidade, pois, quando é alto, o teor de umidade compromete as propriedades organolépticas de vários produtos, e o para o grão de guaraná, tem-se a mesma importância. Assim, o grão precisa ser mantido em 12%, por já se ter dados, que grãos de guaraná, secos ao sol, armazenado em sacarias por aproximadamente um ano, apresentavam proliferação de microorganismos. Encontra-se também, grãos de guaraná seco por torrefação e estocados em sacarias, por aproximadamente quatro anos sem alteração das propriedades organolépticas, mas que houve a ação de roedores.

#### 4.5 Vazão de descarga e tipo de fluxo

A vazão máxima do produto foi de 4,22 kg/s, para orifício de descarga com seção de 12 x 12cm, a vazão mínima obtida foi de 0,44 kg/s, quando foi adotada a seção de abertura de 2,5 x 12cm. O método direto foi utilizado na obtenção das vazões e o tempo de enchimento do silo foi de aproximadamente 40 minutos. O tipo de fluxo observado, durante o escoamento do produto com seção de abertura de 12 x 12cm, foi o de massa. O orifício de descarga, com seção de abertura de 2,5 x 12cm o tipo de fluxo observado foi de funil. Na seção de abertura 2 x 12cm a condição de vazão ficou indefinida, ou seja, o produto fluiu somente por vibrações provocadas na parede do silo.

O produto não apresentou propriedades coesivas, no entanto a relação entre o diâmetro médio dos grãos e o orifício de saída, conforme citado por alguns pesquisadores, deve ser considerada. Assim sendo, nestes experimentos a relação mais significativa seguiu a recomendação de LENZNER citado por FORTES FILHO (1985), que considerar o orifício mínimo de saída três vezes maior que o diâmetro médio dos grãos. A quantidade de pós e outras impurezas finas registradas durante os ensaios eram de aproximadamente 0,3%, que não influenciou durante o fluxo. Todavia, a quantidade de partículas finas podem aumentar o atrito entre os grãos e ocasionar coesão (RAVENET, 1983).

#### 4.6 Granulometria dos grãos

O grão de guaraná apresentou uma granulometria diferenciada, grãos apresentando forma quase esférica e outros achatados. Tomando por base o volume, o grão apresenta o peso baixo, em virtude do guaraná apresenta uma particularidade a mais, que é o diâmetro e o peso com casquilho da forma como é comercializado, e o diâmetro e o peso somente da amêndoa, pois, neste último caso a densidade é maior, quando considerada a mesma unidade de volume.

A classificação granulométrica dos grãos foi efetuada baseada na Figura 19 e as peneiras utilizadas para o teste granulométrico foram 12,5mm, 9,52mm e de 4,70mm por critérios da ABNT-NBR 5734 (BAUER, 1999). Tanto durante o enchimento do silo quanto na descarga foram gerados pós. segundo RAVENET (1978) o pó em suspensão no ar, o com partículas menores 200 $\mu$ m, são susceptíveis a incêndio.

O coeficiente de uniformidade, estabelecido pela ABNT-NBR 7211 citado por CAPUTO (1996), é dado por:

$$C_u = \frac{C_{60\%}}{C_{10\%}}, \text{ pela Figura 17, chega-se ao valor } 1,3 < 5, \text{ que pelos padrões da ABNT-}$$

NBR 7211 é considerado de granulometria uniforme. O diâmetro médio do grão de guaraná foi 9mm aproximadamente. Segundo RAVENET (1983) com esse diâmetro, o produto é classificado como granular. Apesar de ser classificado pelo coeficiente de

uniformidade, como uniforme, o comércio do guaraná exige uma melhor padronização do grão, que atualmente é feito por peneiramento.

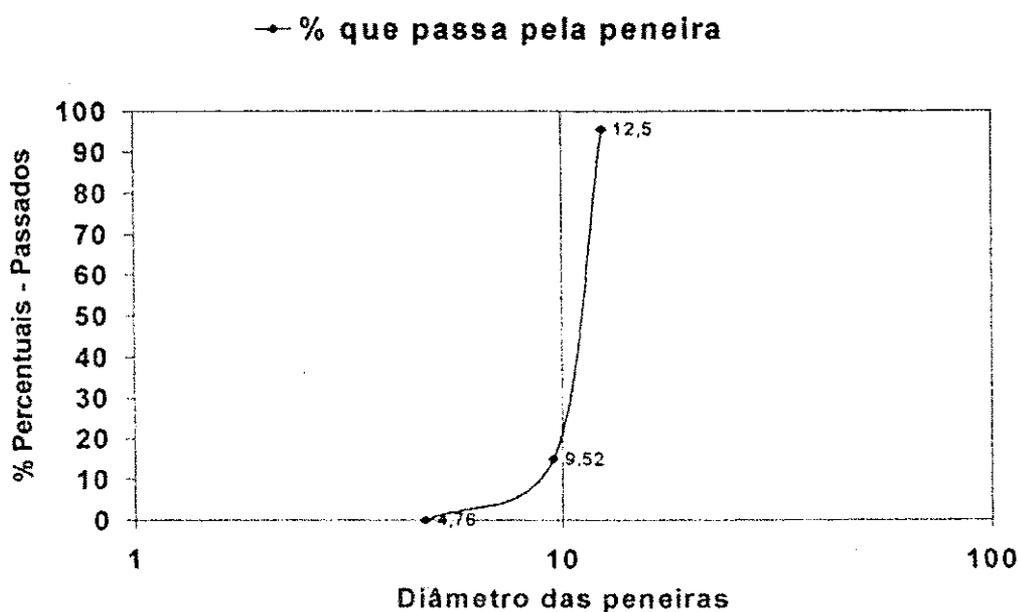


FIGURA 19 - Curva granulométrica do guaraná

#### 4.7 O silo e as condições ambientais

Durante os experimentos, a temperatura ambiente da sala de ensaios variou de 26,9 a 28,4°C, a temperatura ambiente fora da sala variou de 29 a 31°C e a umidade relativa média foi de 78 a 84%. Terminado os experimentos com o guaraná na sala de ensaios, o silo teve um dos lados, exposto às condições de chuva e sol, o que pôde ser observado um pequeno empenamento (encanoamento) nas peças e o aparecimento de fungos manchadores. Segundo OLIVEIRA, VALMIR (UA-Manaus, Informações prestadas em 2000), os fungos manchadores não chegam a comprometer a estrutura, todavia, para que a mesma tenha maior durabilidade é necessário utilizar espécies mais resistentes ou devem ser protegidas do sol e da chuva. Caso a estrutura tivesse que ficar, toda ela exposta, os experimentos mostraram que seria necessário efetuar a impermeabilização das paredes do silo.

Os parafusos, que serviram de ligação entre as paredes e as colunas, no lado externo do silo e exposto a ação de agentes atmosféricos sofreram processo de

oxidação e mostram ser de material metálico inadequado. Quanto a madeira, no lado exposto, observou-se a diminuição da coloração natural, que conforme o Catálogo de Madeiras da Amazônia, INPA (1991), é de coloração róseo.

#### 4.8 Conveniências do silo modelo

- Por ser de madeira, o silo apresenta inércia menor que em silos de concreto e de alvenaria, o que implica em menor gasto de material. Sendo a matéria prima disponível na região, viabiliza a amenizar os custos, o que satisfaz a citação segundo (NASCIMENTO, 1997)
- O silo construído de madeira permitiu ao produto armazenado um melhor conforto térmico e impediu que às condições ambientais exteriores influenciem nas condições ambientais internas, as quais causariam a alteração do teor de umidade dos grão armazenado, que implica na qualidade do grão. Por ser uma absorvedora de calor, e também por ser absorvedor de choques, a madeira é um excelente material, em virtude da ocorrência de vibrações e impactos, com muita frequência nos silos verticais durante o enchimento e ou na descarga. Deve-se considerar que, estas ocorrências ao longo do tempo causa à fadiga no material diminuindo sua resistência.
- Por ser um modelo montado, o projeto do silo pode ser encomendado com as peças prontas para montagem, o que possibilita o seu desmonte e a montagem em lugar mais apropriado, logo, deixa de ser uma particularidade dos silos metálicos ou modulares.
- Pode ser recomendado para armazenagem de outros produtos, desde que se tenham os devidos cuidados com o teor de umidade e sejam reavaliadas a condição de fluxo.
- A conformação das peças que constituem as paredes do silo podem ser trocadas sem o total desmonte do silo. Caso seja armazenado materiais coesivos, pode causar o colapso da parede, que segundo RAVENET (1983) as caídas de abóbadas, que são formações de camadas coesas no interior do silo, causam sobrepressões e subpressões nas paredes. Assim, o ponto onde o colapso tenha ocorrido e a peças em que ocorreu a sobrepressão ou efeito sucção, por serem independentes umas das outras, neste silo, não comprometem toda sua vizinhança. Ao contrário das chapas aço nos silos

metálicos, em que as chapas ao entrar em colapso comprometem suas vizinhas por estarem ligadas por parafusos.

- O silo modelo apresenta facilidade na montagem e desmontagem. Como o guaraná é um produto de épocas de colheitas diferenciadas, e quando seco necessita ser estocado enquanto outros são colhidos até o término da colheita. Atende perfeitamente ao critério de prioridade para o produto que foi armazenado primeiro, considera ainda, que o custo do silo é bem mais baixa que os silos metálicos, para o estado do Amazonas.
- Os silos por proporcionarem uma armazenagem mais adequada tecnicamente, podem estimular o cultivo do guaraná na região; não correndo o risco de um impasse semelhante ao ocorrido em 1948, em que o país perdeu fronteiras comerciais com Europa e os Estados Unidos. Também, pode-se viabilizar uma política reguladora de estoque que influencie no preço final dos derivados do guaraná.

#### **4.9 Recomendações para projetos e na instalação do silo**

- Ao projetista, na avaliação das cargas pelas flexões, é necessário adicionar o efeito de fluência no material.
- O método adotado para a viga biengastada é mais adequado na avaliação das deflexões nas paredes em silos com seções retangulares, por apresentarem valores satisfatórios, e ainda, estarem dentro dos parâmetros estabelecidos pela ABNT-NBR 7190.
- Antes de instalar, conhecer a espécie de madeira e seus devidos tratamentos, de acordo com as condições locais a que o silo vai ser submetido.
- Informar ao produtor o teor de umidade que o guaraná precisa ser estocado, como encher e esvaziar o silo. Também, advertir sobre o teor de pós e impureza, que podem gerar problemas de descarga e provocar incêndio.
- Adotar fluxo de massa.
- Aumentar a capacidade da célula para 2000kg<sub>r</sub> (40 sacas de guaraná).
- Desenvolver modelo de silo multicelular com descargas distintas.

## 5 CONCLUSÕES

- O silo desenvolvido, dado as suas características apresentada é adequado a região Norte.
- Para a avaliação das deflexões teóricas nas paredes do silo, a condição de viga bi-engastada com carga uniformemente distribuída, foi satisfatória.
- A forma de enchimento do silo gerou acréscimo de pressão nas paredes.
- Para a avaliação das deflexões nas paredes da tremonha, nenhum método aplicado foi satisfatório, provavelmente, devido a instrumentação utilizada e a rigidez do modelo.
- A madeira utilizada é recomendada para a construção de silos, desde que utilizado sobre abrigo.
- O projeto do silo e a confecção das peças exigiram bastante critério, a instalação foi simples e prática.
- No processo construtivo, a etapa que apresentou mais detalhamento foi a confecção da tremonha.
- A condição de fluxo apresentada foi bastante favorável e adequada para fins práticos.

**Procedimento de pesquisa:**

- Avaliar detalhadamente o teor de umidade adequado para a armazenagem do grão de guaraná, quando seco ao sol.
- Analisar o comportamento grão de guaraná condicionado formas convencionais de secagem e aeração.
- Estudar as propriedades físicas do grão de guaraná, que são praticamente desconhecidas e as propriedades mecânicas, que são ainda, totalmente desconhecidas.
- Realizar estudos comparativos dos custos entre silos metálicos, silos de alvenaria e silos de madeira para o Estado do Amazonas.
- Avaliar a ordem granulométrica das impurezas e pós do guaraná.
- Estudar o comportamento das propriedades mecânicas e físicas da madeira, quando expostas as condições naturais do Estado do Amazonas.
- Em silos de madeira, estudar o efeito de fluência e o efeito das vibrações, ao longo do tempo, nas propriedades mecânicas da madeira.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: **Norma de Estruturas de Madeira**. São Paulo, USP. ABNT, 1997.
- BAUER, FALCÃO. L.A. **Materiais de Construção**. 5ª ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos Científicos, 1994. V.2, p. 437-523.
- BARROS, A. CRISTINA & VERÍSSÍMO, ADALBERTO. **A expansão da Atividade Madeireira na Amazônia**. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia – IMAZON, 1996.
- BEARD, R. **Grain Silos in reinforced brickwork**. Chief Technical and Research Officer. Lond Brick PLC, Bedford. Reinforced and prestressed masonry. Thomas Telford Ltd, London, p. 43-52, 1982.
- BEER, FERDINAND. P. **Resistência dos materiais**. Trad. de E. RUSSELL JOHNSTON, JUNIOR. São Paulo. Mc Graw-Hill, 1989. Cap. 8 e 9, p. 433 - 518.
- CALIL JUNIOR, C.; NASCIMENTO, J. WALLACE B. do. **Projeto de silos usando materiais não convencionais: Silos de madeira**. In: XXVI CONGRESSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. Campina Grande, 1997. p.3.
- CALIL JUNIOR, C.; NASCIMENTO, J. WALLACE B. do; ARAÚJO, E. CARLOS de. **Silos Metálicos Multicelulares**. USP, Universidade de São Paulo - EESC, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos-SP: Serviço Gráfico EESC/USP, 1997. 178p.
- CALIL JUNIOR, C. **Silos de Madeira à Nível de Fazendas**. In: 1º ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, Vol. VI, São Carlos, 1983. Anais. São Carlos-SP: EBRAMEM/EESC/USP, 1983.

- CALIL JUNIOR, C.; BALLARIN, A. W. GNER; MARTINELLI, EDAMAR. **Fluência em peças fletidas de madeira.** In: V ENCONTRO BRASILEIRO EM MEDEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, Vol,II, Belo Horizonte, 1995. Anais. Belo Horizonte. EBRAMEM, 1995.
- CALIL JUNIOR, C.; BARALDI, L. TÚLIO. **Estrutura de Madeira.** Programa PAE. São Carlos. USP/EESC/LAMEM. 1997. Xerocopiado/Apostila. p.8-42.
- CAPUTO, H. PINTO. **Mecânica dos solos.** São Paulo. Livros Técnicos Científicos, 1985/ reimpressão, 1996. p.26.
- CORRÊA, P. CESAR. **Necessidade de uma estrutura de armazenagem em nível de fazenda.** Informe Agropecuário. Belo Horizonte-MG, 1983. p. 28-30.
- PETRUCCI, ELÁDIO G. R. **Materiais de Construção.** Porto Alegre-RS. Fundação Nacional de Material Escolar, 1976. p.139-140.
- \_\_\_\_\_. **Caracterização técnica de unidades armazenadoras.** Informe Agropecuário. Belo Horizonte, 1983. p. 24-25.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; UEPAE, Unidade de Execução de pesquisa de Âmbito Estadual de Manaus. Manaus- AM: 1983.1º **Simpósio Brasileiro do guaraná.** p. 43-47.
- \_\_\_\_\_. **Aspectos Gerais da Cultura do Guaraná.** Manaus -AM, 1988. p.16.
- EMBRAPA , Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária; CPAA, Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Ocidental. **Sistema de Produção Manaus.** 3ª ed. Manaus – AM EMBRAPA, 1983. 34p.
- FORTES FILHO, J. **Uma Introdução ao Estudo dos Silos.** São Carlos - SP. EESC/USP, 1985. p. 63 -135.
- HARA, F.; ALMEIDA, F. de A. C. ; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. **Estrutura de Armazenagem a nível de produtor.** In: XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. Cap. I., Campina Grande- PB, 1997. p. 2-48.
- WILLEMS, NICHOLAS. **Resistência dos Materiais.** 1934. Trad. de ENIO R. da SILVA. São Paulo. McGraw, 1983. Cap.1, p.297.

IBDF, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal. COPLAN, Coordenadoria de Planejamento - Ministério da Agricultura. **Diagnóstico de Mercado de Madeiras e Derivados**. IBDF, 1985. Vol II.

\_\_\_\_\_. PNPf, Programa Nacional de Pesquisa Florestal. EMBRAPA. Ministério da Agricultura. **Incentivos Fiscais e a Pesquisa Florestal no Brasil**. Manaus. IBDF, 1985. Vol II. p.7.

INPA. **Catálogo de Madeira da Amazônia. Características Tecnológicas. Área da Hidrelétrica de Balbina**. Manaus- AM. INPA, 1991. 153p.

LOREIRO, ARTHUR A. ; SILVA, MARLENE F. da; ALENCAR, J. da CRUZ. **Essências Madeireiras da Amazônia**. Superintendência da Zona Franca de Manaus – SUFRAM. Manaus. INPA, 1979. Vol. I.

RAVENET, J. **Flujo de vaciado de sólidos. Formación de bóvedas. Efectos**. Barcelona, Espanha: Técnicos Asociados S.A., 1983. 335p.