

6 PROJETO DE SILOS USANDO MATERIAIS NÃO CONVENCIONAIS: SILOS DE MADEIRA

Autores:

Prof. Dr. Carlito Calil Junior

**Prof. Dr. José Wallace Barbosa do
Nascimento**

I - INTRODUÇÃO

Este capítulo tem como finalidade principal a apresentação de quatro tipos de silos desenvolvidos em nível de dissertação de mestrado no Laboratório de Madeiras e de

Estruturas de Madeira (LaMEM) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo (USP), como uma alternativa de solução de armazenamento para o pequeno agricultor.

Embora a madeira seja um material estrutural convencional, ela é muito pouco utilizada na construção de silos devido a falta de conhecimento do material e de tecnologia adequada para a construção de estruturas de madeira.

Serão apresentados os projetos e os detalhes construtivos de quatro tipos de unidades armazenadoras, sendo duas verticais e duas horizontais, utilizando madeira maciça e madeira compensada.

O primeiro tipo foi o trabalho desenvolvido por CALIL (1978) que corresponde a uma unidade armazenadora vertical de seção circular, projetado e construído com madeira maciça e capacidade de 20 m³ de cereais. O segundo tipo foi o trabalho desenvolvido por VAZ (1987) que corresponde a uma unidade armazenadora vertical de seção hexagonal, projetado com madeira compensada e capacidade de 30 m³ de cereais. O terceiro tipo foi o trabalho desenvolvido por GOMES (1994) que corresponde a uma unidade armazenadora horizontal para armazenamento de laranjas, com sistema construtivo modular, projetado com madeira maciça e capacidade de 40 toneladas por módulo. Finalmente, o quarto tipo foi o trabalho desenvolvido por FASSONI (1994) que corresponde a uma unidade armazenadora horizontal, com sistema construtivo modular, projetado com madeira compensada e capacidade de 10 m³ por módulo.

II - A MADEIRA

A idade da madeira é maior que a história da humanidade. As idades da pedra, ferro e bronze são parte do progresso da humanidade, mas a madeira - uma fonte renovável - tem permanecido sempre em moda. Como um material de construção, a madeira é abundante, versátil e facilmente obtida. Sem ela, a civilização como conhecemos teria sido impossível.

Quase metade da área do Brasil é floresta. Se tecnologicamente manipulada e protegida de desastres naturais causados por fogo, insetos e doenças, as florestas vão durar para sempre. Conforme as árvores mais velhas são retiradas, elas são substituídas por árvores novas para reabastecer a oferta de madeira para as gerações futuras. O ciclo de regeneração, ou campo de sustentação, pode ser igual ou superar o volume que está sendo utilizado.

A resistência da madeira, baixo peso e baixo consumo energético são propriedades essenciais para a construção civil. A madeira é capaz de suportar sobrecargas de curta duração sem efeitos adversos. Contrário a crença popular, grandes peças de madeira tem boa resistência ao fogo e melhor que outros materiais em condição severas de exposição ao fogo. Do ponto de vista

econômico, a madeira é competitiva com outros materiais em base de custos iniciais e apresenta vantagens quando comparadas ao custo a longo prazo.

A idéia equivocada que a madeira tem uma pequena vida útil tem negligenciado-a a madeira como material de construção. Embora a madeira seja susceptível ao apodrecimento e ataque de insetos sob condições específicas, ela é um material muito durável quando utilizada com tecnologia e tratamento químico, pois pode ser efetivamente protegida contra deterioração por período de 50 anos ou mais. Além disso, a madeira tratada com preservativos requer pouca manutenção e pinturas.

Parte da tecnologia da madeira sobreviveu sob uma forma de artesanato por alguns, mas a maior parte se perdeu irremediavelmente substituída por outros materiais e outros métodos. A utilização da madeira nas instalações armazenadoras, como tulhas, paióis e pequenos silos, é muito antiga e sempre se processou em condições precárias.

A falta de conhecimento do material e de tecnologia adequada para a construção de estruturas de madeira sempre desfavoreceu o melhor aproveitamento da madeira como material de construção para silos, visto que na realidade, a madeira apresenta ótimas condições técnicas para o armazenamento de cereais.

Durante o desenvolvimento deste trabalho serão analisadas as principais propriedades físicas e mecânicas da madeira com a finalidade de aplicação em estruturas de armazenamento. Apresentam-se também detalhes estruturais das paredes de silos de madeira e de compensado construídos no Brasil para o armazenamento de cereais em nível de fazendas.

DISPONIBILIDADE NACIONAL DE MADEIRAS

Madeiras de Florestas Naturais

As florestas naturais da Amazônia são imensuráveis, mesmo na atualidade. Uma área estimada em 5.000.000 (cinco milhões) de quilômetros quadrados é definida pela Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), como Amazônia Legal no Brasil.

Na situação atual a SUDAM tem divulgado estimativas resultantes dos levantamentos realizados pela FAO, admitindo a existência de cerca de 250.000.000 (duzentos e cinquenta milhões) de hectares, ou seja, apenas metade da Amazônia Legal Brasileira, como sendo constituída pela grande "Floresta de Terra Firme", formada por florestas tropicais de valor inestimável, em solos ricos e profundos, situados em planaltos não sujeitos às enchentes atuais das regiões ribeirinhas e praticamente inatingidas pelo homem.

Os outros 250 milhões de ha da Amazônia Legal são constituídos por aproximadamente 10 milhões de ha de florestas existentes nas margens dos rios, a "Floresta de Várzea", por cerca de 140 milhões de ha de matas ralas ou "caatingas, a "Floresta Rala" e por aproximadamente 100 milhões de ha de campos e ou savanas, designadas como "Campo".

É das florestas das margens dos rios, inundáveis anualmente, que tem sido até hoje retirada a madeira da Amazônia. Essas florestas ocupam, entretanto, a área

relativamente diminuta de um cinqüenta-avos do solo amazônico. É essa a parte da floresta amazônica que se encontra em solo de pequena espessura, com sub-solo arenoso, facilmente transformável em areal, caso não seja promovida a sua recuperação natural nem seu reflorestamento.

Com base em estimativas feitas através dos resultados dos levantamentos florestais da FAO, sabe-se da existência de pouco menos de 100 m³ de madeira por hectare, de árvores com troncos acima de 25cm de diâmetro na base, na "Floresta de Várzea", resultando um potencial total atual mínimo de um bilhão de metros cúbicos de madeira na "Floresta de Várzea". Essa madeira seria suficiente para suprir as necessidades mundiais de madeiras nobres por um ano, caso todas as demais fontes de suprimento parassem de funcionar e o Brasil viesse a atender a toda a demanda internacional.

Estimativas partindo dos levantamentos da FAO indicam também pouco menos de 200 m³ de madeira por hectare, na Floresta de Terra Firme, com árvores tendo diâmetro na base do tronco acima de 25cm, usualmente comercializáveis, permitindo prever um potencial total mínimo de 50 (cinqüenta) bilhões de metros cúbicos de madeira na "Floresta de Terra Firme". Essa madeira daria na demanda atual, para atender as necessidades mundiais de madeira por 50 anos, caso o Brasil viesse atender sozinho a essa demanda.

Madeiras de Reflorestamento

Pelas estimativas de reflorestamento no Brasil entre 1969 e 1974 foram plantadas 3,5 bilhões de árvores, em área equivalente a pouco mais de 1.580.000 ha. Em produção cíclica essa área poderia produzir pelo menos 35 bilhões de metros cúbicos de madeira anualmente.

O reflorestamento de área, trinta vezes maior, atenderia a demanda internacional anual total de madeira para indústria e cobriria apenas um vigésimo do território nacional, certamente disponível para reflorestamento.

Há, portanto, ampla perspectiva para o crescimento florestal nacional e, conseqüentemente, atendimento das necessidades nacionais e do mercado internacional.

A madeira de reflorestamento geralmente é cortada após 5 a 7 anos de crescimento para uso industrial; para a obtenção de madeira estrutural os cortes deveriam ser seletivos, de maneira a restar no fim de 25 a 30 anos apenas um quinto do número de árvores da plantação primitiva, garantindo-se a obtenção de árvores de fuste reto e de boa produção de madeira.

A madeira de reflorestamento como os eucaliptos e os pinus em geral tem emprego certo nas indústrias de transformação da madeira. Para o uso estrutural é da maior importância o reflorestamento com Eucalipto Citriodora.

Madeira Compensada

A industrialização da madeira compensada iniciou nos Estados Unidos e na Alemanha, a partir de algumas espécies de madeira de baixa densidade e poucas formas de arranjos das lâminas. Atualmente, utiliza a maioria das espécies, comercialmente

importantes, e uma grande variedade de tipos de composição, pelos principais países do mundo.

Essencialmente, a madeira compensada constitui-se de dois componentes: as lâminas de madeira e o adesivo.

As lâminas de madeira são obtidas por corte direto da madeira bruta, através de facas. Este corte pode ser executado por faqueamento, forçando-se a faca contra o tronco, ou por corte rotatório, fazendo o tronco girar em torno de seu eixo contra uma faca fixa.

O adesivo é predominantemente de origem sintética (fenol formaldeído, resorcinol-formaldeído), tendo a função de interligar as lâminas.

As chapas de madeira compensada, normalmente são constituídas por um número ímpar de lâminas, dispostas de tal forma que as direções das fibras das lâminas alternadas sejam paralelas e que as direções das fibras das lâminas adjacentes formem um ângulo de 90 graus.

De uma maneira geral, pode-se dizer que o compensado possui duas características peculiares: as lâminas de madeira são ligadas umas as outras por adesivos sintéticos, tal como ocorre na madeira laminada; e a orientação do eixo de simetria destas lâminas que, contrastando com a madeira laminada, são ajustados transversalmente, de acordo com uma disposição pré-determinada de forma a se obter uma equivalência das propriedades elásticas e de resistência, nas direções principais da chapa. A eficiência desta composição transversal pode ser visualizada pela análise dos parâmetros característicos da chapa, em função dos parâmetros das lâminas.

Propriedades Térmicas da Madeira

As características dos materiais de construção utilizados nas estruturas de armazenamento devem oferecer condições térmicas de conservação do produto estocado por período de tempo normalmente prolongado, mantendo inalteradas as propriedades físicas, químicas e biológicas da massa de grãos, e conservando a diferenciação classificatória da espécie e do padrão agrícola do cereal armazenado.

Estas condições térmicas de conservação do produto estocado correspondem principalmente ao controle do teor de umidade e da temperatura dos grãos, e conservando a diferenciação classificatória da espécie e do padrão agrícola do cereal estocado.

Estas condições térmicas de conservação do produto estocado correspondem principalmente ao controle da umidade e da temperatura dos grãos armazenados.

O teor de umidade de semente armazenada influencia geralmente na queda de seu poder germinativo, sendo esta queda é maior quanto mais alto o teor da umidade do produto. O mesmo se pode dizer com relação à temperatura de armazenamento, ou seja, quanto maior esta variável, maior a queda da germinação e vigor do produto.

Por sua vez, a temperatura dos grãos armazenados depende principalmente das características térmicas do material constituinte da parede da instalação armazenadora, da cor da superfície externa da parede, das dimensões da instalação e obviamente das condições atmosféricas da região onde estar localizada a construção.

A madeira é um dos materiais estruturais de construção que apresenta o menor coeficiente de condutibilidade térmica, sendo portanto um bom material para constituir as paredes dos silos.

Propriedades de Resistência e Elasticidade de Madeiras Nativas e de Reflorestamento

Neste ítem são apresentados em tabelas os valores médios das propriedades de rigidez e resistência de algumas madeiras nativas e de florestamento, com a finalidade de fornecer subsídios para o projeto e dimensionamento de silos de madeira para o pequeno agricultor.

TABELA 6.1 - Valores médios de madeiras dicotiledôneas nativas e de florestamento

Nome comum (dicotiledôneas)	Nome científico	$\rho_{ap(12\%)}$ (Kg/m ³)	f_{c0} (MPa)	f_{i0} (MPa)	f_{t90} (MPa)	f_v (MPa)	E_{c0} (MPa)	n
Angelim Araroba	Vataireopsis araroba	688	50,5	69,2	3,1	7,1	12876	15
Angelim Ferro	Hymenolobium spp	1170	79,5	117,8	3,7	11,8	20827	20
Angelim Pedra	Hymenolobium petraeum	694	59,8	75,5	3,5	8,8	12912	39
Angelim Verdadeiro	Dinizia excelsa	1170	76,7	04,9	4,8	11,3	16694	12
Branquilha	Termilalia spp	803	48,1	87,9	3,2	9,8	3481	10
Cafearana	Andira spp	677	59,1	79,7	3,0	5,9	14098	11
Canafistula	Cassia ferruginea	871	52,0	84,9	6,2	11,1	14613	12
Casca Grossa	Vochysia spp	801	56,0	20,2	4,1	8,2	16224	31
Castelo	Gossypiospermum spp	759	54,8	99,5	7,5	12,8	11105	12
Cedro Amargo	Cedrella odorata	504	39,0	58,1	3,0	6,1	9839	21
Cedro Doce	Cedrella spp	500	31,5	71,4	3,0	5,6	8058	10
Champagne	Dipterys odorata	1090	93,2	33,5	2,9	10,7	23002	12
Cupiúba	Goupia glabra	838	54,4	62,1	3,3	10,4	13627	33
Catiúba	Qualea paraensis	1221	83,8	86,2	3,3	11,1	19426	13
E. Alba	Eucalyptus alba	705	47,3	69,4	4,6	9,5	13409	24
E. Camaldulensis	Eucalyptus camaldulensis	899	48,0	78,1	4,6	9,0	13286	18
E. Citriodora	Eucalyptus citriodora	999	62,0	123,6	3,9	10,7	18421	68
E. Cloeziana	Eucalyptus cloeziana	822	51,8	90,8	4,0	10,5	13963	21
E. Dunnii	Eucalyptus dunnii	690	48,9	139,2	6,9	9,8	18029	15
E. Grandis	Eucalyptus grandis	640	40,3	70,2	2,6	7,0	12813	103
E. Maculata	Eucalyptus maculata	931	63,5	15,6	4,1	10,6	18099	53
E. Maidene	Eucalyptus maidene	924	48,3	83,7	4,8	10,3	14431	10
E. Microcorys	Eucalyptus microcorys	929	54,9	18,6	4,5	10,3	16782	31
E. Paniculata	Eucalyptus paniculata	1087	72,7	147,4	4,7	12,4	19881	29
E. Propinqua	Eucalyptus propinqua	952	51,6	89,1	4,7	9,7	15561	63

E. Punctata	Eucalyptus punctata	948	78,5	125,6	6,0	12,9	19360	70
-------------	---------------------	-----	------	-------	-----	------	-------	----

As propriedades de resistência e rigidez apresentadas neste anexo foram determinadas pelos ensaios realizados no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras (LaMEM) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC) da Universidade de São Paulo.

$\rho_{ap(12\%)}$ = massa específica aparente a 12% de umidade

f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras

f_{t0} = resistência à tração paralela às fibras

f_{t90} = resistência à tração normal às fibras

f_v = resistência ao cisalhamento

E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras

n = número de corpos de prova ensaiados

Coefficiente de variação para resistências a sollicitações normais $\delta = 18\%$

Coefficiente de variação para resistências a sollicitações tangenciais $\delta = 28\%$

TABELA 6.2 - Valores médios de madeiras dicotiledôneas nativas e de florestamento

Nome comum (dicotiledôneas)	Nome científico	$\rho_{ap(12\%)}$ (Kg/m ³)	f_{c0} (MPa)	f_{t0} (MPa)	f_{t90} (MPa)	f_v (MPa)	E_{c0} (MPa)	n
E. Saligna	Eucalyptus saligna	731	46,8	95,5	4,0	8,2	14933	67
E. Tereticornis	Eucalyptus tereticornis	899	57,7	115,9	4,6	9,7	17198	29
E. Triantha	Eucalyptus triantha	755	53,9	100,9	2,7	9,2	14617	08
E. Umbra	Eucalyptus umbra	889	42,7	90,4	3,0	9,4	14577	08
E. Urophylla	Eucalyptus urophylla	739	46,0	85,1	4,1	8,3	13166	86
Garapa Roraima	Apuleia leiocarpa	892	78,4	108,0	6,9	11,9	18359	12
Guaíçara	Luetzelburgia spp	825	71,4	115,6	4,2	12,5	14624	11
Guaruaia	Peltophorum vogelianum	919	62,4	70,9	5,5	15,5	17212	13
Ipê	Tabebuia serratifolia	1068	76,0	96,8	3,1	13,1	18011	22
Jatobá	Hymenaea spp	1074	93,3	157,5	3,2	15,7	23607	20
Louro Preto	Ocotea spp	684	56,5	111,9	3,3	9,0	14185	24
Maçaranduba	Manilkara spp	1143	82,9	138,5	5,4	14,9	22733	12
Mandioqueira	Qualea spp	856	71,4	89,1	2,7	10,6	18971	16
Oiticica Amarela	Clarisia racemosa	756	69,9	82,5	3,9	10,6	14719	12
Quarubarana	Erismia uncinatum	544	37,8	58,1	2,6	5,8	9067	11
Sucupira	Diploptropis spp	1106	95,2	123,4	3,4	11,8	21724	12
Tatajuba	Bagassa guianensis	940	79,5	78,8	3,9	12,2	19583	10

TABELA 6.3 - Valores médios de madeiras coníferas nativas e de florestamento

Nome comum (coníferas)	Nome científico	$\rho_{ap(12\%)}$ (Kg/m ³)	f_{c0} (MPa)	f_{t0} (MPa)	f_{t90} (MPa)	f_v (MPa)	E_{c0} (MPa)	n
Pinho do Paraná	Araucaria angustifolia	580	40,9	93,1	1,6	8,8	5225	15
Pinus caribea	Pinus caribea var. caribea	579	35,4	64,8	3,2	7,8	8431	28
Pinus bahamensis	Pinus caribea var.	537	32,6	52,7	2,4	6,8	7110	32

	bahamensis							
Pinus hondurensis	Pinus caribea var.hondurensis	535	42,3	50,3	2,6	7,8	9868	99
Pinus elliottii	Pinus elliottii var. elliottii	560	40,4	66,0	2,5	7,4	11889	21
Pinus oocarpa	Pinus oocarpa shiede	538	43,6	60,9	2,5	8,0	10904	71
Pinus taeda	Pinus taeda L.	645	44,4	82,8	2,8	7,7	13304	15

$\rho_{ap(12\%)}$ = massa específica aparente a 12% de umidade

f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras

f_{t0} = resistência à tração paralela às fibras

f_{t90} = resistência à tração normal às fibras

f_v = resistência ao cisalhamento

E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras

n = número de corpos de prova ensaiados

Coefficiente de variação para resistências a solicitações normais $\delta = 18\%$

Coefficiente de variação para resistências a solicitações tangenciais $\delta = 28\%$

Propriedades de Resistência e Elasticidade da Madeira Compensada

Neste item são apresentados em tabela os valores médios das propriedades de rigidez e resistência das chapas de madeira compensada, com a finalidade de fornecer subsídios para o projeto e dimensionamento de silos de madeira compensada para o pequeno agricultor.

TABELA 6. 4 - Valores médios das chapas de madeira compensada - Madeirit

Espessura Nominal (mm)/ Número de Lâminas	12/09	15/11	18/13	21/15
Tensão de Ruptura à flexão - τ_{rup} (kgf/cm ²)	// 650,36 401,12	625,69 444,14	520,90 438,33	508,46 465,75
Tensão Admissível à flexão - τ_{adm} (kgf/cm ²)	// 180,02 100,92	178,90 116,72	142,20 117,12	143,22 122,73
Módulo de Elasticidade à flexão - ϵ (kgf/cm ²)	// 87156 41080	83486 50662	65953 46891	67176 50153
Bitola Média para efeito de cálculo (mm)	12,00	14,80	17,60	20,40
Tolerância (mm)	0,50	0,50	0,50	0,50
Módulo de Resistência em 1 cm ² - W (cm ³)	0,240	0,365	0,516	0,694
Módulo de Inércia em 1 cm ² - I (cm ⁴)	0,144	0,270	0,454	0,707

Fonte: Catálogo Madeirit

III- SILOS VERTICAIS DE MADEIRA MACIÇA PARA ARMAZENAMENTO DE CEREAIS

Com a finalidade de orientar o projeto e a construção de silos cilíndricos verticais de madeira maciça para o pequeno agricultor, apresenta-se a seguir a descrição dos

principais elementos constitutivos do silo, bem como os detalhes construtivos de um protótipo de 20 m³ de capacidade armazenadora, com encaixes macho e fêmea entre as tábuas das paredes, para armazenamento de produtos granulares.

Corpo do Silo

Os silos projetados e construídos no LaMEM foram de geometria cilíndrica, sendo as paredes formadas por tábuas verticais de 2cm de espessura, com juntas macho e fêmea, usadas como vedação e estruturalmente responsáveis pela resistência à compressão das paredes devidas às forças de atrito. Para a resistência a pressão horizontal foram utilizados anéis de madeira e tirantes metálicos, sendo os anéis de madeira formados por segmentos de vigas de seção 6cm por 16cm, ligados através de cantoneiras metálicas e parafusos com porca. Estes anéis de madeira são também estruturalmente responsáveis pela rigidez transversal do silo para as ações do vento e possíveis ovalizações devidas à excentricidade do fluxo de descarga.

Fundo do Silo

Com a finalidade de realizar a descarga total do silo por gravidade foi projetada e construída uma tremonha poligonal suspensa em oito colunas de madeira de seção 6cm por 16cm. As paredes da tremonha foram construídas com chapas triangulares de madeira compensada de 12mm de espessura fixas entre si por vigas de madeira, cintas metálicas e pela estrutura da válvula de descarga, como é mostrado na Figura 6.1.

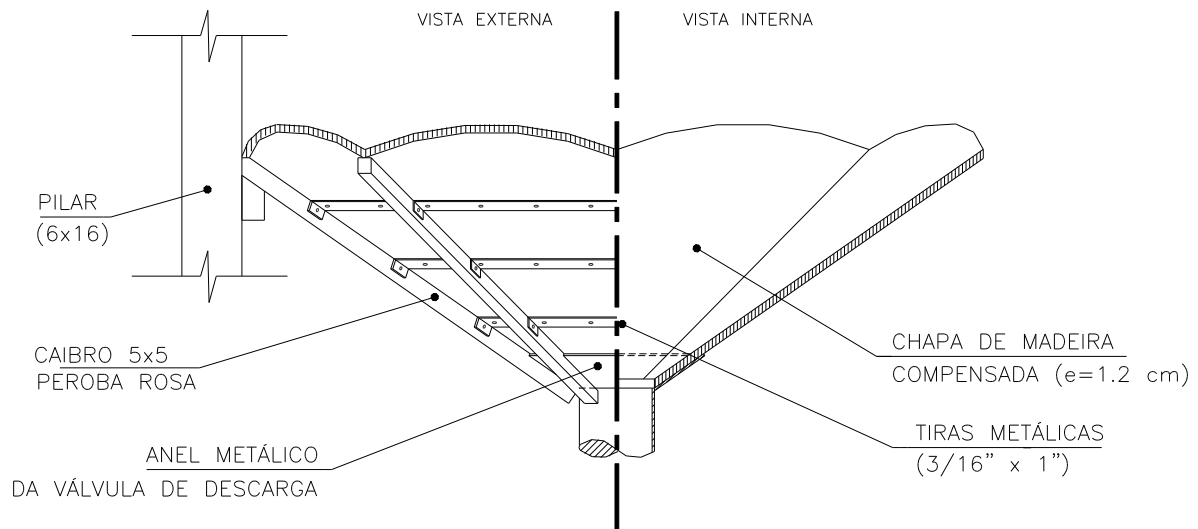


FIGURA 6.1 - Detalhe da tremonha

Cobertura

Julgou-se ser mais conveniente para cobertura do silo a telha cerâmica tipo Marselha. A telha de barro permite manter uma temperatura interna no silo mais baixa que a de cimento amianto e a de alumínio. A desvantagem da cerâmica é o peso elevado, mas a estrutura do silo de madeira suporta com folga essa sobrecarga e a montagem da estrutura do telhado ajuda a enrijecer o silo. Adotou-se a inclinação de 45 graus para o telhado, para considerar o ângulo de talude natural do produto armazenado.

Fundações

No início do estudo dos silos admitiu-se ser mais adequado o silo elevado pela facilidade de descarga.

No primeiro modelo pensou-se solidarizar as paredes do silo em oito pilares de madeira, sendo os pilares fixados na base de concreto através de cantoneiras e parafusos. Para a descarga utilizou-se uma tremonha poligonal solidarizada aos pilares do silo tendo seu vértice elevado de 80cm da base, para a colocação de moega do sistema de transporte pneumático do silo ao caminhão ou do silo a outro silo. A laje de apoio foi apoiada sobre 13 brocas moldadas "in loco".

O segundo modelo, semelhante ao primeiro, teve entretanto, seus pilares embutidos na laje e não se utilizaram as brocas, mostrando-se mais eficiente que o primeiro.

O sistema de tremonha não é de construção fácil e torna-se impraticável quando se aumentar o diâmetro do silo além de 3 metros, tanto construtiva como economicamente.

Depois de estudo cuidadoso, destacou-se como bastante viável e econômica a colocação das paredes do silo ao nível do terreno e a tremonha embutida no solo. No solo escavado constrói-se uma laje de 3 a 5cm de espessura com tela de armação. Neste caso, as paredes do silo deverão apoiar-se sobre um anel circular de concreto articulada à tremonha e à calçada externa.

Essa laje estará em contato com o solo, por isso deverá ser impermeabilizada para evitar a passagem de umidade do solo para os cereais. É possível e às vezes será necessária a construção de um sistema de drenagem.

O sistema de descarga, continuará sendo pneumático, as tubulações e o injetor serão embutidos em um canal da base. Sobre esse canal deverá ser colocada uma chapa furada para permitir o acesso e a manipulação destes equipamentos.

Desenhos do Silo

Os desenhos de conjunto, de detalhes e de montagem do silo protótipo são apresentados neste item, objetivando, além de mostrar a estrutura como um todo, esclarecer acerca das dimensões e previsões relativas de seus componentes.



FIGURA 6.2 - Vista geral dos silos

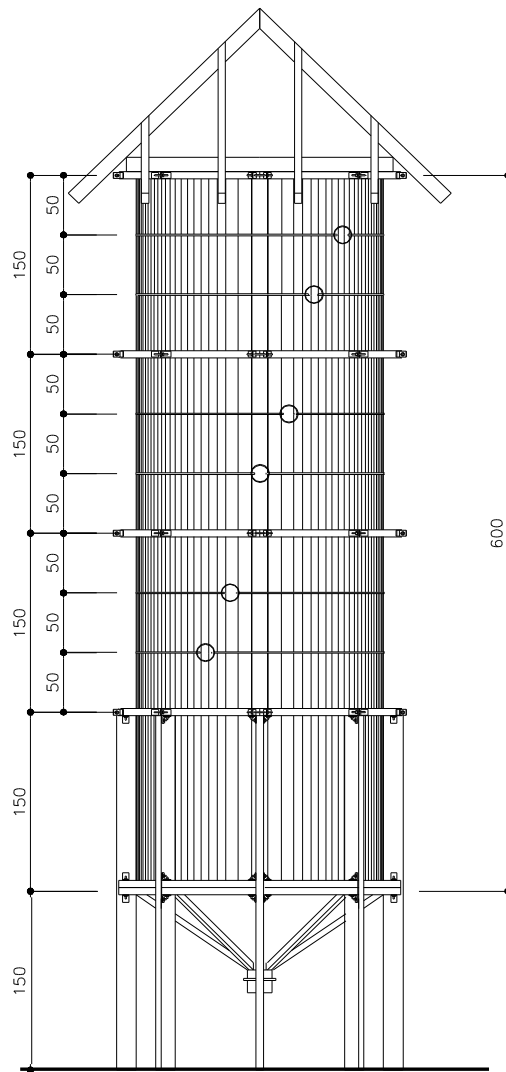


FIGURA 6.3 - Vista frontal do silo



FIGURA 6.4 - Fixação das colunas nos anéis de madeira e na base

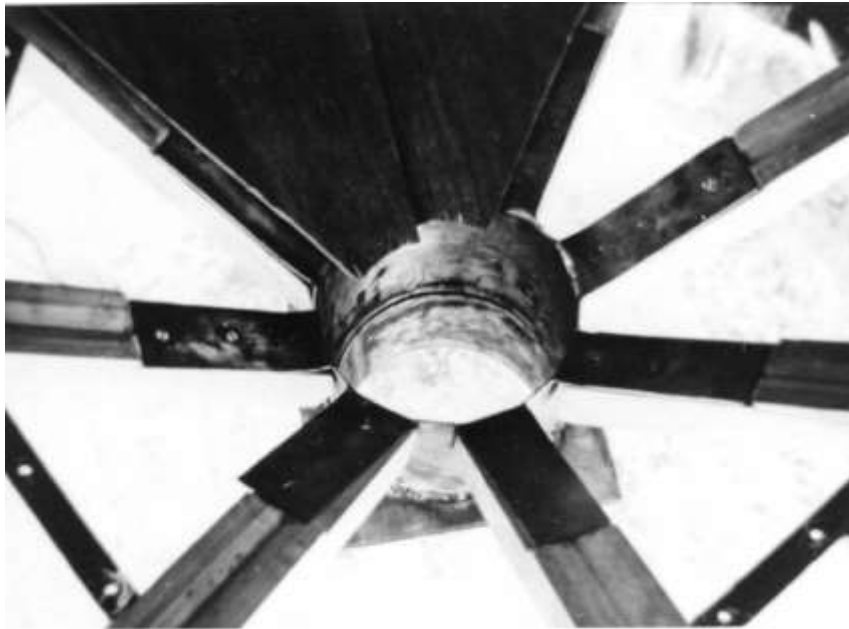


FIGURA 6.5 - Fixação da válvula de descarga nos caibros

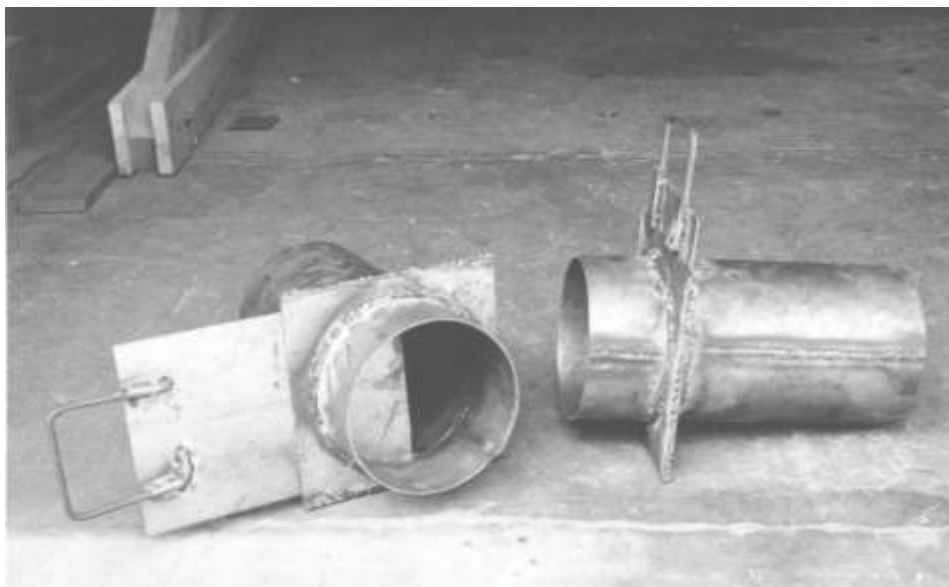


FIGURA 6.6 - Vista das válvulas de descarga

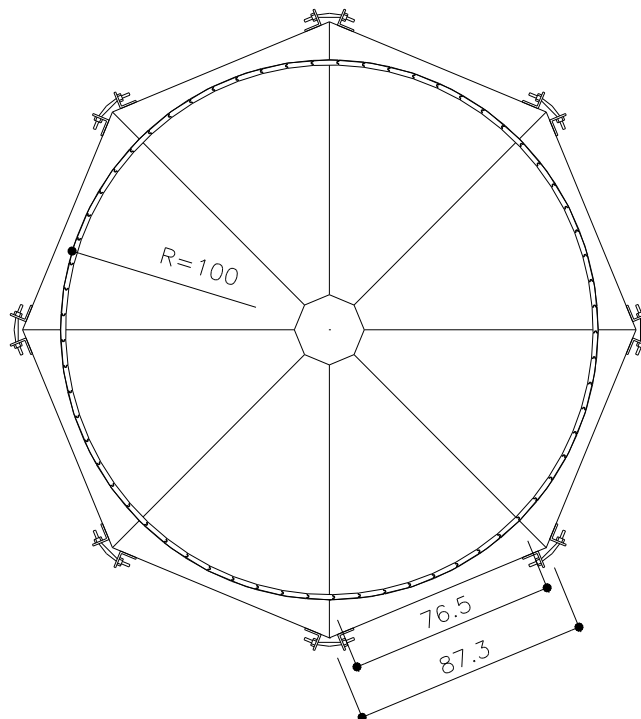


FIGURA 6.7 - Vista superior do silo escala - 1:25

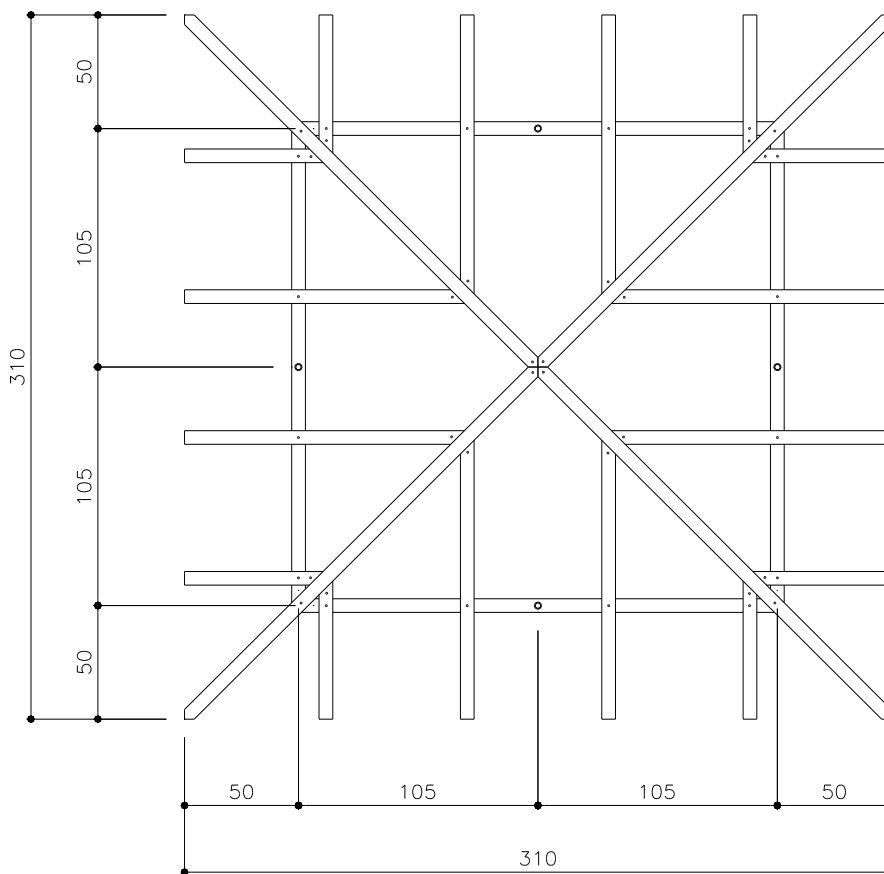


FIGURA 6.8 - Estrutura do telhado para uma unidade armazenadora escala - 1:25

IV- SILOS HORIZONTAIS DE MADEIRA MACIÇA PARA ARMAZENAMENTO DE LARANJAS

A indústria citrícola brasileira encontra-se num alto grau de automação e desenvolvimento tecnológico, permitindo um aproveitamento quase total da matéria prima. A indústria de suco nacional compete com o mercado mundial alcançando expressiva qualidade do produto.

Dentro desta realidade verifica-se alguns problemas de soluções ainda pouco satisfatórias no que diz respeito aos danos mecânicos ocasionados durante a colheita, recepção e armazenamento do produto.

Durante o processamento, uma das fases mais importantes é o armazenamento em silos (bins). Atualmente as indústrias têm processado os frutos de duas formas: na primeira a laranja é recebida e encaminhada diretamente para o processamento não passando pelos silos; na segunda, o fruto é encaminhado para os silos permanecendo durante 48 horas. Tal procedimento é definido em função do grau de maturação em que se encontra o fruto e o tipo de suco a ser produzido, seguindo as exigências do mercado consumidor interno e externo.

O desconhecimento do comportamento mecânico da laranja e os projetos inadequados dessas estruturas têm provocado inúmeros danos, que podem ser sanados a partir da adequação dos mesmos às normas de controle de armazenamento.

Outro fato importante é que nos projetos atuais, as indústrias têm optado por estruturas metálicas apresentando grandes perdas no volume útil o que acarreta perdas econômicas para a mesma. A utilização de madeiras de reflorestamento é vista como uma solução desses problemas, considerando a madeira como um material amortecedor de impactos, é de fácil trabalhabilidade, apresenta grande durabilidade, menor desgaste em relação às peças metálicas (abrasão), e o que é mais importante tem grande disponibilidade.

Realizou-se o levantamento dos tipos de silos existentes, o estudo dos dados sobre as frutas com avaliação do comportamento mecânico, estático e dinâmico, a avaliação das pressões nas paredes e ainda a análise do fluxo, para definir o projeto de um silo que atendessem aos parâmetros definidos (altura máxima de armazenamento, altura máxima de queda entre rampas e capacidade real).

A concepção inicial do projeto visou atender aos requisitos buscando otimizar o modelo mais adequado, a partir dos tipos de silos já existentes.

Definição do Modelo Adotado

A partir dos ensaios em modelos reduzidos para a determinação da capacidade real, verificou-se que o modelo de silo com rampas dispostas alternadamente apresentou melhor resultado quanto ao volume de ocupação.

O modelo analisado é mostrado na Figura 6.9, onde pode-se verificar o posicionamento das rampas e a disposição das colunas externas e internas do

módulo do silo, com capacidade de 40 toneladas. A análise estrutural foi realizada assumindo a condição crítica de carregamento.

Sistema Construtivo

O modelo proposto foi avaliado com a utilização de eucalipto para a execução da superestrutura e pinus para a execução das rampas defletoras. As ligações entre as peças serão executadas com parafusos e pregos. A cobertura é composta com telhas de fibro-cimento e sua estrutura em madeira de eucalipto (tesoura).

Rampas Defletoras

As rampas defletoras foram definidas, conforme mostrado na Figura 6.10, com a utilização de duas vigas longitudinais de eucalipto de seção 6cm x 16cm para o apoio de tábuas de madeira de pinus com espessura de 2,54cm. As tábuas são pregadas sobre vigas transversais de seção 5cm x 6cm. As rampas são apoiadas sobre as vigas externas (VE), e vigas centrais (VC), o que possibilitou a diminuição do vão teórico para o cálculo da flecha máxima.

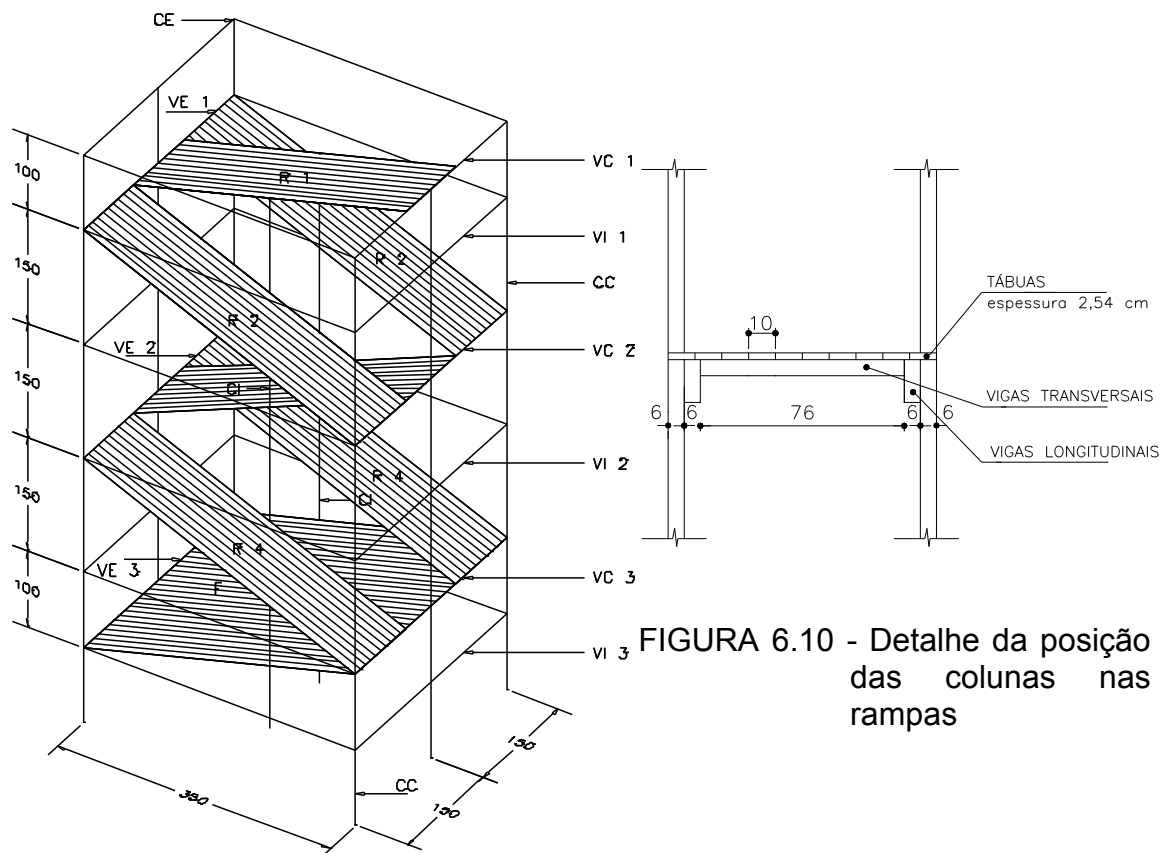


FIGURA 6.9 - Esquema do modelo de silo adotado

FIGURA 6.10 - Detalhe da posição das colunas nas rampas

Vigas de Apoio das Rampas

Com a utilização das colunas centrais para fixação das rampas defletoras, as vigas externas (VE) e as vigas centrais (VC) puderam ser dimensionadas com uma redução de suas seções devido a diminuição dos esforços atuantes sobre as mesmas. A seção da peça adotada é de 6cm x 16cm.

Colunas de Apoio das Rampas

As colunas centrais, CI, foram dimensionadas para receber as cargas das rampas devido à sua fixação e adotou-se para estas colunas a seção 6cm x 16cm.

Colunas Centrais

Foram dimensionadas com as reações das vigas de apoio das rampas. De acordo com critério construtivo, foram adotadas 2 colunas com a fixação entre elas, das vigas VC. Em função das cargas atuantes adotou-se para estas peças a seção de 6cm x 16cm.

Colunas Externas

Devido à carga atuante, a seção da peça adotada é também de 6cm x 16cm, utilizando-se uma única coluna. A utilização de 6 colunas para cada módulo foi definida em função do pré-dimensionamento, considerados os pesos atuantes na estrutura (cobertura, rampas defletoras, vigas, fechamento lateral e peso do produto ensilado).

Fechamentos Laterais

Foram adotadas tábuas de 2,54cm de espessura, pregadas nas vigas intermediárias VI_n . O fechamento lateral confere estabilidade e rigidez à estrutura, sendo as tábuas fixadas através de pregos, com espaçamento para permitir ventilação no interior dos silos.

Fundo do Silo

A montagem do fundo do silo foi idealizada com a utilização de tábuas de madeira com espessura de 2,54 cm apoiadas sobre vigas de seção 6cm x 16cm sendo a viga central fixada nas colunas centrais dos módulos (CI), por meio de parafusos.

Ligações

As ligações adotadas para este tipo de estrutura são as por meio de parafusos e pregos segundo os critérios da NBR-7190/96. Nas Figuras 6.11, 6.12, 6.13 e 6.14, são ilustrados os detalhes das ligações entre as peças: rampas-coluna, rampa-viga, vigas-colunas e entre colunas. As ligações entre as rampas de dois módulos centrais são mostradas na Figura 6.11, com o detalhe da ligação entre elas, apoiadas na viga central VC. Na Figura 6.12 é mostrada a ligação entre as vigas externas e as colunas externas. Em função da altura dos módulos dos silos, as peças das colunas devem apresentar emendas de topo, de acordo com a Figura 6.13, que apresenta detalhes da posição e tipo de parafusos utilizados.

O projeto do protótipo é mostrado na Figura 6.15, ilustrando a composição final do silo, indicando a instalação de quatro módulos do silo com capacidade individual de 40 toneladas. O aumento da capacidade pode ser feito com a instalação de módulos no sentido longitudinal de acordo com a necessidade de armazenamento.

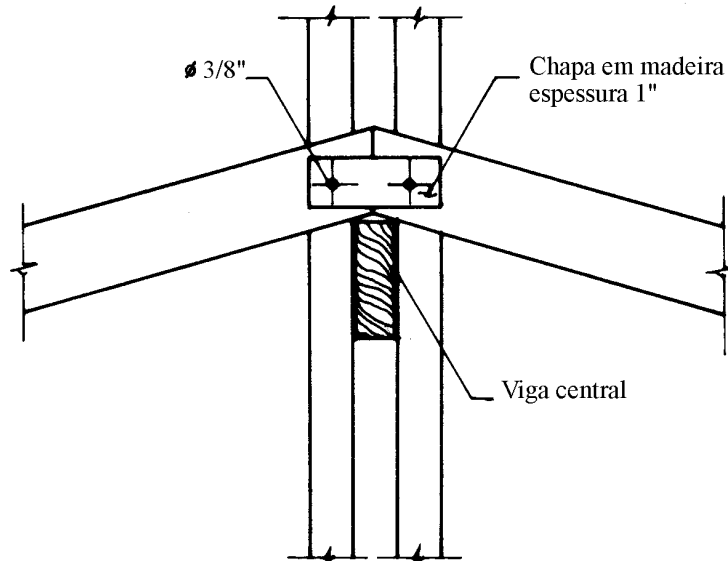


FIGURA 6.11 - Detalhe da ligação entre rampas

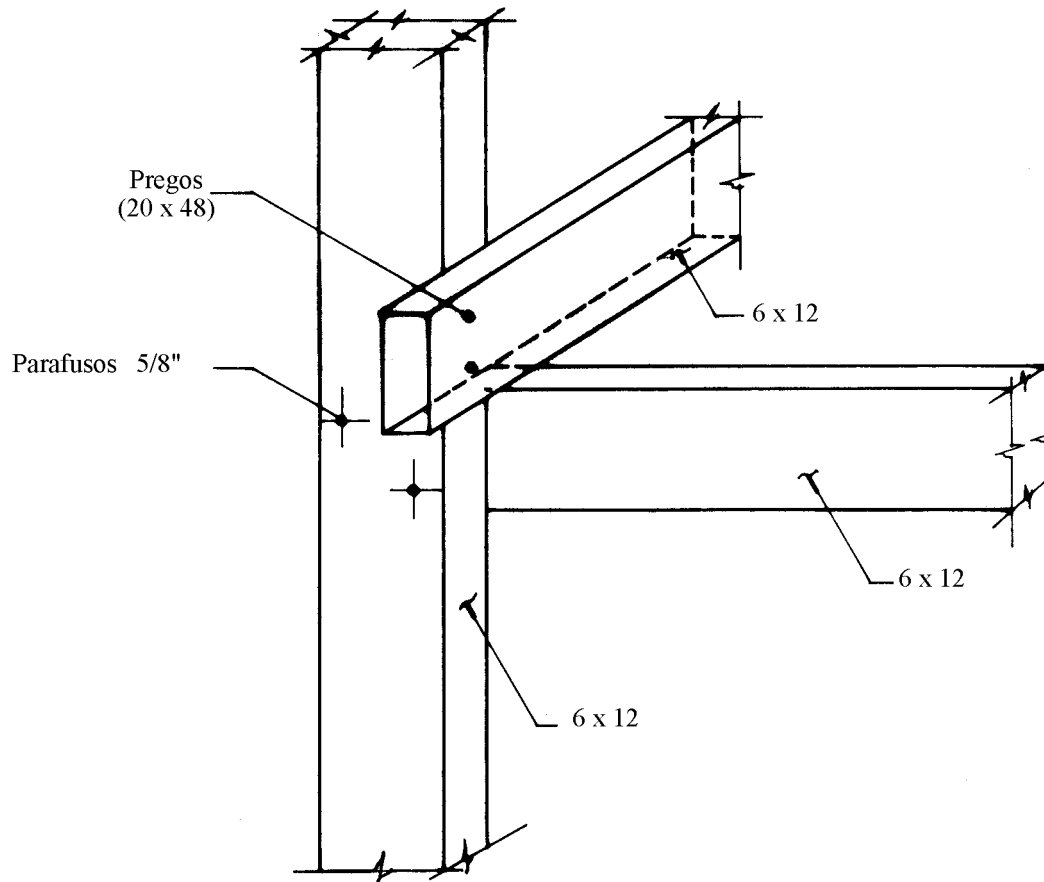


FIGURA 6.12 - Ligação entre vigas e colunas externas

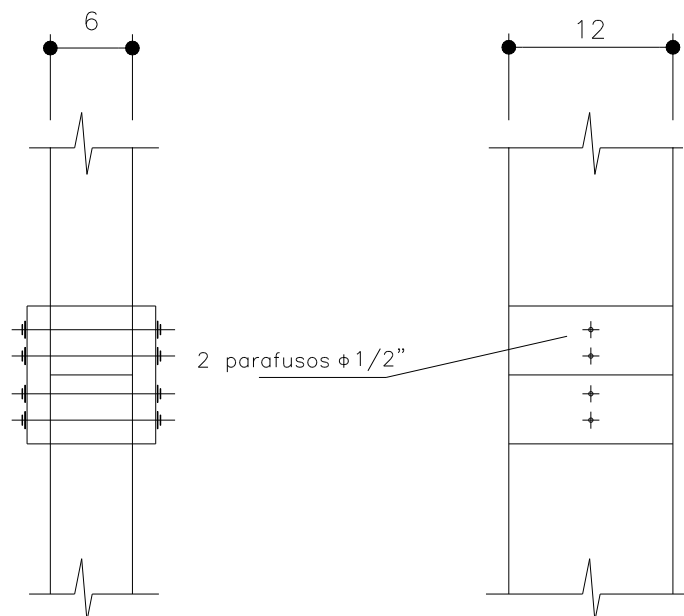


FIGURA 6.13 - Ligações das colunas com parafusos

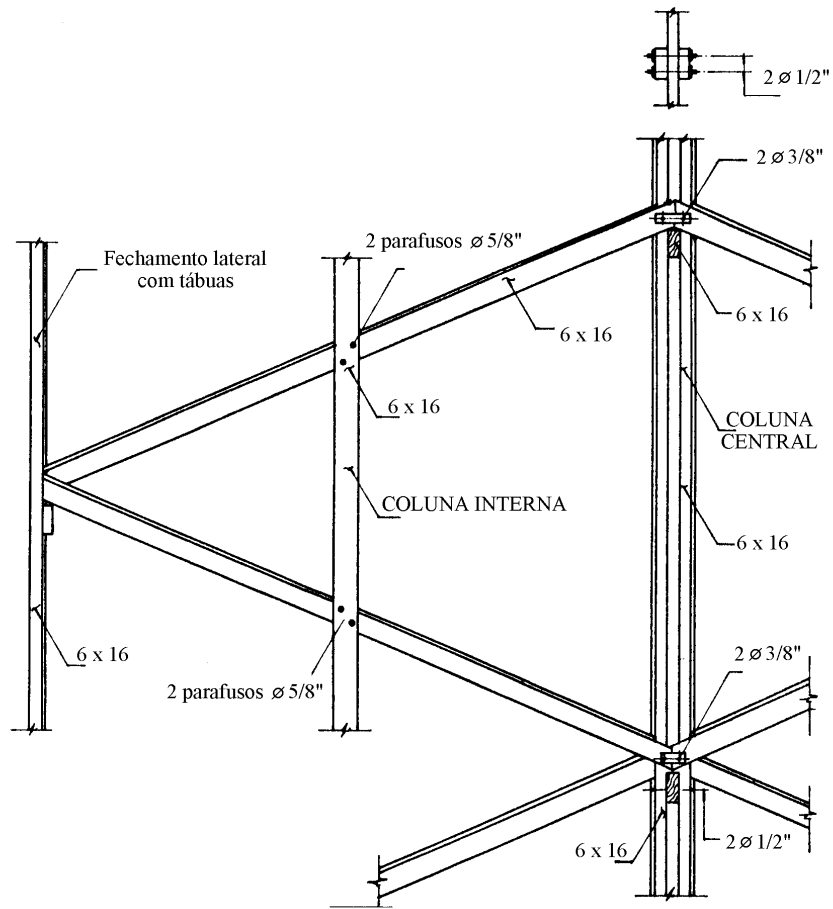


FIGURA 6.14 - Detalhes das ligações entre rampa-colunas, rampa-viga e viga-coluna

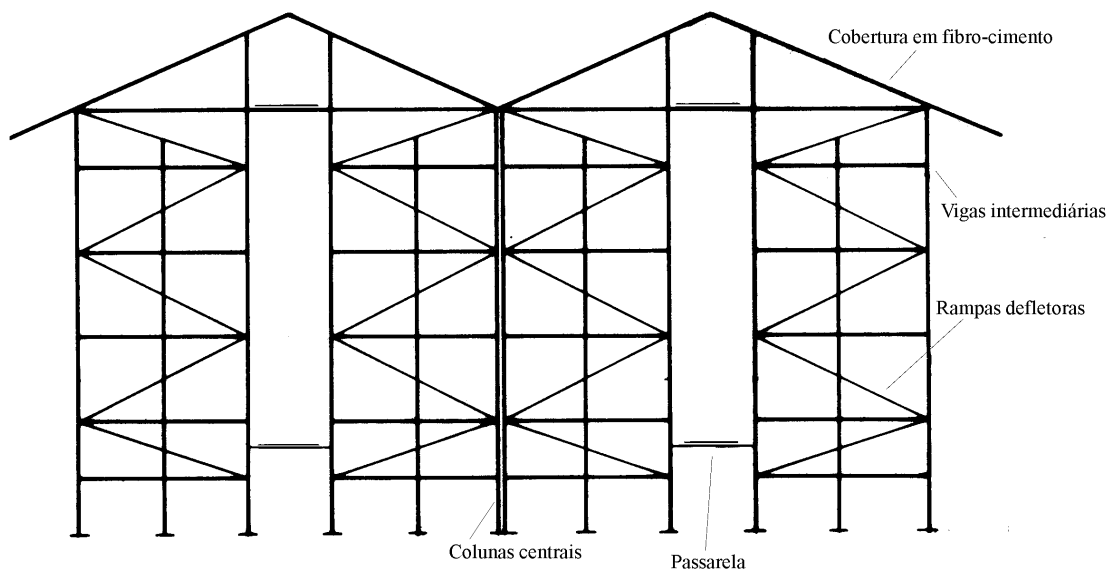


FIGURA 6.15 - Esquema do protótipo do silo

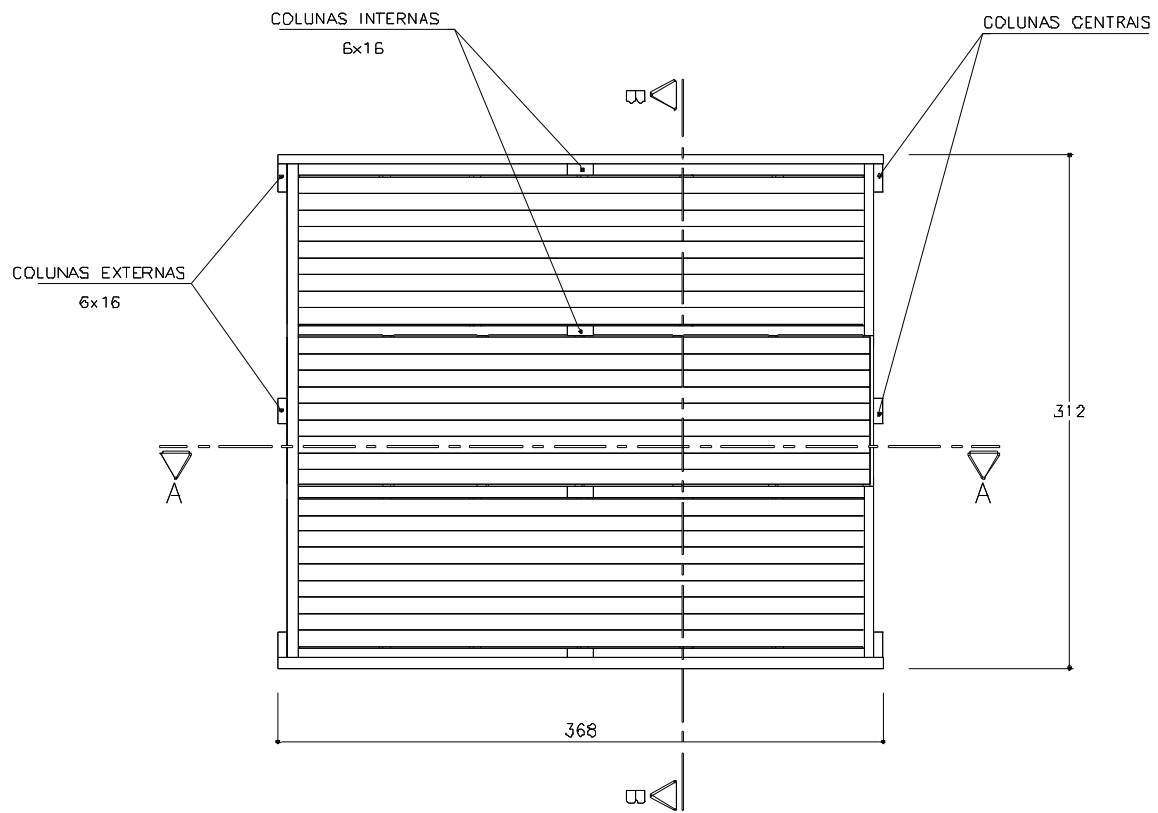


FIGURA 6.16 - Planta do silo

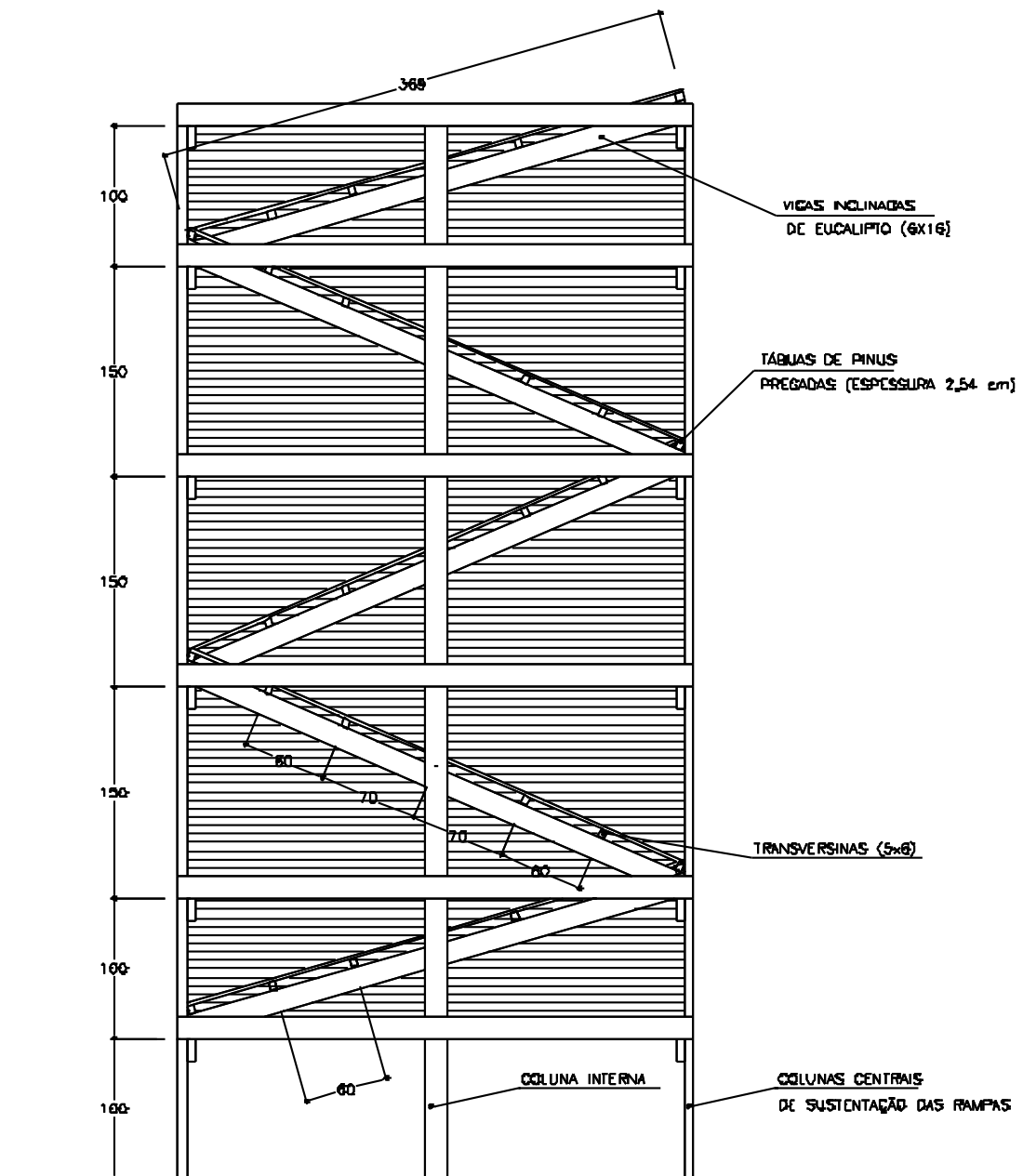


FIGURA 6.17 - Corte AA

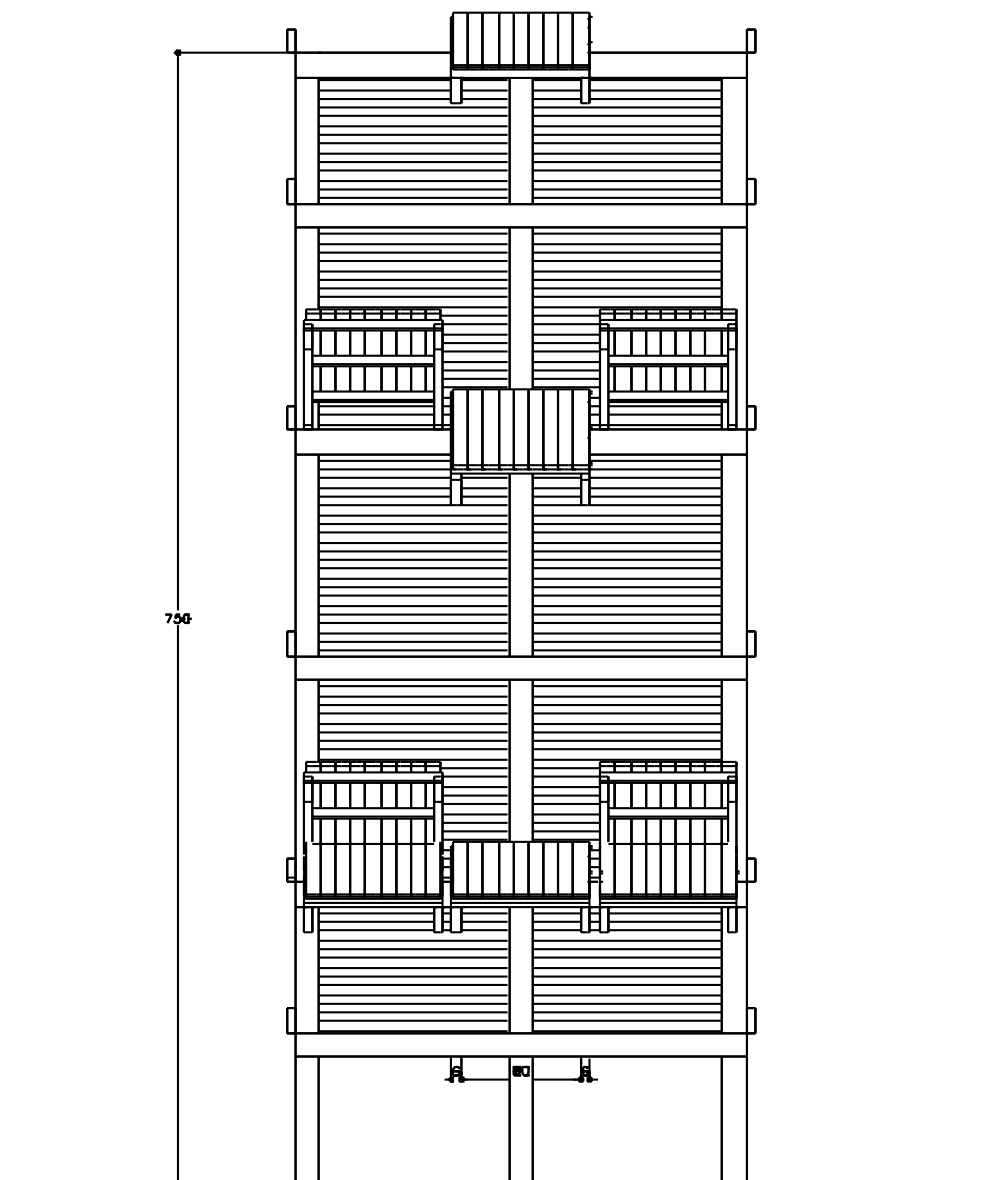


FIGURA 6.18 - Corte BB

V - SILOS VERTICAIS DE MADEIRA COMPENSADA

Devido às chapas estruturais de madeira compensada disponíveis no mercado serem planas e com "rigidez" tal que dificulta qualquer tentativa de curvá-las, os formatos que mais se adaptam à construção de silos com estas chapas são os de seções poligonais. Isto, pela perspectiva de adotar-se uma das dimensões da própria chapa, ou um seu múltiplo, como lado do polígono.

Dentre as seções poligonais, as mais viáveis devido à simetria, são as de número par de lados, isto é, as quadradas, as hexagonais, as octogonais e etc. Nas investigações iniciais, as seções quadradas, a priori, mediante sua simplicidade construtiva, mostravam-se as melhores. Entretanto, a necessidade

de adotar lados relativamente grandes para conseguir capacidades de armazenamentos razoáveis, conduziu para solicitações em seus elementos estruturais, que inviabilizaram sua utilização.

A forma hexagonal apresentou-se como solução mais racional, pois, embora menos simples construtivamente, possibilitou capacidades de armazenamentos maiores com seções de lados relativamente pequenos, o que se traduziu em solicitações menores nos elementos estruturais.

Os silos construídos com chapas de madeira compensada, aqui abordados, são do tipo vertical, com a parte do corpo em forma prismática hexagonal reta e fundo plano ou tremonhado.

A tremonha, quando existente, acompanhando o formato do corpo do silo, constitui-se em um tronco de pirâmide hexagonal reto, invertido, com a base maior ou igual a seção transversal do corpo do silo.

Basicamente, os silos são para armazenamento de cereais, podendo, entretanto, servir para armazenamento de qualquer outro produto granular seco, sem coesão. Tanto as operações de carga como descarga são centradas e por gravidade.

As chapas de madeira compensada utilizadas possuem espessura de 18mm, sendo interligadas através de peças de madeira maciça, da espécie "Peroba Rosa", e parafusos auto-atarraxantes.

Visando abordar todos os aspectos característicos e peculiares do projeto destes silos hexagonais de madeira compensada, tanto em nível de procedimentos de cálculos como de detalhes construtivos, apresenta-se a análise feita numa de suas formas mais completas, o silo dotado de fundo tremonhado.

Dentro do pensamento de desenvolver um estudo que atenda às necessidades do pequeno produtor, a capacidade de armazenamento do silo foi estabelecida em torno de 30 m³ de cereal. Suas dimensões foram fixadas, atendendo a este volume de armazenagem desejado e às dimensões comerciais das chapas de madeira compensada.

Assim, aproveitando a largura da chapa, o lado da seção transversal, hexagonal, do corpo do silo, nominalmente, ficou igual a 1,22m.

A disposição das chapas de madeira compensada na vertical, propiciando hexágonos com lado de 1,22m, em detrimento da outra opção que seria colocá-las na horizontal, propiciando hexágonos de 2,44m, deu-se em função dos elevados esforços que surgem na estrutura com a segunda opção e também do melhor aproveitamento da rigidez das chapas compensadas.

A altura do corpo do silo, função do volume de cereal a armazenar, nominalmente, ficou igual a 7,32m, três alturas de compensado.

A inclinação das laterais da pirâmide que constitui a tremonha do silo, em relação à horizontal, foi adotada 45 graus. Isto porque, normalmente, quando secos, os cereais apresentam ângulo de atrito interno da ordem de 30 graus e quando úmidos, valores dificilmente maiores de 45 graus, facilitando-se desta forma, o escoamento destes, por gravidade, mesmo quando ensilados com teor de umidade relativamente elevado.

Para possibilitar a descarga do produto armazenado, a altura da boca de saída da tremonha do silo em relação ao piso foi adotada em 0,80m.

A cobertura do silo, admitida em duas águas, com telhas de cimento amianto, teve sua inclinação fixada em 15 graus, de acordo com as recomendações técnicas.

É interessante observar, o aproveitamento das chapas de madeira compensada, que na parte do corpo do silo foi total e na tremonha sofreram pequenos cortes, necessários apenas para permitir a montagem piramidal.

Análise Construtiva e Estrutural do Silo

O esquema construtivo, ou seja, a disposição relativa dos elementos que constituem o silo, bem como o esquema estrutural adotado para o projeto são limitados pelo formato hexagonal do silo, pelas medidas comerciais, tanto das peças de madeira maciça, como das chapas de madeira compensada utilizadas, e ainda, pelas solicitações a que, normalmente os elementos de silos hexagonais estão sujeitos.

Corpo do Silo

A forma prismática hexagonal possibilitou a adoção de um sistema estrutural monolítico para o corpo do silo, onde as chapas de madeira compensada, conectadas longitudinalmente pelas arestas do prisma hexagonal, pilares em madeira maciça, e transversalmente por anéis de enrijecimento, também em madeira maciça, constituiu-se numa estrutura espacial resistente.

Tremonha do Silo

Acompanhando a forma hexagonal do corpo do silo, a tremonha, embora com as paredes inclinadas, portanto com seção transversal variável, foi projetada na forma poligonal, constituindo uma pirâmide (tronco de pirâmide) reta, invertida, de base hexagonal.

Assim, as chapas de madeira compensada com a forma de triângulos isósceles, conectadas ao longo de seus lados pelas arestas da pirâmide, feitas em madeira maciça, constituem uma estrutura espacial suspensa, ajustada ao corpo do silo, através de sua base hexagonal invertida.

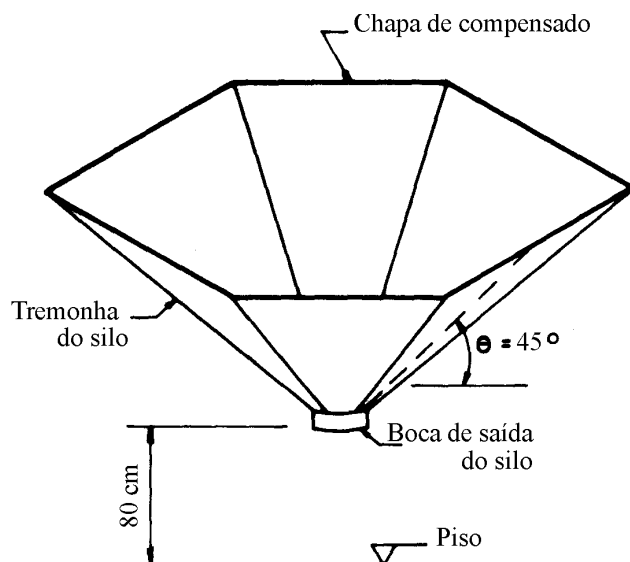


FIGURA 6.19 - Tremonha do silo hexagonal
Cobertura do silo

A estrutura, para apoiar as telhas de cimento amianto, foi admitida em quatro terças de madeira maciça da espécie Peroba Rosa, inicialmente na bitola 6cm x 12cm e recortadas de forma a possibilitar o caimento desejado na cobertura.

Os pilares internos do silo foram prolongados, o necessário, para permitirem o apoio destas terças, e também, a instalação de uma abertura de visita ao interior do silo.

As ligações com os pilares, foram admitidas com parafusos passantes, porcas e arruelas para as terças do beiral, e parafusos auto-atarraxantes com cantoneiras metálicas para as terças da cumeeira.

Fundações do silo

O tipo de fundação a ser utilizado depende basicamente das condições locais e das características da estrutura.

Para os silos verticais, a previsão de fundação por sapatas individuais pode ser perigosa, visto os assentamentos diferenciais que podem ocorrer e pelos momentos fletores, que ocasionam excentricidades nas sapatas.

No silo de madeira compensada em estudo, embora estes aspectos de recalques diferenciais não representem maiores problemas, devido à capacidade da estrutura em absorvê-los, a solução por sapatas individuais, também não é a melhor solução, em consequência das dimensões reduzidas do hexágono.

Assim, talvez, a melhor solução seja um bloco circular contínuo de concreto armado sob o silo, o qual, além de servir de fundação, pode ser usado como plataforma de trabalho.

Com o objetivo de possibilitar a verificação do conjunto à ação do vento, as dimensões deste bloco, foram pré-fixadas em 3,5m de diâmetro e 0,50m de

altura. Dimensões estas, que deverão ser verificadas para cada caso, em função da resistência do solo.

Desenhos do Silo

Os desenhos de conjunto, de detalhes e de montagem do silo protótipo são apresentados neste item, objetivando, além de mostrar a estrutura como um todo, esclarecer acerca das dimensões e previsões relativas de seus componentes.

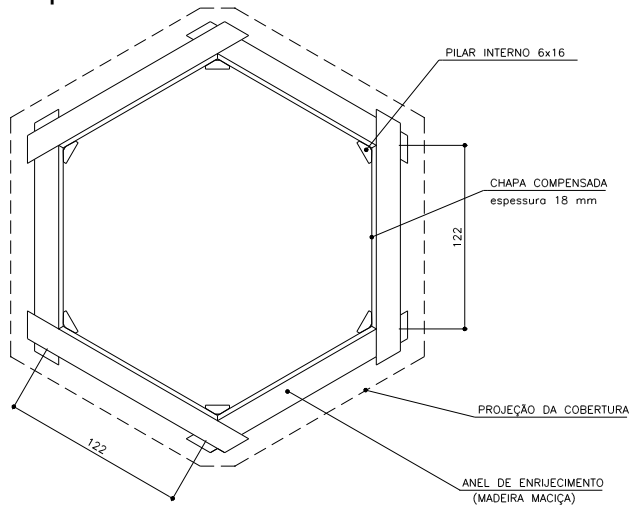


FIGURA 6.20 - Corpo do silo (corte CC)

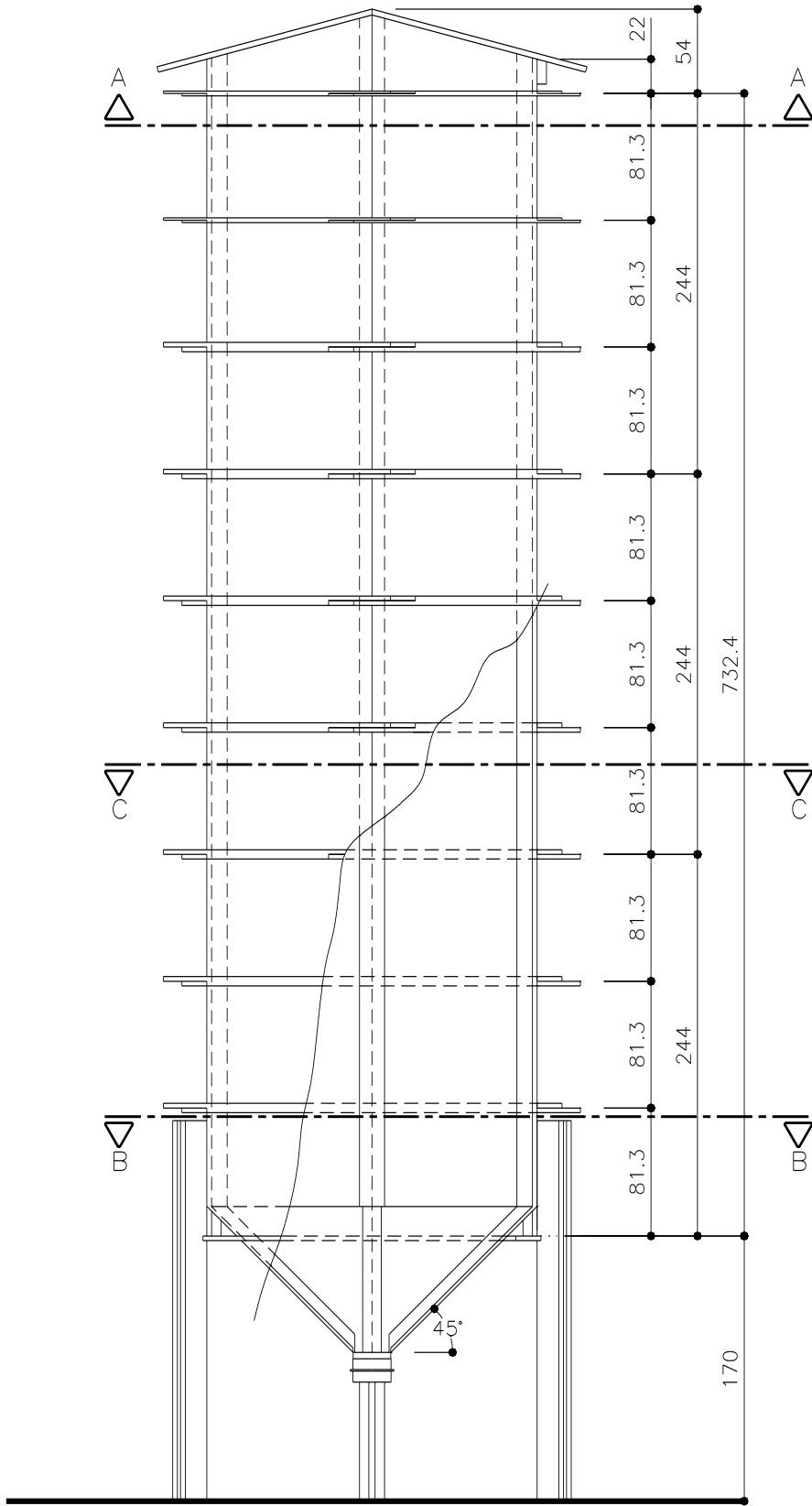


FIGURA 6.21 - Elevação do silo

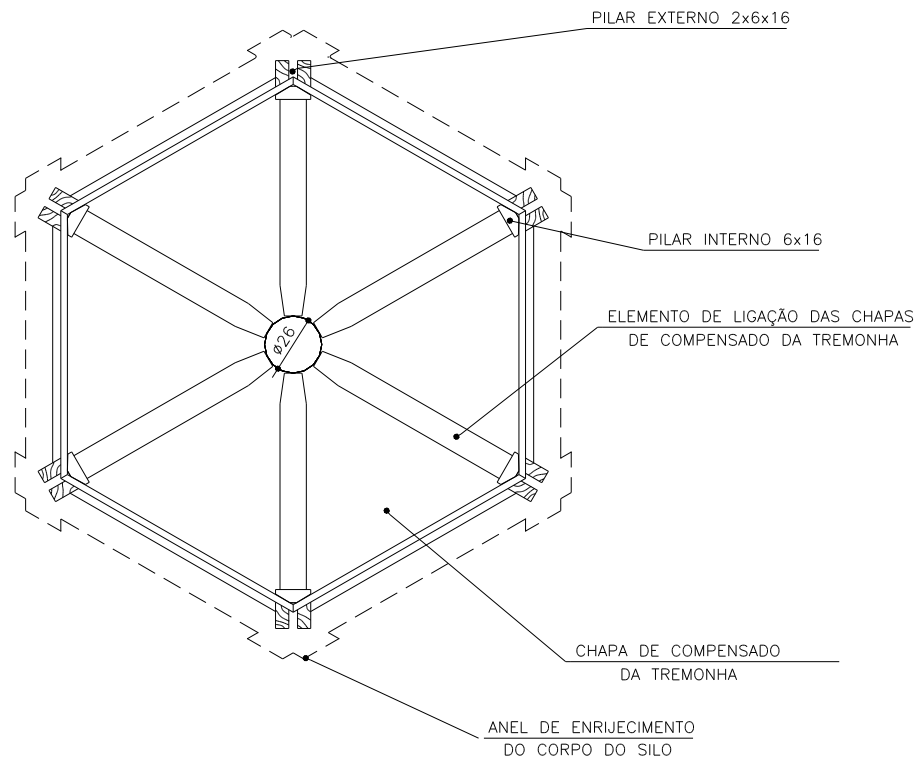


FIGURA 6.22 - Fundo do silo (corte BB)

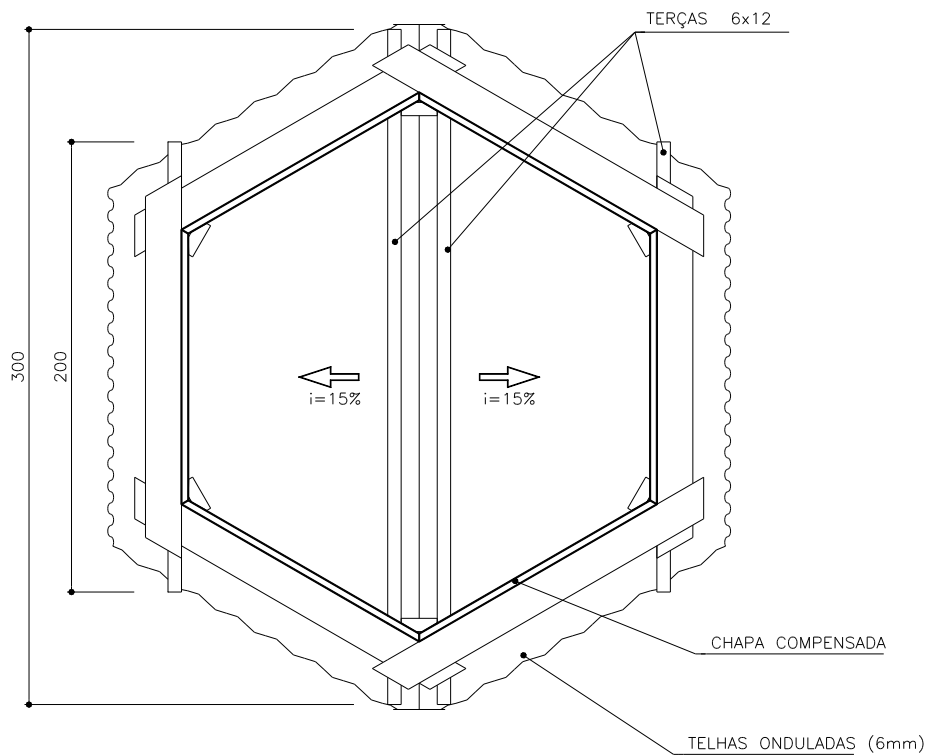


FIGURA 6.23 - Cobertura do silo (corte AA)

IV - SILOS HORIZONTAIS DE MADEIRA COMPENSADA

O sistema construtivo é composto por componentes pré-fabricados, cujas dimensões foram adequadas a uma planta modulada. A largura da chapa de compensado determina a dimensão do módulo adotado. Conforme a Figura 6.24, uma unidade básica de armazenagem do silo tem o comprimento de um módulo e a largura de 3 módulos. O crescimento da capacidade de armazenagem se dá na direção do comprimento, com o acoplamento de novas unidades básicas.

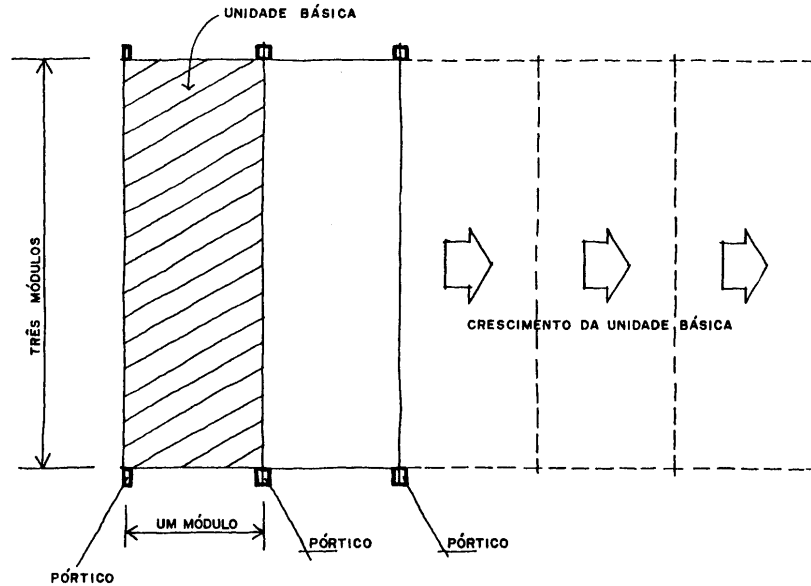


FIGURA 6.24 - Modulação do sistema construtivo

O volume da unidade básica possui a forma apresentada na Figura 6.25, resultado do fundo em parte plano e em parte inclinado para formar a tremonha. O problema da concepção de uma estrutura capaz de resistir a pressão dos grãos armazenados foi resolvido com a introdução de uma série de pórticos, distantes entre si, o valor de um módulo, como ilustram os esquemas da Figura 6.26.

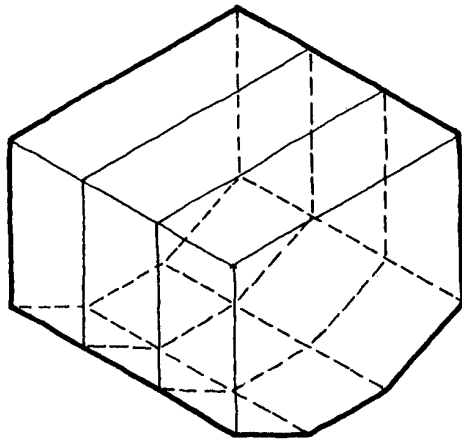


FIGURA 6.25 - Volume da unidade básica estrutura

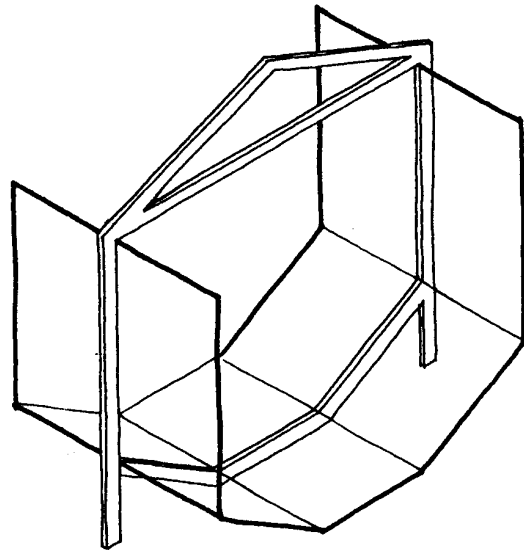


FIGURA 6.26 - Pórtico da estrutura

O dimensionamento estrutural foi decisivo na confirmação das dimensões adotadas nas diferentes partes do silo. Tomou-se como ponto de partida o aproveitamento máximo das chapas de compensado para atribuição de dimensões, como mostrado na Figura 6.27. A altura da parede longitudinal corresponde ao comprimento de uma chapa. Na tremonha adotou-se o comprimento de meia chapa. As pressões da coluna de grãos sobre as paredes e tremonha limitaram a distância entre dois pórticos ao comprimento da unidade básica. O fundo do silo aproveita também integralmente as dimensões de uma chapa.

Para compor o sistema construtivo foram criados componentes modulares, correspondentes às seguintes partes do silo: fundo, tremonha, parede lateral, parede longitudinal. Estes serão fabricados em série e acoplados entre si na obra. Verificou-se a capacidade de cada um deles de resistirem ao carregamento imposto. Entretanto, é com o seu acoplamento mútuo que fica caracterizado um conjunto estrutural resistente integrado por paredes, tremonha e fundo. Com o acoplamento também se formam os pórticos, os quais são as principais estruturas resistentes na direção transversal do silo.

Na parede lateral adotou-se uma consideração diferente quanto ao comportamento estrutural. Esta parede está ancorada nos componentes da parede longitudinal que, conseqüentemente, passam a transferir carga ao longo do plano das chapas, na direção horizontal, como mostrado na Figura 6.28.

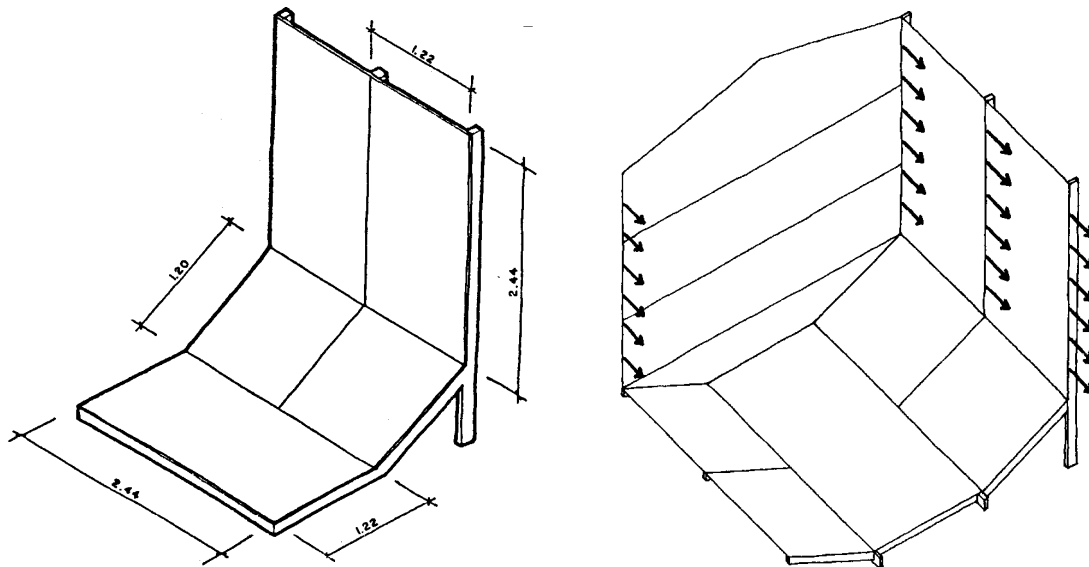


FIGURA 6.27 - Aproveitamento das chapas de compensado no silo

FIGURA 6.28 - Ancoragem da parede lateral e transferência das cargas para a parede longitudinal

A cobertura é a exceção quanto à geração de componentes modulares. A dimensão das telhas não se enquadra ao padrão modular adotado. A principal consequência disto será a necessidade de se estudar a cobertura a cada tamanho de silo. E isto significa variar a distribuição das chapas pela área a ser coberta, o tamanho dos beirais, a posição da abertura superior e o comprimento das terças.

O crescimento da unidade básica poderá ser a cada dois módulos, aproveitando-se o mesmo componente do fundo. Optando-se por número ímpar de módulos, será necessário introduzir um componente de fundo com metade do comprimento original. Cada módulo possui o volume útil máximo de 10 m^3 , o que corresponde à capacidade de armazenamento por volta de 7,5 toneladas de milho a granel. Deste modo, variando-se o silo de 3 a 8 módulos tem-se as seguintes capacidades: 22,5 t, 30 t, 37,5 t, 45 t, 52,5 t, e 60 t. Cada produtor rural poderá ser atendido dentro de suas necessidades individuais, empregando-se sempre os mesmos componentes do sistema construtivo.

Projeto dos Componentes

Os componentes do sistema construtivo permitem a construção de um silo quase completo, no tamanho mais conveniente ao usuário. A base sobre a qual o silo se apoia é a única parte construída no canteiro de obra. Eventualmente, as partes da base como pilares e sapatas poderão ser parcialmente pré-fabricadas em concreto armado ou argamassa armada.

Cada componente foi convenientemente projetado, segundo considerações individuais de geometria e de resistência estrutural, para desempenhar uma função específica no conjunto de vedações do silo. O resultado foi a obtenção de componentes de aplicação única, isto é, só podem ser substituídos por outros semelhantes.

As paredes longitudinais empregam um único tipo de componente, as paredes laterais necessitam de quatro diferentes componentes, as tremonhas um único e o fundo do silo dois componentes diferentes

Do ponto de vista dos materiais empregados e do processo de produção, os componentes guardam semelhanças entre si. Constituem-se basicamente de um esqueleto em madeira aparelhada, revestido num dos lados por uma chapa de madeira compensada. Todos possuem peças principais de bitola 6 x 12cm ou 6 x 16cm, denominadas montantes (verticais) ou travessas (horizontais), nas quais concentram-se os esforços. Alguns possuem barras auxiliares de menor comprimento, transversais aos montantes.

A madeira proposta para o esqueleto estrutural dos componentes é o Eucalipto citriodora, tratado em autoclave com preservativos hidrossolúveis contra fungos e insetos. A chapa de madeira indicada é o compensado estrutural à prova d'água, de 18mm de espessura, revestido exteriormente com um filme de resina fenólica com gramatura de 240 g/m². O fabricante desta chapa são as Indústrias Madeirit S.A. No telhado serão empregadas telhas onduladas de cimento amianto com comprimento 2,44 m.

O rigor dimensional para com as peças de eucalipto é um ponto de preocupação na produção dos componentes, a fim de se garantir a exequibilidade das junções no canteiro de obras. Para a produção dos componentes sugere-se aplicar um processo semi-industrial no interior de uma pequena carpintaria. É possível no entanto, pela simplicidade dos componentes, fabricá-los individualmente sem uma linha de produção em série. Vários dos serviços necessários na produção são repetitivos, como os entalhes nas peças de madeira, os cortes das chapas, as operações de união das peças do esqueleto estrutural e deste com a chapa. As operações repetidas possibilitam o trabalho em série com o emprego de gabaritos de montagem.

Desenhos do Silo

Os desenhos de conjunto, de detalhes e de montagem do silo protótipo são apresentados neste item, objetivando, além de mostrar a estrutura como um todo, esclarecer acerca das dimensões e previsões relativas de seus componentes.

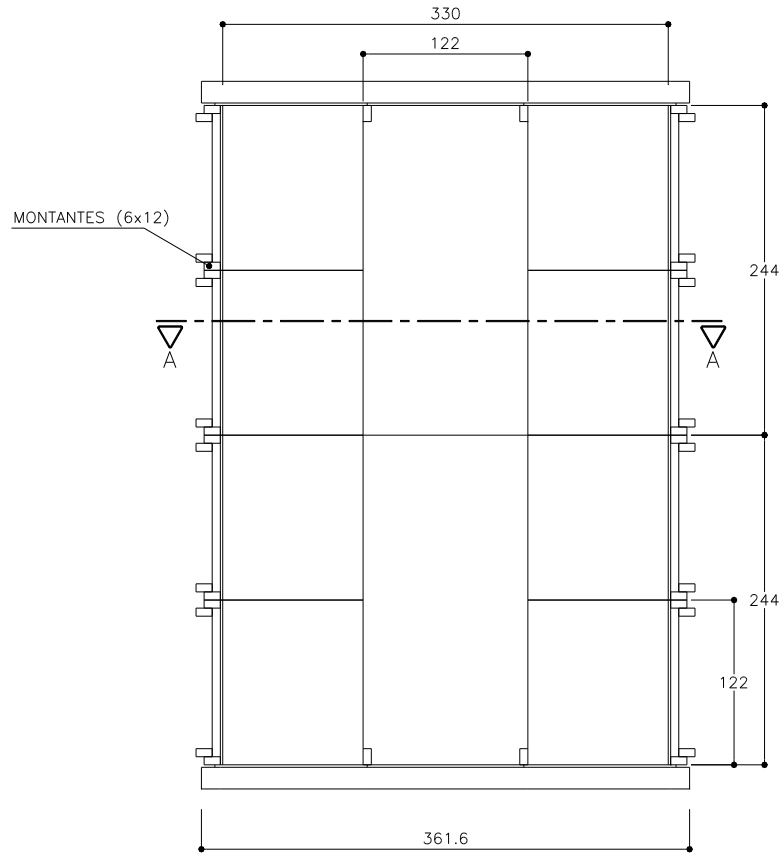


FIGURA 6.29 - Planta do silo

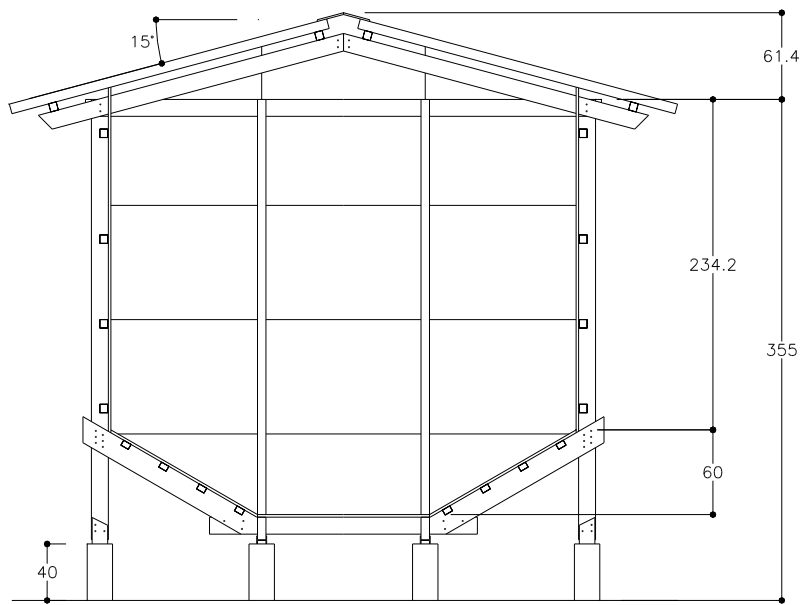


FIGURA 6.30 - Corte AA

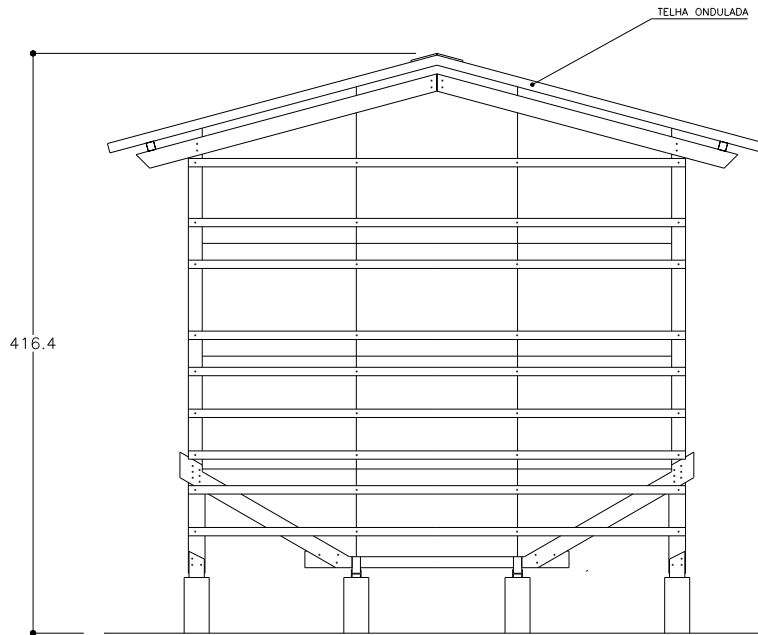


FIGURA 6.31 - Vista frontal

VI - CONCLUSÕES E PREVISÃO DE TRABALHOS POSTERIORES

Os silos de um modo geral, são elementos de fundamental importância para o desenvolvimento da agricultura e da economia brasileira. O silo em nível de fazenda é a solução funcional e econômica para o fazendeiro.

Os protótipos estudados e construídos no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM) foram ensaiados com areia, representando pelo menos duas vezes a carga prevista, mostraram comportamento efetivamente satisfatório.

A madeira, em um país de vocação florestal, como o Brasil, deve ser o melhor material, tanto prática como economicamente, para a construção dos silos em fazendas.

É insuficiente a pesquisa que se desenvolve no país neste assunto, tornando-se da maior importância continuar o estudo dos silos de madeira, procurando soluções ainda mais eficientes e se possível, também mais econômicas.

Projeto e construção dos silos já solicitados ao LaMEM permitirão o prosseguimento prático e experimental do comportamento dos silos de madeira.

VII - BIBLIOGRAFIA

CALIL JR,C. Silos de madeira. São Carlos: EESC/USP, 1978. 132p.
Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos,
Universidade de São Paulo.

VAZ, J. Silos verticais de madeira compensada. São Carlos: EESC/USP, 1987.
346p. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos,
Universidade de São Paulo.

GOMES, F.C. Silos de madeira para armazenamento de laranjas. São Carlos: EESC/USP, 1994. 107p. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

FASSONI, D.P. Sistema construtivo modular em madeira para silos horizontais. São Carlos: EESC/USP, 1994. 153p. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.