

DIMENSIONAMENTO DE SILO SECADOR DE ALVENARIA ARMADA PARA ARMAZENAMENTO DE MILHO EM NÍVEL DE PROPRIEDADE

MARCELO CERENTINI LOVATO¹, ROBSON SCHNEIDER², DÉBORA CHAPON GALLI³,
HENRIQUE LUIZ RUPP⁴

¹ Acadêmico de Engenharia Agrícola da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC). Santa Cruz do Sul – RS. Endereço eletrônico: marceloclovato@gmail.com

² Eng^o. Agrícola, Mestrando em Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul - RS.

³ Eng^a Agrônoma, Mestre em Ciência e Tec. Agroindustrial, Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul - RS.

⁴ Eng^o Civil, Mestre em Engenharia Civil, Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul – RS.

Apresentado no
XLVII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2018
06, 07 e 08 de agosto de 2018 - Brasília - DF, Brasil

RESUMO: Secar e armazenar os grãos na propriedade é o grande desafio da agricultura familiar, já que a maior parte da produção nacional dos mesmos é proveniente dessa classe de produtores que sabem produzir bem, mas ainda não valorizam a pós-colheita. O trabalho objetivou propor uma alternativa de secagem e armazenamento de milho para as pequenas propriedades, com foco no detalhamento do projeto técnico do dimensionamento de um silo de alvenaria armada para uma propriedade rural do município de Novo Cabrais/RS. Para definição da capacidade estática foram consideradas as produções das últimas quatro safras. Para o dimensionamento da alvenaria armada foram definidas as pressões atuantes no silo a partir de um modelo recomendado por Freitas (2001) que indica a metodologia de cálculo proposta por Rankine-Calil para determinação das pressões em silos baixos com relação de altura/diâmetro (h/d) $\leq 1,0$. Obteve-se como resultado um silo com capacidade para 30 toneladas de milho com diâmetro de 5 m, 2 m de camada de grãos e relação $h/d = 0,4$. Como estrutura propõe-se o emprego de blocos cerâmicos de cutelo assentados com argamassa, revestidos externamente com tela soldada malha 20 cm x 20 cm de 4,2 mm x 3,4 mm.

PALAVRAS-CHAVE: cálculo, pressões, silos baixos

SIZING OF STRUCTURED BRICKWORK DRYER SILO FOR STOCKING CORN IN LEVEL OF PROPERTY

ABSTRACT: Drying and stocking grains in the property is the great familiar agriculture challenge, because the greatest part of national grain production comes from this producer's class who knows how to produce well, but they still don't valorize the post-harvest. The work has the objective to propose a corn drying and stocking alternative for small properties, focusing on the technical project detailing of a brickwork structured drying silo sizing, for a rural property in Novo Cabrais (RS) city. For static capacity definition, it was considered the last four harvests production. For structured brickwork sizing, it were defined the active pressures on the silo based on a model recommended by Freitas (2001), which indicate the calculation methodology proposed by Rankine-Calil to determine pressures on low silos with height/diameter relation less or equal than 1,0. It was obtained as result a silo with 30 tons capacity, five meters diameter, two meters grain layer and 0,4 height/diameter relation. As structure, it is proposed the usage of cutlass ceramic blocks settled with mortar, externally overlaid with welded mesh sized 20x20 centimeters of 4,2x3,4 milimeters.

KEYWORDS: calculation, pressure, low silos.

INTRODUÇÃO: A maior parte da produção brasileira de grãos é proveniente de pequenos e médios produtores que sabem produzir bem, mas ainda não valorizam a pós-colheita. Dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (Brasil, 2016) apontam que apenas 15% da produção nacional é armazenada em propriedades rurais, enquanto que nos Estados Unidos e Argentina esse percentual chega a 50% e 35%, respectivamente. No caso do milho, a inexistência de estruturas para pré-limpeza, secagem e armazenamento na unidade produtiva leva muitos agricultores a retardar a colheita, esperando a secagem dos grãos na própria planta o que já pode refletir em perdas, comprometendo suas características sensoriais, nutricionais e sanitárias, afetando sua qualidade final. O armazenamento em nível de propriedade gera custos de construção e de manutenção, mas as vantagens são muito superiores. Acredita-se que uma unidade armazenadora, técnica e convenientemente bem dimensionada, constitui uma das soluções para tornar o sistema produtivo mais econômico. Além de possibilitar a comercialização da produção em melhores períodos, evitando as pressões naturais do mercado na época da colheita, a retenção do produto na propriedade, quando bem conduzida, apresenta inúmeras vantagens, como por exemplo redução das perdas quantitativas e qualitativas que ocorrem no campo e economia em despesas de transporte, uma vez que os fretes alcançam seu preço máximo no “pico da safra”. Diante do exposto se constata a essencialidade de estimular cada vez mais o armazenamento em nível de propriedade, contudo para que isso se torne viável, se fazem indispensáveis estruturas planejadas que atendam a necessidade específica do agricultor. Atualmente, órgãos de Extensão Rural vêm difundindo tais sistemas, especialmente para pequenas propriedades, no entanto os projetos são baseados em programas de dimensionamento desenvolvidos para suporte dos extensionistas. Todavia, há necessidade de proporcionar aos produtores rurais, como também aos profissionais da área, um detalhamento de todo o processo de seleção de equipamentos e dimensionamento das estruturas fundamentais. Diante do apresentado acima, este trabalho teve por objetivo geral projetar um silo secador de alvenaria armada para secagem e armazenamento de milho em uma propriedade rural no interior do município de Novo Cabrais/RS.

MATERIAL E MÉTODOS: O projeto foi desenvolvido para uma propriedade rural localizada no interior do município de Novo Cabrais/RS com uma área de aproximadamente 6 hectares. A propriedade está localizada na região central do Estado, pertencente ao Corede Jacuí Centro, nas coordenadas geográficas latitude 29°45'20.28”S e longitude 53°03'08.15”O e altitude média de 57 metros em relação ao nível do mar. A principal atividade econômica é a produção de tabaco, sendo produzido também feijão e milho. Da área total da propriedade a cultura do milho ocupa 50%, ou seja, aproximadamente 3 hectares são destinados ao cultivo deste cereal. Além disso, possui criações de aves, suínos e bovinos para produção de carne e derivados para consumo da família, além de demais produtos necessários à subsistência. A família está implantando um pomar de noz pecã de 1 hectare com a finalidade de diversificar a renda. Para a realização desse projeto foram feitas visitas na propriedade a fim de levantar as informações específicas. Primeiramente foi aplicado um questionário, o qual serviu para fazer um diagnóstico da real situação da pós-colheita do milho na propriedade, analisando-se pontos como produção de milho, área, tecnologia utilizada e forma atual de secagem e armazenagem do grão, através de observações *in loco*, registros fotográficos, entrevista com o proprietário, assim como análise dos dados climatológicos da região no período de 2006 a 2016. De posse dos dados obtidos e do referencial teórico frente às técnicas construtivas e aos aspectos necessários para seleção e/ou dimensionamento dos equipamentos foi elaborado o projeto técnico. Considerando-se questões de custo e facilidade construtiva, bem como reduzida complexidade de manejo por parte dos produtores, optou-se pela construção de um silo baixo, ou seja, relação entre altura e diâmetro $h/d \leq 1$, com base nos valores experimentais e do modelo de Rankine-Calil proposto por Freitas (2001). O método construtivo pré-selecionado foi a alvenaria armada com utilização de tijolos maciços de cutelo e armadura na parte externa para resistência à força de tração. As dimensões do silo projetado foram definidas com base nos dados obtidos por ocasião da aplicação do diagnóstico da situação atual da armazenagem da propriedade, considerando-se a produção média dos últimos 4 anos de 24 toneladas de milho colhidos por ano, acrescida de 20%. As pressões horizontais e verticais atuantes no silo, ou seja, as forças atuantes na parede e fundo foram determinadas através da proposta sugerida por Freitas (2001) que realizou, em sua tese, comparação entre as principais normas

internacionais, obtendo assim uma metodologia adequada à realidade brasileira. O modelo utilizado e recomendado pela autora para determinação de pressão em silos baixos é o modelo de Rankine-Calil. A norma mais utilizada no mundo para determinação de pressões em silos é a *European Committee for Standardization - Eurocode 1 - actions on structures - part 4: silos and tanks (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2006)*. As cargas de vento, bem como o dimensionamento das estruturas em alvenaria foram calculadas através da norma NBR 15812-1 (ABNT, 2010a). As combinações de ações necessárias a satisfazer os requisitos básicos de segurança, ou seja, a verificação dos Estados Limites Últimos e os Estados Limites de Utilização, foram feitas através da proposta apresentada por Calil Jr e Cheung (2007). Neste trabalho foi elaborado o projeto técnico, sendo os dados organizados utilizando-se uma planilha eletrônica no *software* Microsoft Excel® para a determinação dos cálculos necessários da estrutura. A planilha está organizada nas seguintes abas:

Dimensões do silo: contém as dimensões do silo e a capacidade estática de projeto;

Cálculo estrutural da fundação: apresenta os cálculos estruturais para a fundação do silo. A fundação deve resistir ao peso da alvenaria, a armadura utilizada e o revestimento empregado;

Cálculo estrutural do silo: exhibe os cálculos de pressão horizontal nas paredes do silo calculada a cada terço da parede e o cálculo da pressão vertical no fundo do silo, além da força de tração necessária para a seleção das bitolas de ferro a serem utilizadas para contenção externa do silo;

Cálculo estrutural do fundo: apresenta os cálculos estruturais do estrado de madeira do fundo que deve suportar a massa de grãos com o silo cheio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Fundamentado no diagnóstico aplicado com o produtor definiram-se as dimensões necessárias do silo para secar e armazenar a sua produção de milho. O silo secador terá capacidade para 30 t, diâmetro interno de 5 m e altura de grãos de 2 m apresentando uma relação entre altura e diâmetro de 0,40. Determinou-se o silo com essa capacidade considerando um incremento na produtividade de 20%, uma vez que o produtor pretende seguir investindo na produção de milho, inclusive com a implementação de um sistema de irrigação. As dimensões do silo estão representadas na Figura 1, com área da base de 19,63 m² e capacidade de 500 sacos de 60 kg de milho.

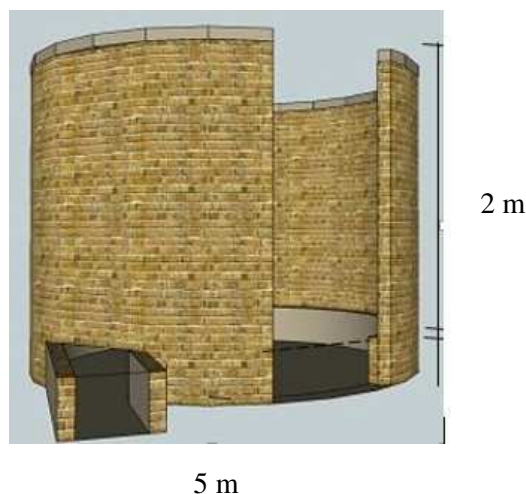


FIGURA 1. Dimensões do silo secador

O cálculo estrutural da fundação foi realizado através das metodologias de Moliterno (1995), Alva (2007) e da NBR 6122 - Projeto e execução de fundações (ABNT, 2010b). A fundação, no caso de silos, deve suportar a alvenaria de tijolos cerâmicos, o peso dos tijolos, o peso da argamassa utilizada para o assentamento e reboco, além do peso da ferragem correspondente, isso corresponde ao peso total da alvenaria. Para evitar flexão na sapata deve-se adotar $\beta > 45^\circ$, ou seja, considerar a peça como um corpo rígido. Nesse caso pode-se utilizar o bloco rígido para fundações de silos desta dimensão. As dimensões da fundação estão ilustradas na Figura 2.

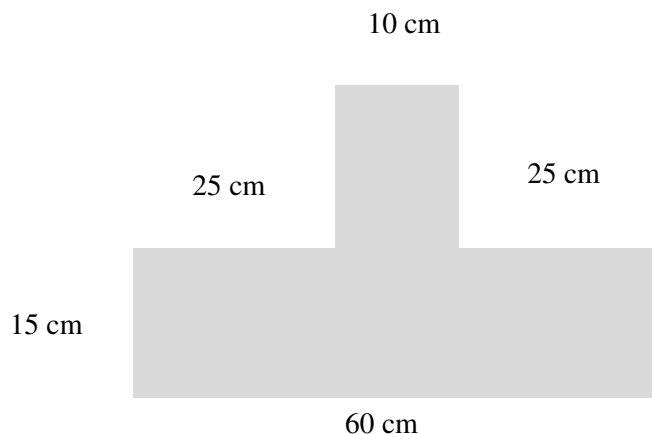


FIGURA 2. Dimensões da fundação

O cálculo estrutural do silo foi efetuado através da metodologia proposta por Freitas (2001) que realizou uma análise de várias normas estrangeiras para dimensionamento de silo tendo como base a Norma *European Committee for Standardization - Eurocode 1- Actions on structures - part 4: silos and tanks (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2006)*. O Quadro 1 apresenta os dados referentes às pressões horizontais $P_h(z)$ e pressão vertical $P_v(z)$ atuantes no silo dimensionado.

QUADRO 1. Distribuição da pressão horizontal $P_h(z)$ ao longo da parede do silo e pressão vertical $P_v(z)$

Distribuição da pressão	kgf/m ²
Ph(z) - 1º terço	1.211,14
Ph(z) - 2º terço	811,46
Ph(z) - 3º terço	403,71
Pv (z)	1.760,00

Com base na metodologia, além das pressões já apresentadas, foram calculados os seguintes parâmetros: força de tração, área de aço e diâmetro do fio, que servem como base para seleção da estrutura de aço que será utilizada na parte externa do silo para resistir à força de tração exercida pelos grãos na parede do silo quando o mesmo está cheio. Os dados estão dispostos no Quadro 2.

QUADRO 2. Disposição dos parâmetros para determinação da especificação da tela soldada

Distribuição da pressão	Tração (kgf/m)	Força de tração (kgf)	Área de aço (mm ²)	Diâmetro do fio
Ph(z) - 1º terço	3202,32	544,40	7,89	3,17
Ph(z) - 2º terço	2145,56	521,06	7,55	3,10
Ph(z) - 3º terço	1024,09	348,19	5,05	2,53

O material construtivo definido após a verificação das combinações de pressões atuantes foi tijolo maciço de cutelo e tela soldada M138 malha 20 cm x 20 cm com diâmetro do fio de 4,2 mm x 3,4 mm aço CA 60. A Figura 3 traz o detalhamento construtivo do silo.

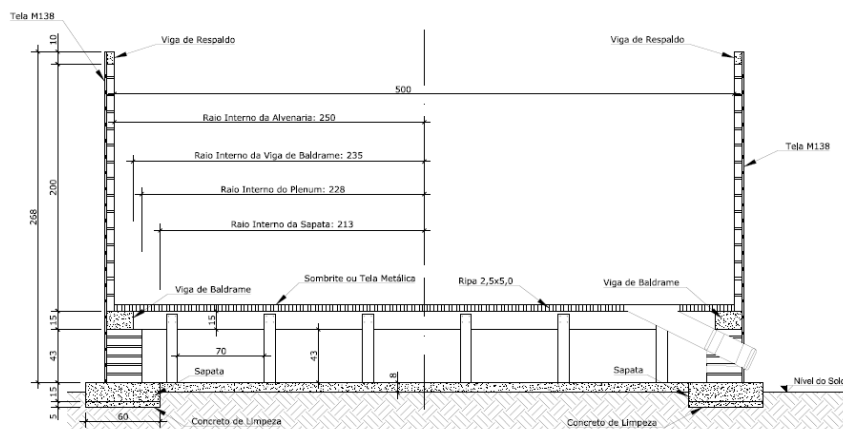


Figura 3. Corte transversal com o detalhamento das dimensões do silo

Após a determinação da pressão vertical $P_v(z)$ atuante no silo foi possível calcular a estrutura do fundo. A mesma foi calculada em madeira com base metodologia proposta por Brito (2010) e Calil Jr e Brito (2010). Para suportar a compressão realizada pela pressão vertical, o ripado deve ter as dimensões como mostra a Figura 3.

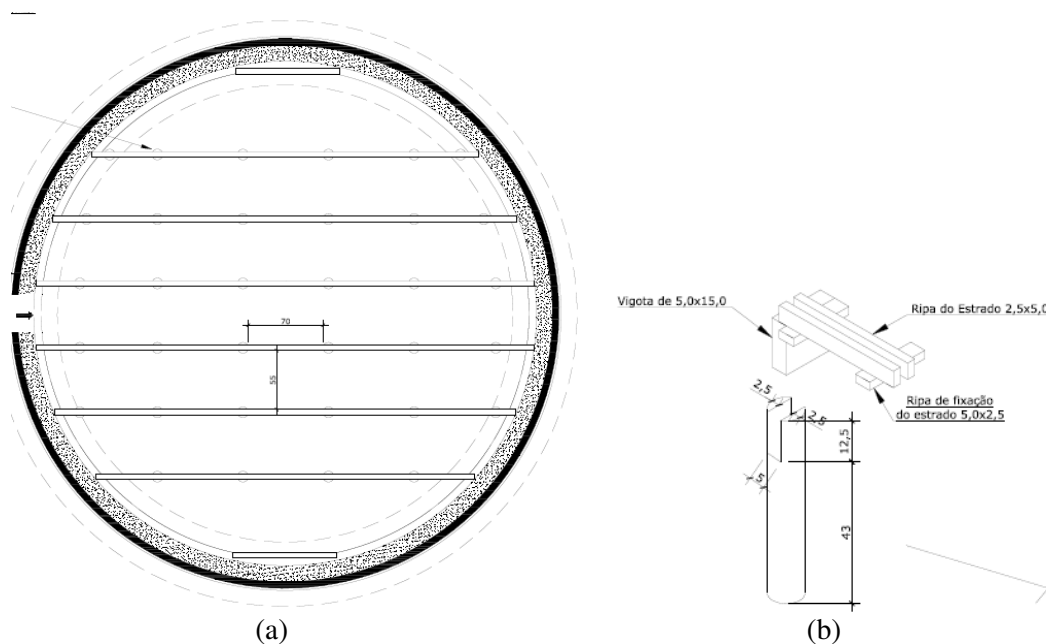


FIGURA 3. Dimensões do fundo do silo (a) e detalhamento dos apoios, vigotas e estrado (b)

Calculou-se a tensão máxima admitida sobre as ripas, vigotas e colunas e neste caso definiu-se ripas com largura de 2,5 cm x 5 cm altura, vigotas de 15 cm x 5 cm e apoios com 10 cm de diâmetro e 58 cm de altura, sendo a tensão máximo de projeto estabelecida em 60 kgf/cm², ou seja, as tensões nas peças não podem exceder esse valor admissional. O Quadro 3 traz informações referente ao cálculo estrutural do fundo (ripas, vigotas e colunas).

QUADRO 3. Cálculo estrutural do fundo

Estrutura	Pressão sobre a peça (kgf/cm)	Momento fletor (kgf/cm)	Módulo de resistência (cm ³)	Tensão máxima (kgf/cm ²)
Ripas	0,92	349,39	26,04	33,54
Vigotas	10,16	6225,45	1406,25	33,20

Os apoios, também chamados de colunas, são elementos solicitados por compressão axial e por isso devem ser obtidos de peças roliças por oferecer menor resistência à passagem do ar por ocasião da utilização do sistema de ventilação. Para que o ar não tenha resistência e entre na câmara de ar sem turbulência é necessária a utilização de um duto de descarga para o ventilador. Esse duto deve ser rente ao chão e com seção de 0,43 m x 0,32 m e comprimento de 1,21 m com entrada de ar reta na câmara de ar e paralela às guias do ripado para que as mesmas não ofereçam resistência à passagem do ar.

CONCLUSÕES

A implantação do projeto trará benefícios à propriedade, como diminuição de perdas de milho por insetos e roedores, possibilidade de comercializar o produto na entressafra onde a oferta do grão é menor e o preço é mais atrativo obtendo assim uma maior rentabilidade, economia com secagem e armazenamento visto que, com a retenção do cereal na propriedade, o produtor deixa de gastar com secagem e descontos por umidade e impureza efetuados pelas cooperativas e cerealistas, além de manter a qualidade do produto armazenado tanto para a comercialização quanto para o consumo na propriedade. Esse projeto foi desenvolvido para secagem e armazenagem de milho, mas pode ser utilizado para armazenar outros grãos como por exemplo soja, a qual o produtor irá dedicar uma parte da propriedade para seu cultivo, uma vez que o grão de soja tem menor peso específico que o milho o que viabiliza a sua armazenagem na estrutura projetada. O silo de alvenaria armada projetado é uma tecnologia viável e adequada para as propriedades da agricultura familiar tendo em vista a sua simplicidade construtiva, além de ser facilmente manejável pelos agricultores.

REFERÊNCIAS

- ALVA, G. M. S. **Projeto estrutural de sapatas**. Santa Maria, RS: UFSM, 2007, 39 p. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/decc/ECC1008/Downloads/Sapatas.pdf>>. Acesso em: 29 set. 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 15812-1/2010**: Alvenaria estrutural – blocos cerâmicos parte 1: projetos. Rio de Janeiro, 2010a.
- _____. **NBR 6122/2010**: Projeto e execução de fundações. Rio de Janeiro, 2010b.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Governo destina R\$ 1,4 bilhão para financiar armazéns em fazendas. 2016. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/noticias/governo-destina-r-1-4-bilhao-para-financiar-armazens-em-fazendas>>. Acesso em: 7 jun. 2017.
- BRITO, L. D. **Recomendações para o projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento**. 2010. 339 f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Estruturas) - Universidade de São Carlos – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, 2010. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/.../2010ME_LeandroDussarratBrito.pdf>. Acesso em: 13 out. 2017.
- CALIL JR, C.; CHEUNG, A. B. **Silos**: pressões, fluxo, recomendações para projeto e exemplos de cálculo. São Carlos: EESC/USP, 2007. 240 p.
- CALIL JR, C.; BRITO, L. D. **Manual de projeto e construção de estruturas com peças roliças de madeira de reflorestamento**. São Carlos: EESC/USP, 2010. 334 f. Disponível em: <<https://ibramem.files.wordpress.com/2011/05/manualdeprojetoconstruc3a7c3a3odeestruturascompe3a7asrolic3a7asdemadeiradereflorestamento.pdf>> Acesso em: 13 out. 2017.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EM.1991-4**: Eurocode 1 – actions on structures – part 4: silos and tanks. Brussels, 2006.
- FREITAS, E. G. A. **Estudo teórico e experimental das pressões em silos cilíndricos de baixa relação altura/diâmetro e fundo plano**. 2001, 197 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Universidade de São Carlos – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, 2001. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde...144646/.../Tese_Freitas_EdnaGA.pdf>. Acesso em: 11 jun. 2017.
- MOLITERNO, A. **Caderno de estruturas em alvenaria e concreto simples**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1995. 384 p.