

**DIMENSIONAMENTO DE SILOS MULTICELULARES DE CONCRETO ARMADO:
DESENVOLVIMENTO DE UM PROGRAMA COMPUTACIONAL**

HELLEN P. F. DECKERS¹, SEBASTIÃO G. DOS REIS², FRANCISCO C. GOMES³

RESUMO

Silos são construções, que em função de sua finalidade de utilização estão sujeitas a algumas ações peculiares. No presente trabalho, são abordadas às ações geradas pela presença do produto armazenado. Enquadram nessa modalidade as pressões – horizontais e verticais – e o atrito do produto armazenado com as paredes do corpo silo e tremonha. As formulas teóricas para obtenção dessas ações são vindas das normas ACI 313:1997, AS 3774:1996 e DIN 1055-6:2005 e, em seguida, transformadas em um programa computacional escrito no Ambiente de Desenvolvimento Delphi. O programa desenvolvido para silo de concreto armado, de forma retangular multicelular com tremonha em cunha, permite calcular, além das ações, as armaduras necessárias para as paredes do corpo do silo e da tremonha, para que absorvam as tensões por elas geradas. Na última etapa do trabalho, tem o exemplo de aplicação do armazenamento do café em pergaminho.

Palavras-chaves: Silos, programa computacional, concreto armado

INTRODUÇÃO

No Brasil, a necessidade de ampliação da rede armazenadora se torna cada vez mais necessária, tendo em vista que conforme o décimo primeiro levantamento da safra elaborado pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab, 2010), a produção brasileira de grãos baterá um novo recorde, com um volume de 147,10 milhões de toneladas na safra 2009/2010, o que representa um acréscimo de 8,8% sobre a colheita. Atualmente, há uma tendência mundial de elaboração de projetos estruturais, adotando o critério de dimensionamento nos estados limites com o objetivo da realização de projetos mais seguros e econômicos. Assim, faz-se necessária a determinação mais precisa das ações que atuam nas estruturas dos silos (CALIL JÚNIOR e CHEUNG, 2007). Segundo CALIL JÚNIOR (1997), todas as propriedades dos produtos armazenados em silos podem variar durante a vida útil do silo. Assim, de acordo com a norma australiana AS 3774:1996, deverão, em termos de projeto, ser determinados dois limites para cada parâmetro, de modo a delinear a sua faixa de variação com combinações mais desfavoráveis para cada caso. De maneira geral, toda unidade de silo está solicitada a diversos tipos de ações: permanentes (peso próprio, cobertura), variáveis (pressão dos produtos, vento, recalques) e excepcionais (explosões e impactos). Diferentes normas podem ser utilizadas para projetos de silos. Todas se baseiam em métodos teóricos e empíricos. A norma americana ACI 313:1997 trata do dimensionamento de silos de concreto para o armazenamento de produtos granulares, enquanto que o Brasil não dispõe de norma própria. Em vários estudos experimentais realizados até hoje concluiu-se que altas pressões ocorrem na transição do silo, no entanto, estas não são consideradas pela norma ACI 313:1997. Isso induz à utilização da norma alemã DIN 1055-6:2005, que aborda o assunto determinando assim a pressões adicionais quando se tem fluxo de massa na transição do corpo do silo com a tremonha. Neste trabalho, observa-se que o desenvolvimento de um projeto de silo pode ser sistematizado através de um procedimento que integre as informações e cálculos necessários. Esse procedimento, transformado em um programa computacional que viabilize a sua utilização, agilizará o trabalho de profissionais nesta área, garantindo a definição de uma estrutura segura e otimizada.

MATERIAL E MÉTODOS

¹ Doutoranda em Engenharia Agrícola, Professora Substituta, DEG/ UFLA, hellen@deg.ufla.br

² Mestrando em Engenharia de Sistemas, DEG/UFLA, giovanidosreis@yahoo.com.br

³ Professor Associado I, DEG/UFLA, fcgomes@deg.ufla.br

O desenvolvimento do programa computacional para cálculo e dimensionamento de silos na qual foi proposto, se aplica a silos de concreto armado, multicelular e elevado, de seção retangular com tremonha em cunha. Etapas:

- São estabelecidos como dados de entrada do programa os seguintes parâmetros: características físicas do produto armazenado, geometria do silo e características mecânicas do material construtivo;
- Define e calcula as ações geradas pelo produto armazenado que irá solicitar a estrutura do silo;
- Na análise estrutural, são obtidos os esforços atuantes na estrutura gerados pelas ações definidas na etapa anterior;
- As armaduras a serem utilizadas na estrutura do silo são calculadas na etapa do dimensionamento;
- A verificação do valor último de força vertical e cisalhamento atuando na parede do silo está incluída no programa, visando atender a critérios que levam em conta a segurança da estrutura.

Para a implementação do programa, utilizou-se o Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) denominado Delphi, que é um compilador que reúne características e ferramentas de apoio ao desenvolvimento de software com o objetivo de agilizar este processo. O programa visa sistematizar os procedimentos de cálculos utilizados na obtenção das ações que atuam sobre as estruturas de silos multicelulares em concreto armado de forma retangular. Permite ainda também calcular as armaduras para absorver as tensões e as solicitações geradas pelas ações.

A seguir é apresentado o fluxograma (Figura 1) que deu origem ao programa.

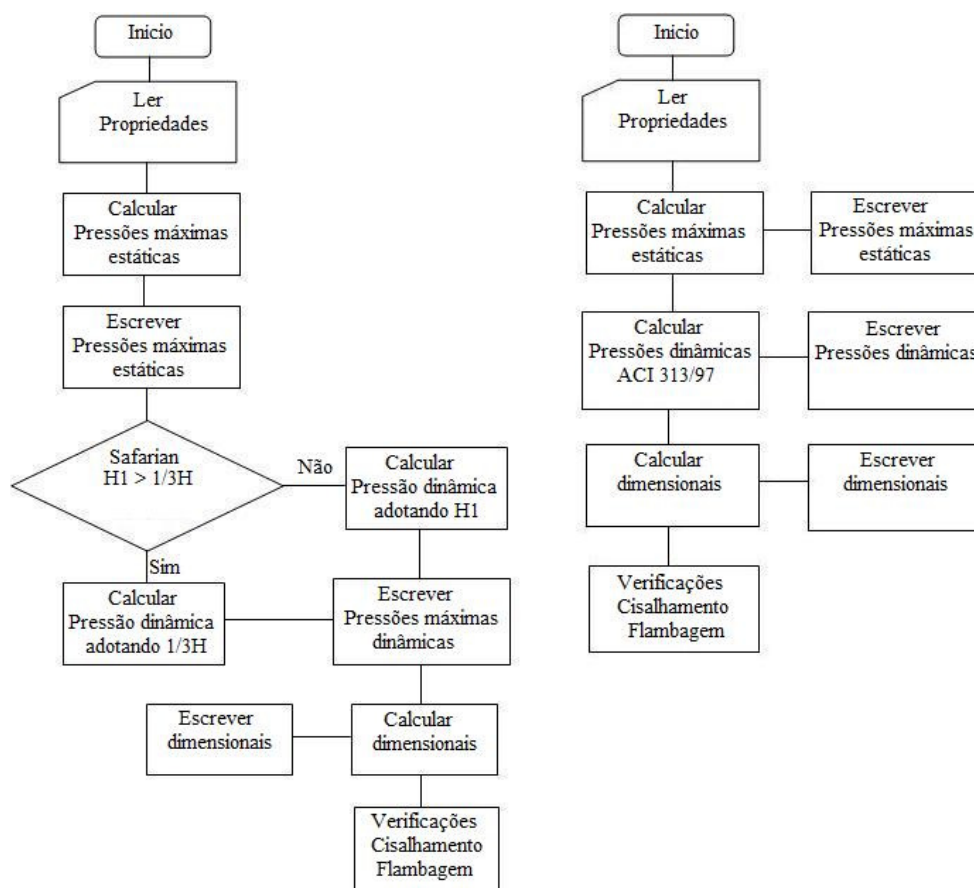


Figura 1 – Fluxograma da rotina pressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dados de entrada:

- Material construtivo: concreto armado;
- Produto armazenado: café em pergaminho;
- Forma do corpo do silo: retangular;

XIX CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA
27 de setembro a 01 de outubro de 2010

- Forma da tremonha: em cunha;
- Características físicas do produto armazenado;
- Características do material construtivo;
- Características geométricas do silo.

Dados de saída:

Armadura do corpo do silo (Espessura da parede 32cm e cobrimento 5cm)	Armadura da tremonha (Espessura da parede 27cm e cobrimento 4cm)
Armadura horizontal meio canto	Armadura horizontal meio canto
Armadura Vertical	Armadura Vertical
Verificação: Flambagem e Cisalhamento	Verificação: Flambagem e Cisalhamento

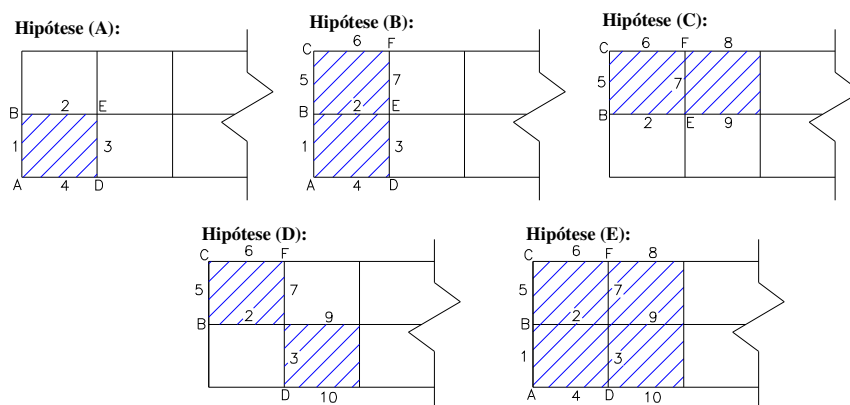


Figura 2 – Hipóteses de descarga das células do silo

CONCLUSÃO

Os procedimentos de cálculos propostos no presente trabalho se basearam em uma forma de análise estrutural simples, pautada na teoria e nas hipóteses da Resistência dos Materiais. O aspecto da escolha é a falta de uma norma brasileira para estruturas de silos, que levou à busca de um conjunto de especificações que pudesse servir de orientação ao trabalho. O programa computacional que resultou do presente trabalho pode ser aplicado para analisar situações diversas. A geometria do silo e o produto a armazenado são variáveis do programa que fornecem como resultado as armaduras necessárias para a estrutura do silo. O programa permite também verificar se a espessura proposta para a parede é variável como solução.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 313**: standard practice for design and construction of concrete silos and stacking tubes for storing granular materials (ACI 313-97) and commentary – ACI 313R-97. Detroit, 1997. Revised.

AUSTRALIAN STANDARD. **AS 3774**: loads on bulk solids containers - commentary. Sydney, 1996.

CALIL JÚNIOR, C. Ações em silos pelo método dos estados limites: proposta de norma brasileira.

Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.16, n. 4, p. 110-117, jun. 1997.

CALIL JÚNIOR, C.; CHEUNG, A. B. **Silos**: pressões, fluxo, recomendações para o projeto e exemplos de cálculo. São Carlos: EESC/USP, 2007. 232 p.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB (2010). <http://www.conab.com.br/>

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN 1055-6**: Basis of design and actions on structures, part 6: design loads for buildings and loads in silo bins. Berlin, 2005.