

## ARTIGO TÉCNICO

### APLICAÇÃO DA ALVENARIA ESTRUTURAL EM SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS A GRANEL

JOSÉ F. DE A. MARQUES NETO<sup>1</sup>, MARIA C. A. T. DA SILVA<sup>2</sup>

**RESUMO:** O armazenamento de produtos agrícolas cumpre um papel importante no agronegócio. Observa-se uma tendência cada vez maior em se trabalhar com produtos a granel, em grandes volumes. Visando a uma concepção construtiva racional e econômica, o presente trabalho propõe um sistema misto em concreto armado e alvenaria estrutural aplicado a silos para armazenagem de produto agrícola a granel. No projeto proposto, o silo é composto de células em alvenaria estrutural, geminadas duas a duas na largura e com um número variável de células no comprimento, em função do volume desejado de armazenagem. Esse sistema simétrico favorece a racionalidade operacional, garantindo a continuidade entre os fluxos de recebimento e de expedição. O fundo da célula é em forma de tremonha dupla troncopiramidal, com saída central, construída em painéis treliçados pré-moldados. A sustentação das células e das tremonhas é feita através de vigas e de pilares de concreto armado. O isolamento térmico necessário para que a qualidade do produto armazenado seja garantida é estabelecido pela utilização de telhas trapezoidais de aço galvanizado, tanto na cobertura como nos fechamentos laterais. A fim de ilustrar o presente trabalho, um exemplo de silo utilizando o sistema proposto é apresentado, e a viabilidade da concepção construtiva adotada é analisada.

**PALAVRAS-CHAVE:** silos, produto granular, alvenaria estrutural, concreto armado, sistema estrutural.

### APPLYING STRUCTURAL MASONRY FOR GRANULAR MATERIAL STORAGE SYSTEMS

**ABSTRACT:** The storage of granular materials has had an important role in the agribusiness. Storing granular materials in silos, instead of in bags or big-bags, has been an increase tendency. Aiming at an economic and rational solution for storing granular materials this paper presents an alternative design: a multi-cell silo group composed of reinforced masonry rectangular cells coupled two by two in width, and a variable number of cells in length according to the volume of desired storage. Such symmetrical system benefits the loading and the unloading operations, and guarantees the continuity between the receipt flow and the shipment flow. The silo bottom is designed as a double pyramidal central opening hopper. The hoppers are built in precast-concrete trussed panels. Cells and hoppers are supported on reinforced concrete beams and columns. The thermal insulation needed to preserve the quality of the grains is obtained by using galvanized steel trapezoid tiles for the roof as well as for the lateral closure. An example is presented and the feasibility of the alternative design is discussed.

**KEYWORDS:** silos, granular material, structural masonry, reinforced concrete, structural system.

<sup>1</sup> Mestre em Engenharia Civil, Diretor da Azevedo Marques Projetos e Construções Ltda. azevedo\_marques@uol.com.br.

<sup>2</sup> Profa. Associada, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Estruturas, cecilia@fec.unicamp.br.

Recebido pelo Conselho Editorial em: 21-6-2010

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 25-11-2010

## INTRODUÇÃO

O armazenamento de alguns produtos agrícolas tem sido feito, ainda, em armazéns concebidos para estocar o produto em sacaria. Este sistema apresenta vários inconvenientes, tais como o comprometimento da qualidade do produto armazenado, a utilização de dispositivos para movimentação interna e para empilhamento e transporte altamente dispendiosos e a necessidade de grandes espaços para armazenagem.

O mercado externo e parte do mercado interno da agroindústria têm apontado para a alternativa de armazenar o produto a granel em silos. Vários fatores estão associados a essa proposta: possibilidade de armazenagem de volumes maiores; transporte mais barato e mais seguro em caminhões tipo contêiner; custo mais barato do contêiner embarcado em navios para exportação; redução da mão de obra de manuseio; segurança maior contra incêndio; maior rapidez na carga e descarga, entre outros.

A indústria eletromecânica já está em franco desenvolvimento nos processos de carga e descarga do produto, tanto para a etapa de transporte, como para enchimento dos contêineres, com velocidades cada vez maiores. Torna-se interessante, então, que a construção civil acompanhe esta evolução, apresentando ideias e soluções construtivas adequadas, de custos compatíveis e que tenham abrangência no mercado da agroindústria. Pesquisas de cunho acadêmico vêm também sendo desenvolvidas, tendo como foco vários aspectos que interferem na escolha do armazenamento de produtos agrícolas a granel (FARONI et al., 2009; LOPES NETO et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2007) , com o intuito de fornecer subsídios técnico-científicos aos profissionais ligados à engenharia aplicada e ao agronegócio.

O objetivo deste trabalho é apresentar a concepção de um sistema misto em concreto armado e alvenaria estrutural para armazenamento de produtos agrícolas a granel. O modelo proposto é composto por um conjunto de células de seção retangular - geminadas duas a duas, formando um silo multicelular elevado, com fundo em forma de tremonha troncopiramidal e saída central.

## SISTEMA PROPOSTO

### Projeto arquitetônico

A definição do projeto arquitetônico depende do sistema de trabalho que o usuário quer adotar e quanto deseja armazenar por célula. A concepção proposta neste trabalho compõe-se de um sistema misto de concreto armado e alvenaria estrutural aplicados a silo multicelular composto de células geminadas duas a duas. A largura que se tem mostrado como adequada para esse tipo de concepção é de aproximadamente 10 metros (5 metros por célula). No sentido longitudinal, adota-se a mesma medida de 5 metros por célula, podendo-se subdividi-la para facilitar a armazenagem do produto agrícola e sua transilagem. A altura das células é calculada em função da capacidade de armazenagem desejada. No centro do sistema, é reservado um vão para a localização dos elevadores de grãos, para a balança de fluxo e para um eventual sistema de retirada do pó. Esse sistema simétrico favorece a racionalidade operacional, permitindo continuidade entre os fluxos de recebimento e de expedição. As esteiras eletromecânicas que têm como função movimentar o produto, bem como os trilhos que as sustentam, são consideradas na concepção arquitetônica. Na Figura 1, mostra-se o sistema proposto.

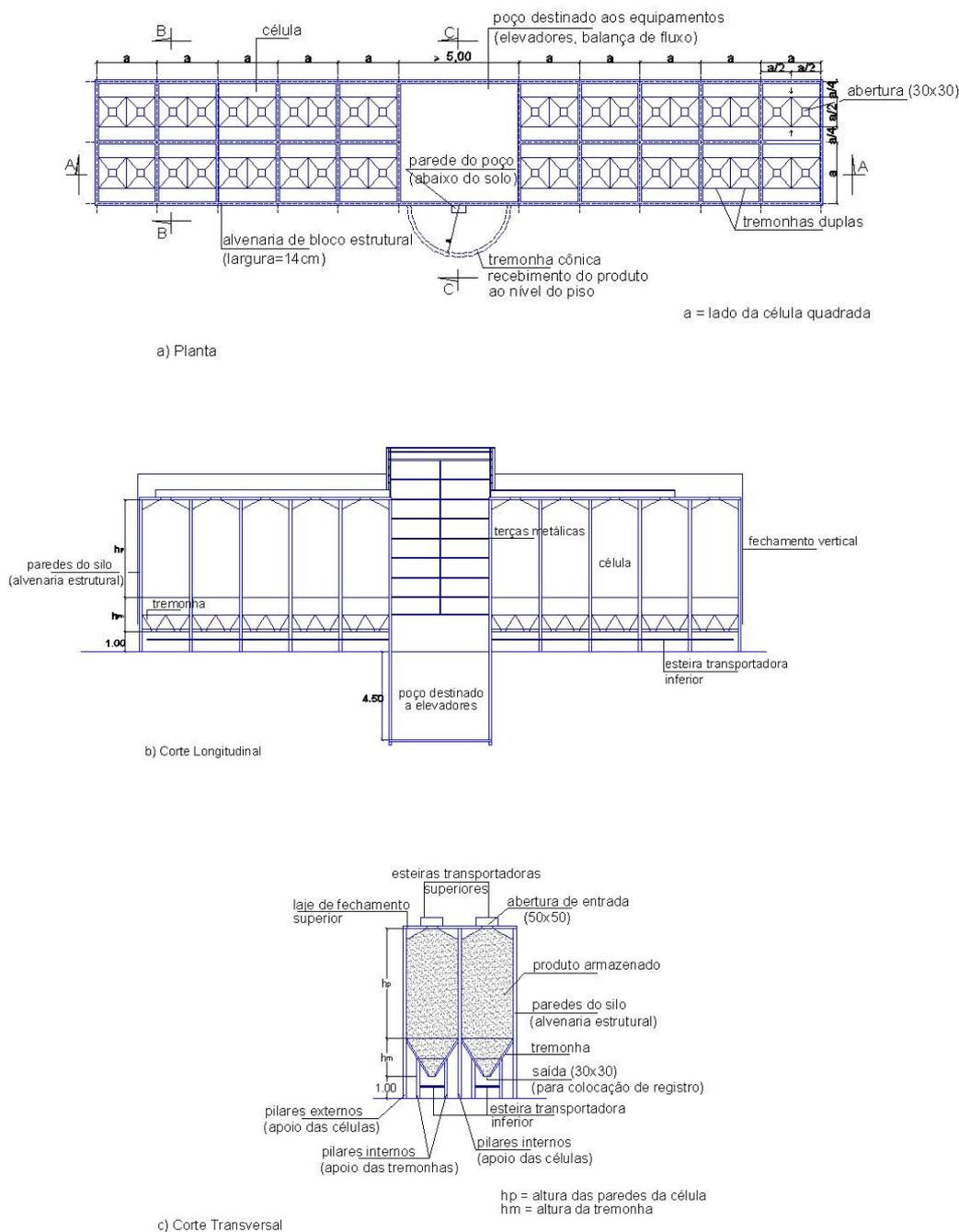


FIGURA 1. Silo multicelular para armazenamento de produtos agrícolas. **Multi-cell silo group for storage of granular materials.**

**Cobertura e fechamento lateral do silo**

Para garantir uma condição térmica adequada à massa de grãos, podem ser utilizadas na cobertura telhas de aço galvanizado trapezoidais com espessura de 0,50 mm, fixadas em estruturas metálicas (treliças de duas águas). O mesmo tipo de telha, com espessura de 0,43 mm ou de 0,50 mm, é adotado para os fechamentos verticais laterais, a fim de impedir a presença de umidade nas paredes do silo. O vão entre as telhas de fechamento vertical e as paredes do silo facilita a passagem de ar, colaborando com o equilíbrio térmico desejado. Na Figura 2, mostra-se o colchão de ar formado entre a telha vertical e a parede e entre a telha de cobertura e a laje de fechamento superior da célula.

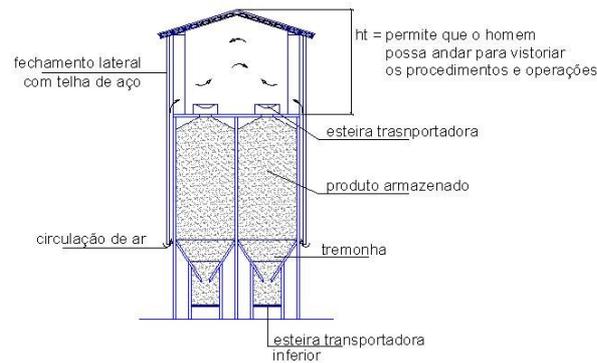


FIGURA 2. Cobertura e fechamento lateral do silo. **Roof and lateral closure of the silo.**

Cabe observar que, alternativamente às telhas de aço galvanizado, é possível encontrar, no mercado, outros materiais que venham a apresentar melhores características térmicas.

### Laje de fechamento das células

A parte superior das células recebe uma laje que tem como função travar as paredes de alvenaria estrutural e possibilitar o trânsito de pessoas para eventual manutenção e verificação dos procedimentos. Esta laje tem uma abertura no centro de cada célula, de 50 cm por 50 cm, que permite a passagem do produto das esteiras transportadoras superiores para a célula.

Dois tipos de solução foram analisados: a utilização de lajes de concreto armado moldadas *in loco* e lajes pré-moldadas com capeamento de concreto. Na primeira alternativa, o cimbramento e o escoramento de formas de madeira tornar-se-iam difíceis devido à altura das células. A desforma também ficaria prejudicada pela dificuldade em se retirar o material após a concretagem. Assim, optou-se pela colocação de lajes pré-moldadas com enchimentos de lajotas cerâmicas e capeamento de concreto, que permitem um escoramento mais simples. Com a utilização da laje pré-moldada, basta a colocação de um perfil metálico de cada lado da abertura que serve de escoramento para a laje (Figura 3). Esses perfis não são retirados, mesmo após o período de cura da laje.

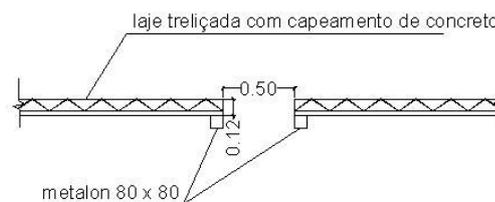


FIGURA 3. Detalhe do sistema de apoio da abertura da laje superior. **Details of the support of the upper slab opening.**

### Paredes do silo

As paredes dos silos são de blocos de concreto estrutural, dimensionadas através das normas brasileiras que regem o assunto (NBR-8798, 1985; NBR-10837, 2000; NBR-6136, 2007). A técnica da alvenaria estrutural indica que os valores geométricos das paredes sejam múltiplos de 0,40 m na horizontal e 0,20 m na vertical, mas outro valor poderá ser adotado dentro das famílias dos blocos estruturais existentes.

## Fundo da célula

O fundo da célula é na forma de tremonha dupla troncopiramidal, com saída central. Essa opção foi adotada para reduzir a altura da tremonha e, conseqüentemente, a altura total do silo, reduzindo-se o custo da obra.

As tremonhas são construídas em painéis treliçados pré-moldados, conhecidos como pré-lajes, com capeamento em concreto armado (Figura 4). O uso de pré-lajes dispensa o revestimento inferior, pois o acabamento é excelente, dispensa equipamento de içamento, economiza mão de obra e tempo de montagem, reduz o escoramento e é de fácil manuseio.

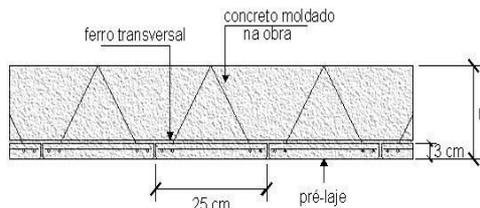


FIGURA 4. Pré-laje utilizada na construção da tremonha. **Precast-concrete trussed panel used to build the hopper.**

As pré-lajes são apoiadas no sentido transversal do silo. No encontro inferior das pré-lajes (fundo da tremonha), devem-se prever aberturas, em geral de 30 cm por 30 cm, onde são fixados os registros eletromecânicos para a saída dos grãos.

Para se concluir a concepção da tremonha, é necessário que, no sentido longitudinal do silo, após a concretagem da pré-laje, faça-se um enchimento, de preferência de tijolos cerâmicos furados assentados com argamassa de cimento e areia, dando as declividades indicadas em projeto, para os orifícios de saída (Figura 5a). Esse enchimento recebe um capeamento em cimentado liso desempenado, uniformizando o acabamento dessa superfície (Figura 5b). O tijolo cerâmico furado foi escolhido em função de seu baixo peso específico e em função da facilidade de manuseio no assentamento para se obterem as declividades desejadas.

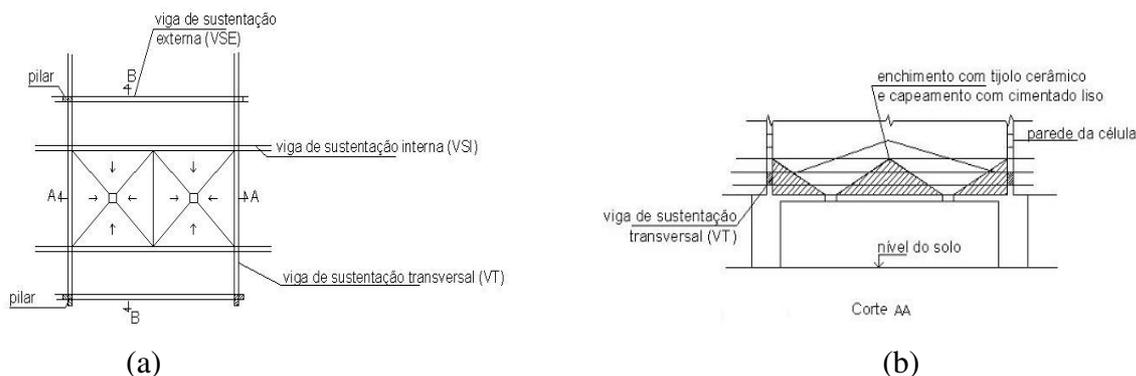


FIGURA 5. Tremonha com saída troncopiramidal: (a) projeto do fundo da célula; (b) enchimento no fundo da tremonha. **Pyramidal Hopper: (a) Bottom of the cell; (b) Bricks and covering of cement.**

## Apoios das células e das tremonhas

A sustentação das células e das tremonhas é feita através de pilares e vigas de concreto armado, cujos topos são unidos às paredes das células e às tremonhas.

Visando a facilitar o dimensionamento estrutural das tremonhas, além dos pilares externos, é projetado um sistema de pilares internos que sustentam as vigas de apoio das tremonhas (Figura 6).

A distância entre esses pilares, na seção transversal do silo, serve para permitir a passagem e a fixação da esteira transportadora do produto, que sai das células (Figura 1c).

As dimensões das vigas e dos pilares são determinadas com base nas dimensões dos blocos de alvenaria especificados para a obra. A escolha do concreto é feita com base na norma NBR-6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento (2003), sendo que o mínimo valor permitido para a resistência característica do concreto ( $f_{ck}$ ) é de 20 MPa.

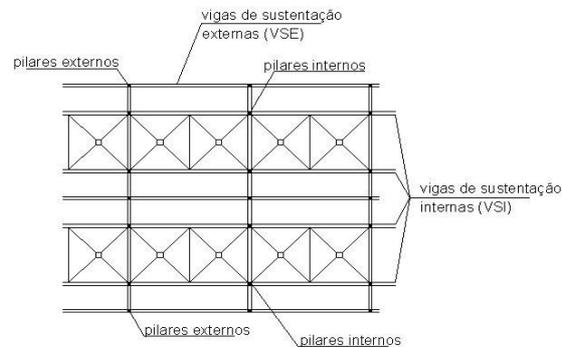


FIGURA 6. Estrutura de apoio das células e das tremonhas. **Support structure of cells and hoppers.**

## PROJETO ESTRUTURAL

As principais ações que compõem o carregamento que atua sobre o silo são: peso próprio do silo e dos equipamentos, pressões e forças de atrito provocadas pelo produto armazenado, efeito do vento e variação da temperatura.

O peso próprio do silo é determinado através do peso dos elementos estruturais definidos na concepção arquitetônica segundo as normas existentes. O peso devido aos equipamentos (esteiras transportadoras superiores e inferiores, e os registros de abertura para saída do produto) é considerado desprezível no cálculo das células, comparativamente ao peso próprio da estrutura.

As ações provenientes do produto armazenado são determinadas através do procedimento proposto pela norma americana ACI 313-97 (ACI, 1997).

O efeito do vento deve ser considerado no cálculo estrutural do fechamento lateral da estrutura metálica, cujas terças estão fixadas nas amarrações (pilares grauteados) da alvenaria estrutural das células. Esses cálculos devem seguir as orientações de normas referentes ao tema.

A variação da temperatura poderá produzir esforços não desprezíveis, principalmente em silos multicelulares projetados para regiões com grande variação térmica diária. No sistema proposto, esse efeito é bastante atenuado, e sua consideração sobre as paredes do silo é desprezível em virtude da proteção térmica proporcionada pela cobertura de telhas de aço galvanizado e pelos fechamentos verticais em todas as laterais do silo, também, com telhas de aço galvanizado.

Para se calcularem as combinações críticas de carregamento, devem ser consideradas várias situações de células cheias e vazias (SAFARIAN & HARRIS, 1985). A solução pode ser obtida com a utilização de ferramentas computacionais. Na Figura 7, indicam-se situações possíveis para o dimensionamento do silo multicelular.

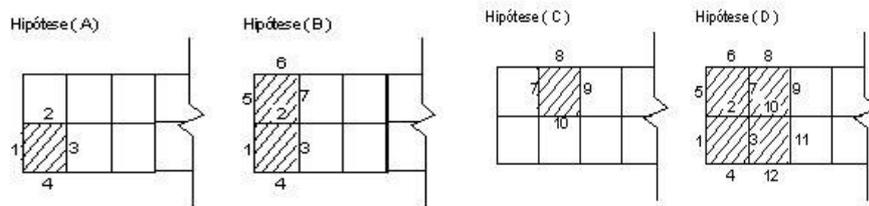


FIGURA 7. Hipóteses de enchimento das células. **Hypotheses of filling up the cells.**

A determinação das propriedades físicas do produto armazenado pode ser realizada em laboratório, ou valores disponíveis na literatura corrente poderão ser adotados.

Os esforços nas células e nas tremonhas podem ser obtidos de acordo com o procedimento de cálculo proposto por BLIGHT (2006). A solução pode ser também obtida com a utilização de ferramentas computacionais.

A estrutura de apoio das células do silo (Figura 8) é composta pelas vigas de sustentação externa (VSE), vigas de sustentação interna (VSI-1 e VSI-2), vigas de sustentação transversal (VT), pilares de apoio externos e pilares de apoio internos. Esse esqueleto estrutural pode ser analisado como um pórtico espacial, formado por elementos verticais, horizontais e inclinados.

As vigas transversais VT e longitudinais VSE e VSI-2 recebem o peso próprio das paredes das células, as respectivas reações das lajes de cobertura dessas células e os esforços provenientes das pressões horizontais e verticais do produto armazenado, além das reações provenientes das lajes das tremonhas. As vigas longitudinais VSI-1 recebem apenas as cargas das lajes das tremonhas. As reações de apoio dessas vigas são transmitidas aos pilares PE1, PI e PE2.

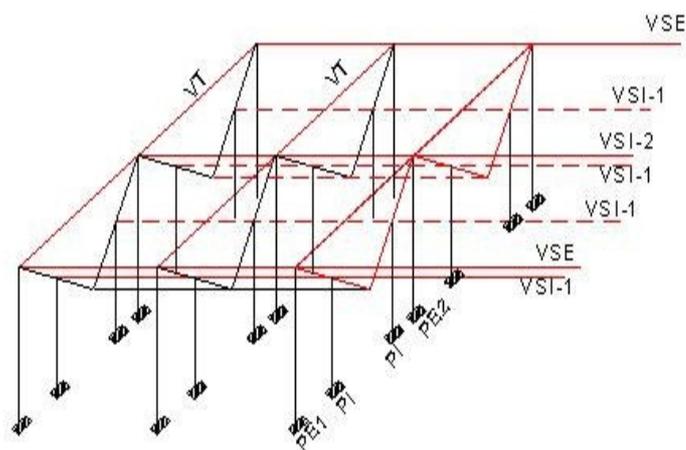


FIGURA 8. Visão espacial do pórtico. **Tri-dimensional frame view.**

O dimensionamento das paredes estruturais determina não só a geometria, a resistência à compressão necessária e as especificações técnicas dos blocos, como também as características necessárias para as argamassas de assentamento e para as argamassas de grauteamento. O cálculo estrutural propriamente dito não será discutido neste trabalho.

### EXEMPLO PRÁTICO – SILOS PARA ARMAZENAMENTO DE CAFÉ A GRANEL

A seguir, são mostrados o esquema estrutural (Figura 9) e as fotos da execução do primeiro silo multicelular elevado para armazenagem de café a granel (Figuras 10 a 13), construído em 1999, na cidade de Varginha - MG, para a empresa SENDAS COMÉRCIO EXTERIOR S.A (MARQUES NETO & SILVA, 2006).

Nessa edificação, foram utilizados blocos de alvenaria estrutural de concreto nas dimensões de 19x91x39 cm e 19x19x19 cm. Os elementos de concreto armado foram projetados com as seguintes seções transversais: pilares - (20x50)cm; vigas longitudinais - (20x50)cm; e vigas transversais - (20x40)cm.

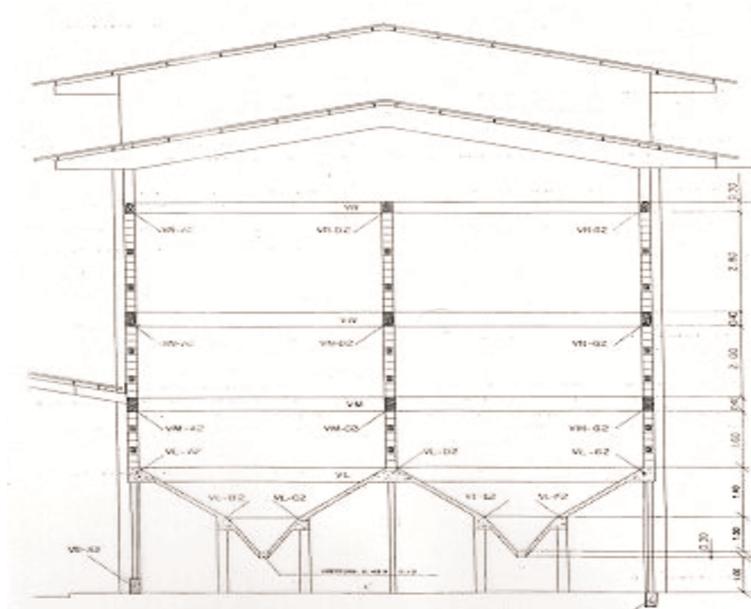


FIGURA 9. Esquema estrutural do silo multicelular construído em Varginha. **Schematic structure of the multi-cell silo built in Varginha.**



FIGURA 10. Perspectiva da construção do silo. **Perspective of construction of the silo.**



FIGURA 11. Detalhe da construção da tremonha. **Detail of the construction of the hopper.**



FIGURA 12. Laje superior de fechamento das células. **The upper slab.**



FIGURA 13. Fechamento vertical com telhas de aço. **Vertical closure with steel tiles.**

Nesse exemplo, alguns aspectos técnicos devem ser observados:

- a tremonha foi concebida com dois ângulos de inclinação, o que dificultou a execução da obra, pois a parte mais inclinada exigiu que se fizesse fôrma de madeira compensada do lado superior, para conter o deslizamento do concreto. Verificou-se, posteriormente, que uma única inclinação, com um ângulo adequado, é suficiente para satisfazer às condições de fluxo exigidas para o produto;

- foram executadas vigas horizontais de concreto armado na construção das paredes dos silos, intercalando-as com a alvenaria armada (canaletas de concreto). Com a aplicação precisa das teorias de cálculo das pressões e do atrito lateral gerados pelo produto armazenado, é esperado que, para o dimensionamento da alvenaria estrutural, sejam necessários apenas pilares e canaletas grauteadas na extensão dessas paredes. O uso de vigas de concreto armado é mais trabalhoso, mais caro e mais moroso.

Da realização do projeto e da execução da obra desse silo multicelular para armazenamento de café a granel, merecem destaque as seguintes experiências:

- o desafio que foi projetar e construir um sistema de silos graneleiros para café beneficiado, em modelo construtivo pioneiro (concreto e alvenaria estrutural) para tal finalidade;

- a constatação de que dificuldades construtivas ensejam um estudo mais aprofundado das ações que agem na estrutura, provenientes do produto ensilado, para que soluções mais simples possam ser alcançadas;

- a possibilidade de que este trabalho possa, na prática, servir de base para novos empreendimentos e servir de modelo para outros profissionais que atuam no *agribusiness* do café.

## CONCLUSÕES

Várias definições adotadas neste trabalho foram conclusivas: a opção por células quadradas ou retangulares foi apropriada ao sistema adotado de células duplas geminadas; a aplicação de alvenaria estrutural para as paredes das células e de lajes tipo painel com capeamento em concreto para as tremonhas apresenta-se como solução adequada e poderá ser utilizada em qualquer região; a cobertura e o fechamento vertical em telhas de aço galvanizado podem contribuir para o conforto térmico e para a garantia da conservação das propriedades físicas, químicas e biológicas do produto armazenado. Contudo, vale ressaltar que outros materiais com melhores características de isolamento térmico poderão ser utilizados, mantendo-se a mesma concepção proposta.

## REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento*. Rio de Janeiro, 2003.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6136: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural*. Rio de Janeiro, 2007.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10837: Cálculo de alvenaria de blocos vazados de concreto*. Rio de Janeiro, 2000.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 8798: Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto*. Rio de Janeiro, 1985.
- ACI. AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. *ACI 313-97: Standard Practice for Design and Construction of Concrete Silos and Stacking Tubes for Storing Granular Materials (ACI 313-97) and Commentary – ACI 313R-97*. Farmington Hills, 1997. 39 p.
- BLIGHT, G. *Assessing load on silos and other bulk storage structures: research applied to practice*. London: Taylor & Francis, 2006. 234 p.
- FARONI, L.R.A.; ALENCAR, E.R.; PAES, J.L.; COSTA, A.R.; ROMA, R.C.C. Armazenamento de soja em silo tipo bolsa. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.29, n.1, p.91-100, 2009.
- LOPES NETO, J.P.; NASCIMENTO, J.W.B.; SILVA, V.R. Efeito do tempo de armazenagem de rações avícolas no dimensionamento de silos. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.29, n.4, p.518-527, 2009.
- MARQUES NETO, J.F.A.; SILVA, M.C.A.T. Storage of coffee beans in silos: na alternative design for multi-cell silo groups. *Bulk Solids Handling*, Clausthal, v.26, n.8, p.546-555, 2006.
- OLIVEIRA, F.A.; KHATCHATOURIAN, O.A.; BIHAIN, A. Estado térmico de productos armazenados em silos com sistema de aeração: estudo teórico e experimental. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.27, n.1, p.247-258, 2007.
- SAFARIAN, S.S.; HARRIS, E.C. *Design and construction of silos and bunkers*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1985. 468 p.