

ESTUDO DE CASO REFERENTE A RECUPERAÇÃO DO TÚNEL DE UM SILO FUNDO MELITA “V”

SABRINA ARAÚJO ZANATTA¹
WANIEL APARECIDO FÉLIX COUTINHO²

RESUMO: Nas dificuldades enfrentadas pelo setor agroindustrial hoje no Brasil, os cuidados na execução de qualquer projeto são muito importantes. Desta forma, esse trabalho tem como objetivo ajudar futuros engenheiros que podem enfrentar diversas situações na execução de uma obra de um silo. Em forma de estudo de caso, o presente trabalho irá apresentar os danos de um silo graneleiro com capacidade de 12.890 toneladas construído na cidade de Sorriso-MT. Apresentará alguns fatos que podem ter levado a aparição de fissuras após a sua primeira utilização, além de apresentar o estudo realizado pelos professores Doutores Andrés Batista Cheung e Carlito Calil Filho na busca da melhor solução para a recuperação do silo e o estudo realizado pela empresa gerenciadora da obra, confirmando a eficiência da recuperação. Com a dificuldade em encontrar materiais e normas brasileiras estabelecidas, a pesquisa se espelhou em outros trabalhos distintos que tratavam sobre o fluxo e esforços dos silos, além dos documentos dos estudos realizados por profissionais especializados no assunto.

Palavras-chave: compactação, estrutura metálica, fissuras, recuperação, túnel de descarga.

DEVELOPMENT OF A SOFTWARE FOR COMPARATIVE ANALYSIS OF DETAILED MATERIAL BUDGETS

ABSTRACT: In the difficulties faced by the agro-industrial sector in Brazil today, care in the execution of any project is very important. In this way, this work aims to help future engineers who may face different situations in the execution of a silo work. In the form of a case study, the present work will present the damage of a bulk silo with a capacity of 12,890 tons built in the city of Sorriso-MT. It will present some facts that may have led to the appearance of cracks after its first use, in addition to presenting the study carried out by Professors Andrés Batista Cheung and Carlito Calil Filho in search of the best solution for the silo recovery and the study carried out by the management company confirming the recovery efficiency. With the difficulty in finding established Brazilian standards and materials, the research was mirrored in other distinct works that dealt with the flow and efforts of the silos in addition to the documents of the studies carried out by professionals specialized in the subject.

Keywords: compaction, metal structure, cracks, recovery, discharge tunnel.

¹ Acadêmico de Graduação, Curso de Engenharia Civil, UNIFASIPE Centro Universitário, R. Carine, 11, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: sabrinazanattaeng@hotmail.com

² Professor Especialista em Engenharia Civil, Curso de Engenharia Civil, UNIFASIPE Centro Universitário, R. Carine, 11, Res. Florença, Sinop - MT. CEP: 78550-000. Endereço eletrônico: waniel.coutinho@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Aprosoja 2020 (Associação dos Produtores de Soja e Milho de Mato Grosso), o milho chegou ao Brasil muito antes dos portugueses, advindas de ilhas do litoral mexicano. Com a colonização, houve um aumento considerável no consumo, passando a ser um hábito alimentar dos índios e escravos. Então, o grão passou a ser utilizado como alimentação animal, sendo que nos últimos anos está ganhando seu espaço na produção de etanol.

O Brasil foi considerado, no ano de 2019, segundo a Conab (Companhia Nacional de Abastecimento) o país líder em exportação de milho do mundo, superando os Estados Unidos, com a safra 2019/20 de milho no Brasil, que chegou a 26,3 milhões de toneladas, 2,5% maior que a produção na safra 2018/19 (CONAB, 2020).

Considerado o maior estado na produção de soja e milho do Brasil, o Mato Grosso se destaca produzindo cerca de 21 milhões de toneladas de milho por safra, quase 80% da produção total no país. Com a alta produção, o estado sofre um grande desafio para o armazenamento dos grãos. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) informou que no 2º semestre de 2018 a capacidade de armazenamento de milho no Mato Grosso foi de 11,1 milhões de toneladas, com isso, mais de 40% da produção ficou sem lugar apropriado para estocagem (IBGE, 2019).

A construção de novos silos surge como alternativa para a armazenagem do milho colhido no estado, pois os silos são importantes na manutenção dos produtos agrícolas, uma vez que evitam o desperdício e a perda de qualidade dos grãos causados pelo mal armazenamento no pós-colheita.

Com mais lugares para estocar corretamente o grão, o produtor consegue padronizar e ter maior controle na qualidade de seu produto. O investimento é alto, mas em compensação, pode ser pago a longo prazo e com muitos benefícios, como financiamentos. Dessa forma, os métodos construtivos dos silos têm variado de acordo com a necessidade e característica do produto. Com isso, o estudo minucioso para a construção de um silo graneleiro que atenda o seu principal objetivo é a certeza que o planejamento estratégico tenha garantia de um grande diferencial na rentabilidade.

Em primavera do Leste, cidade a 239 Km da capital do Estado, Cuiabá, está o maior silo do mundo. Conhecido como Silo 156, tem capacidade de armazenar 35 mil toneladas de soja ou milho. Os produtores têm se reunido para estudar a construção de silos em cada fazenda ou a junção de duas ou três fazendas produtoras do grão, tendo como benefício a independência da venda do grão no período adequado, a redução de perdas no campo, agilidade na colheita e economia em transporte.

Com o crescimento do cultivo no Brasil, faz-se necessária a construção de mais silos e com isso, o conhecimento de determinadas ações que atuam sobre as paredes e fundo dos silos torna-se cada vez mais essencial, dando maior segurança, economia e eficiência para o projetista.

Infelizmente, no Brasil não existe uma norma sobre o dimensionamento de silos, o que diverge no conhecimento sobre as pressões exercidas pelo grão armazenado e as normas existentes criadas por outros países. São essas discrepâncias na forma de obtenção das propriedades físicas do grão e o entendimento parcial sobre o assunto que dificulta a execução 100% segura da construção.

Diante disso, elaborou-se um estudo contendo informações da recuperação de um “silo Melita” apresentando brevemente informações construtivas e apontando os danos estruturais que o túnel de descarga do silo apresentou. Será apresentado também, os estudos e

ações tomadas para a recuperação do mesmo, assim como as causas que levaram o silo a sofrer o recalque em sua estrutura e se irá ser possível que a estrutura volte a ser utilizada de forma eficaz.

Será apresentado os estudos da recuperação do silo realizado pelos professores Doutores Andrés Batista Cheung e Carlito Calil Filho, contratado através do projetista responsável pelo projeto do silo, como também um estudo embasado na recuperação do silo, realizado pela empresa gerenciadora da obra contratada pelo proprietário, confirmando a eficácia da recuperação, e, se irá necessitar ou não de novo reforço para que possa trabalhar com 100% de sua capacidade.

Todo contexto teórico do trabalho foi realizado com os estudos citados a cima, fotos e detalhes executivos foram acompanhados e registrados em documentações diárias, realizados pela empresa que executou o silo. Não será citado o nome da empresa proprietária, gerenciadora e que executou a obra, também não será citado o nome do engenheiro calculista que realizou o projeto do silo, serão apenas citados os nomes dos professores que realizaram o estudo, visto que ambos já estão na área. Será apresentado se a decisão tomada foi realmente eficaz e se existe outros métodos que poderiam ser utilizados.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Descrição dos Silos

Com o intuito de auxiliar no entendimento dos fatos ocorridos com o silo, será descrito de forma breve os diferentes silos, priorizando o silo estudado, como também fatos construtivos e importantes para a execução do mesmo.

De acordo com o trabalho de Paturca (2014), “Caracterização das estruturas de armazenagem de grãos: um estudo de caso no Mato Grosso”, desde 1960, com a implantação das lavouras extensivas, surgiram construções com a capacidade de armazenamento dos grãos colhidos na safra, garantindo a qualidade dos mesmos, para que assim fossem comercializados, mesmo nos meses posteriores a serem colhidos.

Essas construções conhecidas como silos e armazéns, tem se tornado necessidades nas cidades produtoras, principalmente Sorriso e região. E, com o tempo têm se modernizado, ganhando mecanismos de carga e descarga, controle de temperatura e umidade, aumentando cada vez mais a qualidade na estocagem dos grãos.

Com isso, os silos e armazéns têm sido construído com diversas formas e para diferentes finalidades, sendo diferenciados segundo sua esbeltez, tipo do fluxo durante a descarga, geometria do fluxo, entre outras características.

Como apresentado no Quadro 1, o silo estudado, tem como sua característica de fluxo de classe 3, com trajeto excêntrico, segundo a norma australiana AS-3774, utilizada no estudo da recuperação do silo. Conforme os cálculos realizados pelos professores Doutores Andrés Batista Cheung - UFMS e Carlito Calil Filho – USP - São Carlos, o silo possui pressão maior que 0,25 com uma capacidade maior que 10000 t.

Quadro 1: Classificação dos silos quanto a geometria do fluxo.

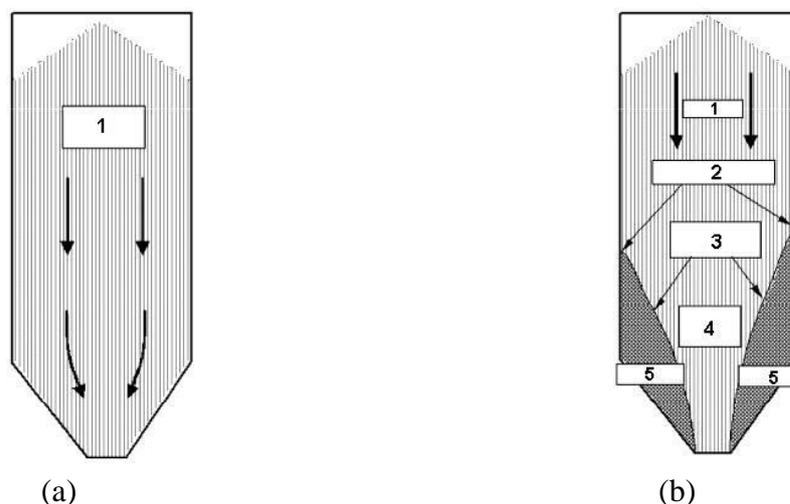
Tipo	Classificação
C1	Trajeto axissimétrico (Silo circular com abertura de descarga concêntrica)

C2	Trajeto Planar (silo de seção transversal retangular, com tremonhas em forma de cunha)
C3	Trajeto excêntrico (canal do fluxo não é simétrico)

Fonte: Adaptação da norma australiana AS-3774.

Outra característica importante na diferenciação dos silos é a geometria do fundo. Existe fundo plano, cone ou fundo V, conhecido como Melita. O fundo dos silos está diretamente ligado ao fluxo por gravidade do grão. Como tratado anteriormente e detalhado na Figura 1, o fluxo em massa representado na imagem (a) demonstra o movimento contínuo do grão do início ao fim no processo de descarregamento. A imagem (b) representa o fluxo funil onde as partículas se movimentam apenas no centro, enquanto as partículas juntas na parede permanecem intactas.

Figura 1: (a) Fluxo de massa: (b) fluxo de funil



1 material em fluxo

2 transição efetiva

3 fronteira do canal de fluxo

4 tremonhas efetiva

5 materiais estacionário

Fonte: EN 1991-4, 2006, p. 112 – “modificada pelo autor”

2.2 Descrição dos produtos armazenados

O fluxo de um silo está relacionado com a dimensão das partículas sólidas que serão armazenadas. Segundo Gomes (2000), essa dimensão qualifica se a estrutura irá ter um fluxo corrente ou terá agrupamentos das partículas na boca de descarga, causando obstrução do fluxo. Outra consideração importante apresentada na norma Australiana AS-3774 é o peso específico do grão, que é definido pela quantidade de massa das partículas sólidas divididas pelo volume total e multiplicado pela aceleração da gravidade ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$).

Desde o século XIX o estudo das pressões em silos tem ganhado espaço para a execução mais segura de projetos estruturais. Calil Junior (1985), desenvolveu um experimento que verifica o comportamento das pressões laterais de carregamento e descarregamento, se embasando na norma australiana.

A norma australiana AS-3774 prevê ações que causam o aumento da pressão normal sobre a parede, são elas: rápido descarregamento; mistura pneumática; expansão do

produto armazenado em decorrência da absorção de umidade; carregamento excêntrico; sucção em virtude das mudanças térmicas adiabáticas.

Quando ocorre o preenchimento do silo, o peso do grão é dividido entre a parede da estrutura devido o atrito do produto e o fundo do silo. Esse peso exercido pelo produto em repouso no interior do silo, que atua diretamente nas paredes e no fundo, é conhecido como pressão estática.

Quando a pressão é exercida na direção horizontal ou lateral, a parede do silo é chamada de pressão perpendicular e as pressões paralelas a parede é denominada de pressão vertical.

De acordo com Cheung (2007), pressão exercida na parede durante a movimentação de carregamento e descarregamento do silo é denominada de pressão dinâmica ou ativa e passiva. Esse tipo de pressão apresenta valor maior que a de pressão estática. As pressões, também dependem das propriedades físicas dos grãos, como o ângulo de atrito com a parede, o ângulo efetivo de atrito interno e peso específico.

2.3 Descrição das Patologias

De acordo com o projeto de pesquisa “Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações” realizado por Gonçalves (2015), a origem desses problemas patológicos pode ocorrer em qualquer fase do processo construtivo e por uma série de fatores combinados. Sendo assim, existem as patologias na fase de projeto, execução, utilização, manutenção imprópria e até mesmo utilização de materiais de má qualidade.

Será focado o estudo da aparição das patologias na fase de utilização, que é gerado basicamente pela utilização errônea, ou seja, aplicar carga maior que a prevista em projeto. Em silos existem quatro causas frequentes de falhas que são: erro de montagem, erro de operação, falta de manutenção e recalque da base. O conhecimento dessas falhas frequentes auxilia na hora da realização do diagnóstico dessas patologias.

Fissuras, trincas ou rachaduras são classificadas de acordo com a sua espessura. No estudo das patologias são conhecidas de modo geral como fendas. Essas fendas podem interferir tanto na estética quanto na durabilidade da obra, mas o que mais preocupa é a alteração nas características estruturais que podem apresentar.

Ocorrem em qualquer lugar da obra, paredes, vigas, pilares e lajes. Geralmente ocorrem por tensões não previstas em projeto. As fissuras são as mais ocorrentes e de menor gravidade. São aberturas menores de 0,5 mm, muitas vezes, quase imperceptíveis. Mas devem ser observadas e acompanhadas, pois são conhecidas como “estágio um” da trinca e rachaduras.

As trincas têm aberturas maiores e mais profundas, o que pode levar a ruptura do elemento estrutural, no caso o concreto, e, assim, tornar a estrutura não segura. As rachaduras são as mais perigosas e aparentes, são aberturas maiores de 1,5 mm que permitem a entrada de ar e água no interior da peça, conseqüentemente podendo causar a corrosão da armadura.

Quando ocorre a rachadura de uma peça estrutural ela deve ser estudada até serem encontradas as causas e soluções da origem do problema. As causas das rachaduras são geralmente as sobrecargas não previstas, acomodação dos elementos estruturais superiores previstas, retirada antes do tempo das escoras, dilatação térmica excessiva, infiltração, vibrações constantes, entre outros.

Segundo o Blog APL Engenharia, a compactação é definida como uma redução de vazios do solo. É essa redução de vazios que irá definir a resistência, quando mais compactada for um aterro, maior será a sua resistência de suportar cargas pesadas. Para garantir a eficácia na compactação do solo, primeiro se deve conhecê-lo. Por isso, a importância do estudo laboratorial antes de começar o trabalho.

Os ensaios laboratoriais irão identificar as características do solo, principalmente sua umidade. Dessa forma, se identifica se o solo necessita de mais ou menos umidade, para que possa chegar no resultado esperado, garantindo uma boa qualidade de serviço. A grande dificuldade ao realizar o serviço de compactação de um ambiente são as intempéries climáticas.

Com períodos longos de chuvas que atrasam as obras e trazem prejuízos, as empreiteiras têm realizado a substituição de material ao realizar a compactação, dependendo de uma série de fatores e parâmetros definidos em laboratórios.

De acordo com a revista AECWeb, a umidade é um dos fatores mais importantes a se considerar ao executar uma boa compactação, visto que a partir de um teor específico a compactação se torna ineficiente, ou seja, não consegue expulsar o ar dos vazios, pelo fato do grau de saturação do solo estar elevado e a água não liberar esse ar. A umidade é encontrada em ensaios geotécnicos laboratoriais.

Em outras palavras, se a umidade for baixa, o atrito entre as partículas é maior, evitando a redução de vazios necessárias. E se a umidade for elevada, a água se acomoda no solo, no lugar dos vazios, ao invés de removê-los, tornando o solo realmente compactado.

O objetivo do trabalho é apresentar métodos de recuperação de um silo fundo Melita, com capacidade total de 17 mil toneladas, que sofreu patologias graves. O local onde houve as manifestações patológicas aparente foi no teto do túnel do silo, localizado a 10 metros de profundidade. Além do piso inclinado interno e piso externo do silo.

As fissuras apareceram após o primeiro carregamento de 10 mil toneladas, o silo apresentou fissura de flexão e cisalhamento na laje do túnel do silo, na região de contato das rampas de concreto com a laje, como apresentado na Figura 2. Com a aparição das primeiras fissuras foi solicitado o esvaziamento de imediato do silo para a segurança dos colaboradores.

Figura 2: Primeiras fissuras aparentes



Fonte: Própria (2020).

Após o ocorrido, o próprio calculista responsável pelo projeto, procurou especialistas em estruturas de silos. Foi então que contratou os professores Doutores Andrés Batista Cheung - UFMS e Carlito Calil Filho – USP-São Carlos, para auxiliar na compreensão do ocorrido e na proposta de solução para o reestabelecimento da integridade e segurança da estrutura.

Com base nas informações repassadas pelo projetista aos professores, os mesmos chegaram ao consenso de que a forma executiva do fundo do silo Melita, apoiado diretamente ao concreto do túnel de descarga, foi determinante para que o silo sofresse as avarias. Segundo os cálculos teóricos embasados na norma europeia BS EM 1991-4:2006, “Eurocode 1: Actions on structures. Part. 4: Silos and tanks”, os esforços que o túnel sofreu chegou a 58,0 tf/m, mais que os 36,85 tf previstos nos cálculos do projeto.

Após a execução da estrutura metálica projetada pelos professores Doutores Andrés Batista Cheung e Carlito Calil Filho, foi realizado um estudo embasado no memorial da recuperação do silo. A empresa proprietária do silo contratou sua gerenciadora para validar o projeto de reforço da estrutura com um novo estudo, que foi embasado nas normas brasileiras e americanas:

Quadro 2: Normas utilizadas no estudo do silo

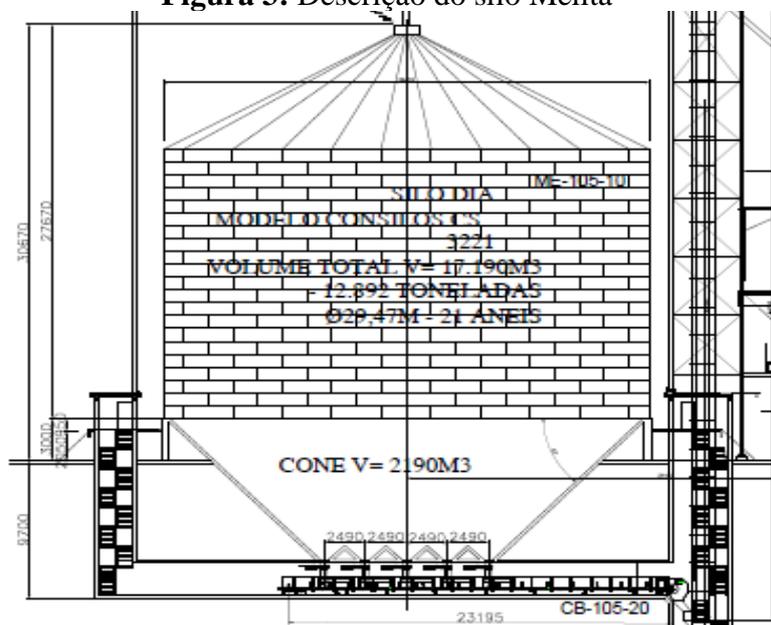
NBR 6118	Estruturas de Concreto Armado – Procedimento
NBR 6123	Forças devidas ao vento em edificações.
NBR 6120	Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações
NBR 14931	Execução de estrutura de concreto – Procedimento
NBR 8681	Ações de Segurança nas Estruturas
NBR 5884	Perfis I estruturais de aço formados a frio – Padronização
NBR 14762	Dimensionamento de Estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio.
AESC ASD	American Institute of Steel Construction – AISC – Nova Edição – 1989
ACI 313	American Concrete Institute
DIN 1055	Deutsches Institut fur Normung
ASTM	American Society of Testing and Materials

Fonte: Própria (2020).

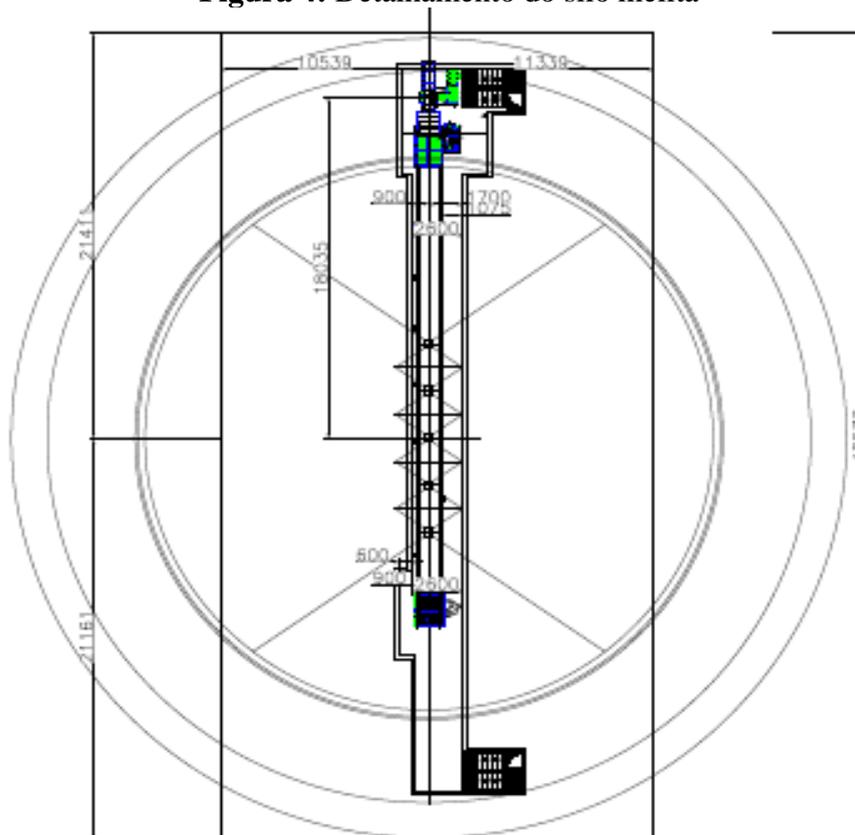
2.4 Característica do silo estudado

De acordo com o Projeto do silo, o mesmo foi idealizado, no sistema de armazenamento, como pulmão para safras anuais e consecutivas de soja e milho, submetidas a ciclos de carregamento e esvaziamento. O conjunto é formado por um sistema híbrido, constituído de um silo metálico de chapa ondulada (corrugada), modelo GSI SAG 90 18 anéis, com 27,0 m de diâmetro e altura total de 36,79 m. Essa altura é dividida em 3 partes, a parte inferior composta pela tremonha (tipo Melita) com 9,69 metros de altura, a parte central cilíndrica com 20,10 m de altura e o topo cônico com 7 m de altura. Detalhes apresentados nas Figuras 3 e 4.

Figura 3: Descrição do silo Melita

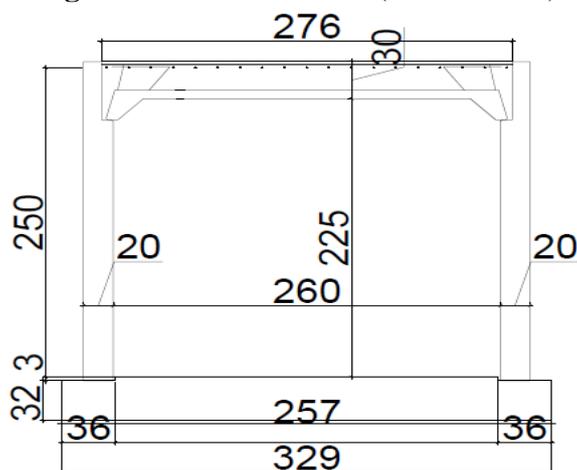


Fonte: Própria (2020).

Figura 4: Detalhamento do silo melita

Fonte: Própria (2020).

Para o apoio da parte cilíndrica do silo foi executada uma estrutura composta por uma viga de apoio de concreto apoiada em blocos de 2 estacas com 15 m de profundidade. Lembrando que a estrutura estudada no contexto será a parte enterrada sob a tremonha, formada por uma estrutura de concreto em formato de túnel, detalhada na Figura 5, composta por uma laje de fundo ao longo do túnel com 35 cm de espessura e 30 m de comprimento, uma laje superior pré-moldada composta por placas com 7 cm de espessura e mísulas nas laterais, onde se apoia nas paredes. Após uma segunda concretagem, essa laje passa a ter 30 cm de espessura total. E paredes pré-moldadas com 20 cm de espessura e um dente para o apoio das mísulas da laje.

Figura 5: Corte dos Silos (cotas em cm)

Fonte: Própria (2020).

Essas peças possuem entre si somente uma junta seca. As armações não transpassam entre um módulo e outro e as paredes não tem ligação com a laje do fundo, estão simplesmente apoiadas nas mesmas. A única ligação entre as peças é a concretagem sobre a peça superior, com isso, fica evidente que toda a estrutura não está engastada, considerando assim, todo o túnel com peças articuladas. Além desse fato importante, o cobrimento da estrutura em geral foi considerado de 3 cm, mas segundo a norma NBR6118, para o ambiente industrial deve ser utilizado o cobrimento de 4 cm.

Segundo informações retiradas do memorial de cálculo do projetista na execução do projeto estrutural, foi considerado os esforços do anel do silo com 35 tf cada, sendo 4068 tf, 27% acima da capacidade nominal do mesmo. Os esforços axiais de tração devido a pressão do grão no interior do silo resultaram em certa de 90 tf de tração. Com essas informações foi possível executar o anel e o piso inclinado do silo adotando tensões maiores que as calculadas.

Para determinar os esforços no túnel de descarga, foi utilizado do método Reimbert de acordo com a Tabela 1. Para o cálculo de dimensionamento da estrutura foi considerado uma pressão de 18,0 tf/m².

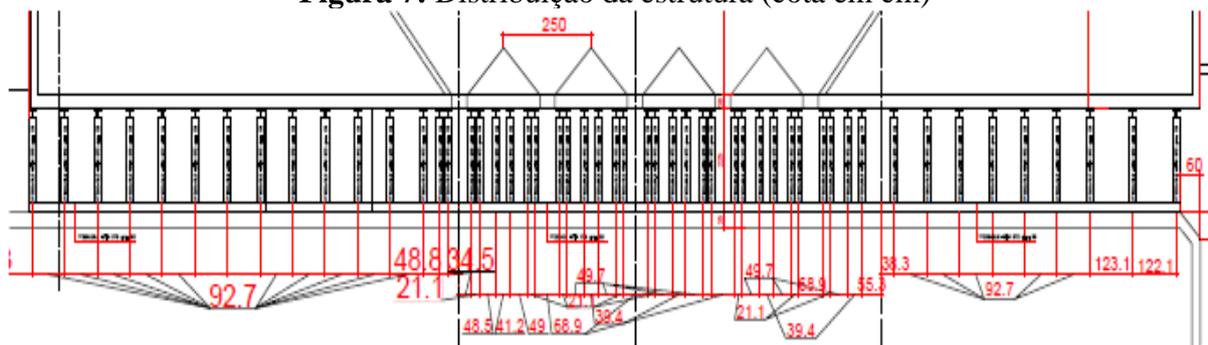
Cerca de 2 semanas após as primeiras fissuras, em nova visita interna ao túnel percebeu-se que ambas aumentaram consideravelmente, mas se mantendo na região da tremonha. Como mostrado na Figura 6. Segundo o Relatório técnico N°.001/2020 executado em março de 2020 pelos professores doutores Carlito Calil Junior e Andrés Batista Cheung, a principal causa das fissuras no silo é proveniente dos esforços de atrito devidos ao descarregamento mobilizado pela tremonha na laje superior do túnel, que também apresenta excentricidades, provocando flexo-torção na seção do túnel.

Figura 6: Fissuração aparente.



Fonte: Própria (2020).

Sem a avaliação geotécnica do silo e da capacidade resistente do silo metálico corrugado, os professores recomendaram a execução imediata de escoramento do silo com perfis metálicos para estabilizar a estrutura. Esses perfis metálicos foram distribuídos em toda a estrutura, reforçando os pontos que mais sofre. Como mostrado na Figura 7, retirado do projeto fornecido pelos professores.

Figura 7: Distribuição da estrutura (cota em cm)

Fonte: Própria (2020).

2.5 Descrição da recuperação do silo

Todas as informações detalhadas sobre a execução do silo foram retiradas do estudo realizado pelos professores doutores e a equipe gerenciadora da obra, as fotografias anexadas e as informações complementares foram realizadas pela empresa que executou o silo e a recuperação do mesmo.

Para a execução do reforço estrutural foi montado um canteiro de obra com instalação metalúrgica, na parte externa do silo para corte e solda da estrutura. Na parte interna do silo, foi instalado insufladores de ar na saída de emergência para a troca contínua de ar. Além disso, as saídas de emergências e o poço de elevador se mantiveram abertos durante toda a recuperação do silo, sendo controlada a entrada e saída de pessoas autorizadas pela segurança do trabalho. No decorrer do corredor foi retirada toda parte de cabos das paredes, distribuindo a parte elétrica em uma nova rede para que o serviço pudesse ser executado.

Antes de iniciar o serviço de reforço foi destinada a uma equipe a limpeza e quebra das regiões mais afetada, como mostrado na Figura 8, enquanto na parte externa do silo a equipe da metalúrgica trabalhava no corte e solda das peças. Após a limpeza interna, toda a parede do silo foi marcada, indicando as posições das escoras, avaliando assim, as possíveis interferências. Depois disso e com algumas peças prontas, o caminhão munck fez o serviço de descer as peças até o fundo do túnel, dando início a montagem na estrutura.

Figura 8: Estrutura aparente após quebra manual

Fonte: Própria (2020).

Inicialmente foi posicionado as longarinas sobre o piso do túnel, sendo travadas com chumbadores 5/8x4 a cada metro. Sobre as longarinas foram instalados pilares metálicos presos com solda na longarina e fixados na parede do túnel com chumbadores 5/8x4. Ainda, sobre os pilares, foram instaladas travessas soldadas, tendo como função aguentas o túnel do silo. As frestas que ficaram devido a movimentação constante da estrutura foram preenchidas com chapas finas, minimizando os espaços vazios. Como apresentado na Figura 9.

Figura 9: Instalação das vigas I e pilares



Fonte: Própria (2020).

Após toda a instalação das peças metálicas foi executado o preenchimento das fissuras com injeção de graute. Foi contratada uma empresa especializada neste serviço, a mesma foi destinada a injetar o graute no piso inclinado interno do silo, que também foi danificado com a movimentação da estrutura. Para que esse serviço pudesse ser executado, uma equipe entrou no interior do silo e limpou todo o piso demarcando os locais fissurados. Após o término da instalação da estrutura metálica, as peças foram pintadas de acordo com a cor padrão da empresa, utilizando uma tinta epóxi, protegendo-a de agentes corrosivos.

Para resguardo da empresa contratante, toda execução foi acompanhada por um técnico de segurança e um especialista em soldas metálicas, que providenciaram todos os cuidados na execução da solda interna do silo. Após o término de todo o serviço, a contratante acionou a empresa gerenciadora de toda obra, para que fizesse um estudo mais detalhado e minucioso, reforçando assim, a liberação da estrutura.

Com a análise, a empresa gerenciadora criou o documento de análise estrutural do projeto de reforço do túnel sob o silo. Para a análise da estrutura foi utilizado um software STRAP/2014 (Structural Analysis Program) da ATIR "Engineering Software". Para os cálculos, foram consideradas a geometria, solo e pressões internas que o costado, a tremonha e a laje do túnel sofreram.

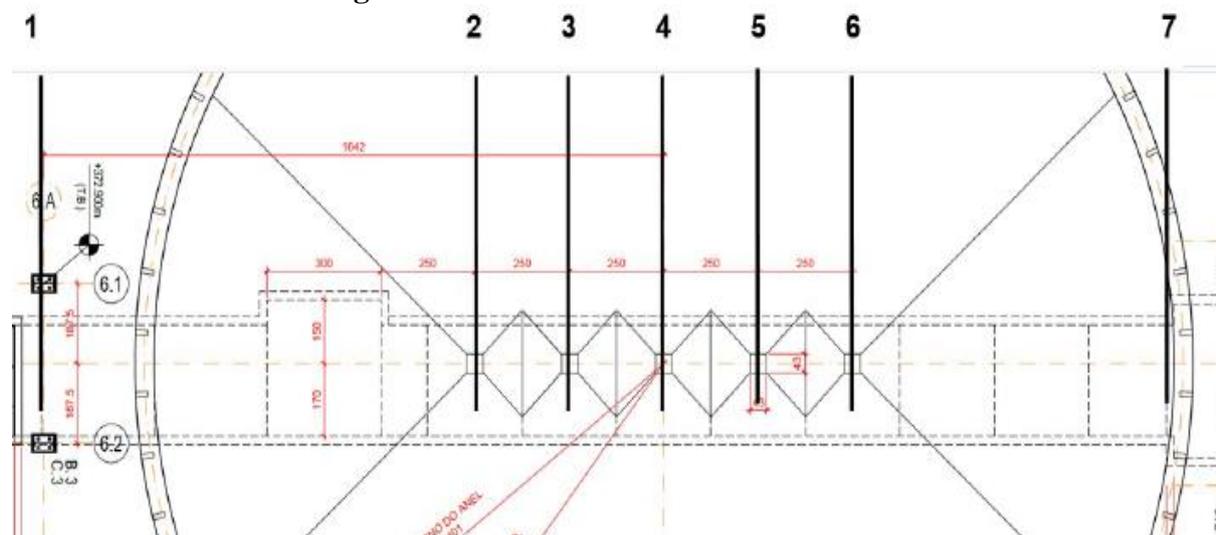
Devido à área empresarial ser grande, foram executadas diversas investigações geotécnicas, na área próxima ao silo foram identificados solos com características diferentes de

resistências nos primeiros metros, apesar do material colhido apresentar semelhanças, todas as sondagens realizadas deram diferenças no decorrer das camadas. A sondagem mais próxima do silo apresentou como resultado um estado mais crítico com torque mais baixo nos 11 m. Na profundidade 9 a 13 m foi tratado o solo com cascalho, aumentando a resistência do solo, devido à carga que seria posta no terreno.

Para obter maior precisão nos resultados de cálculo seria necessário a execução dos ensaios triaxiais, índices físicos, medição de pressão de sucção e ensaios em placa. Como não houve tempo para obter estes ensaios foi executado uma prova de carga realizada em 4 estágios de carregamento do silo. A partir deste resultado será possível determinar a eficiência da estrutura metálica de recuperação. Como também, será possível a confirmação se ocorreu a movimentação das estacas do anel do silo.

Será realizado 7 seções nos pontos de interesse, apresentada na Figura 10, que deverão ser executadas em um local seguro, garantindo que não seja deslocado. Com o silo vazio será realizado uma medida inicial nas coordenadas dos pinos de recalque e no centro do tanque. Todas as medidas serão realizadas no mesmo horário para evitar variação de dilatação e retração devido à temperatura. O silo será enchido em 3 etapas, sendo efetuada a medida de imediato e outra após 12 horas.

Figura 10: Corte detalhando locais estudados



Fonte: Própria (2020).

O enchimento da próxima etapa só será autorizado, após a conferência da medida e a certeza de que não houve desigualdade no recalque. Após o enchimento completo, será efetuado a medida imediata, depois de 12 horas, e, por fim 48 horas cheio. Para, então, iniciar a etapa de esvaziamento do silo realizando as leituras com os mesmos critérios tomados durante o enchimento.

A estrutura metálica passou por uma fase de acabamento, com pintura epóxi protegendo a estrutura de qualquer forma de corrosão. Como mostrado na Figura 11. O engenheiro projetista entregou a empresa contratante o termo de entrega, informando que o silo obteve os resultados de resistência e acabamento conforme definido, liberando a utilização do silo sem nenhuma restrição.

Figura 11: Estrutura metálica em acabamento

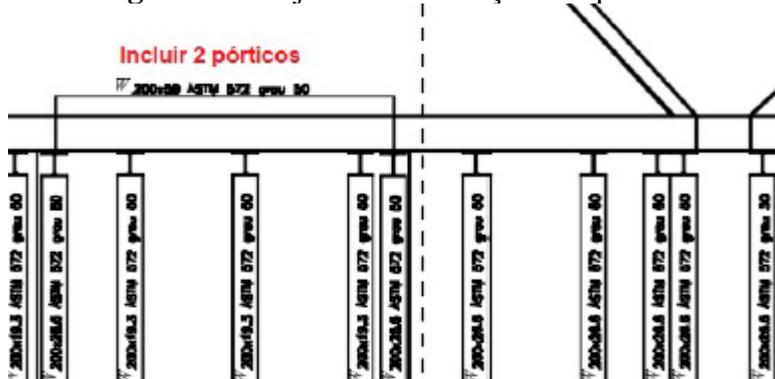


Fonte: Própria (2020).

Já a empresa gerenciadora que pode realizar o estudo geotécnico, obteve outros resultados, informando que seria necessária a execução de um reforço a mais em alguns pontos da estrutura. De acordo com o memorial fornecido pela gerenciadora, o silo não pode ser carregado completamente, em virtude de os esforços continuarem sendo maiores do que a estrutura suporta.

Os resultados obtidos no carregamento com 30% da capacidade do silo foram de que seria necessário incluir mais dois pórticos em cada extremidade na região que possui alargamento na laje, conforme a Figura 12. Já o carregamento completo do silo, apresentou necessidade de inclusão de pórticos nos trechos 1 e 3, em alguns pontos críticos esse pórtico precisará ser duplo. No total foram localizados 7 pontos críticos, como mostrado na Figura 13.

Figura 12: Projeto de localização dos pórticos



Fonte: Própria (2020).

Figura 13: Projeto de localização



Fonte: Própria (2020)

Além da inclusão dos pórticos, foi necessária a execução de reforço em 3 colunas existentes. Esse se dá com a inclusão de uma chapa perpendicular, indicada na Figura 14.

Figura 14: Detalhe da mão francesa do reforço



Fonte: Própria (2020)

Com o estudo geotécnico foi possível identificar que o silo não está habilitado a ser carregado com sua capacidade total. Com informações obtidas via e-mail, trocadas pelos envolvidos, o silo foi liberado para o manuseio com a sua capacidade de apenas 90%, garantindo a segurança e mais deformações que o mesmo pode sofrer.

3. DISCUSSÕES

Devido a não existência de uma norma brasileira específica para o auxílio na execução de um projeto de silos, a maior parte das pesquisas executadas sobre este assunto são direcionadas a norma australiana AS-3774. Para maior aprofundamento sobre o assunto, como já relatado, foram somadas várias normas específicas, brasileiras e americanas. Não existem muitos estudos sobre essas patologias que o silo sofreu, por conta disso, a experiência dos professores doutores foram de suma importância para a execução da recuperação do silo.

Observando a execução do silo em todas as suas etapas até a recuperação, foi possível perceber que os coeficientes de segurança utilizado como respaldo nos cálculos estruturais devem ser dobrados, principalmente quando se trata dessas estruturas pouco conhecidas. Todas as obras de grande porte devem ser calculadas prevendo a sua pior situação, não deixando a parte da econômica da obra se sobressair.

A insegurança técnica dos profissionais da engenharia, ao executar os primeiros projetos, pode ser considerada um risco, pois tende a minimizar os custos das obras ao máximo para ganhar mais visibilidade profissional, utilizando fatores de segurança reduzido.

Acompanhando a recuperação e os cuidados na execução do mesmo, é de se concordar que a estrutura metálica de reforço e o graute de preenchimento das fissuras é 100% viável e segura, o esforço a mais, criado nos pontos detalhados pela gerenciadora da obra e a não liberação total de utilização do silo, pode ser levado como um exagero. Mas um exagero necessário, considerando o coeficiente ICC que não foi levado em conta na execução do projeto.

A estrutura metálica junto com o concreto é o material mais utilizado na recuperação de estruturas. Segundo a dissertação, Reabilitação e Reforço de Silos e Reservatórios, com recurso a tecnologia do pré-esforço (Vissolela, 2018) o reforço estrutural

assume o papel de controlar a vida útil de uma estrutura. Esta dissertação confirma a eficiência da estrutura metálica unida ao concreto, realizando o papel de reforço de estruturas.

Os professores doutores tiveram uma grande participação para que fosse possível a execução da recuperação do silo, todos os projetos, artigos e estudos relacionados a esse tipo de obra ambos estão envolvidos. Infelizmente, profissionais recém-formados e com pouca experiência no ramo passarão por dificuldades ao executá-las e felizmente, existe um grande aparato para auxiliar na execução dos mesmos.

Os profissionais que optarem para este ramo da engenharia, o ramo das obras agroindustriais, terá que se embasar em diversas normas mundiais e estudos realizados, incluindo este, visto que, não existem normativas específicas para essas obras, principalmente silos cilíndricos com piso inclinado. Tanto que ficou claro a repetitividade de todos os trabalhos que tratam sobre essas construções.

4. CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento acelerado do mundo, o agronegócio tem disparado, aumentando a necessidade de produção e armazenamento dos grãos. Com isso, o estudo relacionado a construção de silos e armazéns devem evoluir, para que possa com segurança e qualidade, acompanhar esse desenvolvimento. Infelizmente, no Brasil não existem normas específicas que possam auxiliar no desenvolvimento de projeto e execução dessas obras.

Visto que, não existe uma norma específica, sendo necessário, compartilhar os conhecimentos e fatos que podem acontecer no decorrer da execução dessas obras. Conhecer patologias e soluções criadas para solucionar problemas em obras recém-construídas, para que não seja repetido da mesma maneira. Por mínima que seja a situação, essas construções exigem muita experiência e conhecimento para que seja executada. Mas, para os futuros e recém-formados no ramo da engenharia, é praticamente impossível ter essa experiência. Contudo, na busca constante de sempre melhorar, e no ramo extenso dentro da profissão, ao enfrentar uma obra desse porte, buscamos documentos que detalham sobre o assunto.

Por isso, este trabalho foi realizado no intuito de relatar a execução de um silo fundo Melita com capacidade de 17 mil toneladas, construído na cidade de Sorriso-MT, “Capital do agronegócio”, que apresentou patologias graves aos receber um carregamento de 10 mil toneladas. Além de demonstrar o método de recuperação escolhido para o silo. E, por fim, apresentar se a recuperação do silo foi 100% confiável.

Por se tratar de uma estrutura não convencional, os professores e a empresa gerenciadora se encontraram com dificuldades ao tentarem se resguardar em alguma normativa. Não tiveram outra alternativa, a não ser recuperar o silo com a junção da estrutura metálica e de concreto, visto que não existe nenhum outro método já utilizado. Tornando, assim, a recuperação do silo com apenas duas alternativas, ou a sua demolição e reconstrução, ou o que fizeram, a recuperação com a junção das duas estruturas.

Com o avanço acelerado da agricultura e os anos de existências dessas estruturas, já deveria existir algum parâmetro fixo para auxiliar todos os profissionais do ramo na execução segura das estruturas. É importante a criação de uma normatização técnica brasileira para definir os intervalos de confiança dos coeficientes de segurança de elementos estruturais não convencionais para evitar novas ocorrências de acidentes e patologias.

REFERÊNCIAS

AECWeb: **Compactação em obra de terraplenagem pede atenção com umidade.** Disponível em: <www.aecweb.com.br/revista/materias/compactacao-em-obra-de-terraplenagem-pede-atencao-com-umidade/7885> Acesso em: 20 jul. 2020.

APL Engenharia: **Descubra a importância da compactação do solo para obras de terra.** Disponível em: <<https://blog.apl.eng.br/descubra-a-importancia-da-compactacao-do-solo-para-obras-de-terra/>> Acesso em: 20 jul. 2020.

APROSOJA, **História do milho no Brasil.** Disponível em: <<http://www.aprosoja.com.br/soja-e-milho/a-historia-do-milho>>. Acesso em: 10 fev. 2020.

CALIL, J. C. **Cargas para o dimensionamento de silos.** In: JORNADAS SULAMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL, 23, Buenos Aires, 1985. T.5, p. 1359-1379 p.

CHEUNG, A. B. **Modelo estocástico de pressões de produtos armazenados para a estimativa da confiabilidade estrutural de silos esbeltos.** 305 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2007.

CONAB: **1º levantamento safra 2019/2019 - outubro 2019.** Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 10 fev. 2020.

EUROCODE. EN 1991-4: **Actions on structures – Part 4: Silos and tanks.** 2006, 112 p.

GOMES, F. C. **Estudo teórico e experimental das ações em silos horizontais.** Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos. USP, São Carlos, 2000. 205p. Orientador Prof. Titular Carlito Calil Júnior.

GONÇALVES, E. A. B. **Estudo de patologias e suas causas nas estruturas de concreto armado de obras de edificações.** Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10014879.pdf>. Acesso em 20 out. 2020.

IBGE, **Capacidade de armazenamento agrícola.** 2019. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/24787-capacidade-de-armazenagem-agricola-fica-em-169-5-milhoes-de-toneladas-no-2-semester-de-2018>>. Acesso em: 10 fev. 2020.

PATURCA, E. Y. **Caracterização das estruturas de armazenagem de grãos: um estudo de caso no Mato Grosso.** Universidade de São Paulo escola superior de agricultura “Luiz de Gueiroz” - Departamento de economia, administração e sociologia Grupo de Pesquisa e Extensão em Logística Agroindustrial – ESALQ-LOG. Piracicaba, São Paulo, 2014. Disponível em: <https://esalqlog.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/2015/05/Caracteriza%E2%94%9C%C2%BA%E2%94%9C%C3%BAo-das-estruturas-de-armazenagem-de->

[gr%E2%94%9C%C3%BAos-um-estudo-de-caso-no-Mato-Grosso-PATURCA-E.-Y..pdf](#) .

Acesso em: 20 out. 2020.

BAHU, Agnes Vissolela Alicerces - **Reabilitação e reforço de silos e reservatórios, com recurso à tecnologia do pré-esforço**. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2018. Dissertação de mestrado. Acesso em 20 out. 2020.