

## **LIGAÇÕES EM SILOS METÁLICOS: PARAFUSO TRADICIONAL X PARAFUSO ALTERNATIVO**

**DANIELE CRISTINA FICANHA<sup>1\*</sup>; DIVAIR CHRIST<sup>2</sup>; CARLITO CALIL JUNIOR<sup>3</sup>; SILVIA RENATA MACHADO COELHO<sup>2</sup>; JAISON MAIOLLI KOSTUCHENKO<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Engenheira Calculista na Comil Silos e Secadores Ltda, mestranda em Engenharia Agrícola (PGEAGRI) - UNIOESTE, Cascavel - PR, danieleficanha@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Docente do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola (PGEAGRI), UNIOESTE, Cascavel - PR.

<sup>3</sup> Docente do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Estruturas, USP, São Carlos - SP.

<sup>4</sup> Acadêmico de Engenharia Mecânica, FAG, Cascavel - PR.

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016  
29 de agosto a 1 de setembro de 2016 – Foz do Iguaçu, Brasil

**RESUMO:** A viabilidade de implantação de um silo metálico baseia-se principalmente no custo e peso da matéria prima, o aço. As chapas laterais são parafusadas representaram a maior parte da matéria prima utilizada. A elaboração do parafuso alternativo baseou-se na ISO 4016 (2000) quanto à composição química e propriedades mecânicas. Confeccionaram-se protótipos do parafuso alternativo com mesma matéria prima, processo de têmpera e bicromatização que a executada nos parafusos tradicionais. Ensaíram-se 23 amostras do parafuso tradicional e devido ao tamanho do lote 16 amostras do parafuso alternativo pelo método do cisalhamento direto. Atendidas as suposições do modelo, o aumento da área de cisalhamento no plano de corte do parafuso alternativo produziu efeitos na resistência ao cisalhamento do parafuso tradicional. Com o intuito de utilizar o parafuso alternativo nas chapas do corpo de silos metálicos, verificou-se se a chapa lateral tem influência na resistência ao cisalhamento do parafuso através do ensaio de 27 amostras do parafuso tradicional e 3 amostras do parafuso alternativo. Não foi possível a determinação da influência da chapa lateral na resistência ao cisalhamento do parafuso alternativo visto que a chapa de apoio esmagou e o mesmo chegou ao estado de deformação plástica. A comparação entre as médias das amostras do parafuso alternativo produziu efeitos positivos na resistência ao cisalhamento direto dos parafusos e influenciou a resistência dos parafusos utilizando a chapa lateral de silos metálicos.

**PALAVRAS-CHAVE:** ligação parafusada, cisalhamento direto, oblongo, chapa de apoio, resistência.

## **CONNECTIONS IN METAL SILOS: TRADITIONAL BOLT X ALTERNATIVE BOLT**

**ABSTRACT:** The possibility of a metal silo implantation is based mainly in the cost and weight of the raw material, the steel. The side plates are screwed and represent the biggest part of the raw material used. The feasibility of a new fixation element, responsible for the connections of the silo body's elements, increase the resistance of the side plate. The elaboration of an alternative bolt was based in ISO 4016 (2000) regarding chemical composition and mechanical properties. There were made prototypes of the alternative bolt with the same raw material, temper process and bichromatization as the executed in the traditional bolts. There were experimented 23 samples of the traditional bolt and, because of the size of the lot, 16 samples of the alternative bolt by the direct shear method. Attended the models assumptions, the increase of the shear area in the cut plan of the alternative bolt took effect on resistance to the traditional bolt shear. In order to use the alternative bolt in the metal silos body plates, it was checked if the side bolt have influence in the resistance to the bolt shear through the test of 27 samples of the traditional bolt and 3 samples of the alternative bolt. It was not possible to determine the influence of the support plate in the resistance of the alternative bolt shear, since the support plate crushed and it arrived to the deforming plastic state. The comparison between the averages for the small sample of the alternative bolt produced positive effects in the direct shear bolt resistance and influenced the resistance of the bolts using the side plate of the metal silos.

**KEYWORDS:** screwed connection, direct shear, oblong, support plates, resistance.

## **INTRODUÇÃO**

A agricultura tem sido o fator de garantia de superávit comercial brasileiro e a grande preocupação está no potencial produtivo que não equaliza com a capacidade dos armazéns e na distribuição inadequada pelo território nacional.

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB, o Brasil colheu 210,50 milhões de toneladas de grãos na safra 2015/2016, o volume representa 1,40% a mais do que a safra anterior, com aumento de 2,80 milhões de toneladas, no entanto, a produção agrícola brasileira sofre com a falta de espaços para guardar a colheita. Apresentando um déficit de capacidade de armazenagem de 53,70 milhões de toneladas.

O armazenamento de produtos em silos é considerado uma solução de grande viabilidade devido à economia de espaço físico, mão de obra e custo de transporte, assim como a possibilidade de maior conservação do produto armazenado.

Os silos são construídos com diversos materiais, mas a predominância é a utilização de silos metálicos em chapa galvanizada. O investimento do equipamento depende exclusivamente do projeto e do custo do aço, a principal matéria-prima para a sua construção. O corpo do silo é responsável pela absorção de grande parte das solicitações e o item mais oneroso na elaboração do projeto estrutural. O estudo da resistência das chapas laterais e das ligações parafusadas utilizando o parafuso alternativo podem aumentar a resistência do conjunto e acarretar na mudança da concepção atual de montagem e no dimensionamento do corpo do silo.

Em todo o mundo existem cerca de 8.000 padrões para fixadores em uma grande variedade de sistemas como ASTM, SAE, ANSI, ISO, entre outros e, o emprego de diversos materiais, tratamentos, formas de fixação e revestimentos superficiais. Essa diversidade de normas e processos de fabricação permitem uma grande variedade de elementos de fixação roscados, com diferentes combinações entre as dimensões, formatos, tolerâncias, materiais, tratamentos térmicos ou revestimentos.

A proposta valida-se através da comparação do parafuso tradicional utilizado em silos, classe 8.8, diâmetro 10 mm e rosca parcial com o parafuso alternativo, objetivando-se a comparação do limite de resistência de ruptura por cisalhamento, garantia de estanqueidade, aumento da resistência do parafuso silo e garantia da viabilidade econômica do parafuso alternativo.

## MATERIAL E MÉTODOS

Sendo a ruptura dos parafusos um dos critérios na determinação da resistência final do conjunto do corpo do silo, neste estudo determinaram-se apenas as resistências provindas do elemento parafuso, avaliando apenas se há influência da chapa metálica. O dimensionamento teórico de ambos os modelos se basearam nas recomendações das normativas ABNT 14762 (2010), ABNT 8800 (2008), ANSI AISI S100 (2007) e EN 3 Parte 1.3 (2010).

Por se tratar de um comparativo entre resultados experimentais e resultados teóricos, obtidos com base em modelos matemáticos segundo previsões normativas, adotou-se como unitário os coeficientes de ponderação das forças e a redução da área de cisalhamento no plano de corte. Assim, a resistência do parafuso tradicional ao cisalhamento teórico dado pela resistência dos materiais, utilizando  $A_b$  e  $f_{ub}$  conforme definidos na Tabela 1, resultou em 6.404,88 kgf.

Tabela 1. Resistência ao cisalhamento de cálculo do parafuso tradicional diâmetro 10 mm

Norma	Dimensões do parafuso – mm:	Área bruta do parafuso no plano de corte ( $A_b$ ) – mm <sup>2</sup> :	Área efetiva do parafuso no plano de corte ( $A_{be}$ ) – mm <sup>2</sup> :	Coefficiente de ponderação das ações - $\gamma$ - adm:	Resistência de ruptura do parafuso - $f_{ub}$ - MPa:	Resistência ao cisalhamento de cálculo do parafuso tradicional – kgf:
NBR 8800	10	78,54	58,90	1,35	800	1.779,13
NBR 14762	10	78,54	58,90	1,35	800	1.779,13
ANSI AISI S100	10	78,54	78,54	-	372 ( $F_{nv}$ )	2.978,24
EN 3 – Parte 1:3	10	78,54	78,54	1,25	800	3.074,31

Para a apresentação ao mercado de um parafuso alternativo e mostrar as suas vantagens, a análise carece na resistência ao cisalhamento juntamente com seu custo de venda. O preço do aço, a nível mundial, é vendido pelo seu peso, portanto, o parafuso alternativo possui a mesma massa que o parafuso tradicional. Como o mesmo será montado sob forma de pino, o tamanho e formato da cabeça do elemento tornam-se irrelevantes, assim retirou-se a massa dessas áreas e as implantou no plano de corte do oblongo, obtendo as dimensões no plano de corte com 10 mm por 15 mm, totalizando uma área bruta de 128,50 mm<sup>2</sup>.

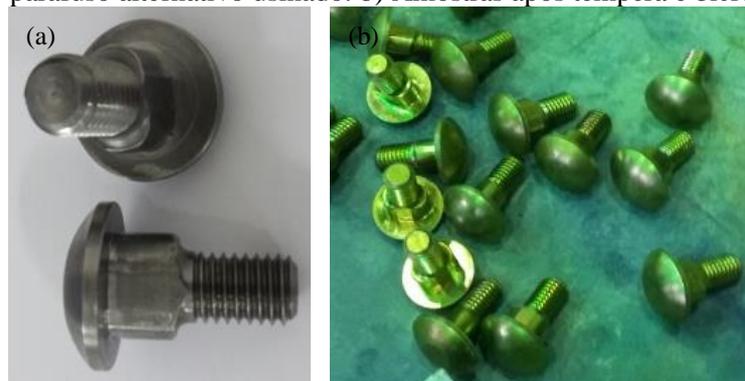
Ao utilizarmos a equação para determinar a tensão média de cisalhamento utilizando  $A_b$  e  $f_{ub}$  conforme definidos na Tabela 2, tem-se a resistência de cisalhamento de cálculo de 7.859,33 kgf. Para a resistência ao cisalhamento de cálculo do parafuso alternativo verificou-se um aumento superior a 50% em ambas as normas, conforme Tabela 2.

Tabela 2. Resistência ao cisalhamento de cálculo do parafuso alternativo seção 15x10 mm

Norma	Dimensões do parafuso – mm:	Área bruta do parafuso no plano de corte ( $A_b$ ) – mm <sup>2</sup> :	Área efetiva do parafuso no plano de corte ( $A_{be}$ ) – mm <sup>2</sup> :	Coefficiente de ponderação das ações - $\gamma$ - adm:	Resistência de ruptura do parafuso - $f_{ub}$ - MPa:	Resistência ao cisalhamento de cálculo do parafuso alternativo – kgf:
NBR 8800	15X10	128,50	96,37	1,35	800	2.910,86
NBR 14762	15X10	128,50	96,37	1,35	800	2.910,86
ANSI AISI S100	15X10	128,50	128,50	-	372 ( $F_{nv}$ )	4.872,78
EN3 – Parte 1:3	15X10	128,50	128,50	1,25	800	5.029,97

As amostras do parafuso tradicional foram fabricadas pelo processo contínuo. A partir da determinação da resistência ao cisalhamento de cálculo do parafuso alternativo, confeccionaram-se as amostras com a mesma matéria prima que a utilizada no parafuso tradicional, inclusive o fornecimento da barra de aço pelo próprio fabricante de parafusos. O processo de fabricação do parafuso alternativo foi através da usinagem de cada elemento em torno CNC.

Figura 1 a) Amostra do parafuso alternativo usinado. b) Amostras após têmpera e bicromatização.



Os ensaios de cisalhamento direto foram realizados no laboratório da Industrial Rex Ltda através da máquina universal de ensaios do fabricante Emic modelo DL60000. Ensaíram-se 23 amostras do parafuso tradicional e 16 amostras do parafuso alternativo devido ao tamanho do lote usinado, seguindo os procedimentos normativos recomendados pela ASTM A143M (2014).

Figura 2 a) Amostras do parafuso tradicional após ensaio de cisalhamento direto. b) Amostras do parafuso alternativo após ensaio de cisalhamento direto.

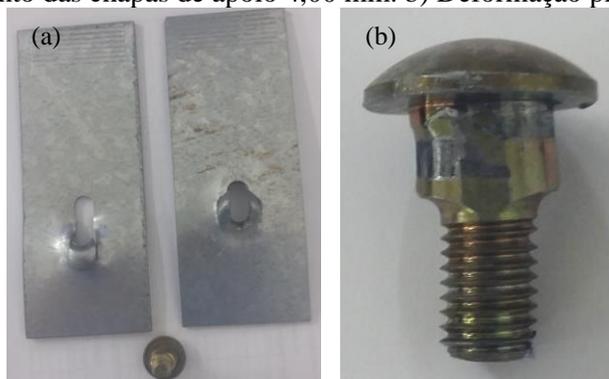


Com a simulação da ligação com a chapa metálica de silo determinou-se a carga real de ruptura do parafuso quando submetido ao contato com a chapa lateral utilizada pelos fabricantes de silo, com o intuito de averiguar possíveis divergências entre o cisalhamento direto do parafuso e o cisalhamento por contato com a

chapa lateral. Não se levou em consideração o modelo da costura das chapas laterais e sim, somente o cisalhamento do parafuso quando em contato com a chapa.

Ensaíram-se 27 amostras do parafuso tradicional empregando chapa lateral com espessura 3,00 mm. Para o parafuso alternativo, utilizaram-se chapas laterais com 4,00 mm de espessura, uma para cada apoio do equipamento, e uma terceira chapa que serviu como arruela. Não foi possível realizar a amostragem prevista para o parafuso alternativo por consequência das deformações excessivas nas chapas de apoio ao término de cada ensaio. Realizaram-se três ensaios até a constatação do esmagamento e rasgamento ocorrerem anteriores a ruptura do parafuso, conforme Figura 2.

Figura 3 a) Rasgamento das chapas de apoio 4,00 mm. b) Deformação plástica no parafuso alternativo.



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras analisadas através do ensaio de cisalhamento direto apresentaram coeficientes de variação de 2,60% para o parafuso tradicional e 2,97% para o parafuso alternativo, indicando segundo Pimentel Gomes (2000) de baixa variação e alta precisão nas respostas obtidas. Atendidas as suposições do modelo de normalidade, aleatoriedade e independência de ambos os modelos, verificou-se através da comparação múltipla de médias a estimativa da diferença estatística de 6.143,40 kgf, conforme Figura 4 (a). Para as amostras ensaiadas o aumento de 64% de área na parte oblonga do parafuso alternativo produziu efeitos positivos na resistência do parafuso tradicional, superando em 128% o aumento da resistência.

Realizou-se a definição da variável aleatória erro de modelo (Me) do parafuso alternativo de modo que ao ser inserida nas análises de confiabilidade, a incerteza do modelo fosse considerada quando da avaliação do nível de segurança do modelo matemático avaliado. A presença do erro de modelo (Me) na análise de confiabilidade do modelo mostrou que existe um aumento significativo de 39% na resistência do parafuso alternativo em relação ao modelo matemático avaliado, obtendo um Fcorreto de 10.948,00 Kgf. De uma maneira geral as análises realizadas mostraram que o aumento da área no plano de corte do parafuso alternativo apresentou diferenças significativas em relação ao modelo tradicional. Assim como, influência nas chapas de apoio na resistência do conjunto.

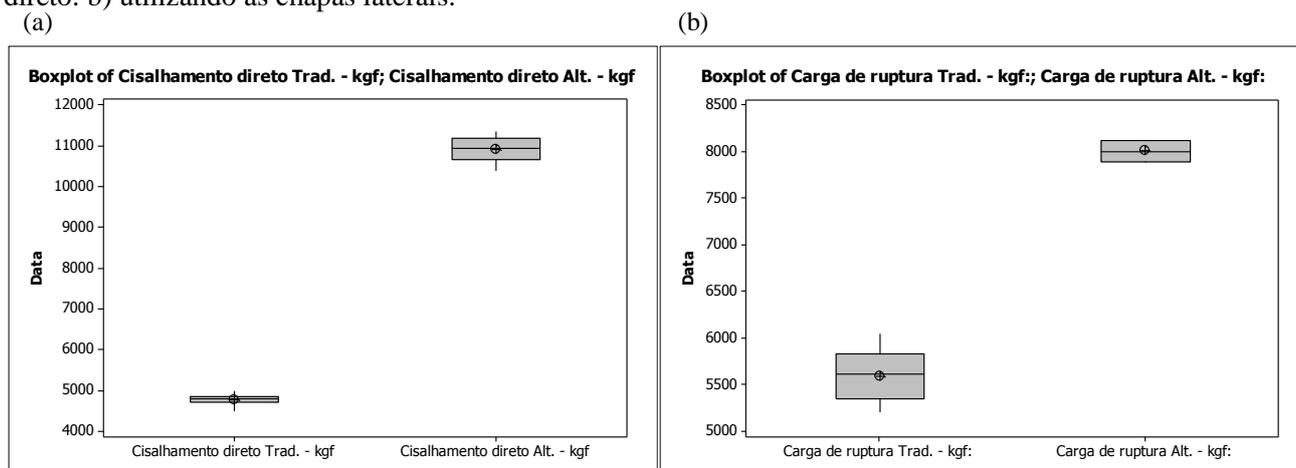
Tendo como público alvo a utilização em chapas do corpo de silos metálicos, verificou-se a influência da chapa do corpo na resistência ao cisalhamento dos parafusos. Atendidas as suposições do modelo de normalidade, aleatoriedade e independência de ambos os modelos, verificou-se que há influência da chapa lateral na resistência ao cisalhamento do parafuso tradicional.

O conjunto do parafuso alternativo utilizando as chapas as laterais apresentaram resultado inverso ao mesmo procedimento adotado pelo parafuso tradicional. As chapas de apoio rasgaram-se anterior ao cisalhamento esperado do parafuso, levando o mesmo apenas até a deformação plástica.

Aplicou-se o teste de comparação múltipla de médias, e ao nível de 1% de significância há evidências muito fortes de que o parafuso alternativo é significativo pois apresentou diferença entre as médias ensaiadas. A estimativa da diferença estatística circundou-se em 2.417,00 kgf, com 5% de significância o intervalo de confiança abrange 2.734,00 kgf e 2.099,00 kgf, conforme Figura 4 (b). Para estas amostras, o aumento da área na região de corte do parafuso alternativo e o formato do furo na chapa lateral produziram efeitos significativos na resistência ao cisalhamento em relação ao parafuso tradicional.

Em virtude dos fatos mencionados, de uma maneira geral as análises realizadas mostraram que o aumento da área no plano de corte do parafuso alternativo apresentou diferenças significativas em relação ao modelo tradicional. Assim como, influência nas chapas de apoio na resistência do conjunto.

Figura 2 Box plot da comparação da carga de ruptura de ambos os parafusos: a) pelo ensaio de cisalhamento direto. b) utilizando as chapas laterais.



## CONCLUSÃO

O aumento da área no plano de corte do parafuso alternativo apresentou diferenças significativas em relação ao modelo tradicional elevando a resistência ao cisalhamento de 4.776,70 kgf para 10.920,00 kgf.

A viabilidade econômica do parafuso alternativo foi mantida devido a conservação da mesma massa de aço no modelo alternativo. O acréscimo de 64% de área no plano de corte do parafuso alternativo significou um ganho de 128% na resistência ao cisalhamento do mesmo.

A determinação da média da variável aleatória erro de modelo do parafuso alternativo indicou um comportamento experimental seguro e conservador. Porém, os resultados obtidos não se aplicaram unitariamente ao fenômeno mecânico estudado. A confiabilidade dos resultados elevou em 39% o dimensionamento teórico utilizando as normativas vigentes retirando-se os coeficientes de ponderação das forças e a redução da área do plano de corte.

O aumento da área na região de corte do parafuso alternativo e o formato do furo na chapa de apoio produziram aumentos significativos na resistência ao cisalhamento em relação ao parafuso tradicional, elevando de 5.593,50 kgf para 8.010,00 kgf.

Não ocorreu o cisalhamento do parafuso alternativo utilizando a chapa lateral de silo metálico. A força máxima experimentada referiu-se ao esmagamento e rasgamento da chapa e a deformação plástica do parafuso alternativo.

## REFERÊNCIAS

- American National Standards Institute. American Iron And Steel Institute. S100: North American Specification for the Design of Cold-Formed Steel Structures Members. Washington, DC, 2007.
- American Society For Testing And Materials. ASTM A143M: Standard Practice for Safeguarding Against Embrittlement of Hot-Dip Galvanized Structural Steel Products and Procedure for Detecting Embrittlement. United States, 2014.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas – ABNT. NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto. Rio de Janeiro, 2008.
- \_\_\_\_\_. NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio – Procedimento. Rio de Janeiro, 2010.
- Companhia Nacional De Abastecimento – CONAB. ISSN 2318-3241, Perspectiva Agropecuária - Safra 2015/2016 Volume 3. Brasília, 2016.
- European Committee For Standardisation. Eurocode 3 – Design for Steel Structures: part 1.3 – General Rules: Supplementary Rules for Cold-Formed Thin Gauge Members and Sheeting. Brussels, 2006.
- Gomes, Frederico P. Curso de Estatística Experimental. 14 ed. Piracicaba: Degaspari, 2000.
- International Standard. ISO 4016 - Hexagon head bolts - Product grade C. 2000.
- \_\_\_\_\_. ISO 898-1 - Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel - Part 1: Bolts, screws and studs with specified property classes - Coarse thread and fine pitch thread. 2013.