

ANÁLISE ESTRUTURAL ESTATICA DO MASTRO DE EMPILHADEIRA DE MINÉRIO PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

TAKACHI FRÓES CHUMAN^{1*}, MARCOS CÉSAR KLEIN², DANIEL ROCHA PEREIRA³

¹ Acadêmico de Engenharia Civil, Faculdade Pitágoras de São Luís, São Luís-MA. Fone: (98) 98751-7712, takachi@megamixconstrucoes.com.br

² Acadêmico de Engenharia Civil, Faculdade Pitágoras de São Luís, São Luís-MA. Fone: (98) 991596249, marcos.klein@megamixconstrucoes.com.br

³ Me. Professor Engenharia Civil, Pitágoras de São Luís, São Luís-MA. Fone: (98) 9 8142-4710, daniel.rocha.drp@gmail.com@gmail.com

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC' 2015
15 a 18 de setembro de 2015 - Fortaleza-CE, Brasil

RESUMO: Com o aumento da procura de minerais, sobre tudo o minério de ferro, faz-se necessário a aquisição de equipamentos como: virador de vagões, transportadores, máquinas de pátio. Entre as máquinas de pátio encontra-se a empilhadeira EP-313k-04, que é composta de vários componentes, entre eles o mastro, objeto de nosso estudo. Por ser o mastro um componente muito importante na sustentação de outros sistemas da empilhadeira faz-se necessário uma análise mais atenta da sua estrutura, para isso foi utilizado o método dos elementos finito na análise estrutural estática do mastro, usando como ferramenta para esta análise o software SAP 2000. Os resultados obtidos na análise estrutural estática do mastro foram satisfatórios, contribuindo para redução das dimensões do mastro e consequentemente do peso de empilhadeiras de minério que poderão ser adquiridos em projetos futuros.

PALAVRAS CHAVES: Modelagem computacional; Análise Estrutural; Método dos Elementos Finitos; Máquinas de Pátio; Empilhadeiras de Minério.

STRUCTURAL ANALYSIS OF STATIC ORE FORKLIFT MAST BY THE METHOD OF FINITE ELEMENTS

ABSTRACT: With the increased demand for minerals, especially iron ore, it is necessary to require the acquisition of equipment such as car dumper, conveyors, yard machines. Among the area machinery is the forklift EP- 313k -04, which is made up of several components, including the mast, the object of our study. As the mast a very important component in support of other systems of the forklift is necessary a closer look at its structure, for it was used the method of finite elements in the static structural analysis of the mast, using as a tool for this analysis the SAP software 2000. The results of the static structural analysis of the mast were satisfactory, contributing to reduction of the mast dimensions and consequently the ore trucks of weight that may be purchased in future projects.

KEYWORDS: Computational modeling, Structural Analysis, Finite Element Method, Yard Machines, Forklifts Ore.

INTRODUÇÃO

Na logística comercial, o minério é transportado, por meio de vagões, até um terminal, onde é descarregado pelos viradores de vagões e levado por transportadores até os pátios de estocagem sendo empilhados no pátio pelas empilhadeiras de minério ou empilhadeiras-recuperadoras. Em seguida o minério é descarregado em transportadores pelas recuperadoras ou empilhadeiras-recuperadoras de minério e seguem até os carregadores de navios onde finalmente são descarregados por esses carregadores nos porões dos navios. Em todo o processo de transporte do minério percebe-se a importância das máquinas de pátio, sendo a empilhadeira a máquina responsável pela estocagem do minério nos pátios, ajudando a garantir o escoamento da produção (GOLDER, 2008).

Nas empilhadeiras de minério um dos componentes mais solicitados é o mastro. Este, foi projetado e fabricado em três grandes partes que serão unidas por solda. O balancim será acoplado no mastro e preso à lança por meio de tirantes.

O objetivo do presente trabalho é analisar estaticamente a estrutura do mastro da empilhadeira de minério EP-313K-04, fornecida pela empresa Techint Italimpiant do Brasil do Grupo Tenova, propondo melhorias a fim de reduzir custos de fabricação em projetos futuros. A modelagem 3D da máquina foi realizada com o software Autocad 2007 da Autodesk. O modelo matemático computacional foi realizado com o software SAP 2000, específico para a análise de estruturas.

MATERIAL E MÉTODOS

A empilhadeira de minérios EP-313K-04, fabricada pela empresa Techint Italimpiant do Brasil do Grupo Tenova, tem uma capacidade nominal de 16.000 t/h e capacidade de projeto de 20.000 t/h. Possui um ângulo de içamento de +10° e -13°, um ângulo de giro de +120° e -120°, uma velocidade máxima de translação de 30 m/min sem carga e de 15 m/min com carga. Atende a um regime de trabalho de 24 horas por dia e 365 dias por ano. A empilhadeira de minérios EP-313K-04 possui os sistemas de translação, giro, elevação, lança e trailer (LEDEL, 2010).

O sistema de translação é composto de vinte e oito truques, ou seja, cinquenta e seis rodas, sendo dezesseis truques motrizes e doze truques movidos. Possui também treze vigas equalizadoras de quatro rodas, quatro vigas equalizadoras de seis rodas, duas vigas equalizadoras de oito rodas, quatro vigas equalizadoras de dez rodas, duas vigas equalizadoras de dezoito rodas e uma viga equalizadora de vinte rodas.

O sistema de giro possui dois acionamentos, onde apenas um acionamento é necessário para efetuar o movimento de giro da máquina, dois redutores (um para cada acionamento), dois pinhões (um para cada acionamento) e um sistema antitombamento. O sistema de elevação possui dois acionamentos sincronizados e duas células de carga que aferem constantemente o peso da lança. A lança possui um transportador com uma correia que atinge a uma velocidade de 4,5 m/s. O trailer possui quinze rodas. Possui também um enrolador de cabos. Cabos estes que são responsáveis pela alimentação da máquina (COMPUTERS AND STRUCTURES, 1996).

As estruturas principais da empilhadeira são fabricadas com o aço estrutural chinês Q345.

Tabela 1. Propriedades do aço Q345B – Grau B (equivalente ao ASTM A-572-50)

Composição Química 100%								
C	Mn	Si	P	S	Ponto de Rendimento (Mpa)		Tensão de Ruptura (Mpa)	Elongação%
					≤16mm	>16-35mm		
≤0.20	1.00-1.70	≤0.55	≤0.040	≤0.040	≥345	≥325	470-630	≥21

Fonte: LEDEL (2010)

Módulo de Elasticidade: 200 GPa; Coeficiente de Poisson: 0,3; Densidade: 7850 Kg/m³; Tensão mínima de ruptura (para qualquer espessura); $\sigma_R = 550 \text{ Mpa} = 550 \text{ N/mm}^2 = 5.6 \text{ t/cm}^2 = 5608 \text{ kgf/cm}^2$; Tensão de escoamento: $\sigma_e = 345 \text{ Mpa} = 345 \text{ N/mm}^2 = 3518 \text{ kgf/cm}^2$ (LEDEL, 2010).

O mastro da empilhadeira EP-313K-04 é um componente do sistema de giro fabricado com aço estrutural chinês Q345 em viga caixão com chapas de 20 mm, 25 mm, 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, 80 mm, e contendo enrijecedores internos de 12 mm (LEDEL, 2010).

Por ter uma estrutura muito grande, 19376 mm de altura, 22175 mm de comprimento e 7500 mm de largura, o mastro foi fabricado em três grandes partes: Inferior, intermediário, e superior. Na empilhadeira de minérios, objeto de estudo, o mastro serve de sustentação para dois outros sistemas essenciais no desempenho da função de uma empilhadeira de minérios: lança e elevação.

A lança fica localizada na parte intermediária do mastro e a elevação fica localizada na parte superior. Pelo fato do mastro servir de suporte para outros dois grandes e importantes sistemas e por ter que receber soldas de campo faz-se necessário que o seu dimensionamento seja confiável e para isso é muito importante o conhecimento das tensões principalmente nestas regiões de solda.

Diante das grandes dificuldades na análise estrutural de componentes de empilhadeiras de minérios pelos métodos clássicos, bem como a exigência de se ter um projeto com baixo custo, com

qualidade e no menor tempo possível, faz-se necessário a busca de confiáveis métodos a fim de satisfazer estas exigências (ALVES FILHO, 2005).

Após a modelagem geométrica, que definiu as principais dimensões do mastro, foi iniciada a modelagem numérica. Nesta etapa acontece o processo de discretização do mastro, onde definimos os elementos e as espessuras das chapas, bem como o material utilizado na fabricação do mastro.

Na discretização foi escolhido o elemento finito de casca por representar o comportamento físico mais apropriado para o mastro, visto que este elemento possui rigidez a cargas axiais e de flexão. A malha, representada nas figuras 01 e 02, foi gerada com o software SAP 2000. Este modelo contém 14785 nós e 15072 elementos de casca. Visualização dos enrijecedores internos da estrutura do mastro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a simulação numérica utilizando um programa de elementos finitos, mais precisamente o *software* SAP 2000 obtemos os valores das tensões componentes $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}$ e τ_{xz} em cada nó

da estrutura do modelo. Para efeito de análise de tensões, serão utilizadas as tensões equivalentes calculadas de acordo com o Critério da Máxima Energia de Deformação ou, Critério de von Mises que pode ser calculada de acordo com a expressão abaixo COMPUTERS AND STRUCTURES (1996):

$$\sigma_{vM} = \sqrt{\frac{1}{2} \left((\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_x - \sigma_z)^2 + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2) \right)}$$

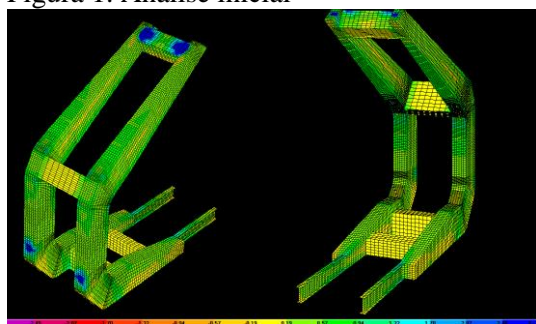
Esta tensão equivalente pode ser comparada com valores máximos de resistência à tração e ao escoamento do material da estrutura (AZEVEDO, 2003).

A seguir, serão apresentados os resultados das análises de tensões atuantes sobre os modelos. A primeira análise realizada levava em consideração as dimensões do mastro de acordo com as apresentadas no projeto. Nos resultados apresentados nesta análise verificamos que várias regiões do mastro apresentavam tensões muito baixas, devido ao superdimensionamento das chapas nestas regiões.

Sabemos que a tensão de escoamento do material é de 345 Mpa ou 3518 kgf/cm². Entretanto, a tensão máxima a ser considerada nos cálculos será de 70% do valor da tensão limite de escoamento, ou seja, aproximadamente 2450 kgf/cm²

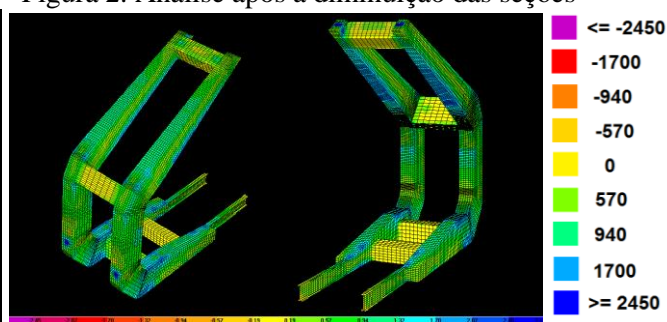
As tensões estão sendo apresentadas em kgf/cm²

Figura 1. Análise inicial



Fonte: Acervo do autor (2015)

Figura 2. Análise após a diminuição das seções



Fonte: Acervo do autor (2015)

Nas regiões em amarelo nos é mostrada as tensões próximas de 0 kgf/cm², nas regiões em verde estão as tensões próximas de 570 kgf/cm², já nas regiões em azul encontram-se as tensões próximas da tensão adotada, com limite de 2450 kgf/cm².

Nota-se que em alguns pontos nas regiões em azul mais escuro as tensões ultrapassam esse limite, isso se deve ao balancim, a plataforma de elevação e a lança serem modelados em apenas um ponto da estrutura do modelo, enquanto que na realidade existe uma pequena estrutura de fixação dos mesmos, fazendo a aplicação das forças em uma área e não em um ponto, assim as tensões são distribuídas nesta área.

A partir desta primeira análise começamos a diminuir as seções das chapas nas regiões onde haviam baixas tensões até atingirmos tensões dentro dos padrões aceitáveis. Nesta nova análise o programa nos mostra tensões máximas em torno de 2392 kgf/cm². Vale relembrar que as regiões em azul mais escuro, onde estão as tensões acima do limite adotado, encontram-se aplicados o balancim, a plataforma de elevação e a lança conforme explicado anteriormente. Depois de efetuada a primeira e a segunda análise foi feita a comparação de peso do mastro entre elas.

Tabela 2. Demonstração de pesos das análises

Peso (t)	
Primeira Análise	Segunda Análise
146,4	83,2

Fonte: Autor (2015)

Como visto na tabela acima houve uma redução de peso do mastro. Na primeira análise o mastro pesava em torno de 146,4 toneladas, na segunda análise o peso apresentado fica em torno de 83,2 toneladas. Ou seja, houve uma redução de cerca de 43%.

CONCLUSÕES

Foi observado que a aplicação da modelagem computacional 3D elaborada pelo método dos elementos finitos, com a utilização do software Sap2000, realizada no mastro da empilhadeira de minérios EP-313K-04, permitiu observar a distribuição das tensões e os pontos mais solicitados realizados na sua estrutura, e também seu dimensionamento.

Percebeu-se que o mastro da empilhadeira de minérios poderia ter sofrido uma redução no seu dimensionamento em pontos de menos solicitação. Diante disto foi efetuada uma nova análise visando à redução das seções transversais de suas chapas. Tal redução trouxe uma diminuição de peso da estrutura na ordem de 43% do peso total atual. Esta diminuição traria como consequência a redução de custos de fabricação deste componente.

Vale ressaltar também que com o conhecimento dos pontos mais solicitados fica mais fácil administrar o controle de qualidade das soldas de campo que seriam realizadas no mastro, controle este feito pela equipe de qualidade de implantação com especialidade em soldagem.

REFERÊNCIAS

- ALVES FILHO, Avelino. Elementos Finitos: a base da Tecnologia CAE – São Paulo: Editora Érica, 2005.
- LEDEL. Coordenação de Implantação de Projetos Norte Porto da Vale. Arquivo Técnico. 2010;
- AZEVEDO, Álvaro. Método dos Elementos Finitos. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto Portugal. 1. edição, 2003.
- COMPUTERS AND STRUCTURES. SAP2000 Analysis Reference. Volume I. California, USA. 1996.
- GOLDER ASSOCIATES BRASIL. Relatório de Controle Ambiental (RCA) e Plano de Controle Ambiental (PCA) referente às Obras de Melhorias e Ampliação do Terminal Portuário de Ponta da Madeira (TPPM) e do Terminal Ferroviário de Ponta da Madeira (TFPM). Rio de Janeiro, 2008.