

DIEGO DA SILVA GOMES

ANÁLISE ESTÁTICA DE UM GUINDASTE DE TORRE, UTILIZANDO O MÉTODO DOS
ELEMENTOS FINITOS

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. José Elias Tomazini

Guaratinguetá

2013

G633a Gomes, Diego da Silva
Análise estática de um guindaste de torre, utilizando o método dos elementos finitos / Diego da Silva Gomes – Guaratinguetá, 2014.
49 f : il.
Bibliografia: f. 49

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2014.
Orientador: Prof. Dr. José Elias Tomazini
Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Sampaio Martins

1. Guindastes, etc 2. Método dos elementos finitos 3. AutoCAD Civil 3D (Recurso eletrônico) I. Título

CDU 621.87

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá

DIEGO DA SILVA GOMES

ESTE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO FOI JULGADO ADEQUADO
COMO PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA.

Prof. Dr. Antônio Wagner Forti

Coordenador

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. José Elias Tomazini

Orientador/ UNESP-FEG



Prof. Dr. Marcelo Sampaio Martins

UNESP-FEG



Prof. Dr. Ângelo Caporalli Filho

UNESP-FEG

Dezembro de 2013

DADOS CURRICULARES

DIEGO DA SILVA GOMES

NASCIMENTO 27.03.1987 – SÃO PAULO / SP

FILIAÇÃO Expedito Gomes Bezerra
Zilma Josefa da Silva Bezerra

2002/2004 Curso Técnico

Escola Técnica Estadual “Getúlio Vargas”

Aprendizagem industrial

Escola SENAI “Humberto Reis Costa”

Ferramentaria

Escola SENAI “Mario Amato”

2007/2013 Curso de Graduação

Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá –

Universidade Estadual Paulista “Julio Mesquita Filho”

Dedicatória

À meus pais, Expedito e
Zilma e a meu irmão Daniel
por todo apoio e incentivo ao
longo de toda minha jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter iluminado meu caminho, guiado meus passos e por ter me ajudado em todos os momentos com saúde, paz, força de vontade e garra.

Ao meu pai Expedito Gomes Bezerra, minha mãe Zilma Josefa da Silva Bezerra e a meu irmão Daniel da Silva Gomes agradeço por todo apoio, compreensão e incentivo ao longo de toda minha carreira profissional e acadêmica e por me darem todo o suporte necessário em todos os momentos e dificuldades da vida.

Agradeço a minha namorada Carlaile, que mesmo em tão pouco tempo de relacionamento, conseguiu me manter calmo e focado em meu objetivo independente dos problemas e adversidades encontrados.

Pela orientação, direcionamento e apoio dados acerca do tema escolhido, agradeço ao meu orientador, Professor Dr. José Elias Tomazini.

Agradeço ao amigo Rafael Aguera, por todo suporte quanto a utilização do Software ANSYS e em relação ao método dos elementos finitos.

Agradeço de modo especial aos amigos Thiago Alves dos Santos, Leonardo Augusto, Tiago Oliveira e Rodrigo Fogagnolli pela experiência e o aprendizado adquirido durante anos de convivência no período de faculdade e por todo apoio.

Os agradecimentos também se estendem aos grandes amigos de longa data Antônio Gomes, Bruno Couto, Thiago Santella e a meu professor do SENAI Pedreira, que sempre me incentivaram a continuar e lutar pelos meus sonhos.

Agradeço à empresa Liebherr guindastes, por todo o conhecimento adquirido sobre o tema e por todo o subsídio para a realização desse trabalho.

"Não existem ventos favoráveis,
para quem não sabe onde vai."

Norberto Odebrecht

GOMES, D. S. **Análise estática de um guindastes de torre, utilizando o métodos dos elementos finitos.** 2013. 49 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

RESUMO

O método dos elementos finitos é de grande importância para o desenvolvimento e análise de um novo produto a ser projetado, ou já lançado no mercado, e que exija alguma solicitação ou aplicação especial. O Guindaste de torre, sendo um equipamento essencial para a construção civil moderna, por aumentar a produtividade e a segurança nos canteiros de obras, é exigido para muitos tipos de aplicações especiais dia após dia, em vários tipos de obra. Atentando-se a essa necessidade cada vez maior de projetos especiais para manuseio do guindaste de torre, depara-se com a importância e a necessidade do desenvolvimento e aperfeiçoamento do conhecimento em métodos mais precisos e práticos de cálculo como, por exemplo, o método dos elementos finitos, para uma maior agilidade e precisão na resposta em relação a um novo projeto. O guindaste de torre é definido pelo momento máximo em que o mesmo pode suportar, com certo valor de carga. O guindaste de torre que será analisado nesse trabalho, por exemplo, é um guindaste de torre com capacidade máxima resultante de 85 Toneladas Métricas onde serão consideradas dimensões básicas de um guindaste de torre tomando-se como base dados práticos de da empresa Liebherr em Guaratinguetá. Assim, o projeto de análise terá início com a representação em linhas tridimensionais do guindaste com o *software* AutoCAD, conversão desse modelo para formato aceito no ANSYS Workbench e término da modelagem 3D dos componentes estruturais no módulo *Design* do *software* ANSYS. Após a modelagem estrutural estar completa, será realizada a simulação no modo *static simulation* do próprio *software* ANSYS Workbench. As normas adotadas serão conforme DIN (Deutsches Institut für Normung) e EN 14439 (Europäische Normung 14439) e algumas NR's relativas à segurança específicas a classe de equipamento guindastes de torre, que serão citadas ao decorrer do trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: Guindaste de torre, Elementos finitos, ANSYS Workbench, AutoCAD 3D.

GOMES, D. S. **Static analysis of a tower crane using finite element methods**. 2013. 49 f. Graduate Work (Graduate in Mechanical Engineering) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2010.

ABSTRACT

The finite element method is of great importance for the development and analysis of a new product being designed or already on the market, and that requires some specific request or special application. The tower crane, being an essential equipment for modern construction to increase productivity and safety on construction sites, is required for many types of special applications day after day, in many kinds of work. Paying attention to this growing need for handling special projects for the tower crane, faced with the importance and necessity of development and improvement of knowledge in more accurate and practical calculation methods such as the finite element method, for greater agility and precision in the response to a new project. The tower crane is defined by the maximum load moment that it can act with a certain amount of load. The tower crane which will be analyzed in this work, for example, is a tower crane with a resulting capacity of 85 Metric Tons which are considered basic dimensions data of a physical tower crane of a crane company Liebherr in Guaratinguetá. Thus, the project analysis will begin with the three-dimensional representation of the crane lines with AutoCAD software, conversion of this model to the format accepted ANSYS Workbench and completion of 3D modeling of structural components in Design module ANSYS software. After structural modeling is completed, the simulation is performed in static simulation of ANSYS Workbench software mode. The standards will be adopted to DIN (Deutsches Institut für Normung) and EN 14439 (Europäische Normung 14439) and some NR 's related to specific security class of tower cranes, which will be referred throughout the work.

KEYWORDS: Tower cranes, Finite element, ANSYS Workbench, AutoCAD 3D.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Simulação de esforços para um avião utilizando o método dos elementos finitos....	18
Figura 2 - Desenho de projeto em 2 e 3 dimensões realizado no software AutoCAD.....	19
Figura 3 - Análise de um gancho de carga com o software ANSYS Workbench.....	20
Figura 4 - Guindaste de torre Liebherr, utilizado para a construção de um prédio.....	21
Figura 5 - Detalhe dos chumbadores antes e após serem fixados á base.....	21
Figura 6 - Guindaste de torre Liebherr com ponta de torre.	23
Figura 7 - Regiões de vento européias.....	25
Figura 8 - Cargas de vento segundo normas DIN/FEM.....	26
Figura 9 - Representação tridimensional do modelo matemático do guindaste de torre.....	27
Figura 10 - Medidas externas do modelo matemático do guindaste de torre.	28
Figura 11 - Discriminação das partes utilizadas no modelo matemático do guindaste de torre.	29
Figura 12 - Modelo tridimensional em vista explodida do matemático do guindaste de torre. .	29
Figura 13 - Áreas das secções transversais dos chumbadores e do conjunto de fechamento inferior do segmento base de 12,0 m.....	30
Figura 14 - Áreas das secções transversais por canto e de fechamento do perfil do segmento base de torre de 12,0m.....	32
Figura 15 - Áreas das secções transversais por canto e de fechamento do perfil dos segmentos de torre de 3,90m.....	32
Figura 16 - Áreas das secções transversais por canto e de fechamento do perfil do conjunto de giro.....	33
Figura 17 - Áreas das secções transversais por canto e de fechamento do perfil da contralança.....	33
Figura 18 - Áreas das secções transversais por canto e de fechamento do perfil da lança.....	34
Figura 19 - Fixação do conjunto chumbador ao solo em um canteiro de obra.....	35
Figura 20 - Fixação do conjunto chumbador ao solo.	35

Figura 21 - Aplicação dos esforços distribuídos decorrente do conjunto de contrapesos na contralança.....	36
Figura 22 - Aplicação dos esforços distribuídos decorrente do conjunto de giro.	37
Figura 23 - Aplicação dos esforços distribuídos na lança decorrente do conjunto do carrinho. 37	
Figure 24 - Aplicação dos esforços pontuais na torre do guindaste.	38
Figura 25 - Visão geral do guindaste de torre no software ANSYS após aplicação de todos os esforços na estrutura.	39
Figura 26 - Resultado da análise por tensão direta em Pa.	40
Figure 27 - Pontos críticos da análise por tensão direta em Pa.	40
Figura 28 - Máxima tensão de flexão	40
Figura 29 - Ponto crítico da máxima tensão de flexão	41
Figura 30 - Resultado da análise de tensão combinada mínima em Pa.....	41
Figura 31 - Ponto crítico da tensão combinada mínima em Pa.....	42
Figura 32 - Resultado da análise de tensão combinada máxima em Pa.....	43
Figura 33 - Ponto crítico da tensão combinada máxima em Pa.....	44
Figura 34 - Resultado da análise da deformação total da estrutura em metros.....	44
Figura 35 - Ponto crítico de deformação.....	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Determinação das áreas de secção transversal de cada perfil do guindaste de torre.....	38
---	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1- JUSTIFICATIVAS E MOTIVAÇÃO.....	14
1.2- OBJETIVOS	15
1.3- ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2. REVISÃO DA LITERATURA	16
2.1 ELEMENTOS FINITOS.....	16
2.2 AUTOCAD – REPRESENTAÇÕES EM 2 E 3 DIMENSÕES	19
2.2.2 Análise de MEF pelo software ANSYS Workbench	20
3. MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1 GUINDASTES DE TORRE.....	21
3.2 REPRESENTAÇÃO DO MODELO EM AUTOCAD 3D.....	27
3.3 ANÁLISE PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS.....	30
3.3.1 Determinação dos perfis	30
3.3.2 Aplicação das forças, pontos de fixação e criação da malha.....	34
4. RESULTADOS	39
4.1 TENSÃO DIRETA	40
4.2 MÁXIMA TENSÃO DE FLEXÃO	41
4.2 TENSÃO COMBINADA MÍNIMA	42
4.3 TENSÃO COMBINADA MÁXIMA	44
4.4 DEFORMAÇÃO TOTAL DA ESTRUTURA	45
5. CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIAS.....	49

1. INTRODUÇÃO

Como os guindastes de torre são produtos que cada vez mais estão sendo utilizados na construção civil aqui no Brasil, não sendo mais um método construtivo exclusivo na Europa e nos Estados Unidos, e além de tudo por ser um produto que envolve alto risco se calculado ou manuseado incorretamente, o mesmo precisa ser analisado / calculado com muito cuidado do ponto de vista estático e dinâmico. Apesar de já ser muito utilizado e difundido em nosso país, a experiência prática em métodos mais modernos de análise e cálculo deve ser considerada.

Uma alternativa além do cálculo analítico, tanto em relação a segurança quanto em relação a precisão e velocidade de resposta é a utilização da análise pelo método dos elementos finitos com poderosos *softwares* de cálculo e modelagem, como o CATIA, Solid Works e ANSYS, sendo o último utilizado nesse trabalho de graduação.

Portanto, esse trabalho consistirá em desenhar um modelo matemático tridimensional do guindaste de torre a partir de linhas, do guindaste de torre completo estruturalmente e considerando todas as cargas envolvidas quando o mesmo está montado, em condições fora de trabalho, sem carga sendo elevada.

Após modelamento matemático do guindaste de torre, o mesmo será analisado através do método dos elementos finitos no *software* ANSYS Workbench.

1.1- JUSTIFICATIVAS E MOTIVAÇÃO

O emprego do Método dos Elementos Finitos na indústria, por meio de *softwares* está sendo cada vez mais difundido aumentando a precisão de métodos analíticos já utilizados, não os substituindo, mas sim, facilitando e aumentando a velocidade em que cálculos complexos e precisos possam ser sejam realizados. Como esse tema é pouco abordado na Universidade, o engenheiro mecânico de hoje, principalmente o que atuará na área de projetos, necessita conhecimento desse tipo de ferramenta para agilizar e dinamizar seu trabalho.

1.2- OBJETIVOS

O objetivo geral desse trabalho de graduação é desenhar um modelo tridimensional de um guindaste de torre fixado ao chão, aplicar uma carga sobre a lança e a contra lança do mesmo, simulando uma condição de trabalho fora de operação do equipamento, e estudar como os esforços e as forças resultantes atuarão decorrentes a uma análise estática e como influenciarão no comportamento de cada componente do equipamento, utilizando o método dos elementos finitos.

1.3- ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho é composto basicamente por cinco capítulos, dos quais podem ser descritos da seguinte maneira:

- Capítulo 1: O primeiro capítulo apresenta uma visão geral sobre todos os conceitos que serão aplicados nesse trabalho, as justificativas para adoção de tal tema e o objetivo final juntamente a motivação para tal estudo.
- Capítulo 2: O segundo capítulo trata da fundamentação teórica do trabalho como um todo, abordando principalmente os temas Método de Elementos Finitos, ferramentas de modelagem tridimensional como o AutoCAD e ferramentas de aplicação prática do método dos elementos finitos como o ANSYS Workbench.
- Capítulo 3: No terceiro capítulo é definida a metodologia utilizada no trabalho.
- Capítulo 4: O quarto capítulo contém informações pontuais e discussões acerca dos resultados obtidos através das análises e condições de contorno consideradas.
- Capítulo 5: No quinto capítulo são feitas as considerações finais desse trabalho, indicando as dificuldades encontradas para sua realização, a importância de tal estudo e a avaliação dos resultados obtidos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ELEMENTOS FINITOS

No âmbito da Engenharia de Estruturas, o Método dos Elementos Finitos (MEF) tem como objetivo a determinação do estado de tensão e de deformação de um sólido de geometria arbitrária sujeito a ações exteriores. Este tipo de cálculo tem a designação genérica de análise de estruturas e surge, por exemplo, no estudo de edifícios, pontes, barragens, etc. Quando existe a necessidade de projetar uma estrutura, é habitual proceder-se a uma sucessão de análises e modificações das suas características, com o objetivo de se alcançar uma solução satisfatória, quer em termos económicos, quer na verificação dos pré-requisitos funcionais e regulamentares. As técnicas descritas nesta publicação apenas correspondem à fase de análise do comportamento de uma estrutura cuja geometria, materiais e ações são a priori conhecidos. Nos cursos de Engenharia Civil e de Engenharia Mecânica é tradicional começar-se por ensinar a análise de estruturas limitada às vigas, pórticos, treliças e grelhas. As estruturas deste tipo recebem a designação de reticuladas, por serem constituídas por barras prismáticas cuja secção transversal apresenta dimensões muito inferiores ao comprimento do seu eixo. As estruturas não reticuladas são, em geral, estudadas como meios contínuos (ex., paredes, lajes, cascas, sólidos). Nas estruturas reticuladas surgem já muitos conceitos que são comuns à generalidade das estruturas, tais como o de equilíbrio, compatibilidade, tensão, deformação, relação entre tensão e deformação, etc. No âmbito das estruturas reticuladas torna-se particularmente simples explicar o método das forças e o método dos deslocamentos, bem como outras técnicas que, em geral, são difíceis de estender aos meios contínuos (MARQUES AZEVEDO, 2003).

Antes do aparecimento do MEF, a análise dos meios contínuos era efetuada por resolução direta dos sistemas de equações de derivadas parciais que regem o fenómeno, tendo em consideração as necessárias condições de contorno. Para facilitar a aplicação desta técnica a problemas não elementares, era comum recorrer a séries de Fourier. Devido à sua complexidade, estes procedimentos só eram aplicáveis a meios contínuos homogêneos e de geometria simples. Para tentar ultrapassar algumas destas limitações, era frequente a substituição de derivadas exatas por derivadas aproximadas, calculadas com base em grelhas de pontos. Da aplicação desta técnica resulta o método das diferenças finitas, que, antes do aparecimento dos computadores, apresentava o inconveniente de requerer a resolução de grandes sistemas de equações lineares. Para evitar este inconveniente foram propostos diversos

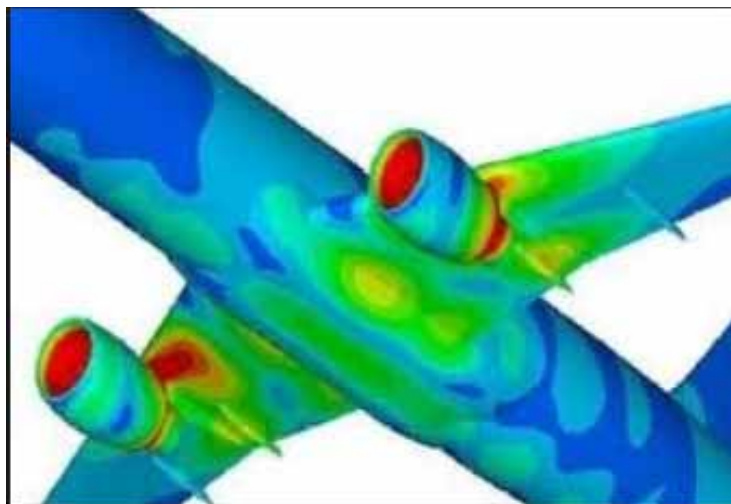
métodos de relaxação baseados na sucessiva diminuição de um conjunto de resíduos. Devido à morosidade associada à aplicação de qualquer um destes métodos, tornava-se muito atrativa a substituição do problema real por outro semelhante, de modo a se poder recorrer a resultados publicados em tabelas ou ábacos. Com o grande desenvolvimento que o MEF teve na década de 60 e com a banalização do recurso ao computador, passou a ser prática corrente a análise de estruturas de geometria arbitrária, constituídas por múltiplos materiais e sujeitas a qualquer tipo de carregamento. Este avanço é tão significativo que os outros métodos, atrás referidos, deixaram praticamente de ser utilizados. Atualmente, o seu interesse restringe-se ao de fornecer soluções teóricas de problemas simples para validar métodos aproximados (MARQUES AZEVEDO, 2003).

A formulação do MEF pode ser baseada no método dos deslocamentos, em modelos de equilíbrio, ou em métodos híbridos e mistos. De todos estes métodos, aquele que apresenta uma maior simplicidade e, conseqüentemente, uma maior versatilidade é o método dos deslocamentos, sendo este o único que é abordado nesta publicação. Associados ao método dos deslocamentos surgem muitos conceitos, como por exemplo, as noções de grau de liberdade, deslocamento generalizado, força generalizada, equilíbrio, matriz de rigidez, vector solicitação, montagem, introdução de condições de apoio, etc. (MARQUES AZEVEDO, 2003).

Antes de aplicar o Método dos Elementos Finitos, é necessário definir a classificação da análise a ser feita quanto à geometria, a linearidade da estrutura e a forma como as forças são aplicadas. Isso faz-se essencial por determinar as simplificações a serem feitas e, por consequência, como o método é aplicado. Quanto à geometria, uma estrutura pode ser classificada como: reticuladas ou lineares, quando as dimensões da secção transversal são muito menores que o comprimento de seu eixo; laminares ou de cascas, quando sua espessura é muito menor que as demais dimensões; e sólidas, quando não se enquadram nas definições anteriores. Quanto à linearidade, uma estrutura pode ter comportamento: linear, quando os deslocamentos resultantes do esforço aplicado são muito pequenos em relação às dimensões da estrutura e a análise pode ser feita com base na geometria inicial; ou não linear, quando ocorre o contrário e a geometria em análise deve ser atualizada constantemente. Ainda, do ponto de vista do material, considera-se uma estrutura linear aquela que possui relação linear entre tensões e deformações. E quanto à forma como as forças são aplicadas, temos os seguintes tipos de análise: análise estática, quando as forças aplicadas na estrutura são suficientemente lentas; e análise dinâmica, quando da ocorrência de acelerações aplicadas na estrutura. (ALVES FILHO, 2007).

A figura 1 ilustra um exemplo de simulação de um avião conforme o método dos elementos finitos.

Figura 1 - Simulação de esforços em um avião utilizando o método dos elementos finitos.



Fonte: TECMES, 2013

2.2 AUTOCAD – REPRESENTAÇÕES EM 2 E 3 DIMENSÕES

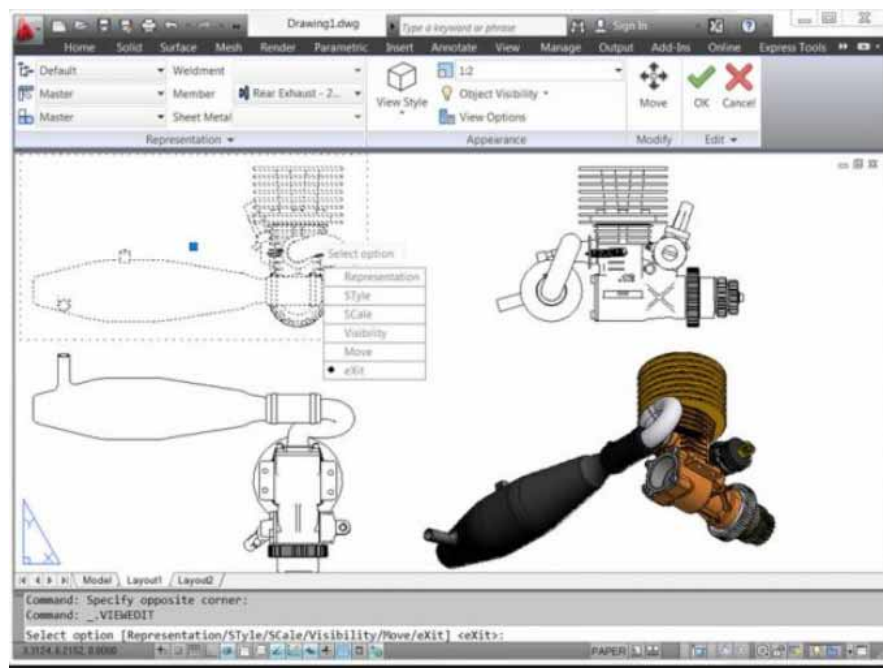
O AutoCAD é a mais famosa e difundida ferramenta para desenhos de projetos para a engenharia.

É um software, que se enquadra no conceito de tecnologia CAD (*Computer Aided Design*) é utilizado mundialmente para criação de projetos em computador.

AutoCAD é um *software* do tipo CAD — *Computer Aided Design* ou desenho auxiliado por computador - criado e comercializado pela Autodesk, Inc. desde 1982. É utilizado principalmente para a elaboração de peças de desenho técnico em duas dimensões (2D) e para criação de modelos tridimensionais (3D). Além dos desenhos técnicos, o software vem disponibilizando, em suas versões mais recentes, vários recursos para visualização em diversos formatos. É amplamente utilizado em arquitetura, *design* de interiores, engenharia civil, engenharia mecânica, engenharia geográfica, engenharia elétrica e em vários outros ramos da indústria. O AutoCAD é atualmente disponibilizado em versões para o sistema operacional *Microsoft Windows* e *Mac OS*, embora já tenham sido comercializadas versões para UNIX. (WIKIPÉDIA, <http://pt.wikipedia.org/wiki/AutoCAD>).

A figura 2 ilustra um exemplo de projeto realizado no *software* AutoCAD.

Figura 2 - Desenho de projeto em 2 e 3 dimensões realizado no software AutoCAD.



Fonte: [http:// www.arquitetandoconhecimentos.com](http://www.arquitetandoconhecimentos.com)

2.2.2 Análise de MEF pelo software ANSYS Workbench

O programa ANSYS Workbench é um dos vários programas de análises pelo método de elementos finitos existentes no mundo. Outros programas, por exemplo, são: Abaqus, Comsol, MSC *Software*, Visual Nastran, Adina, Lisa, etc (AZEVEDO, 2013).

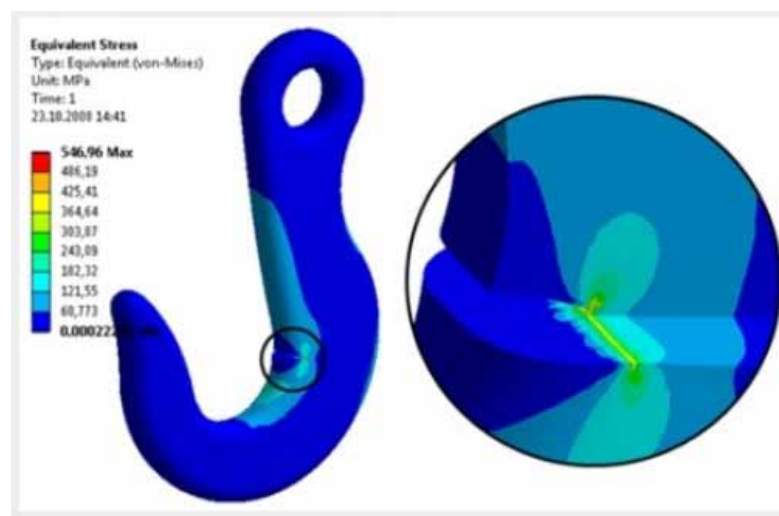
O ANSYS Workbench se enquadra na categoria de programas de Engenharia Auxiliada por Computadores (CAE), *Computer Aided Engineering* e tem a finalidade de auxiliar o engenheiro nas decisões de algumas das etapas do desenvolvimento de projeto, em particular para o dimensionamento e a validação de projetos. (AZEVEDO, 2013).

De maneira geral os programas de CAE permitem a redução do custo e tempo necessário no processo de desenvolvimento do projeto, pois é acelerado pela rapidez de análise, a otimização coerente da peça ou conjunto antes da sua fabricação reduzindo os custos associados ao material, a manufatura e final, a redução da probabilidade de falha dos componentes, pois uma eventual falha pode ser percebida antes de sua execução (AZEVEDO, 2013).

O programa ANSYS Workbench mostra os resultados graficamente na tela permitindo identificação visual da geometria e resultados facilitando a interpretação do que está ocorrendo na peça ou conjunto (AZEVEDO, 2013).

A figura 3 exemplifica como o ANSYS Workbench realiza a interface entre *software* e usuário.

Figura 3 - Análise de um gancho de carga com o software ANSYS Workbench



Fonte: Website empresa ESSS

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 GUINDASTES DE TORRE

O guindaste de torre, ou comumente conhecido na indústria e na construção civil como grua, consiste em um equipamento de estrutura treliçada que é utilizado para a elevação e movimentação de cargas e materiais pesados a elevadas alturas e a grandes distâncias horizontais com segurança e precisão.

Equipamento cada vez mais empregado como método construtivo na construção civil, pois garante vantagens em relação à movimentação de cargas com rapidez e segurança. Além de movimentação de cargas, esse tipo de equipamento é muito utilizado também para processos de concretagem de edifícios, o que substituiria o uso de bombas de concreto ou mesmo de braços lançadores de concreto, que demandam muita manutenção. A figura 4 ilustra um guindaste de torre sendo utilizado em uma obra no Brasil.

Figura 4 - Guindaste de torre Liebherr, utilizado para a construção de um prédio.



Fonte: Liebherr

Os guindastes de torre, por sua vez, podem ser apoiados ou fixados sobre o chão dependendo do tipo de sua base, da altura que o mesmo deve ser elevado e do espaço disponível para instalação e manuseio do mesmo. Os tipos de bases do guindaste são: sobre chumbadores, móvel sobre trilhos e estacionária sobre base cruciforme.

O guindaste que será analisado nesse estudo ficará estático no chão, portanto sobre chumbadores fixados sob o solo, conforme a figura 5.

Acima dos chumbadores, o guindaste de torre é formado por segmentos de torre, montados uns aos outros com elementos de fixação por pinos ou parafusos, dependendo do porte do guindaste e para qual capacidade máxima de momento de carga o mesmo deverá trabalhar.

Figura 5 – Detalhe dos chumbadores antes e após serem fixados á base.



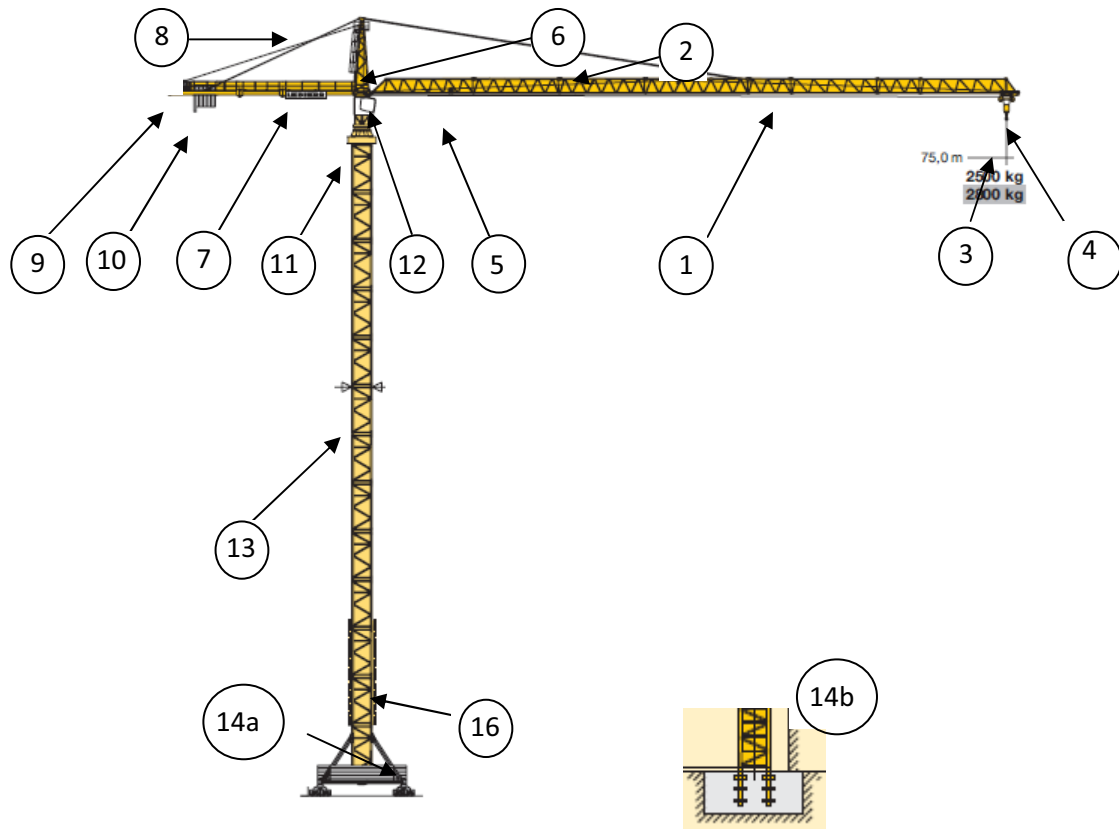
Fonte: Liebherr

Tendo sua altura final determinada pelo número de segmentos de torre que compõe a torre em si logo acima do chumbador, o guindaste de torre possui na sequência, logo acima do último segmento de torre, uma coroa giratória com sua respectiva plataforma que são responsáveis pelo giro do guindaste em 360° em torno do seu eixo. A coroa consiste em uma engrenagem com diâmetro aproximado de uma largura do segmento de torre que permanece estacionária, onde em torno de si será rotacionado um pinhão que gira a lança, contra lança e a cabine.

Sustentado na plataforma de giro estão localizadas estruturas soldadas com furo que irão receber as treliças da lança e da contra lança, sendo uma em cada lado do segmento de torre e rotacionadas em 180° uma em relação à outra. A contra lança é onde ficam fixados os contrapesos de concreto e que são responsáveis em fazer o equilíbrio do guindaste quando o mesmo içar alguma carga na lança, localizada no lado oposto. Por sua vez, a lança é fixada e é por ela que o cabo de elevação passará e poderá movimentar a carga para frente e para trás por meio de um carrinho.

Para melhor exemplificar, os guindastes de torre podem ser detalhados conforme figura 6 que descreve seus principais componentes e suas respectivas funções:

Figura 6 - Guindaste de torre Liebherr com ponta de torre.



Fonte: Catálogo Liebherr

Descrição dos componentes anteriormente marcados na figura 6:

- 1) Lança – Componente treliçado modular que determina o raio de giro / operação do guindaste de torre, podendo ser montado com diferentes alcances em função da necessidade de trabalho.
- 2) Tirante da lança – Responsável pela sustentação e equilíbrio estático da lança.
- 3) Moitão – Gancho para içamento da carga.
- 4) Carrinho da lança – Realiza o trabalho de translação da carga ao longo da lança.
- 5) Mecanismo de translação do carrinho - Realiza o trabalho de translação da carga ao longo da lança.

- 6) Ponta de torre – Elemento treliçado localizado acima da plataforma giratória e da cabine de operação, que conectado aos tirantes (tanto na lança quanto na contra lança) auxilia na estabilidade do guindaste de torre.
- 7) Contra lança – Comporta o mecanismo de elevação e os contra pesos, auxiliando na estabilidade do guindaste de torre.
- 8) Tirantes da contra lança - Responsáveis pela sustentação e equilíbrio estático da contra lança.
- 9) Mecanismo de elevação – Responsável pela elevação e abaixamento da carga.
- 10) Contra pesos – Estrutura de concreto armado, que dependendo do comprimento total da lança, tem um número determinado de peças e auxilia na estabilidade do guindaste de torre como um todo (geralmente fabricado pelo próprio cliente).
- 11) Plataforma giratória + coroa giratória + mecanismo de giro + assento da coroa – Responsáveis pelo giro do guindaste de torre em torno de seu eixo. O mesmo pode ser em cima ou em baixo dependendo do tipo de guindaste utilizado.
- 12) Cabine de operação – Integrada na plataforma giratória, onde se localizam os acionamentos dos mecanismos do guindaste de torre.
- 13) Segmentos de torre – Estrutura treliçada que a partir de uma composição predeterminada configura a altura do guindaste de torre.
- 14) Base do guindaste de torre – Elemento sobre o qual o guindaste de torre fica apoiado. Podem ser dos seguintes tipos:
 - 14a) Fixa sobre chumbadores.
 - 14b) Carro inferior móvel sobre trilhos (com mecanismo de translação) ou estacionário (sem mecanismo de translação).
- 15) Lastro central – Estruturas de concreto armado que montadas sobre o carro inferior, também auxiliam no equilíbrio do guindaste de torre (geralmente fabricado pelo próprio cliente).
- 16) Peça guia - Elemento responsável pela telescopagem do guindaste de torre.

Quanto ao componente acima detalhado como número 6, ponta de torre, o guindaste pode contê-lo ou não em sua composição. O modelo analisado para esse trabalho de graduação, não possuirá ponta de torre, pelo motivo de que atualmente esses modelos *flat top* serem os mais usuais no mercado e por facilitarem a área de trabalho a qual serão

empregados.

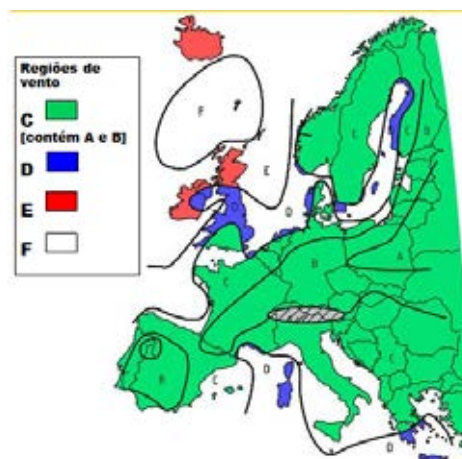
O guindaste certamente é formado por muito mais componentes, tanto elétricos como mecânicos além dos que foram descritos acima, que influenciariam no peso exercido sobre a estrutura, mas que não serão levados em consideração para esse trabalho de graduação, pois demandaria muito mais tempo para modelagem 3D e que precisariam de um computador muito mais avançado e com mais memória para poder simular e calcular os resultados.

Portanto, o guindaste de torre voltado para esse projeto será um modelo sem ponta de torre, ou *flat top*, e composto pelos seguintes componentes: chumbador, segmentos de torre, conjunto de giro, contra lança e lança completa com os esforços aplicados em sua lança e contra lança.

Outra observação importante acerca desse trabalho, é que o guindaste de torre será considerado em sua pior condição de operação, conforme norma DIN/FEM 1.001, ilustrada na figura 8, ou seja, com o vento agindo na direção da contra lança, o que a norma classifica como uma tempestade de frente no valor máximo de até 151 Km/h, e com o mesmo fora de operação, o que significa que toda a carga aplicada à estrutura será a do contrapeso na contra lança exercendo uma maior força, a do carrinho na lança e a do conjunto de giro.

Para complementar e restringir mais a norma DIN/FEM 1.001, que determina os padrões de cálculo de guindastes de torre considerando tempestade de frente, conforme explicado anteriormente, fora instituída a norma EN 14439 a partir de 01//01/2010 que determina que as zonas de vento que devem ser consideradas para o cálculo de guindastes de torre devem ser as zonas europeias classificadas em C, D, E e F conforme figura 7.

Figura 7 - Regiões de vento europeias.



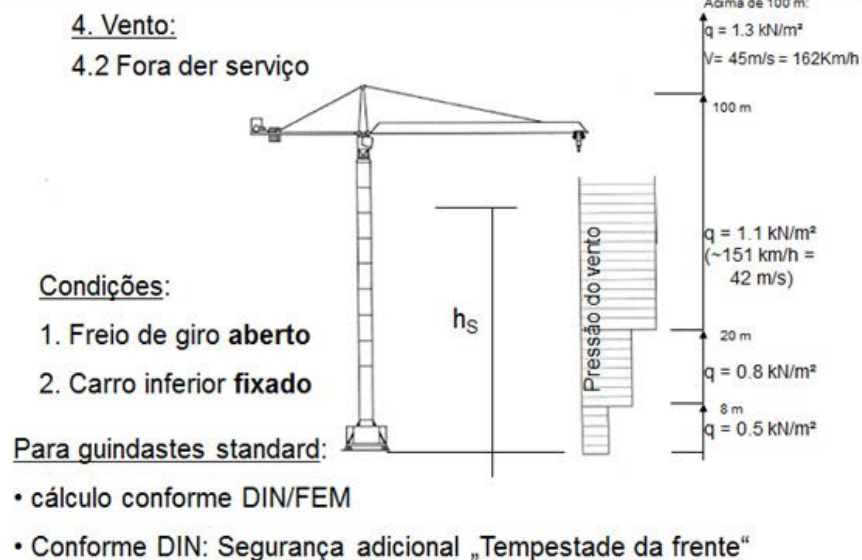
Fonte: Liebherr Werk Biberach, 2010.

Como o intuito desse trabalho fora apenas a análise estática e o vento age como uma carga dinâmica sobre uma estrutura, a carga de vento será considerada como uma carga pontual agindo sobre a área do guindaste como um todo, exatamente no centro de gravidade do mesmo, conforme exemplifica figura 8 nessa mesma página, fornecida pela empresa Liebherr e apresentada em um congresso sobre segurança em guindastes de torre e determinada conforme norma EN 14439.

Além da determinação das zonas de vento e suas classificações, a norma EN 14439 também determina que a região a que o guindaste deve ser calculado é a região de vento C 25, que significa considerar os dados de vento de toda a região em verde na figura 7 com a maior rajada de vento em 25 anos para essa mesma região. É necessário, portanto, a verificação da velocidade do vento, por meio de anemômetros, por exemplo, da região em que o guindaste de torre será instalado e esse valor comparado a dados históricos da região C 25, devendo o valor ser menor do que da área considerada por norma.

Figura 8 – Cargas de vento segundo normas DIN/FEM

Forças atuantes



Fonte: Liebherr Werk Biberach, 2010

3.2 REPRESENTAÇÃO DO MODELO EM AUTOCAD 3D

Antes de o modelo matemático ser calculado pelo *software* ANSYS Workbench, o mesmo fora desenhado considerando um modelo de linhas com o auxílio do *software* AutoCAD em 3 dimensões, conforme figura 9.

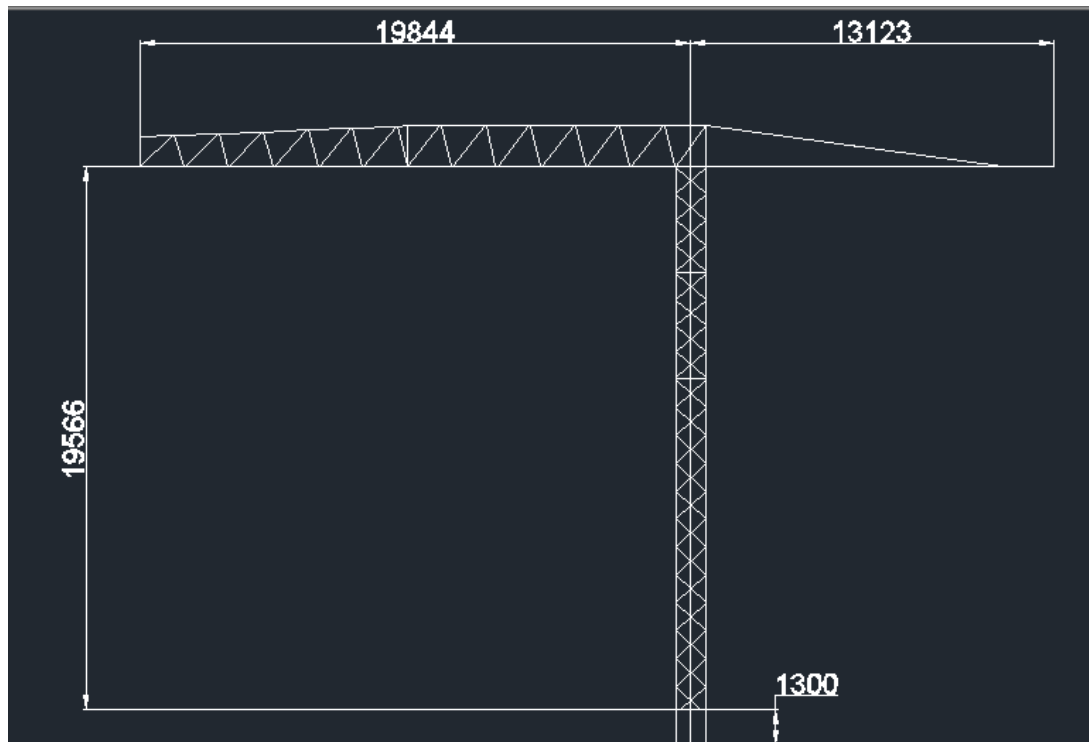
Figura 9 - Representação tridimensional do modelo matemático do guindaste de torre.



Fonte: Autor

As medidas externas consideradas para o modelo matemático seguem conforme figura 10, portanto, o guindaste de torre analisado nesse trabalho terá 19,566 m de altura, 19,844 m de comprimento total de lança e 13,123 m de comprimento de contra lança. Atentar que a altura útil do guindaste de torre é a altura da base que fora construído até a lança e que o mesmo possui 1300 mm de comprimento de chumbador logo abaixo da base. Todas as medidas de lança e contra lança são consideradas a partir do centro de giro do guindaste, ou seja, exatamente no centro dos segmentos de torre. As dimensões aqui citadas foram extraídas de um modelo real de guindaste de torre, por medição direta e com a utilização de instrumentos como a trena.

Figura 10 - Medidas externas do modelo matemático do guindaste de torre.

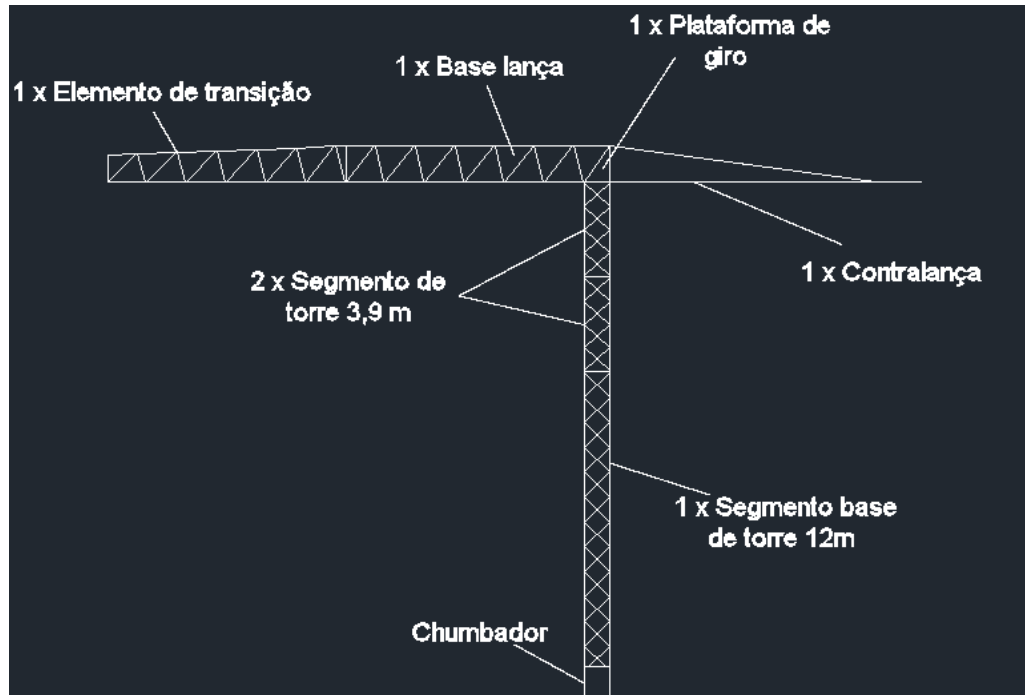


Fonte: Autor

Foram considerados os seguintes componentes para o guindaste de torre: um jogo de chumbador composto por quatro chumbadores, um segmento base de torre de 12 m de comprimento por 1,20 m de largura, dois segmentos de torre de 3,90 m de altura por 1,20 m de largura, a lança composta por um elemento base da lança e um segmento de transição, um conjunto plataforma de giro e uma contra lança com tirantes. Para maior detalhamento, atentar a figura 11.

Nos componentes que foram citados na seção 3.1 Guindaste de torre deste mesmo trabalho, estava inclusos mais itens que seriam utilizados no modelo matemático como carrinho, contrapeso e conjunto de giro. Os mesmos não foram representados no modelo matemático, pois demandaria muito tempo para tal modelagem e o modelo ficaria muito complexo e pesado para cálculo e análise posterior no *software*, mas serão considerados como cargas distribuídas no ANSYS Workbench no exato ponto de atuação de cada uma.

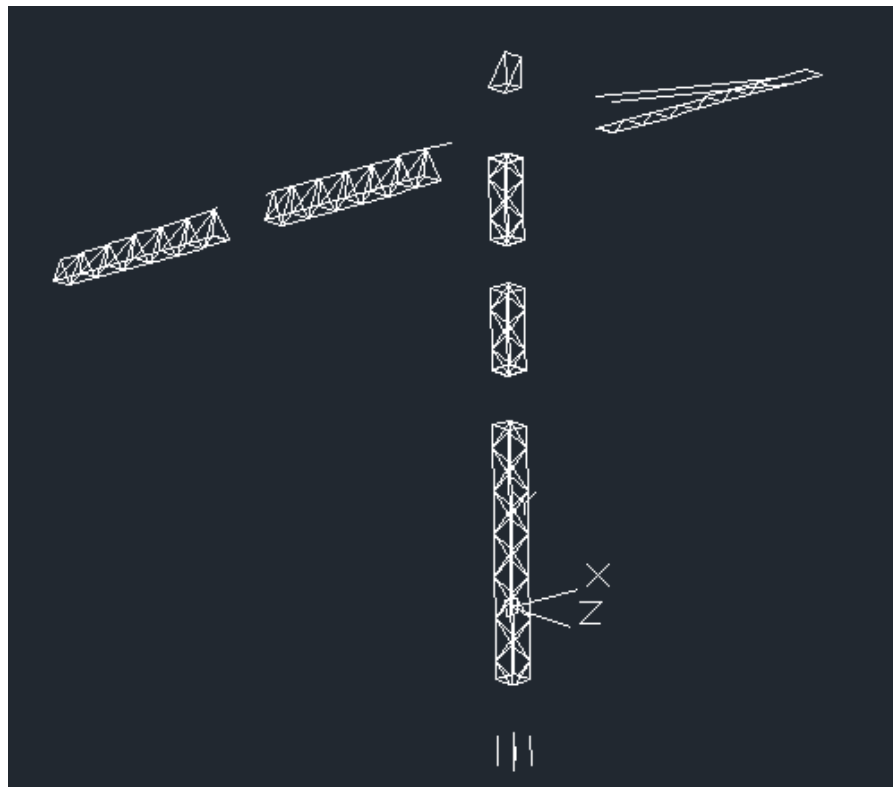
Figura 11 - Discriminação das partes utilizadas no modelo matemático do guindaste de torre.



Fonte: Autor

A vista explodida do modelo tridimensional é representada na figura 12.

Figura 12 - Modelo tridimensional em vista explodida do matemático do guindaste de torre.



Fonte: Autor

3.3 ANÁLISE PELO MÉTODO DOS ELEMENTOS FINITOS

3.3.1 Determinação dos perfis

Após o modelo matemático ser completado no software AutoCAD, o mesmo foi convertido para a extensão de arquivo “.igs” para poder ser carregado no *software* ANSYS e a análise ser realizada. Após tal conversão, o ANSYS foi selecionado em seu módulo *Static Structural* para a análise estática dos elementos estruturais do guindaste de torre sobre carga.

No mesmo modo, os dados de engenharia considerados para os materiais de fabricação utilizados no guindaste de torre foram do aço estrutural provindos da norma ASME BPV de 1998, seção 8, divisão 2, Tabela 5–110.1 que já consta na biblioteca do *software* ANSYS. A densidade desse tipo de aço utilizado é 7850 Kg/m^3 , seu limite de escoamento a tração e a compressão é de $2,5 \cdot 10^8 \text{ Pa}$, sendo que os dados foram extraídos da norma ASME anteriormente citada.

Logo após a aplicação dos dados do material a estrutura, o modelo matemático foi exportado para o módulo *Geometry* do ANSYS para que as áreas de seção transversal das treliças e os nós fossem devidamente aplicados.

As áreas de seção transversal consideradas para cada componente da treliça foram classificadas e divididas conforme quadro 1.

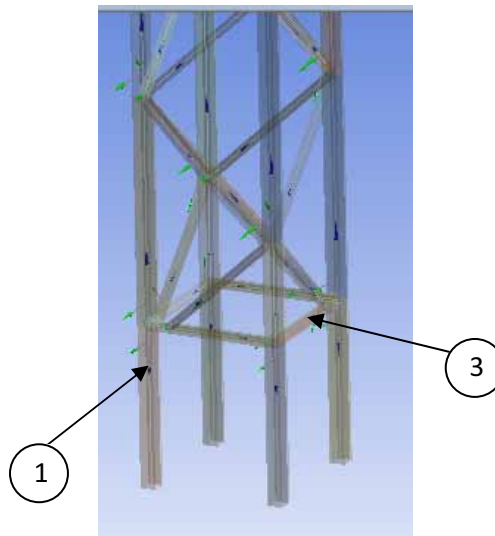
Quadro 1 – Determinação das áreas de seção transversal de cada perfil do guindaste de torre.

Sequência / Identificação	Descrição	Dimensões (mm)
1)	Tubo retangular	127,2 x 127,2 x 11
2)	Tubo retangular	70 x 70 x 4
3)	Tubo retangular	70 x 70 x 9
4)	Tubo retangular	120 x 80 x 8,8
5)	Tubo retangular	80 x 80 x 10
6)	Tubo retangular	100 x 100 x 10
7)	Tubo retangular	50 x 50 x 4
8)	Tubo retangular	90 x 90 x 9
9)	Tubo circular	48,3 x 41,3

10)	Tubo circular	42,4 x 36,0
11)	Tubo circular	38 x 30,8
12)	Tubo circular	60,3 x 50,9
13)	Perfil U	100 x 100 x 280 x 10
14)	Perfil U	100 x 100 x 260 x 10

Cada perfil determinado na tabela acima assumiu uma treliça no modelo tridimensional do guindaste de torre conforme identificação da tabela 1 e sequência de figuras logo abaixo, figuras 13, 14, 15, 16, 17 e 18, lembrando que todas essas dimensões foram extraídas de um modelo real de guindaste de torre:

Figura 13 - Áreas das seções transversais dos chumbadores e do conjunto de fechamento inferior do segmento base de 12,0 m.



Fonte: Autor

Figura 14 - Áreas das secções transversais por canto e de fechamento do perfil do segmento base de torre de

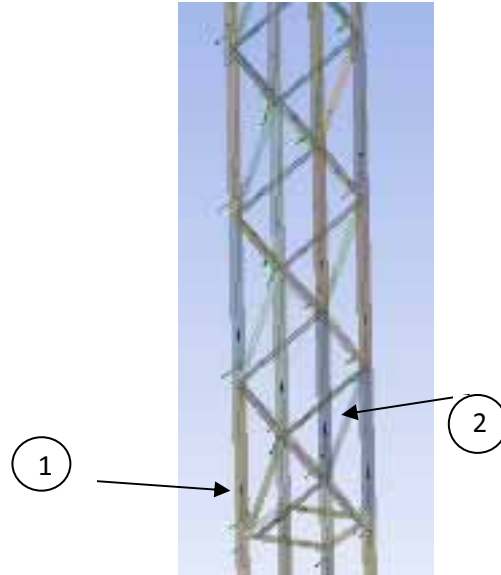
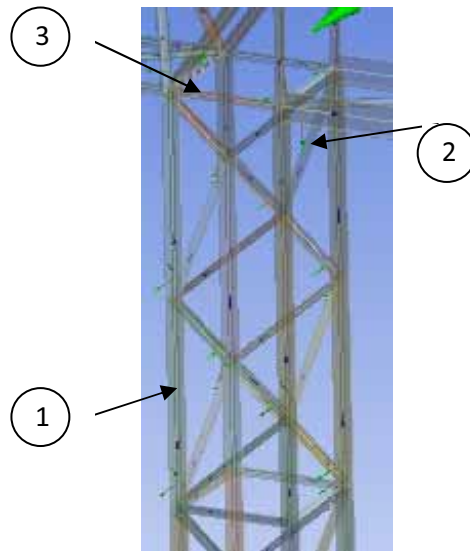
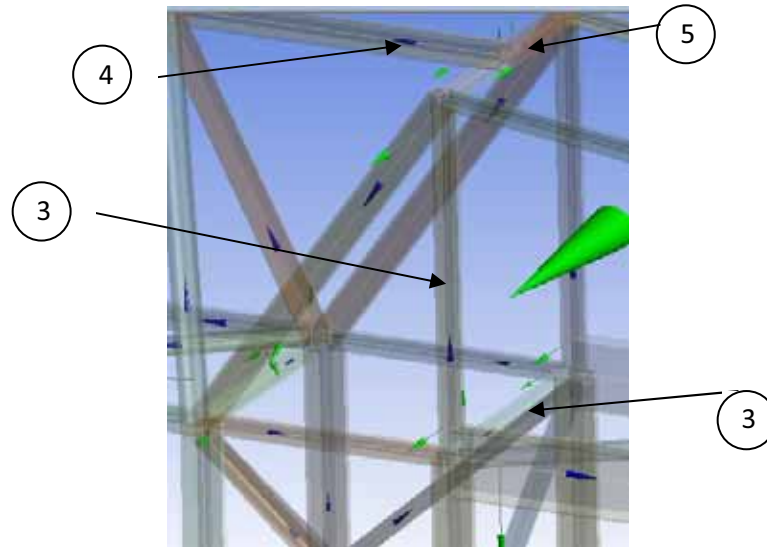


Figura 15 - Áreas das secções transversais por canto e de fechamento do perfil dos segmentos de torre de 3,90m.



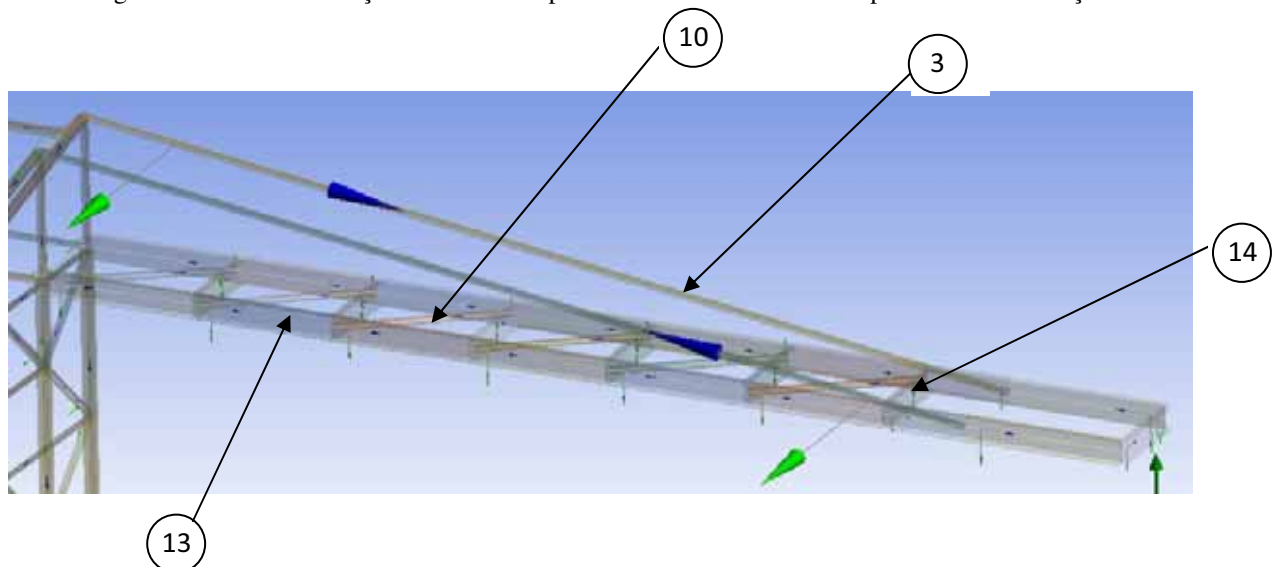
Fonte: Autor

Figura 16 - Áreas das secções transversais por canto e de fechamento do perfil do conjunto de giro.



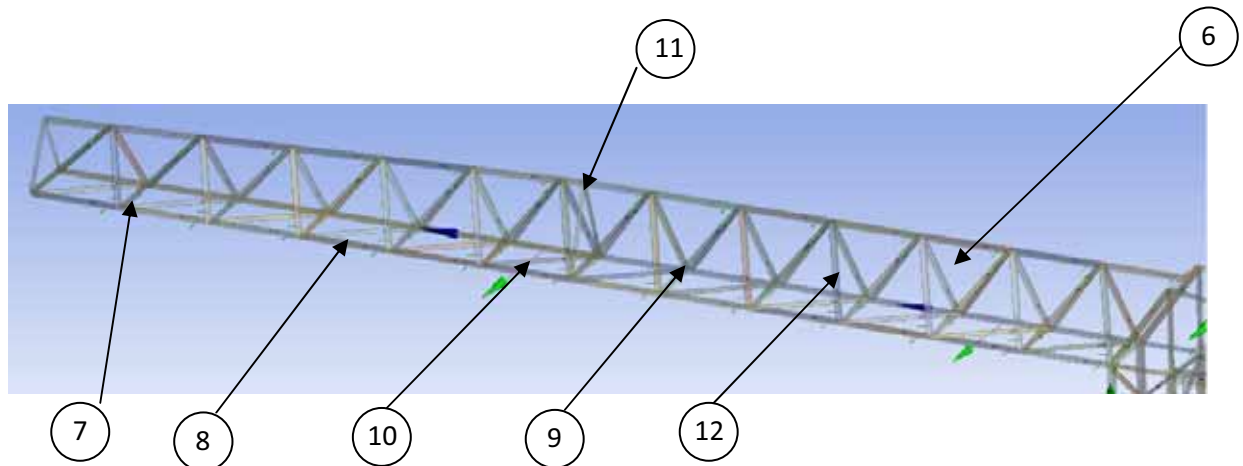
Fonte: Autor

Figura 17 - Áreas das secções transversais por canto e de fechamento do perfil da contra lança.



Fonte: Autor

Figura 18 - Áreas das secções transversais por canto e de fechamento do perfil da lança.



Fonte: Autor

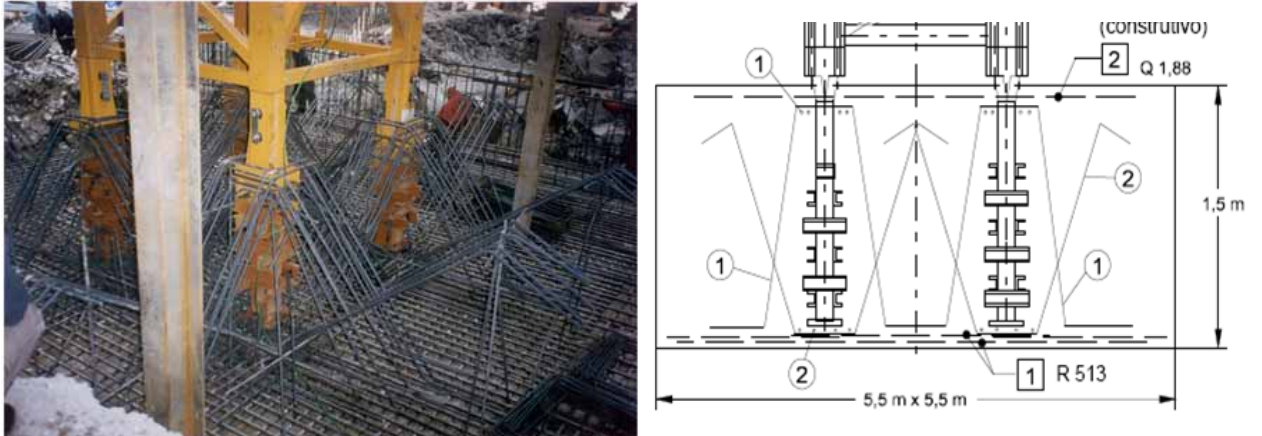
Após todas as secções transversais serem devidamente demarcadas em todo o perfil do guindaste de torre, o resultado fora de 384 perfis com 767 vértices ao longo de toda estrutura.

3.3.2 Aplicação das forças, pontos de fixação e criação da malha

Com todos os perfis determinados, o módulo *DesignModeler* do software ANSYS fora fechado e o desenho carregado em outro módulo do *StaticStructural*, o módulo *Model* onde serão determinadas as condições de contorno para o problema proposto como pontos de aplicação das forças, os pontos de fixação da estrutura e para a criação da malha para que o cálculo seja realizado.

O Guindaste de torre deve ser fixo ou apoiado pela sua base. Como o modelo de guindaste de torre estudado nesse projeto é sobre chumbadores, os mesmos deverão ser montados sob o solo, sendo o mesmo devidamente preparado com uma estrutura de concreto armado e reforçado e a sua cura deve ser de 100% antes da instalação do segmento base de torre nos chumbadores. A figura 19 ilustra um exemplo prático e um exemplo de manual do guindaste para montagem do conjunto chumbador.

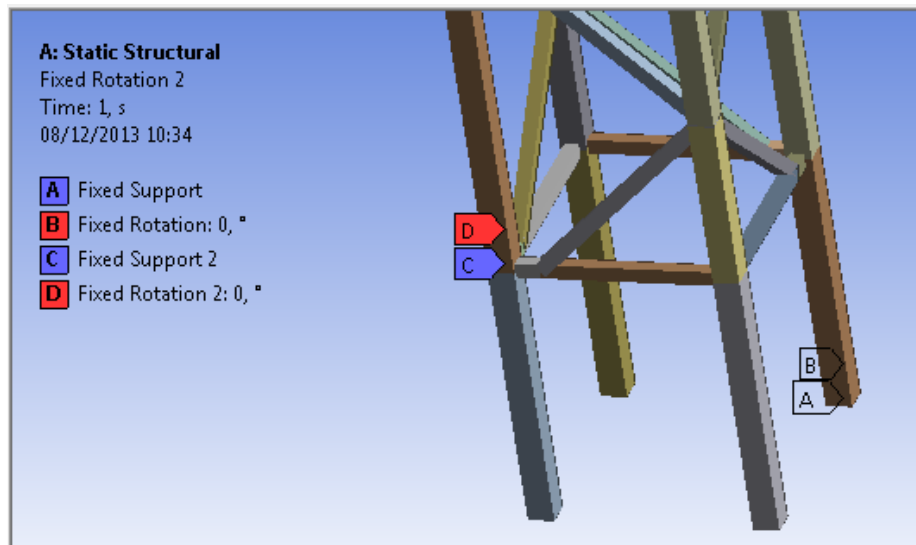
Figura 19 - Fixação do conjunto chumbador ao solo em um canteiro de obra.



Fonte: Manual Liebherr

Portanto, as áreas superior e inferior do chumbador devem possuir engastes, tanto classificado como um suporte fixo, quanto com rotação fixa, conforme figura 20.

Figura 20 - Fixação do conjunto chumbador ao solo.



Pontos de engaste definidos no modo Mechanical do software ANSYS. Fonte: Autor

Logo na sequência, faz-se necessário a aplicação dos esforços sobre a estrutura do guindaste. Conforme explicado anteriormente nesse mesmo trabalho na seção 3.1 Guindaste de torre, as primeiras forças aplicadas foram os esforços que o conjunto de contrapeso, instalado na contra lança, exerce sobre a estrutura.

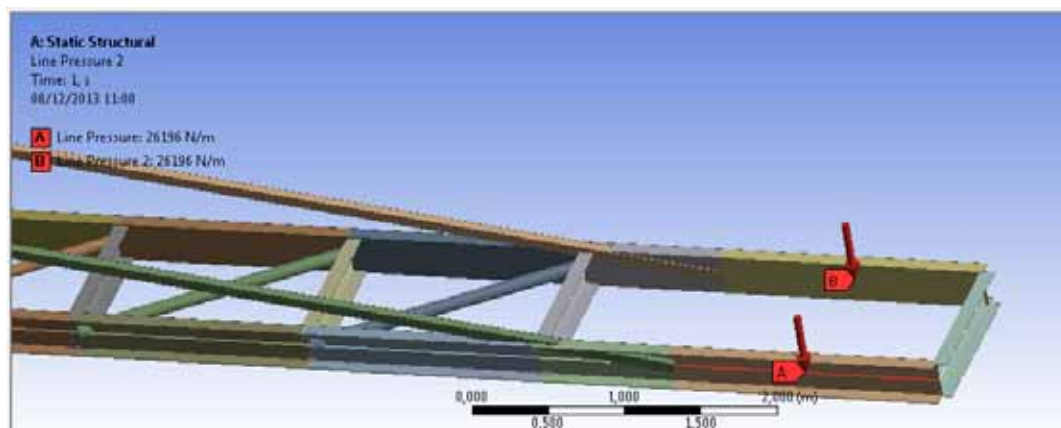
Conforme manuais de instalação e utilização de guindastes de torre, a quantidade de contra pesos depende do comprimento da lança utilizada. A partir desse comprimento de lança, será determinada a carga que o guindaste de torre consegue içar, tanto no ponto mais próximo a torre quanto no ponto mais extremo à frente da lança.

Os contrapesos devem, então, manter o equilíbrio do guindaste de torre quando o mesmo está em trabalho, ou seja, içando uma carga. Como o guindaste de torre para esse trabalho possui uma configuração de lança mínima de 20m, a quantidade de contrapesos necessária, conforme manual é de 4,90 toneladas ou 4900 Kg e o peso que a mesma exerce sobre a estrutura é de $4900 \times 9,81 = 48069\text{N}$.

Como esse esforço de contrapeso será aplicado na contra lança em um comprimento de 1835 mm ou 1,835 m, o mesmo será constituído como uma carga distribuída, ou conforme ANSYS por uma *Pressure Line* sobre esse comprimento.

Assim, a carga distribuída decorrente do contrapeso será de $48069\text{N} / 1,835\text{m} = 26195,64\text{ N/m}$ sobre a contra lança. A figura 21 ilustra a aplicação desses esforços.

Figura 21 - Aplicação dos esforços distribuídos decorrente do conjunto de contrapesos na contralança.

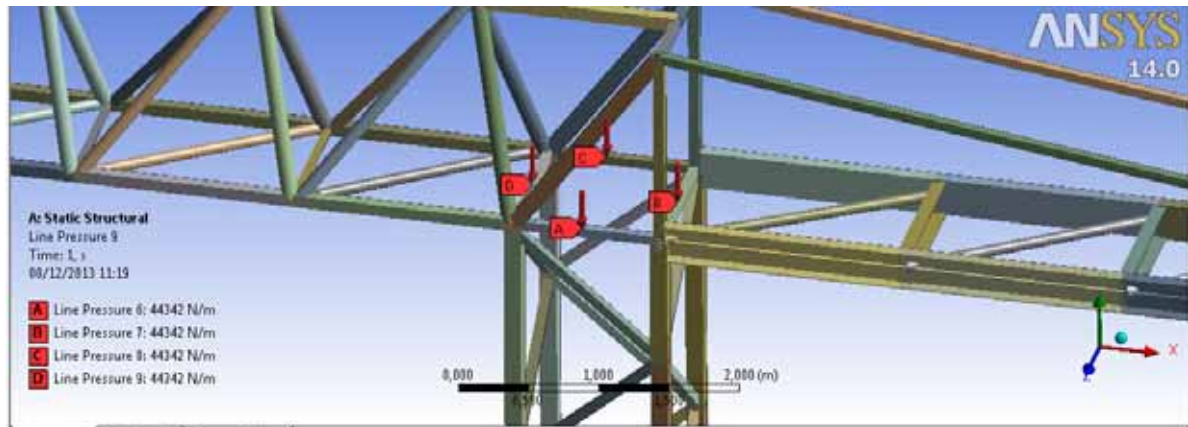


Fonte: Autor

A próxima carga que fora considerada na estrutura é a carga resultante do conjunto de giro, que consiste em plataforma de giro, coroa de giro, assento da coroa, mecanismo de giro e cabine de operação. Conforme manual do guindaste de torre, a massa desse conjunto

completo é de 4850,00 kg que equivale a um peso de 47578,50N que distribuídos na superfície do último segmento de torre de 3,90m com um comprimento lateral de 1,073 m equivale a $47578,50\text{kg} / 1,073\text{m} = 44341,57 \text{ N/m}$ sobre a torre. Forças essas aplicadas conforme ilustra a figura 22.

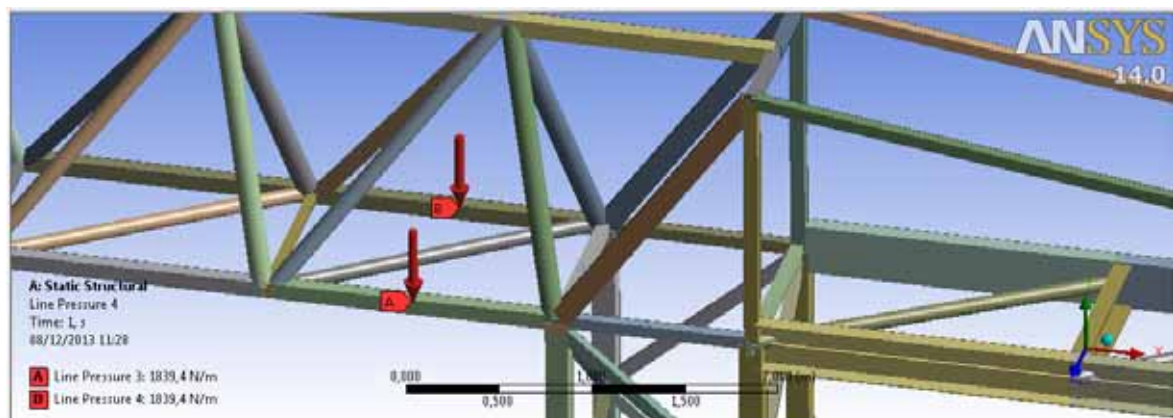
Figura 22 - Aplicação dos esforços distribuídos decorrente do conjunto de giro.



Fonte: Autor

Outra carga importante a ser considerada como aplicação na estrutura é a carga decorrente do peso do carrinho, que será exercida sobre a lança no ponto mais próximo a torre – figura 23. Conforme manual, a massa do conjunto do carrinho que consiste em carrinho, rodízio de Nylon para movimentação sobre a lança, moitão de carga, gancho de carga, cesto do carrinho e o mecanismo de translação do carrinho tem uma massa total de 300,00 kg, o que equivale a um peso de 2943,00 N distribuídos sobre um comprimento de 1,600 m da lança, o que equivalerá a uma carga distribuída de $2943\text{N}/1,6\text{m} = 1839,38 \text{ N/m}$.

Figura 23 - Aplicação dos esforços distribuídos na lança decorrente do conjunto do carrinho.



Fonte: Autor

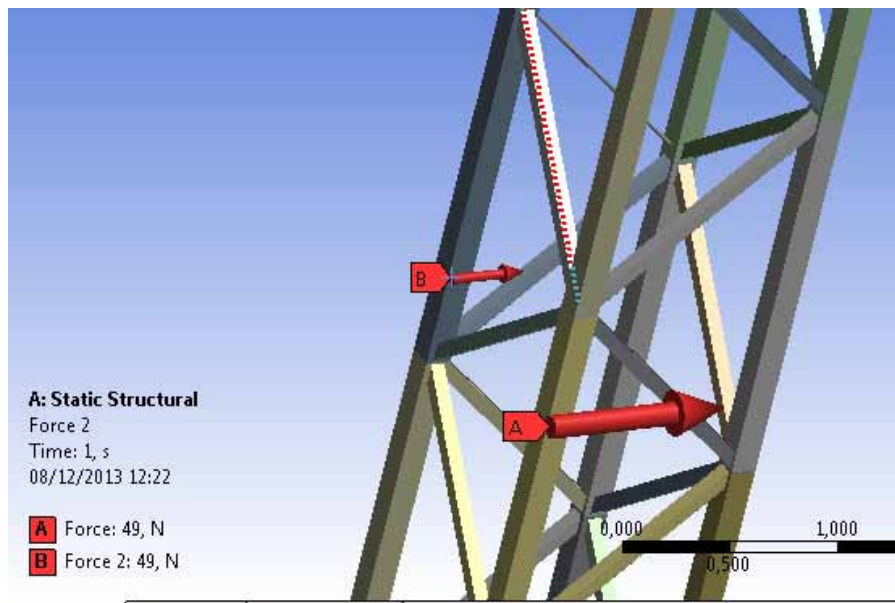
Por último, a carga que fora considerada para esse trabalho fora a carga de vento média agindo sobre a estrutura e em direção da lança para a contra lança, exemplificando a pior condição de operação do guindaste de torre, conforme explicado anteriormente.

Conforme figura 7 seção 3.1 Guindaste de torre, nesse mesmo trabalho, a carga de vento para a altura adotada total de aproximadamente 22,0 m do guindaste de torre, será de $q = 1,1 \text{ KN/m}^2$ agindo sobre uma área frontal do guindaste de torre de $21,038 \text{ m} \times 1,073 \text{ m} = 22,57 \text{ m}^2$.

Portanto, a carga resultante decorrente do vento no guindaste de torre será de $1,1 \text{ KN/m}^2 / 22,57 \text{ m}^2 = 0,049 \text{ KN} = 49 \text{ N}$, o que ilustra a figura 24.

Por último, acrescentou- se a aceleração da gravidade no eixo y negativo no valor padrão do software de $-9,807 \text{ m/s}^2$.

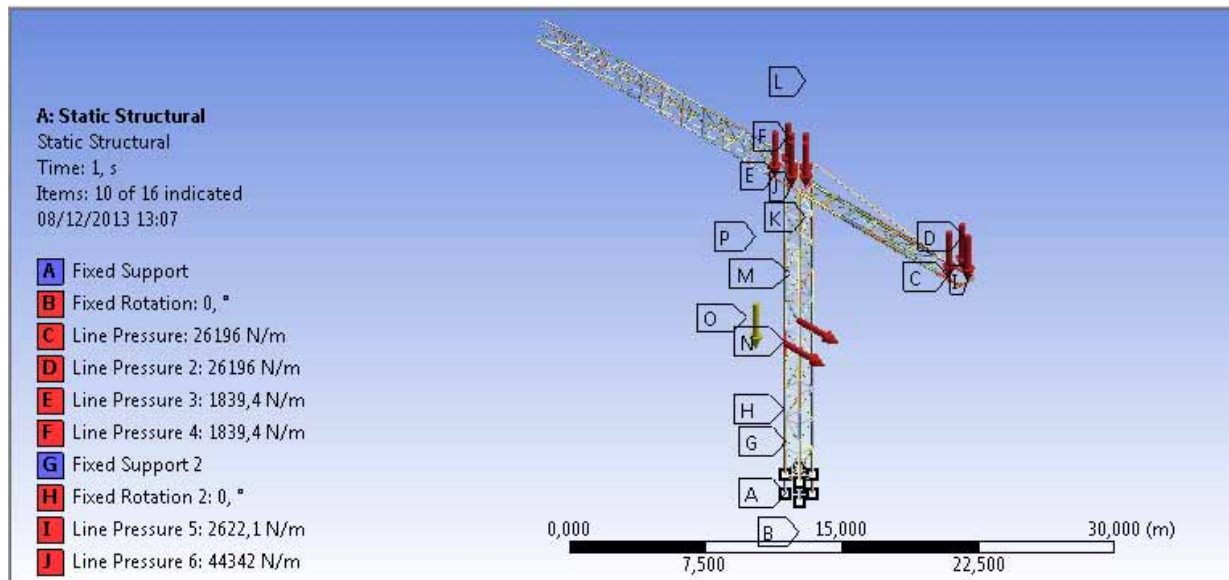
Figure 24 - Aplicação dos esforços pontuais na torre do guindaste.



Decorrência da carga de vento atuante na estrutura. Fonte: Autor

A figura 25 resume como foram representadas todas as forças aplicadas á estrutura.

Figura 25 - Visão geral do guindaste de torre no software ANSYS após aplicação de todos os esforços na estrutura.



Fonte: Autor

Logo na sequência, fora criado a malha definida pelo *software* ANSYS no modo *Mesh* da árvore de criação, tendo a malha o tamanho padrão definido pelo programa.

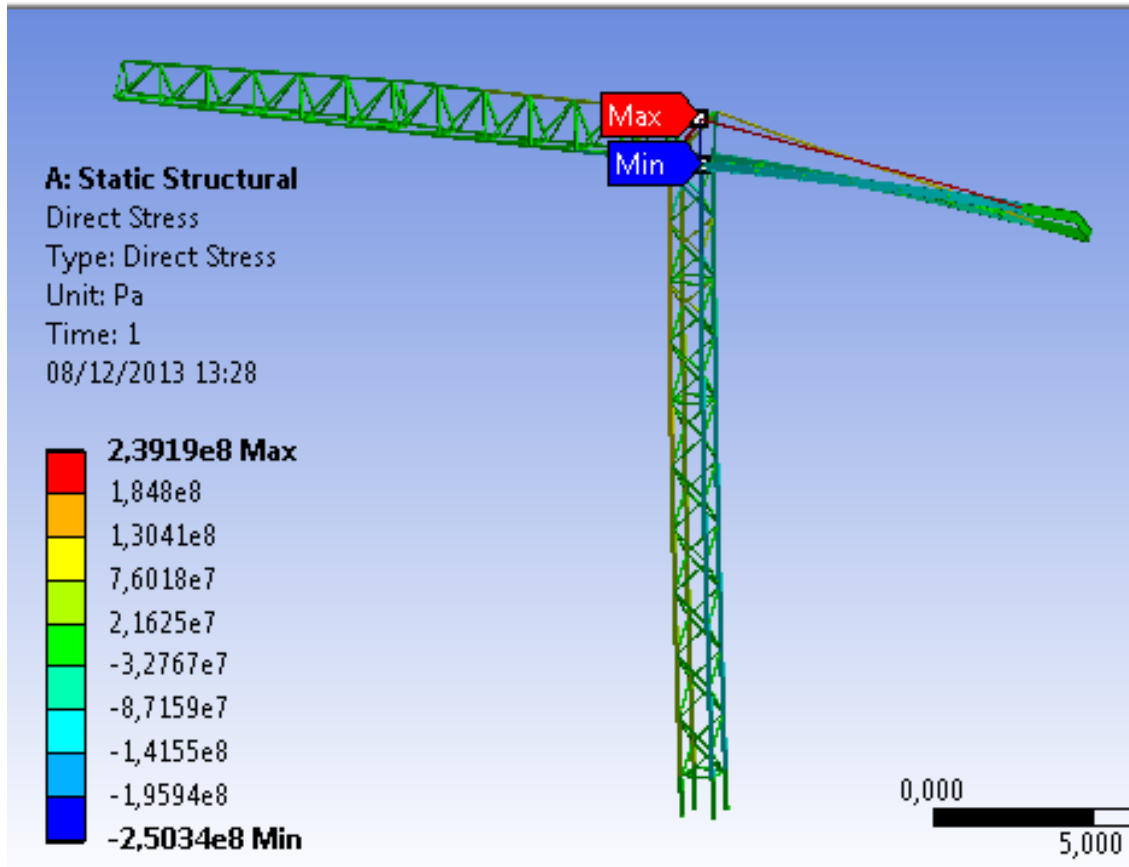
4. RESULTADOS

Após a malha definida, a simulação do modelo pôde ser realizada, levando em consideração as condições de contorno anteriormente expostas. As condições para que o cálculo fosse realizado fora a condição de viga ou conforme o *software* a condição *Beam Tool*. Dentro da mesma foram considerados quatro tipos de respostas a serem obtidas pelo cálculo, tensão direta, máxima tensão de flexão, tensão combinada mínima, tensão combinada máxima e a deformação total.

Através da condição *Solve* do *software* ANSYS a estrutura fora calculada como um todo e os resultados obtidos.

4.1 TENSÃO DIRETA

Figura 26 - Resultado da análise por tensão direta em Pa.

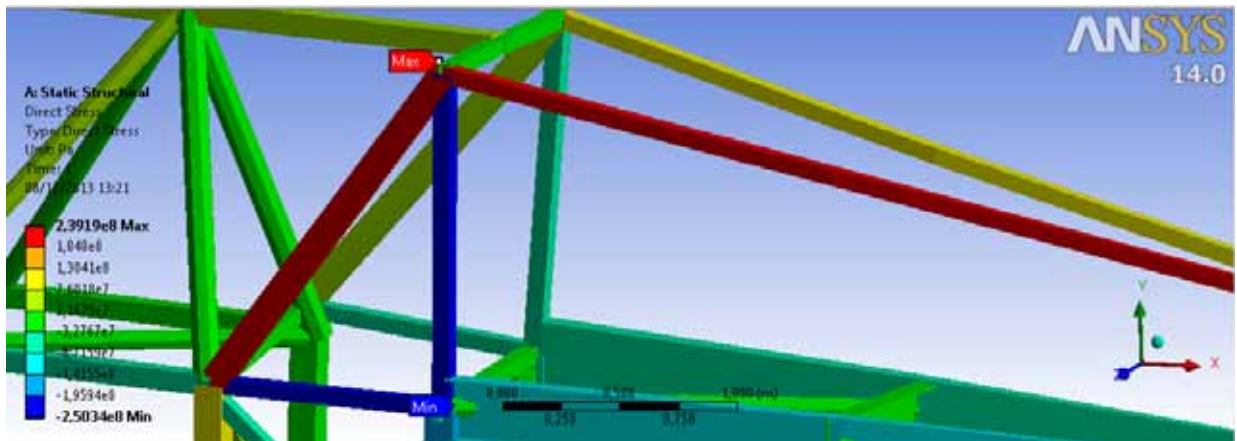


Fonte: Autor

A tensão direta, conforme definição do *software* é a tensão que age no sentido axial de um elemento de viga podendo ser tanto de tração quanto de compressão. Logo a esquerda da figura 26 são representados os valores das tensões diretas calculadas na estrutura tendo seu maior valor na tração de $2,39 \times 10^8$ Pa e seu maior valor compressão de $-2,5034 \times 10^8$ Pa.

Esses valores podem ser melhor visualizados conforme a figura 27 e também pode-se perceber claramente que o maior esforço de tração age no tirante da contra lança e na viga de sustentação do conjunto de giro, já o maior esforço de compressão age na estrutura de apoio do conjunto de giro.

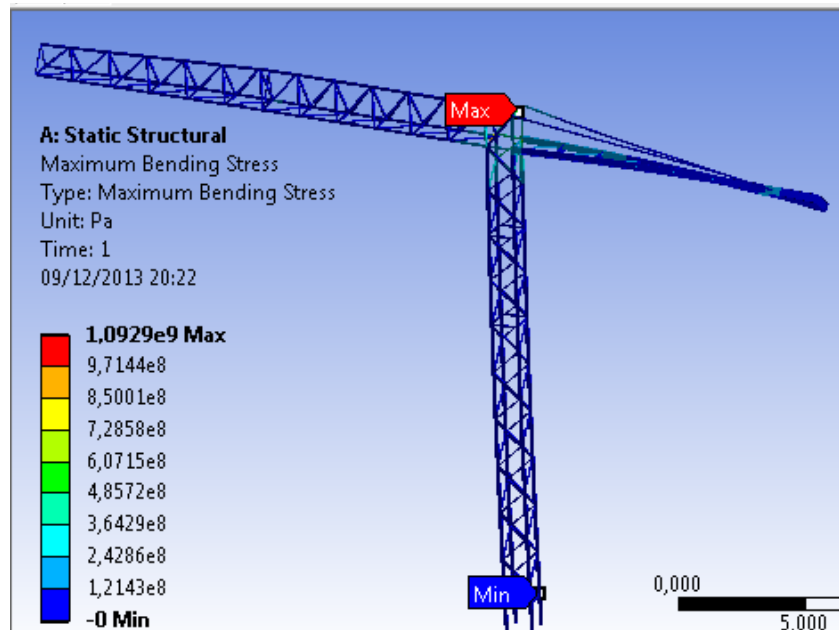
Figure 27 - Pontos críticos da análise por tensão direta em Pa.



Fonte: Autor

4.2 MÁXIMA TENSÃO DE FLEXÃO

Figura 28 - Máxima tensão de flexão

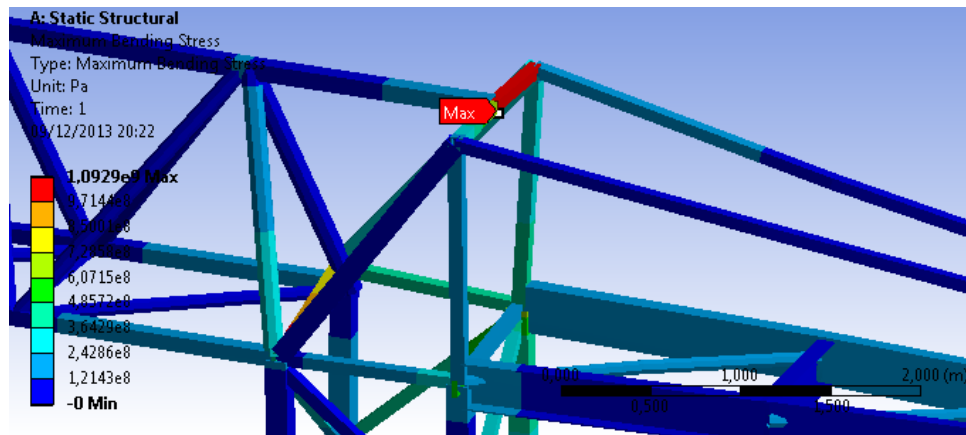


Fonte: Autor

A máxima tensão de flexão tem como definição do *software* ser a maior tensão causada por momentos de flexão à tração.

A partir da figura 28, ao lado esquerdo, verifica-se os valores máximos e mínimos da tensão de flexão no guindaste de torre, sendo respectivamente, $1,0929 \times 10^9$ Pa e 0Pa.

Figura 29 – Ponto de aplicação da máxima tensão de flexão.

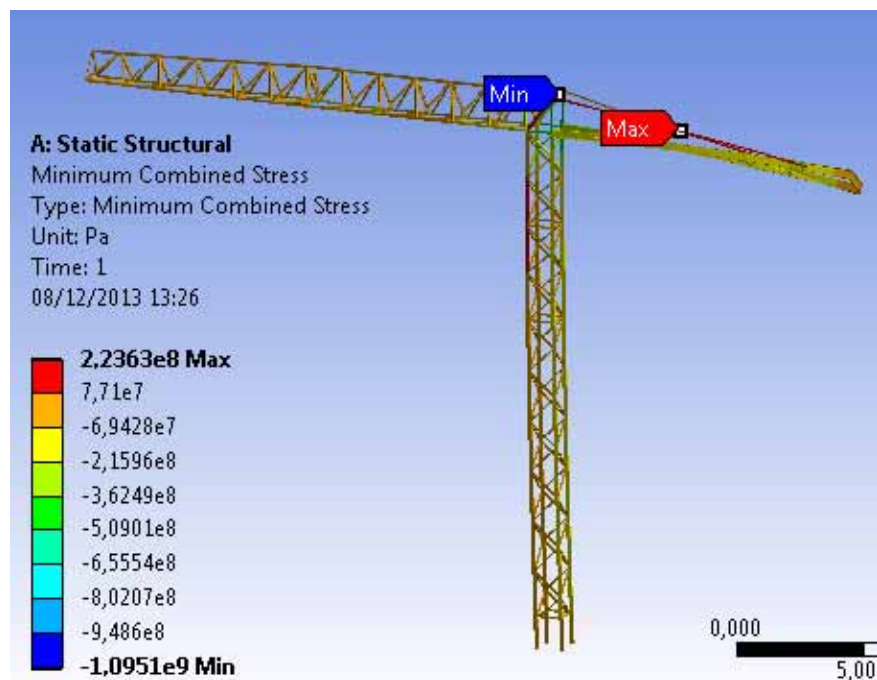


Fonte: Autor

Conforme figura 29, verifica-se claramente que o ponto onde a máxima tensão de flexão atua é na viga do fechamento superior do conjunto de giro. Já o mínimo esforço de flexão ocorre exatamente no engaste, ou seja, entre todo o comprimento do chumbador.

4.2 TENSÃO COMBINADA MÍNIMA

Figura 30 - Resultado da análise tensão combinada mínima em Pa.

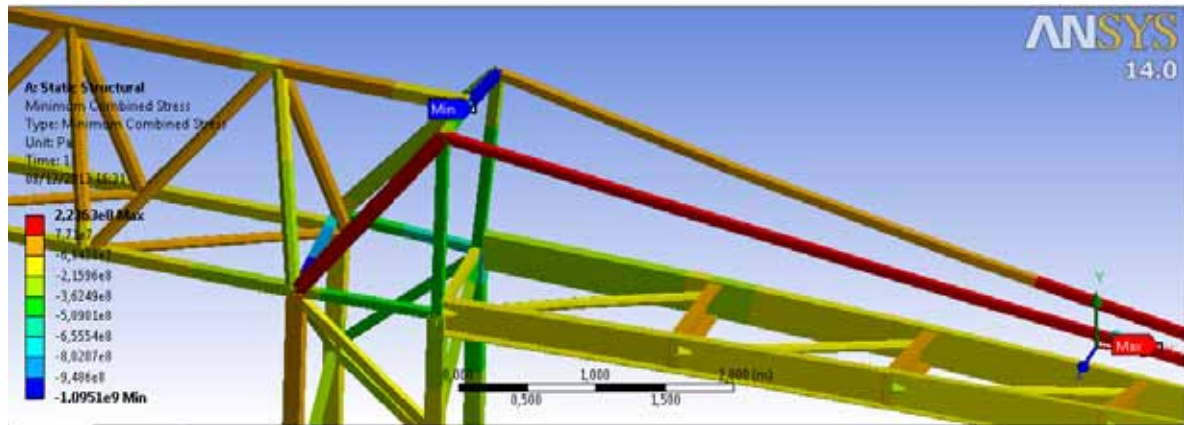


Fonte: Autor

A tensão combinada mínima é a superposição da tensão direta com o mínimo esforço de flexão. Logo a esquerda, na figura 30, são representados os valores da tensão combinada mínima calculadas na estrutura, tendo seu maior valor de $2,2363 \times 10^8$ Pa e seu menor valor de $-1,0951 \times 10^9$ Pa, sendo o valor positivo trabalhando na tração e o valor negativo trabalhando na compressão.

Esses valores podem ser melhor visualizados conforme a figura 31 e também pode-se perceber claramente que esses esforços agem no tirante esquerdo da lança e na conexão do conjunto giratório á lança em si.

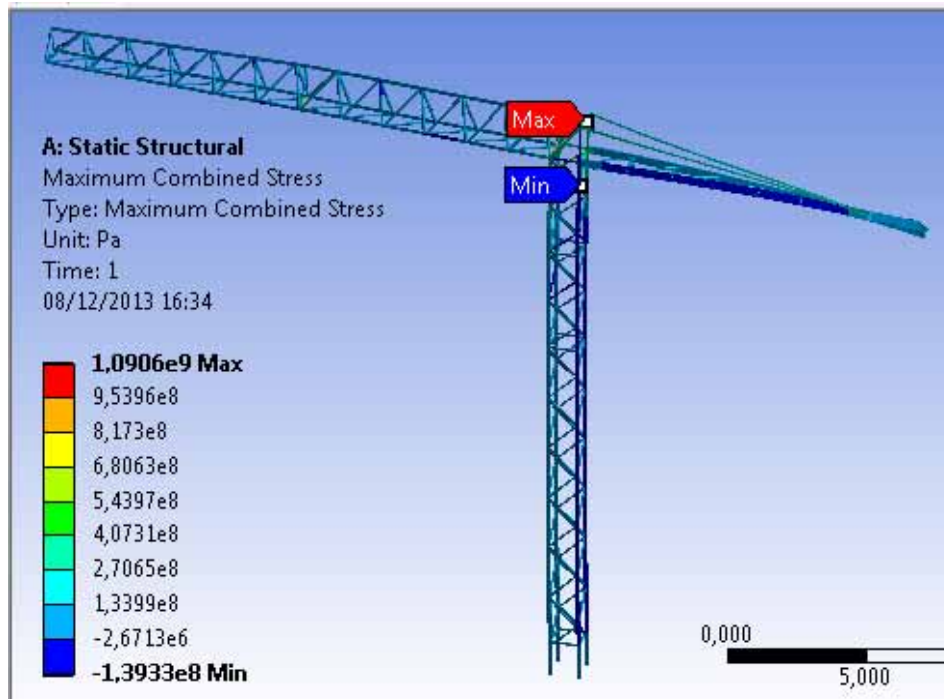
Figure 31 – Ponto crítico da tensão combinada mínima em Pa..



Fonte: Autor

4.3 TENSÃO COMBINADA MÁXIMA

Figura 32 - Resultado da análise tensão combinada máxima em Pa.

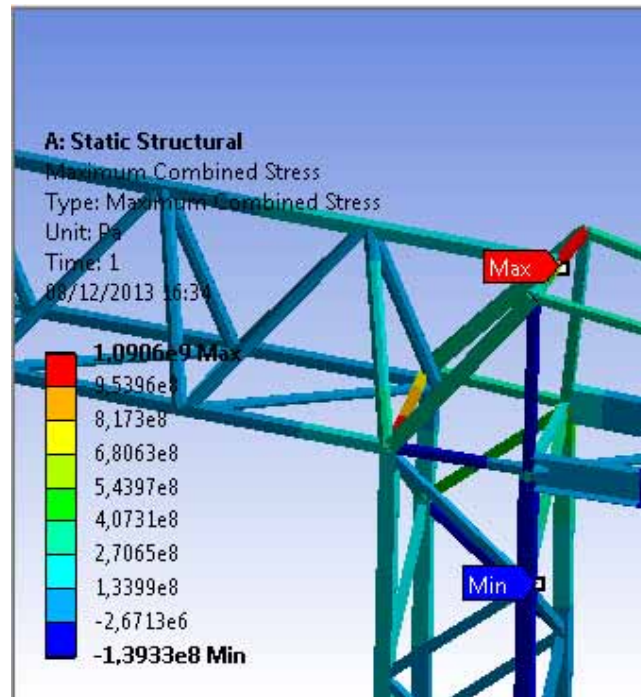


Fonte: Autor

Já a tensão combinada máxima é a superposição da tensão direta mais a máxima tensão de flexão. Logo a esquerda, na figura 32, são representados os valores das tensões combinada máximas calculadas na estrutura, tendo seu maior valor de $1,0906 \times 10^9$ Pa e seu menor valor de $-1,3933 \times 10^8$ Pa, sendo o valor positivo trabalhando na tração e o valor negativo trabalhando na compressão.

Esses valores podem ser melhor visualizados conforme a figura 33, na próxima página, e também pode-se perceber claramente que esses esforços agem na conexão do conjunto giratório á lança e no canto direito do último segmento de torre de 3,90m, logo antes da conexão com o conjunto giratório.

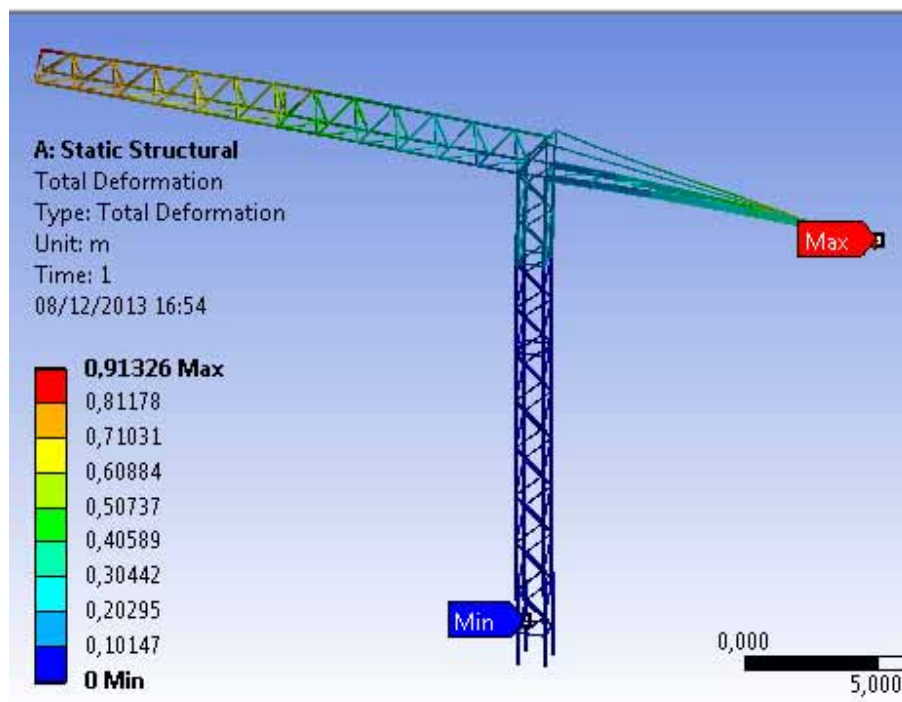
Figura 33 – Ponto crítico da tensão combinada máxima em Pa..



Fonte: Autor

4.4 DEFORMAÇÃO TOTAL DA ESTRUTURA

Figura 34 - Resultado da análise da deformação total da estrutura em metros.



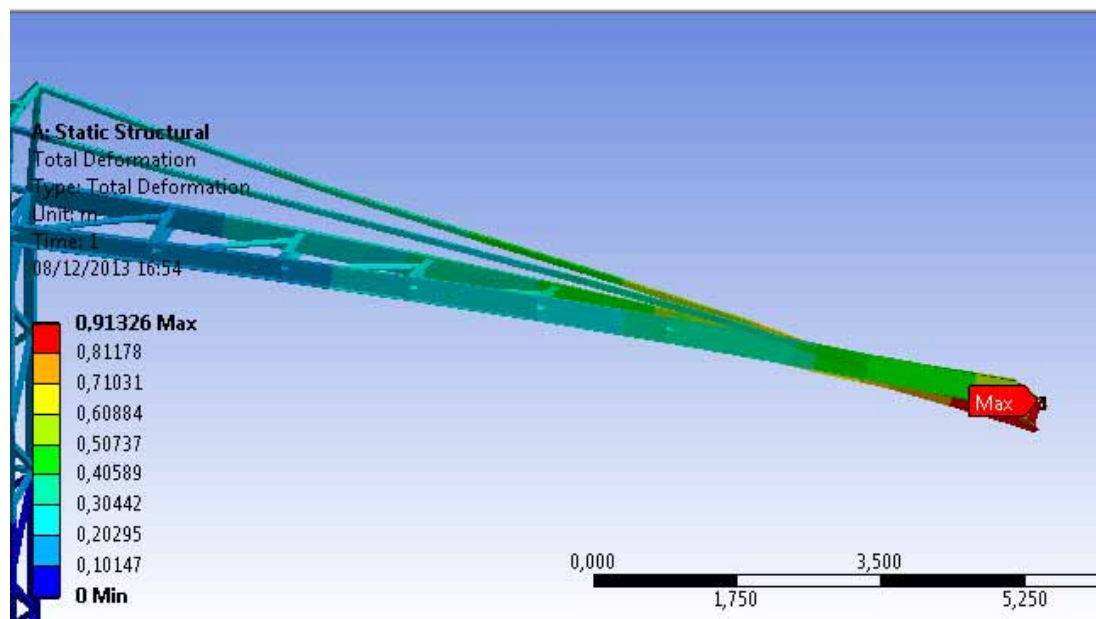
Fonte: Autor

Outra análise importante é a da deformação da estrutura do guindaste de torre, pois influenciará diretamente na operação do mesmo e na interferência com obstáculos próximos a sua instalação e na altura de içamento de carga quando o mesmo se encontrar fora e em trabalho. A deformação total máxima a que o guindaste de torre proposto nesse trabalho se encontra é de 0,91326m, ou seja, 913,26mm e a mínima deformação é de 0,0mm.

Para melhor exemplificar, a figura 35 com mais detalhes da região onde a deformação é máxima.

A região onde a deformação é mínima encontra-se exatamente onde a estrutura está engastada, do ponto mais baixo do chumbador até o máximo comprimento do chumbador e o início do segmento base de 12,0m.

Figura 35 – Ponto crítico de deformação.



Fonte: Autor

Conforme a figura 35, a região que mais sofrerá deformação será o ponto extremo da contra lança em que o conjunto de contrapeso será apoiado, estando assim, de acordo com a realidade.

5. CONCLUSÃO

Por ser um produto de alto risco de operação e de montagem, o guindaste torre deve ser cada vez melhor avaliado e estudado.

A partir desse trabalho de graduação, fora possível perceber e analisar as cargas envolvidas na montagem e operação de um guindaste de torre bem como as mesmas influenciam na estrutura do equipamento como um todo.

O guindaste considerado no estudo é um guindaste relativamente pequeno comparado aos normalmente comercializados, tais como os utilizados em obras de grandes prédios ou na construção de usinas hidroelétricas. A razão em utilizar um modelo de guindaste de torre com a sua menor configuração, tanto de lança como de altura de torre, fora pela complexidade para modelagem tridimensional de um modelo maior e a quantidade de variáveis a mais que seriam inseridas no cálculo, além do que seria necessário um processador em um computador mais avançado para tal simulação.

Com esse trabalho também pôde ser demonstrado como as normas europeias para essa categoria de equipamento estão ficando cada vez restritas decorrentes a quantidade de acidentes que ocorrem atualmente ao redor do mundo e a dificuldade na utilização desse equipamento pela falta de conhecimento apropriado e estudos aprofundados para tal.

A partir dos dados adquiridos no capítulo 4 resultados desse mesmo trabalho, conclui-se também que há uma precisão muito grande dos valores reais do equipamento comparado aos valores obtidos na simulação do projeto a partir do software ANSYS. Tal conclusão pode ser feita a partir de dados de instalação de um guindaste real após a aplicação de seus contrapesos na contra lança, considerando o conjunto do carrinho e o conjunto de giro montados e, portanto, exercendo esforços sobre a estrutura, exatamente como o sugerido nesse trabalho. A partir de consulta realizada a engenharia da empresa Liebherr Brasil em Guaratinguetá foram obtidos dados de deflexão para um guindaste montado e configurado com 46,0 metros de altura e 50,0m de lança, que pode chegar a 1,4 m. Como nesse trabalho o resultado da flexão fora de 0,90m para uma altura de torre de aproximadamente 20,0m e comprimento de lança de aproximadamente 20,0 m também, há uma proporcionalidade do resultado.

Outra razão a alguma imprecisão no resultado final pode ser devido a alguns componentes não terem sido considerados no cálculo, onde mesmo com um baixo peso comparado ao restante da estrutura, poderiam mesmo assim influenciar.

Quanto aos resultados das tensões calculadas pelo programa, também há uma boa comparação do modelo matemático calculado pelo software ANSYS com a prática, pois todos os pontos onde os maiores esforços agiram são pontos onde normalmente ocorrem falha por fadiga ou alguma quebra em decorrência de sobrecarga ou mau uso do equipamento guindaste de torre.

Os únicos valores de tensão que ficaram fora do valor de tensão do aço estrutural adotado foram os da máxima tensão de flexão, da tensão combinada mínima em compressão e da tensão combinada máxima em tração localizadas no mesmo ponto superior de apoio da lança com o conjunto de giro, o que pode ser explicado por exatamente naquele ponto a linha que representa a fixação do tirante da lança com o conjunto de giro teve que ser particionada para que um nó fosse corretamente determinado pelo *software*, o que gerou uma falha de fixação ou um possível concentrador de tensão naquela região. Além do que, essa repartição é algo fora do projeto real.

Assim, pode-se concluir a partir de todos os dados fornecidos por esse trabalho, que a utilização de um *software* de elementos finitos como o ANSYS Workbench, em uma análise detalhada do tipo de trabalho que o guindaste de torre será utilizado, poderá evitar acidentes e fazer com que haja melhoria contínua no produto com o passar do tempo, e mudar um pouco o conceito de que o método dos elementos finitos deva ser utilizado apenas no desenvolvimento do produto, mas sim ao decorrer de sua utilização, levando em conta todas as variáveis impostas no uso do equipamento, não previstas no momento do projeto de desenvolvimento do produto, tornando-o cada vez mais seguro e confiável.

REFERÊNCIAS

ALVES FILHO, A. **Elementos Finitos: a Base da Tecnologia CAE**. 5ª Edição. 2ª reimpressão. São Paulo. Editora Érica. 2008. 292 p.

AZEVEDO DOMINGOS, F. **Análise Estrutural com ANSYS Workbench**. 1ª Edição. Mogi das Cruzes. 2013. 64 p.

LIEBHERR, **Manual LIEBHERR para guindastes de torre**, Edição 28-02-2013. Pamplona, Espanha. 2013. 580 p.

MARQUES AZEVEDO, A. **Método dos elementos finitos**. 1ª Edição. Portugal. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2003. 258 p.

NORMA DIN 15018. **Krane Grundzüge für Stahltragwerk Berechnung**. Parte 1. Setembro de 1979. 6 p.

NORMA DIN 15019. **Standicherheit für alle Kranen außer gleislosen Fahrzeugkranen und außer Schwimmkranen**. Parte 1. Setembro de 1979. 6 p.

NORMA EN 14439. **Safety Tower Cranes**. Edição 1. Março de 2010. 59 p.

NORMA EN 1001. **Empfehlung zur Berechnung von Kranstrukturen außer Betrieb**.