

ANÁLISE ESTRUTURAL DE CHASSI PARA TRATOR ELÉTRICO VOLTADO PARA A AGRICULTURA FAMILIAR

JENYFFER DA S. G. SANTOS¹, VINICIUS DOS SANTOS FERREIRA², JOICE C. ÁVILA³, BRUNO JORDÃO ROQUE FERNANDES⁴, ALFEU JOÃOZINHO SGUAREZI FILHO⁵, DANIEL ALBIERO⁶

1 Engenheira Agrícola, Doutoranda na UNICAMP, (81)98359-9811, jnfgomes@gmail.com

2 Graduando em Engenharia Agrícola, UNICAMP, (19)98116-9091, vinicius.ferreira@feagri.unicamp.br

3 Graduanda em Engenharia Agrícola, UNICAMP, (19)971432797, joice.avila@feagri.unicamp.br

4 Graduando em Engenharia Agrícola, UNICAMP, (11) 966308057, brunoroquefernandes@gmail.com

5 Prof. Doutor, UFABC, alfeu.sguarez@ufabc.edu.br

6 Engenheiro Agrícola, Prof. Doutor, Depto. de Engenharia Agrícola, UNICAMP, (85)99239-8250, dalbiero@unicamp.br

Apresentado no
LI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2022
27 a 29 de outubro de 2022 - Pelotas - RS, Brasil

RESUMO: Os tratores agrícolas são de grande importância para tração de máquinas e implementos no campo, todos os seus componentes estão sobre uma estrutura denominada chassi. O chassi é responsável por oferecer resistência aos esforços de torção provenientes da tração, bem como proporcionar segurança e conforto para o condutor. Dessa maneira, pretende-se analisar a estrutura de um chassi para trator elétrico. Para essa análise estrutural foi utilizado o software ANSYS, que utiliza o método de elementos finitos (MEF) e foram calculados os esforços de tração e de acionamento da tomada de potência (TDP) ao qual a máquina será submetida para garantir que a estrutura obedeça aos requisitos de operação no campo, levando em conta o material do chassi. Com base nas análises realizadas no software ANSYS, considera-se que a estrutura do chassi utilizando o aço 1020, obedece aos requisitos, apresentando resistência às tensões e deslocamentos aos quais será submetida, significando assim que a análise preliminar da integridade e rigidez do chassi considera a estrutura aprovada para a tração de implementos e ativação da tomada de potência do trator.

PALAVRAS-CHAVE: MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS, TENSÃO, DEFORMAÇÃO

STRUCTURAL ANALYSIS OF A CHASSIS FOR AN ELECTRIC TRACTOR FOR FAMILY AGRICULTURE

ABSTRACT: Agricultural tractors are of great importance for the traction of machinery and implements in the field, all its components are on a structure called a chassis. The chassis is responsible for offering resistance to torsional stresses from traction, as well as providing safety and comfort for the driver. This way, this paper intends to analyze the structure of an electric tractor chassis. For this structural analysis the ANSYS software was used, which uses the finite element method (FEM), and the traction and power take-off (PTO) drive forces to which the machine will be subjected were calculated to ensure that the structure complies with field operation requirements, taking into account the chassis material. Based on the analyses performed in the ANSYS software, it is considered that the chassis structure using 1020 steel complies with the requirements, presenting resistance to the stresses and displacements to which it will be subjected, meaning that the preliminary analysis of the

integrity and rigidity of the chassis considers the structure approved for the traction of implements and activation of the tractor power take-off.

KEYWORDS: FINITE ELEMENT METHOD, STRESS, STRAIN

INTRODUÇÃO: Os tratores são essenciais para o uso agrícola pois são empregados em diversas funções no campo como colheita, aplicação de insumos, preparo do solo, semeadura entre outros, logo a utilização do trator no campo implica em uma maior capacidade de produção e produtividade na lavoura (SENAR, 2011). No Brasil, a maior parte dos produtores são oriundos da agricultura familiar que vem utilizando cada vez mais a mecanização como forma de aumentar sua produtividade e o mercado de tratores se adequou a essa realidade com produtos voltados para suprir as necessidades desses produtores (MACHADO et al., 2010). Porém, no mercado nacional ainda faltam produtos para a mecanização focados na agricultura familiar (ALBIERO et al., 2015). Os tratores agrícolas hoje são em grande parte movidos a motores a combustão, porém com o desenvolvimento da tecnologia para motores elétricos e a preocupação com a emissão de gases provenientes dos motores a combustão, a adoção aos motores elétricos está cada vez mais presente (Ag Evolution, 2020). Seguindo as tendências energéticas atuais, um trator elétrico está sendo projetado pela Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) e atenderá aos parâmetros necessários para a obtenção de uma máquina que irá beneficiar a agricultura familiar. O desenvolvimento de um trator engloba em sua composição o dimensionamento de um chassi, que é definido como a estrutura básica de um veículo ou como a estrutura sobre a qual o veículo é construído, dessa forma, o chassi é parte do veículo que tem a função de conter, suportar e conectar outras partes (WEISS, 2016). De acordo com Mialhe (1980), o estudo das forças em equilíbrio que agem sobre o chassi do trator ajuda na compreensão do desempenho dessas máquinas e em sua utilização no campo. Uma maneira de se analisar as forças de tensão e deformação atuantes em um chassi é através do método de elementos finitos, ferramenta essa hoje indispensável para simular o comportamento da estrutura (FURTADO, 2013). Para tal análise, foi necessário previamente definir qual material será utilizado, com base nas suas características mecânicas desejadas. Com os dados obtidos e baseando-se no Método dos Elementos Finitos, foi possível realizar uma análise computacional através do Software Ansys, que analisou os parâmetros mecânicos decorrentes dos esforços externos. Desta forma foi possível analisar a estrutura de um chassi voltado para um trator elétrico, que foi capaz de apresentar características satisfatórias para desempenho da máquina no campo, apresentando segurança, viabilidade e eficiência para a produção.

MATERIAL E MÉTODOS: A partir da norma ASABE EP 497, foi calculada a força de tração na barra de tração puxada pelo trator. Para o cálculo foi designado o subsolador, visto que dentre os implementos que a máquina opera ele é o que requer maior tração. No caso do solo, foi escolhido o que apresenta maior compactação, uma vez que se o trator consegue operar no solo mais limitante, também consegue em qualquer outra situação, também foi considerado um fator de segurança de 1,5 no cálculo da força de tração (Eq. 1).

$$D = (F_i * [A + B * (S) + C (S)^2] * W * T) * 1.5 \quad (1)$$

Em que

D é a resistência à tração, N ;

F_i é um adimensional de textura do solo (ASAE D497.3);

A, B e C são parâmetros da máquina, valores tabelados (ASAE D497.3);

S é a velocidade de campo, Km/h;

W é a largura de corte (m) ou número de hastes/linhas e
T é a profundidade de trabalho, cm.

Com este cálculo e utilizando a norma ASABE EP 496, foi feito o cálculo da potência necessária na TDP para que a mesma possa ser ativada, a qual é responsável pelo acionamento de algumas máquinas e implementos agrícolas acoplados ao trator. Nesse cálculo o implemento selecionado na norma foi a roçadeira (Eq. 2).

$$P_{pto} = a + b * W + c * F \quad (2)$$

Em que,

Ppto é a potência de tomada de força necessária para o implemento, kW;

W é a largura de trabalho do implemento, m;

F é a taxa de alimentação de material, t/h base molhada e

a,b,c são fatores relativos ao implemento.

Com base na potência da tomada de força necessária para o implemento, encontramos o torque necessário para seu funcionamento, como nosso trator possibilitará o trabalho de dois tipos de TDP, a de 540 rpm e a de 1000 rpm, os cálculos foram realizados para ambas (Eq. 3).

$$T = \frac{P}{N} \quad (3)$$

Em que,

P Potência [W]

T Torque [Nm]

N Rotação do motor [rpm]

$\pi = 3,14159$

O material utilizado no chassi foi o aço 1020, visto que este apresenta o melhor custo benefício, possui excelente plasticidade e soldabilidade, além de apresentar uma maior capacidade de absorção de impacto, sem perder tanto a dureza quando comparado a outros tipos de aço e uma tensão de escoamento de 210 MPa (RODRIGUES et al, 2014).

TABELA 1. Principais propriedades mecânicas do aço 1020

Módulo de elasticidade	205 GPa
Coefficiente de Poisson	0,29
Alongamento até a ruptura	15%
Tensão de escoamento	210 MPa
Tensão de ruptura	350 MPa

Utilizando os valores calculados para o torque na TDP e a força na barra de tração, foi feita a análise estática dos esforços externos de tensão e deformação, que se baseia no método de elementos finitos para o cálculo da análise estrutural (AZEVEDO, 2003). Esta análise, utilizando o software ANSYS, foi feita através das seguintes etapas:

Pré-processamento: Inicialmente foi definido o material, em seguida o tratamento da geometria de modo a subdividir em elementos menores de geometria simples interligados

entre si por pontos denominados nós, que formam elementos e uma malha denominada malha de elementos finitos, a partir dos nós a estrutura inteira foi modelada, por fim foram aplicadas as condições de contorno que agiram no material, neste caso a força de tração e o torque na TDP.

Processamento: Nesta etapa o software realizou o cálculo numérico para análise da estrutura. Por fim, foi possível observar os resultados da análise estática, através da análise de deformação e tensões.

Pós-processamento: Nesta etapa analisamos os resultados das simulações, onde foram realizadas as conclusões do estudo e permitiu definir se a estrutura é capaz ou não de realizar o trabalho em campo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A força de tração obtida através da ASABE EP 497 foi igual a 33.858 N. A potência na TDP necessária para o implemento obtida foi de 18 kW, o torque obtido através da ASABE EP 496 foi de 318 Nm para TDP de 540 rpm e de 171,92 Nm para a TDP de 1000 rpm.

Realizada as devidas simulações no software de Métodos dos Elementos Finitos, obtivemos a as figura de todas as deformações do chassi (Figura 1 e 2) e as figuras da análise de Von Mises (Figura 3 e 4). Sendo registrado um máximo de deformação de 0,049 mm para a força de tração necessária e $5,59 * 10^{-5}$ mm para o torque exigido na TDP. A análise de Von Mises analisa o estado plano de tensão do elemento e o compara com as tensões de escoamento do material, dessa forma pode-se verificar os indícios de escoamento do material selecionado (PEREIRA, 2016). É possível observar pela tabela 2 que a tensão máxima registrada foi de 17,58 MPa para a força de tração necessária e 0,042 MPa para o torque aplicado na TDP.

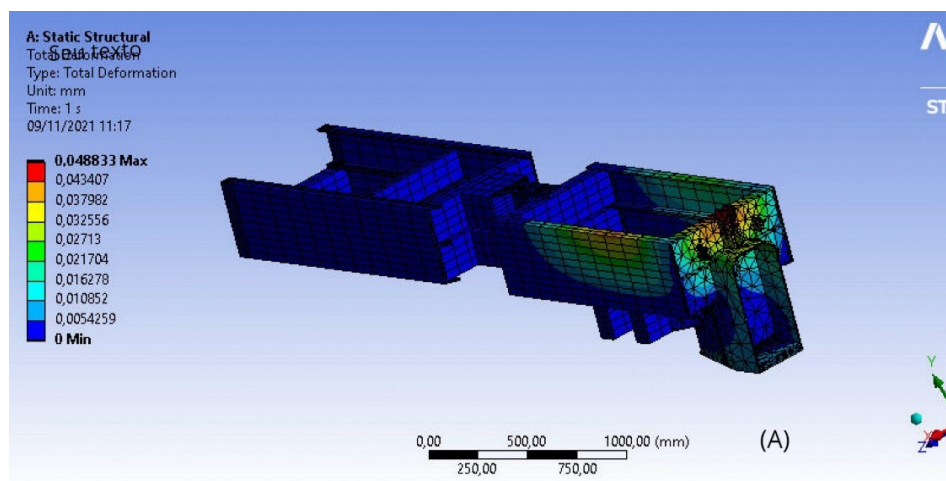


FIGURA 1. Deformação máxima total do chassi do trator levando em consideração a tração de implementos.

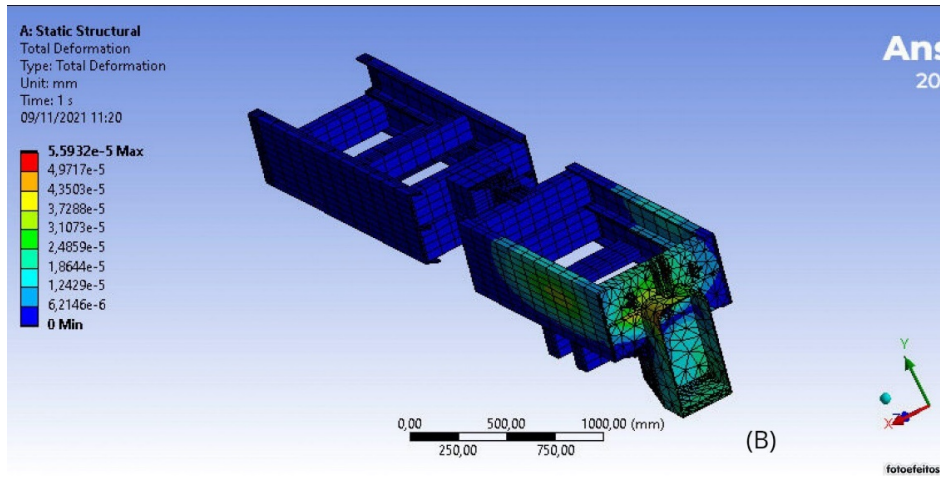


FIGURA 2. Deformação máxima total do chassi do trator levando em consideração o torque na TDP.

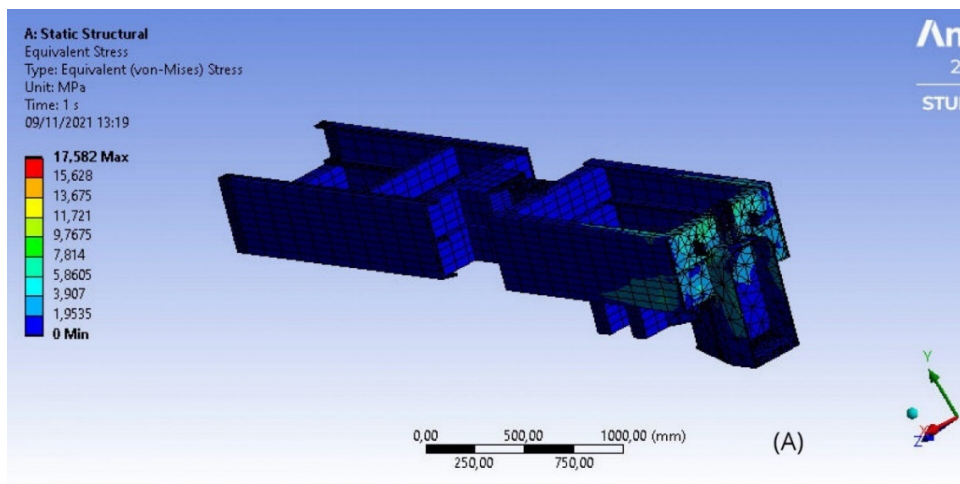


FIGURA 3. Análise de Von Mises levando em consideração a tração de implementos.

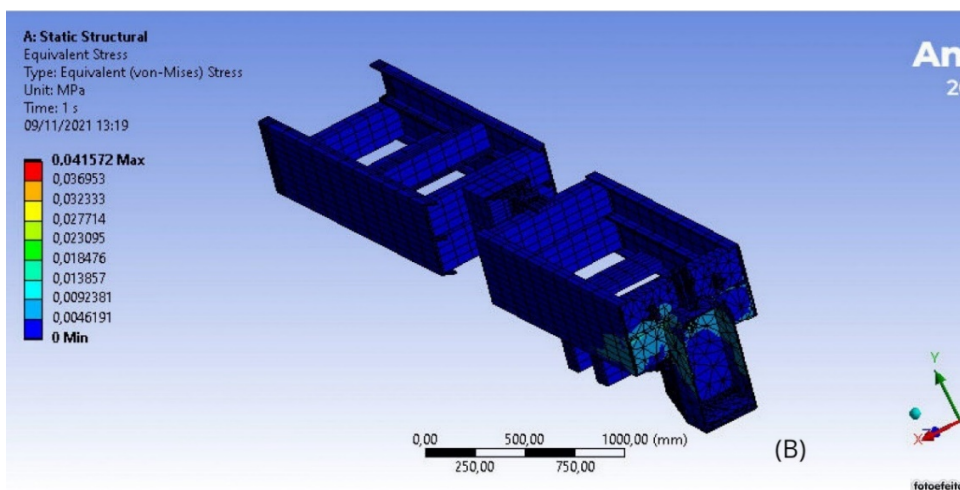


FIGURA 4. Análise de Von Mises levando em consideração o torque na TDP

Após realização da análise estrutural feitas no software ANSYS, os dados das principais simulações foram compilados com a finalidade de verificar o comportamento da estrutura do chassi, com relação à rigidez estrutural, segurança e confiabilidade (Tabela 2).

TABELA 2. Resultados compilados para as simulações de força de tração e torque na TDP

Análises/Forças Aplicadas	Simulação para solicitação de tração	Simulação para solicitação de torque
Tensão equivalente de Von Mises [MPa]	17,58	0,042
Deslocamento máximo equivalente [mm]	0,049	$5,59 * 10^{-5}$
Deslocamento direcional x [mm]	0,039	$3,12 * 10^{-5}$
Deslocamento direcional y [mm]	0,031	$4,00 * 10^{-5}$
Deslocamento direcional z [mm]	0,045	$4,64 * 10^{-5}$
Fator de segurança para escoamento	11,94	5000

Analisando os dados da tabela 2, é possível observar que o comportamento obtido para o chassi, na aplicação da força de tração e no torque na TDP, atinge tensões relativamente baixas quando comparadas com a tensão de escoamento do material (210 MPa) o que representa para condições estáticas de funcionamento um alto coeficiente de segurança, identificando assim que a estrutura do mesmo apresenta rigidez satisfatória. Com relação a análise de deslocamento as mesmas se apresentam ínfimas quando comparadas com a espessura de 9,52 mm do material, o que garante assim que o mesmo é resistente a esse tipo de deslocamento, conseguindo recebê-lo sem causar nenhum tipo de dano à estrutura.

CONCLUSÕES: Com base nas análises realizadas, considera-se que a estrutura obedece aos requisitos, apresentando resistência às tensões e deslocamentos aos quais será submetida, significando assim que a análise preliminar da integridade e rigidez do chassi considera a estrutura aprovada para a tração de implementos e ativação da tomada de potência do trator, permitindo que o mesmo consiga ser utilizado com eficiência no campo.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem a Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa – Fundep Rota 2030/Linha V, processo: 27192.03.01/2020.13-00 pelo apoio financeiro oferecido.

REFERÊNCIAS:

ALBIERO, D; CAJADO, D. M.; FERNANDES; I. L. F; MONTEIRO, L. A; ESMERALDO, G. G. S. L. E. **Tecnologias Agroecológicas para o Semiárido**. Universidade Federal do Ceará - UFC, Fortaleza, 2015.

ASAE D497. Agricultural machinery management data. **ASAE Standards 2009: standards engineering practices data**. St. Joseph, p.350-357, 2009.

ASAE EP496.3. **Agricultural Machinery Management**. Fev. 2006.

AZEVEDO, A. F. M. **Método dos Elementos Finitos**. 1º Edição, Portugal: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, p. 1-3, 2003.

DUARTE, D. A. Maquinários e tratores elétricos serão o futuro da agricultura, **AG/Evolution**, CNA SENAR, 2020.

FURTADO, D. C. **Análise Estrutural de Chassi de Veículos Automotivos**. Universidade de Brasília - UnB, p. 14, 2013.

MACHADO, et al. **Tratores para a agricultura familiar: guia de referência**. Pelotas: Ed. Universitária UFPEL, 2010. 124p.

MIALHE, L.G. Máquinas motoras na agricultura. São Paulo: EPU/USP, v.2, 1980.

PEREIRA, C. N. **Análise estrutural estática por elementos finitos de um chassi veicular tipo spaceframe**. PhD thesis, Universidade Federal de Goiás, p. 42-63, 2016.

RODRIGUES, L. M.; SANTOS, C. H. R.; VELOSO, R. R.; LEMOS, M. V.; SANTOS, C.; CABRAL, R. F. Estudo da microestrutura e da microdureza dos aços 1020 e 1060. **Cadernos UniFOA**, Edição especial, p. 40, 2014.

SENAR, Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. Tratores Agrícolas - Manutenção de tratores agrícolas. **Coleção SENAR - 130**, 3a Edição. Brasil, 2011.

WEISS, G. **Análise Computacional e Experimental de Rigidez à Torção de um Chassi de Fórmula SAE**. Projeto de Graduação. UFRJ / Escola Politécnica / Curso de Engenharia Mecânica, 2016.