

DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO DE UMA COLHEDORA AUTOMOTRIZ PARA ERVAS MEDICINAIS

CARLOS A. CHIODEROLI¹, JOSÉ VAGNER L. MONTEIRO², JOSÉ AUGUSTO N. S. LIMA³, LARISSA T. ANDRADE⁴, GISLENE G. CORRÊA⁵, JOSÉ HENRIQUE F. CARDOSO⁶

¹ Professor Doutor, NIMA - Núcleo Integrado de Mecanização Agrícola, UFTM, ca.chioderoli@gmail.com

² Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará - UFC

³ Graduando em Engenharia Agrônômica - NIMA-Núcleo Integrado de Mecanização Agrícola, UFTM

⁴ Graduando em Engenharia Agrônômica - NIMA-Núcleo Integrado de Mecanização Agrícola, UFTM

⁵ Graduando em Engenharia Agrônômica - UFTM

⁶ Graduando em Engenharia Agrônômica - UFTM

Apresentado no
XLIX Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2020
23 a 25 de novembro de 2020 - Congresso On-line

RESUMO: A utilização das ervas medicinais é tão antiga quanto o surgimento da humanidade, sendo que muitos vegetais são utilizados de forma empírica, passada de geração em geração. Com o aumento do consumo desses vegetais, grandes empresas estão investindo na produção e extração de fitoquímicos utilizados na prevenção e cura de enfermidades. Tendo como principal limitante o processo de colheita manual. Diante disso, objetivou-se com este trabalho desenvolver um protótipo de uma colhedora automotriz para ervas medicinais. A metodologia do projeto para o desenvolvimento do protótipo foi constituída de quatro fases: esclarecimento da tarefa, conceitual, preliminar e detalhado. O desenvolvimento do protótipo da colhedora foi conduzido no departamento de manutenção mecânica da Fazenda Amway Nutrilite do Brasil LTDA, localizada na cidade de Ubajara, Ceará. Como metodologia para direcionar o desenvolvimento de protótipo foi utilizado o Diagrama de Mudge e a Matriz da Casa da Qualidade. Para análise das possíveis estruturas do protótipo foi utilizada a matriz morfológica com o uso da análise de sistemas conhecidos e utilizado o software *Solidworks* para análise estrutural do equipamento. Com todas as fases do projeto concluídas o resultado foi à obtenção um protótipo funcional que atende aos requisitos e necessidades dos clientes.

PALAVRAS-CHAVE: Colhedora automotriz; Ervas medicinais; Protótipo

DEVELOPED OF THE PROTOTYPE SELF-PROPELLED HAVESTER TO MEDICINAL HERBS

ABSTRACT: The use of medicinal herbs is as old as the emergence of mankind, and many of these plants are used empirically, passed down from generation to generation. With the

increase in consumption of these plants, large companies are investing in the production and extraction of phytochemicals used in the prevention and cure of diseases. The main limitation is the manual

harvesting process. The aim of this study is to develop and evaluate a prototype of a self-propelled harvester for medicinal herbs. The project methodology for the development of the prototype was composed of four phases: informational, conceptual, preliminary and detailed project. The development of the harvester prototype was conducted at the mechanical maintenance department of Fazenda Amway Nutrilite do Brasil LTDA, located in the city of Ubajara, Ceará. The Mudge Diagram and the Quality House Matrix were used as methodologies to direct prototype development. For the analysis of the possible structures of the prototype it was used the morphological matrix with the use of the analysis of known systems and *Solidworks* software was used for the structural analysis of the equipment. With all phases of the project completed the result was a functional prototype that meets the requirements and needs of customers.

KEYWORDS: Automotive harvester. Medicinal herbs. Prototype

INTRODUÇÃO: A produção agrícola depende de muitos fatores, sendo custeada de forma bastante onerosa diante do mercado (Saath; Fachinello, 2018). Embora existam oscilações, nem tudo converge para a otimização dos resultados. Um dos fatores de maior custo é a colheita, que diante da pouca mão de obra requer decisões bem acertadas, favorecendo ou não a rentabilidade do negócio.

As colhedoras são equipamentos que tem por função realizar o corte, alimentação, trilha, separação, limpeza e em algumas, armazenamento (Silva; Custódio, 2015). Assim, o ganho de produção e produtividade pode ser positivo em relação ao processo de colheita manual na maioria das empresas do ramo nutracêutico e demais empresas que atuem no cultivo de vegetais de pequeno porte.

No cultivo de ervas esses fatores ergonômicos também são apresentáveis de forma clara, fato que também gera percalços na condução dessas culturas. A grande maioria dessas ervas são produzidas tradicionalmente em vasos, quintais, pequenas unidades familiares, bem como nascem espontaneamente em lavouras causando impacto negativo na produção da cultura principal.

A utilização de plantas medicinais faz parte da prática da medicina popular, constituindo um conjunto de saberes internalizados nos diversos usuários e praticantes (Brunning et al., 2012). O cultivo de ervas medicinais em larga escala depende da otimização dos processos produtivos. Sendo que a colheita mecanizada pode demonstrar grande participação nos resultados dentro da unidade de produção.

Diante de contextos econômicos mais desafiadores fazem-se necessários produtos que atendam o mercado e que diminuam os custos de produção. Aliado à mecanização agrícola a produção de ervas medicinais em larga escala, principalmente para o mercado farmacêutico pode ser algo promissor em vista dos novos conceitos e cuidados à saúde.

Muitas empresas estão expandindo mercados no ramo dos fármacos em detrimento à essa nova demanda de consumo e cuidados com o uso dos produtos naturais. Algumas espécies de ervas medicinais estão sendo produzidas no Brasil em maior escala. Empresas do segmento estão investindo nessas culturas para essa nova tendência dos produtos saudáveis com base na extração dos seus princípios ativos ou fitoterápicos.

Portanto, as inovações tecnológicas propiciam um novo cenário de rentabilidade, produção e produtividade (Sachuck et al., 2008). Desta forma, melhorias em máquinas principalmente em colhedoras de pequeno e médio porte, poderão representar um avanço significativo na redução de mão de obra e problemas de ordem ergonômica e trabalhista ao empregador.

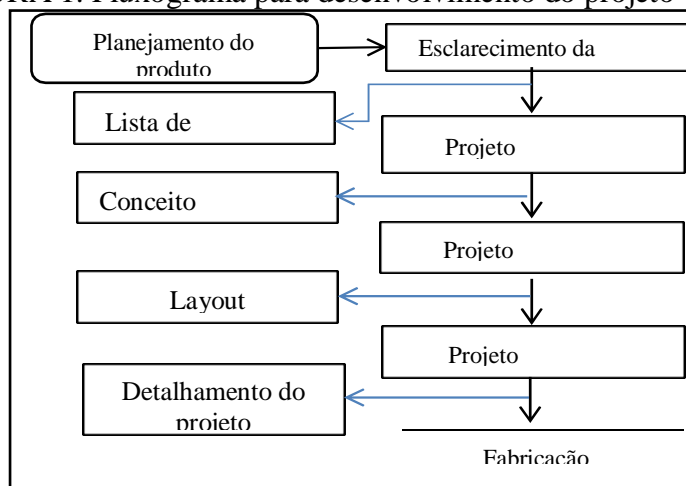
Há várias pesquisas voltadas para o desenvolvimento de máquinas agrícolas que possam minimizar os custos das propriedades agrícolas, principalmente máquinas que realizem o

processo de colheita. Tendo em vista maior eficiência operacional, menores custos e maior segurança.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento do protótipo de uma colhedora para ervas medicinais em atendimento à demanda de uma multinacional.

MATERIAL E MÉTODOS: O desenvolvimento do projeto do protótipo da colhedora para ervas medicinais foi realizado na Fazenda Amway Nutrilite do Brasil, município de Ubajara, Ceará, coordenadas geográficas: latitude 3°51'12" S e longitude 41°5'10" W e altitude média de 750 metros. A metodologia de projeto utilizada é composta de quatro fases: esclarecimento da tarefa, projeto conceitual, projeto preliminar e projeto detalhado proposta por Pahl e Beitz (1996), modificada conforme as condições impostas ao longo do desenvolvimento do protótipo (Figura 1).

FIGURA 1. Fluxograma para desenvolvimento do projeto



Fonte: Adaptado de Pahl e Beitz (1996).

O esclarecimento da tarefa destinou-se à coleta de informações pertinentes ao desenvolvimento de um protótipo para realizar o processo de colheita de ervas de forma mecanizada e de fácil operação. A fase da pesquisa por informações técnicas apoia-se, principalmente, em catálogos de produtos, artigos científicos, teses, dissertações e patentes. Nas informações estão contidas as necessidades dos clientes normalmente de forma qualitativa, colocando-os dentro do ciclo de vida do produto (Fonseca, 2000). Para este projeto, consideraram-se as necessidades dos clientes internos e intermediários. Para os clientes internos as necessidades consideradas são de projeto, manufatura, montagem e logística; nos clientes intermediários as necessidades foram de comercialização. Ao final desta etapa, busca-se elaborar uma lista detalhada de requisitos com as restrições e os objetivos a serem alcançados, além de uma descrição do desejo ou exigência requerido pelo cliente.

Um dos primeiros passos do projeto conceitual é analisar a função global a ser desempenhada (Pahl et al., 2005). Dependendo do produto, a função global pode ser bem complexa. Uma função complexa, no entanto, pode ser reformulada pela sua divisão em subfunções básicas, formando estruturas de subfunções arranjadas em série ou em paralelo (Pahl; Beitz, 2006).

O projeto preliminar iniciou-se com a realização de lay out do protótipo, adotando como um critério básico a facilidade de fabricação. Foi utilizado o software *SolidWorks* para realizar os

desenhos conceituais do protótipo. O projeto detalhado finalizou-se com o lay out definitivo

Nº	Requisitos dos clientes	Classificação de Mudge (%)	Classe
1	Ser fácil de fabricar	2,4	2
2	Ser economicamente viável	3,2	3
3	Ser segura	22,2	10
4	Ter fácil manutenção	3,2	3
5	Ter precisão no processo de colheita	12,5	8
6	Ter proteção das partes móveis	11,3	7
7	Ser resistente ao desgaste	16,1	9
8	Ser automatiz	2,0	1
9	Ter fácil reposição de peças	3,2	3
10	Ser de simples de operação	2,0	1
11	Ter manutenção de baixa frequência	5,2	4
12	Ter ajustes de altura de corte	6,1	5
13	Ter acoplamentos para implementos	0,0	1
14	Ter baixo custo de manutenção	2,0	3
15	Ter dimensões para cultura	8,5	6

da máquina, definindo todas as suas dimensões e selecionados os materiais de fabricação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: As necessidades dos clientes foram identificadas dentro do contexto produtivo da fazenda Amway Nutrilite do Brasil. Buscou-se estabelecer parâmetros técnicos, principalmente as dificuldades encontradas no processo de colheita de ervas que possibilitassem o desenvolvimento do produto. Definidos as necessidades dos clientes, estes foram transformados em requisitos dos clientes e classificados quanto ao grau de importância (Tabela 1).

TABELA 1. Classificação dos requisitos dos clientes

Fonte: elaborado pelo autor.

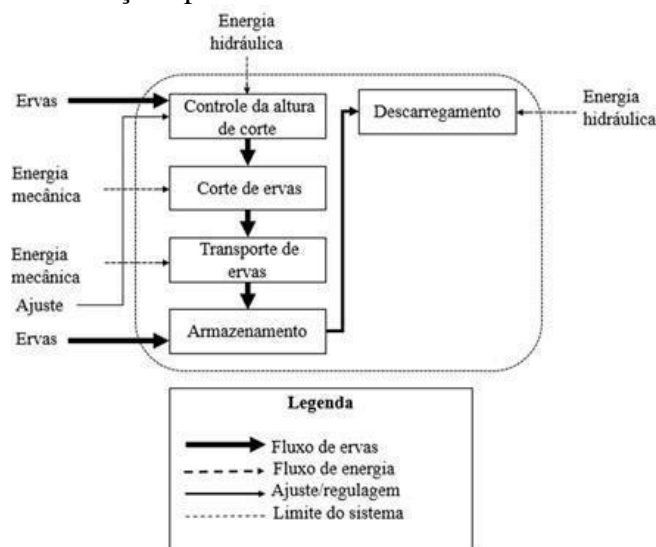
Após a hierarquização dos requisitos conforme grau de importância, as especificações meta do protótipo foram definidas e serão utilizadas como base para as próximas etapas para o desenvolvimento do projeto. Estes requisitos e suas especificidades serão os pilares que irão atuar como guia durante a geração de soluções para o problema do projeto (Tabela 2).

TABELA 2. Especificações meta do produto

Nº	Requisitos do projeto	Valor meta	Forma de avaliação
1	Custo de fabricação	Menor possível	Análise de projeto
2	Custo de produção	R\$ 25.000,00	Análise de projeto
3	Altura de corte	0,15 m	Análise de projeto
4	Tempo de acoplamento	10 min	Análise de projeto
5	Variação na altura do corte	0,5 a 0,50 m	Análise de projeto
6	Atendimento as normas (NRs 10 e 12)	Cumprimento	Análise de projeto
7	Acoplamentos	2 unidades	Análise de projeto
8	Peso total do equipamento	30.803 N	Análise de projeto
9	Largura de trabalho	1,20 m	Análise de projeto
10	Dar mobilidade	Regulagem	Análise de projeto
11	Tempo de manobra	Menor possível	Análise de projeto
12	Intervalo de manutenção	100 h	Análise de projeto
13	Vida útil	10.000 h	Análise de projeto
14	Peças padronizadas	80%	Análise de projeto
15	Tempo de regulagem	10 min	Análise de projeto

De posse das especificações de projeto deve-se agora partir para a geração e avaliação de soluções para o projeto da colhedora de ervas medicinais. A função global do protótipo é colher ervas (Figura 1).

FIGURA 1. Estrutura de funções para colheita de ervas



Fonte: Adaptado de Pahl *et al.* (2005).

Tendo como base a estrutura de funções apresentada na (Figura 2) foi possível determinar a matriz morfológica e analisando as definições da máquina, assim como o desenho conceitual do protótipo da colhedora. Baseado na matriz foi possível conceituar de forma detalhada a máquina (Figura 2). A colhedora automotriz foi formada por um sistema de locomoção movido a um motor de 4 cilindros em linha, combustão interna (MCI) JD 4039DF com potência nominal mínima de 48 hp variando até 66 hp (potência máxima), operando a diesel, com injeção direta de combustível, aspiração natural. O sistema de locomoção (da marca Linde – H25D) operado por uma pessoa, onde foi montado um suporte na parte lateral da unidade motriz com movimentos de elevação por cilindro hidráulico comandados por um sistema mecânico-hidráulico, acionado por uma bomba hidráulica com vazão de 29 L min^{-1} acoplada a um sistema de transmissão hidrostático ligado no motor, tendo um tanque de 47 litros de óleo DTE 26 montado na lateral interna (chassi tipo monobloco) e ainda um sistema com vazão para acessórios de 32 L min^{-1} conferindo-lhe autonomia para acoplamento de cilindros hidráulicos, motores hidráulicos entre outros acessórios no sistema hidráulico.

Foi acoplado ao chassi tipo monobloco um chassi longarina tipo “U” soldado por eletrodo revestido E7018 onde foi acoplado um recipiente tipo caçamba em alumínio que recebe o material colhido. Tendo também uma plataforma recolhadora com um sistema de lâmina (tipo tesoura) de aço tratado termicamente e mecanicamente com geometria linear dos 2 gumes, acionado por um motor hidráulico orbital DH36 com potência máxima de 10 hp, possuindo uma largura útil de trabalho de 1,20 m e um transportador helicoidal, sendo que os mecanismos de corte e elevação terão 2 graus de liberdade, significando movimentação nas duas direções (x,y).

O sistema de recolhimento e transporte tem energia mecânica funcionando por meio de uma esteira plana longitudinal com taliscas de arraste de 0,30 m de altura, 0,40 m de largura e 2,29 m de comprimento acoplado à plataforma recolhadora acionada por motor hidráulico. Possuindo ainda outra correia plana acionada por motor hidráulico com taliscas de arraste de 0,30 m de altura, 0,40 m de largura e 1,78 m de comprimento disposta transversalmente sobre o dispositivo de armazenamento tendo as seguintes dimensões 2,35 a 1,48 x 41 m com capacidade máxima de 1400 kg. Assim, tendo como base a busca por princípios e soluções, todo material que utilizado foi disponibilizado pela própria empresa,

inclusive a mão de obra para que o protótipo pudesse ser desenvolvido. Alguns materiais foram adquiridos para que as condições de segurança pré-estabelecidas fossem seguidas, principalmente no que se refere ao cumprimento da NR12. O sistema elétrico já estava dentro dos padrões da NR10, pois em parte foi utilizada toda estrutura elétrica da antiga empilhadeira que foi usada para iniciar o protótipo.

FIGURA 2. Matriz Morfológica da colhedora de automotriz

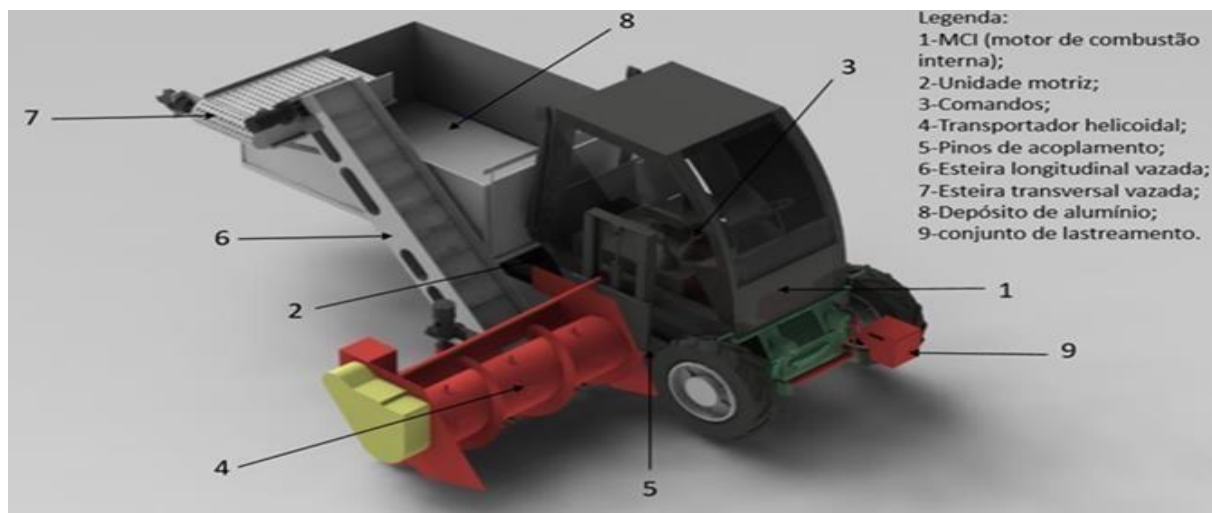
	Conceitos					
Sistemas	1	2	3	4	5	6
Lâmina	Circular	Linear	1 gume	2 gumes	3 gumes	Faca
Grau de liberdade de corte	X	Y	Z	Xy	xz	Yz
Acionamento do corte	Motor elétrico	Cardan	Motor hidráulico	Cabos	Cames	Engrenagens
Tipo de metal da lâmina	Aço inox	Aço carbono	Alumínio	Liga metálica	Aço tratado termicamente e mecanicamente	Ferro fundido
Cilindro de elevação	Composto	Único	Articulado tipo escada	Pneumático	Sistema com cabos	Mecânico com rodados
Tipo de combustível	Diesel	Gasolina	Biodiesel	Etanoal	Gás petróleo	Metano biogás
Potência do motor	5cv	10cv	30cv	48cv	130cv	150cv
Unidade motriz	Valtra	Linde	Massey Ferguson	John Deere	Yanmar	Case
Chassi	Montado trator	Monobloco	Articulado	Acoplado trator	Tipo longarina acoplado na unidade motriz	
Posição dos operadores	Sentado no monobloco	Sentado no chassi	1 Sentado no monobloco + 1 em pé	Sentado no monobloco	1 Sentado no chassi + 1 em pé	2 em pé
Comandos	Elevação manual sist.. de corte	Elevação eletro-hidr.+ sist.. de corte	Eletro-mecânico	Elevação Mecânico+sist. de corte	Eleva. Hidra.	Pneumático
Grau de liberdade da base	X	Y	Z	XY		
Grau de liberdade de elevação	X	Y	Z	XY		
Transporte de ervas	Esteira vazada antiderrapante (taliscada) + caçamba basculante	Elevador de canecas	Esteira de bastão	Esteira vazada	Rosca sem fim	Rolo com rosca sem fim

Fonte: Adaptado de albiero *et al.* (2007).

A representação do protótipo uma colhedora automotriz multifuncional para realizar o processo de colheita de erva medicinal encontra-se na Figura 3. Esta patente intitulada como: “Colhedora automotriz multifuncional”, foi depositada no Instituto Nacional da Propriedade

Industrial (INPI), com o número de registro: BR10 2019 012153-0. A colhedora automotriz multifuncional projetada com uma fonte de potência interna MCI (motor de combustão interna), a diesel (1), acoplado a unidade motriz (2) que permite a máquina movimentos frente e ré e uma cabine com assento e comandos para o operador (3). Possui também na sua lateral direita um sistema mecânico de transporte helicoidal (4), acoplado por meio de pinos (5), além de esteiras transportadoras, sendo, uma esteira longitudinal vazada (6) e outra esteira transversal vazada (7) que farão a condução do material colhido ao depósito de alumínio, tipo caçamba (8), onde ficarão depositados até o descarregamento. Na parte frontal da colhedora ainda possui um conjunto de lastreamento (9) para dar estabilidade à máquina.

FIGURA 3. Colhedora automotriz multifuncional



Para estudo das simulações do protótipo foram definidas todas as propriedades dos materiais utilizados, tendo o uso de modelos computacionais que simulam as operações de sistemas mecânicos. Assim, os materiais utilizados na construção do chassi e suporte da plataforma recolhadora do protótipo foram perfis tipo “U” em aço carbono, ASTM A36. Tendo os materiais como caracterização padrão as seguintes: coeficiente de Poisson de 0,28; limite de escoamento mínimo de 220,5 MPa; limite de resistência de 399,8 MPa e densidade de $7,85 \text{ g cm}^{-3}$.

A análise das forças que atuam em uma máquina pode ser realizada por meio da simulação estática ou dinâmica, identificando assim as melhores condições operacionais ou parâmetros do equipamento. Obtendo por meio das simulações em softwares, informações necessárias para o desenvolvimento do projeto e a devida construção da máquina. Portanto, após a definição dos parâmetros a serem utilizados na simulação, foi utilizado o software Solidworks 2018[®] para análise das tensões, utilizando o método dos elementos finitos para determinação das possíveis deformações e pontos de ruptura do protótipo.

Para realização dos ensaios computacionais do protótipo foi considerado uma carga aplicada no reservatório (caçamba) de 1.500 kg, definida como carga máxima a ser utilizada. A estrutura do reservatório foi fabricada em alumínio liga 3003 com limite de escoamento de 41,3 MPa; limite de resistência de 110,2 MPa e densidade de $2,70 \text{ g cm}^{-3}$. A força da gravidade utilizada para análise nas estruturas foi de $9,81 \text{ m s}^{-2}$. Na Figura 4 evidencia-se o resultado da análise pelo método de Von Mises com o objetivo de identificar os valores de tensão que levam o material falhar ou escoar. Consta-se que em nenhuma região da estrutura as tensões excedem o limite do material de 500 MPa, porém verifica-se que alguns pontos já estão sofrendo stress a partir de 147 MPa. Assim, o material apresenta pequenas deformações, contudo essa tensão não apresenta risco ao projeto ou danos que comprometam o funcionamento do equipamento.

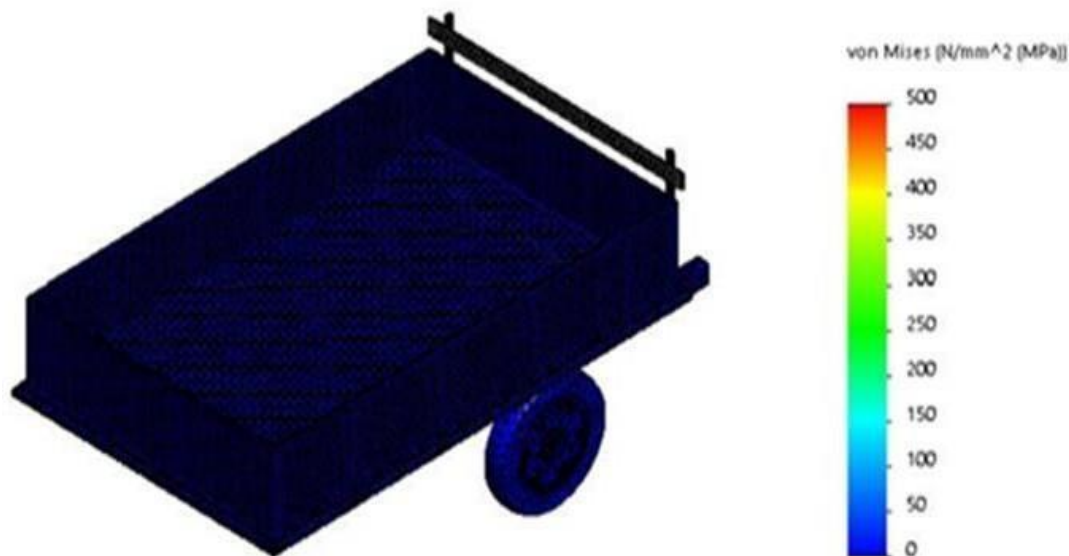
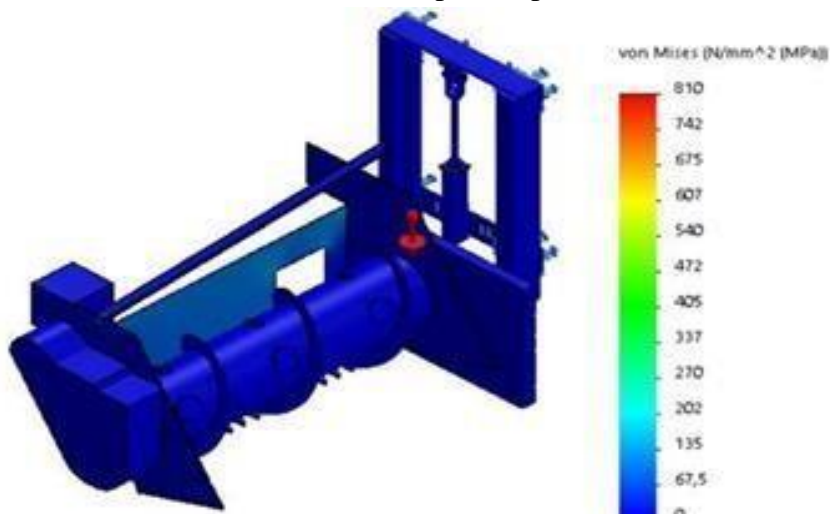


FIGURA 4. Tensão de Von Misses chassi e reservatório

Assim, observam-se a variação do fator de segurança no chassi e do reservatório da colhedora automotriz em uma escala de 0,18 a 10 MPa com uma carga aplicada de 1.500 kg ou 14.715N. Na análise verifica-se que nos pontos na cor azul, sendo a grande maioria na análise estrutural onde o equipamento suporta pelo menos dez vezes mais a sua carga. E que os pontos que estão na faixa do amarelo para o vermelho, perfazendo a escala de 3,9 a 1,1 MPa, indicam uma pequena variação de resistência, mas mesmo assim a carga aplicada não interfere ou gera pontos de ruptura na máquina, significando que ainda suporta de 1,1 vezes a 3,9 vezes a carga aplicada.

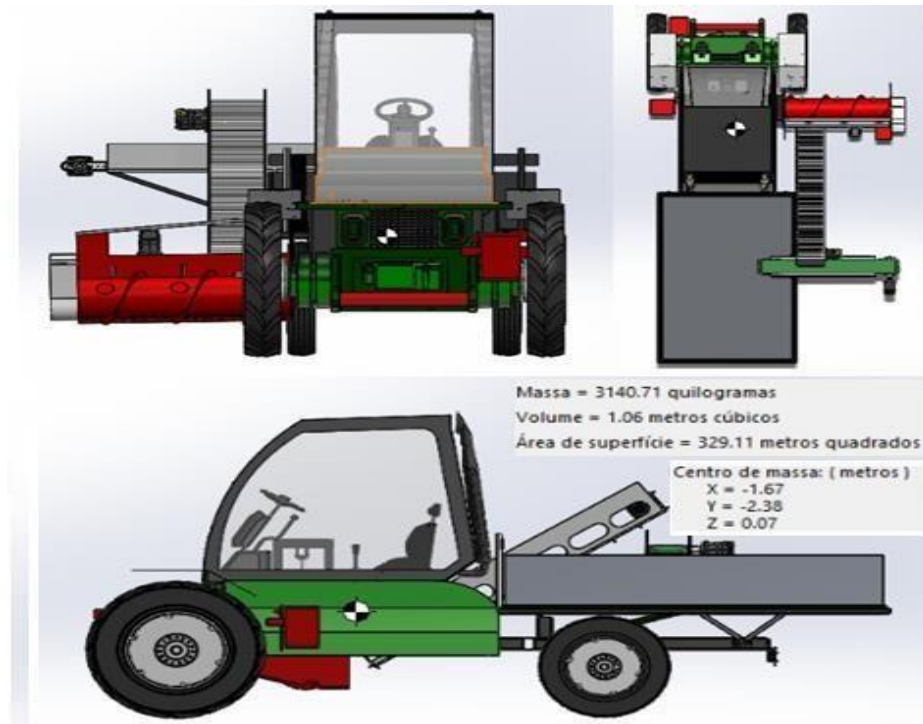
Na Figura 5 evidencia-se o resultado da análise pelo método de Von Misses no suporte e plataforma recolhedora, o resultado demonstrou que em nenhuma região da estrutura as tensões excedem o limite do material de 810 MPa, mas em alguns pontos já estão sofrendo estresse a partir de 202 MPa. O que não compromete a estrutura, contudo essa tensão não apresenta risco ao projeto ou danos que comprometam o funcionamento do equipamento.

FIGURA 5. Tensão de Von Misses do suporte e plataforma recolhedora



Após a finalização dos desenhos conceituais e análise de tensão dos componentes que poderiam comprometer a estrutura da máquina, partiu-se para o desenho definitivo da máquina.

FIGURA 6. Projeções ortogonais do protótipo da colhedora automotriz para ervas medicinais



Na Figura 6 temos as projeções ortogonais da colhedora de ervas medicinais, vista nas três dimensões, a colhedora possui uma peso total de 3140,71 kg; volume de 1,06m³ e área de superfície de 329,11 m². O sistema de recolhimento e transporte será mecânico por meio de uma esteira plana longitudinal com taliscas de arraste de 0,30 m de altura, 0,40 m de largura e 2,29 m de comprimento acoplado à plataforma recolhedora acionada por motor hidráulico. Possuindo ainda outra correia plana acionada por motor hidráulico com taliscas de arraste de 0,30 m de altura, 0,40 m de largura e 1,78 m de comprimento disposta transversalmente sobre a o dispositivo de armazenamento tendo as seguintes dimensões 2,35 x 1,48 x 41 m com capacidade máxima de 1.400 kg.

CONCLUSÕES: As metodologias de projeto aplicadas para o desenvolvimento do protótipo da colhedora automotriz para ervas medicinais mostraram-se ferramentas eficazes para a elaboração do protótipo. E que a construção do protótipo demonstrou que os sistemas utilizados necessitam de melhorias para validação do protótipo.

REFERÊNCIAS:

Bruning, M. C. R.; MoseguI, G. B. G.; Vianna, M. M. A utilização da fitoterapia e de plantas medicinais em unidades básicas de saúde nos municípios de Cascavele Foz do Iguaçu – Paraná: a visão dos profissionais de saúde. *Ciência e Saúde Coletiva*, v. 17, n.10, p. 2675-2685, 2012.

Fonseca, António Jorge Hernandez. Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional. 2000. 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Centro Tecnológico do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

Pahl, G.; Beitz, W. *Engineering design: A systematic approach*. 2.ed. London: Springer Verlag, 1996. 579p.

Pahl, G.; Beitz, W.; Feldhusen, J.; Grote, K. H. *Projeto na engenharia*. São Paulo: Blucher, 2005.

Silva, J.G. da; Custódio, D. P. Colheita. In: Borém, A.; Rangel, P. H. N. (Ed.). *Arroz do plantio à colheita*. Viçosa, MG, 2015: Ed. UFV, 2015. P 220-242.

Saath, K. C. de O.; Fachinello, A. L. Crescimento da demanda mundial de alimentos e restrições do fator terra no Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v.56, n.2, p.195-212, 2018.

Sachuck, M. I.; Takahashi, L. Y.; Augusto, C. A. Impactos da inovação tecnológica na competitividade e nas relações de trabalho. *Caderno de administração*. v.16, n.2, p. 57- 66, 2008.