

Otimização topológica aplicada a implementos agrícolas

JOÃO MARCOS QUENTAL¹, WILLIAM MARTINS VICENTE²

¹ Engenheiro Agrícola, FEAGRI – UNICAMP, (19) 99794-1920, jmquental@gmail.com

² Professor Assistente, FEAGRI – UNICAMP, (19) 3521-1056, william.vicente@unicamp.br

Apresentado no
XLVIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2019
17 a 19 de setembro de 2019 - Campinas - SP, Brasil

RESUMO: A crescente demanda por commodities agrícolas nos últimos anos incentivou pesquisas e avanços tecnológicos no campo, nota-se um grande aumento da tecnologia embarcada nos equipamentos agrícolas bem como o emprego cada vez mais frequente de equipamentos de grande porte. Neste contexto, o presente trabalho propõe o emprego da metodologia de otimização topológica de estruturas para a otimização estrutural de implementos agrícolas usados no preparo do solo. Os implementos agrícolas para preparo do solo são em sua maioria estruturas compostas por componentes robustos capazes de suportar grandes carregamentos impostos pela operação no campo, condições com grande variabilidade devido as condições naturais de formação do solo, e das culturas agrícolas. Contudo, como consequência de suas dimensões os equipamentos são dotados de uma massa elevada, impactando no consumo de combustível e na qualidade do solo. No estudo de caso realizado, foi aplicada a metodologia otimização topológica a uma lâmina de um subsolador, com a finalidade de otimizar a distribuição do material que compõem a estrutura. O resultado obtido apresentou uma melhoria na distribuição das tensões internas e uma redução da massa do equipamento de 60% de seu valor inicial.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem computacional, Otimização topológica estrutural, Implementos agrícolas.

Topology optimization applied to agricultural implements

ABSTRACT: The growing demand for agricultural commodities in recent years has encouraged research and technological advances in the field, there is a large increase in the technology embedded in agricultural equipment as well as the increasingly frequent use of equipment of large Porte. In this context, the present work proposes the use of the topological optimization methodology of structures for the structural optimization of agricultural implements used in soil tillage. Agricultural implements for soil preparation are mostly structures composed of robust components capable of supporting large loads imposed by the operation in the field, conditions with great variability due to the natural conditions of Soil formation, and agricultural crops. However, as a consequence of its dimensions, the equipment is endowed with a high mass, impacting on fuel consumption and soil quality. In the case study, the topological optimization methodology was applied to a blade of a subsoiler, in order to optimize the distribution of the material that compose the structure. The obtained result showed an improvement in the distribution of internal tensions and a reduction of the equipment mass of 60% of its initial value.

KEYWORDS: Topological optimization, agricultural implements, agricultural optimization.

INTRODUÇÃO: O crescimento no setor agrícola, decorrente das elevadas demandas por commodities agrícolas, demandou soluções que possibilitassem manter o constante crescimento entre safras. Estas soluções englobam desde o melhoramento genético das variedades cultivadas ao aumento das dimensões dos equipamentos (BUAINAIN et al., 2006) e como consequência do aumento das dimensões houve o aumento da massa dos equipamentos.

Devido a este aumento houve o agravamento do risco de compactação do solo (DE LIMA et al., 2005; MCPHEE et al., 2015; SCARPARE et al., 2019), assim como o aumento no consumo de combustível, devido a necessidade de se elevar a potência fornecida pelos motores (LOVARELLI; FIALA; LARSSON, 2018; VAN LINDEN; HERMAN, 2014).

Neste cenário a redução do peso dos equipamentos teria um impacto positivo tanto para a compactação quanto para o consumo de combustível. Assim, torna-se propício a aplicação de processos de otimização que aumentem o aproveitamento do material utilizado para a construção dos equipamentos, destacando-se o processo de otimização topológica, atualmente aplicado em projetos de engenharia (GUI et al., 2017).

O processo de otimização topológica consiste em encontrar uma distribuição ótima do material no interior da estrutura segundo um critério proposto, acarretando num melhor aproveitamento do material utilizado (BENDSØE; SIGMUND, 2003; GUI et al., 2017; XIA et al., 2018). O critério de otimização utilizado foi o critério da rigidez global do sistema.

MATERIAL E MÉTODOS: O estudo realizado teve como base a lâmina de um subsolador, modelada em aço 1045. As cargas as quais a lâmina foram expostas foram calculadas através das equações de Godwin (GODWIN; O'DOGHERTY, 2007), tendo como parâmetros para a equação, adesão de 12 kPa, coesão de 20 kPa, profundidade de operação de 60 centímetros, largura da ferramenta de 5,08 centímetros, massa específica do solo de 1,2 toneladas por metro cúbico, resultando em uma carga vertical de 2,08 kN e uma carga horizontal de 2,67 kN. A composição deste carregamento foi distribuída ao longo da superfície de contato da lâmina com o solo.

A fim de se determinar as respostas do sistemas que forma usadas como parâmetro de entrada para o processo de otimização topológica, utilizou-se o software comercial Ansys para a criação do modelo computacional por elementos finitos (FEM) (PRADHAN et al., 2019; ZIENKIEWICZ et al., 2005a, 2005b).

Por fim, o processo de otimização topológica foi aplicado ao componente modelado por elementos finitos submetido ao carregamento calculado através das equações de Godwin. Nesta etapa o software Ansys usado para a execução do processo remove consecutivamente elementos da estrutural inicial, de acordo com a análise de sensibilidade proposta, distribuindo o material dentro do domínio de trabalho para encontrar a topologia ótima. Após a remoção dos elementos, o componente processado foi submetido novamente a análise de elementos finitos para a verificação das novas tensões (BENDSØE; SIGMUND, 2003; GUI et al., 2017; JAIN; JOSHI; SAXENA, 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Após o processo de otimização topológica ser aplicado sobre a lâmina do subsolador, o software retornou uma nova geometria, mantendo os limites do domínio estrutural determinados inicialmente estabelecidos. O componente otimizado apresenta um volume reduzido a 60% do volume original, sendo considerado o aço 1045 utilizado, representa uma redução de massa de aproximadamente 6 kg.

Em relação a distribuição de tensões observou-se que as tensões presentes na lâmina não otimizada apresentam uma grande variação, as tensões mais elevadas se concentram nas extremidades engastadas, com variação entre 0,42 MPa a 50 MPa. Após a otimização do componente, as tensões se tornam melhor distribuídas apresentando valores entre aproximadamente 28 a 50 MPa. Mesmo reduzindo o volume de material inicial em 60% as tensões máximas não aumentaram na estrutura.

A: Static Structural

Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress
 Unit: Pa
 Time: 1
 30/04/2019 13:15

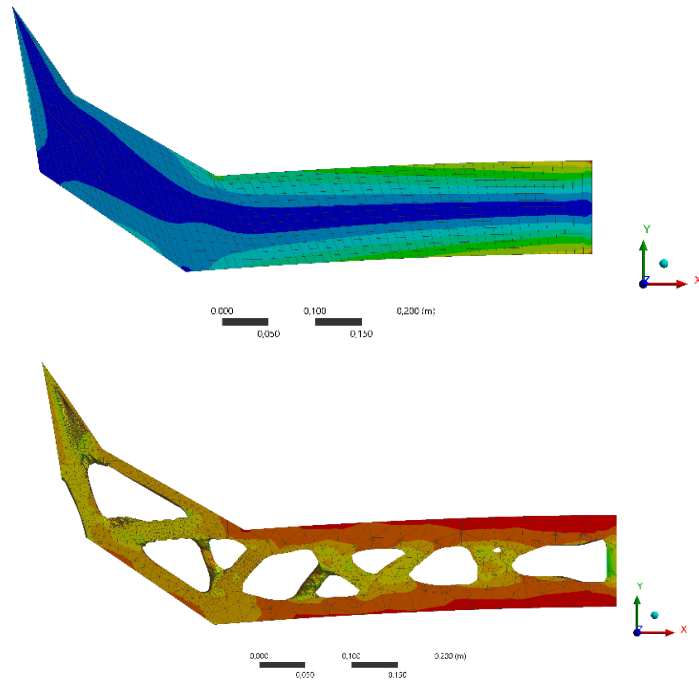
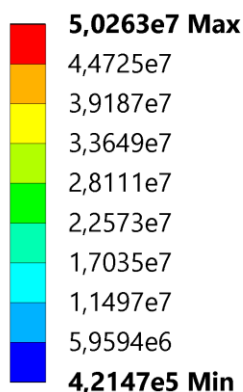


Figura 1: Análise de tensões para a lâmina original (acima) e otimizada (abaixo)

Após o processo de otimização obteve-se a geometria apresentada na Figura 1, na qual se observa que a lâmina otimizada apresenta perfurações perpendiculares à face responsável pelo corte do solo decorrentes da remoção de material dessa região. Estas perfurações, por não estarem presentes nas faces de corte não influenciam a função principal do equipamento. Eventualmente durante a operação poderá ocorrer o acúmulo de material nas cavidades da geometria otimizada da lâmina, como solução para esse problema pode-se, por exemplo, preencher as cavidades com material com menor densidade, mantendo a redução de massa sem alterar a geometria original.

CONCLUSÕES: O processo de otimização topológica se mostrou uma ferramenta capaz de reduzir significativamente o peso de uma lâmina de um subsolador sem comprometer sua capacidade estrutural. Dessa forma a metodologia proposta pode ser aplicada a outros componentes agrícolas, que junto contribuiriam na redução do consumo de combustível e na redução do risco de compactação do solo. A otimização estrutural do implemento resultou em uma melhora nas distribuições das tensões no interior da estrutura, contribuindo para a construção de equipamentos mais eficazes estruturalmente.

REFERÊNCIAS:

- BENDSØE, M. P.; SIGMUND, O. **Topology optimization: theory, methods, and applications**. 2nd. ed. Berlin: Springer Verlag, 2003.
 BUAINAIN, A. M. A. M. et al. **A trajetória da modernização aEstudos Avançados**, 2006.

DE LIMA, H. V. et al. Tráfego de máquinas agrícolas e alterações de bioporos em área sob pomar de laranja. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 29, n. 5, p. 677–684, 2005.

GODWIN, R. J.; O'DOGHERTY, M. J. Integrated soil tillage force prediction models. **Journal of Terramechanics**, v. 44, n. 1, p. 3–14, 1 jan. 2007.

GUI, X. et al. Structural Topology Optimization based on Parametric Level Set Method under the Environment of ANSYS Secondary Development. **Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Engineering, Information Science & Application Technology (ICCIA 2017)**, v. 74, n. Iccia, p. 841–850, 2017.

JAIN, N.; JOSHI, R.; SAXENA, R. Topological Optimization Techniques for Linear Isotropic Structures Subjected To Static and Self-Weight Loading Conditions. **International Research Journal of Engineering and Technology**, v. 2, n. July 2015, p. 52–59, 2015.

LOVARELLI, D.; FIALA, M.; LARSSON, G. Fuel consumption and exhaust emissions during on-field tractor activity: A possible improving strategy for the environmental load of agricultural mechanisation. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 151, p. 238–248, 1 ago. 2018.

MCPHEE, J. E. et al. The effect of controlled traffic on soil physical properties and tillage requirements for vegetable production. **Soil and Tillage Research**, v. 149, p. 33–45, 1 jun. 2015.

PRADHAN, K. K. et al. Finite Element Method. **Computational Structural Mechanics**, p. 25–28, 1 jan. 2019.

SCARPARE, F. V. et al. Tillage effects on soil physical condition and root growth associated with sugarcane water availability. **Soil and Tillage Research**, v. 187, p. 110–118, 1 abr. 2019.

VAN LINDEN, V.; HERMAN, L. A fuel consumption model for off-road use of mobile machinery in agriculture. **Energy**, v. 77, p. 880–889, 1 dez. 2014.

XIA, L. et al. Stress-based topology optimization using bi-directional evolutionary structural optimization method. **Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering**, v. 333, p. 356–370, 1 maio 2018.

ZIENKIEWICZ, O. C. et al. The standard discrete system and origins of the finite element. In: BUTTERWORTH-HEINEMANN (Ed.). . **The Finite Element Method Set**. 6. ed. Oxford, Reino Unido: Elsevier, 2005a. p. 1–18.

ZIENKIEWICZ, O. C. et al. Generalization of the finite element concepts. Galerkin-weighted. In: BUTTERWORTH-HEINEMANN (Ed.). . **The Finite Element Method Set**. 6. ed. Oxford, Reino Unido: Elsevier, 2005b. p. 81–118.

ZILLOBER, C. SCPIP - an efficient software tool for the solution of structural optimization problems. **Structural and Multidisciplinary Optimization**, v. 24, n. 5, p. 362–371, 1 nov. 2002.