



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
SISTEMA DE BIBLIOTECAS DA UNICAMP
REPOSITÓRIO DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA E INTELLECTUAL DA UNICAMP

Versão do arquivo anexado / Version of attached file:

Versão do Editor / Published Version

Mais informações no site da editora / Further information on publisher's website:

Sem URL

DOI: 0

Direitos autorais / Publisher's copyright statement:

©2023 by UNICAMP/FEAGRI. All rights reserved.

DIRETORIA DE TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO

Cidade Universitária Zeferino Vaz Barão Geraldo

CEP 13083-970 – Campinas SP

Fone: (19) 3521-6493

<http://www.repositorio.unicamp.br>



INFERÊNCIA DO FATOR DE SEGURANÇA CARACTERÍSTICO DA ESTABILIDADE DE ÁRVORES URBANAS

KAREN CHRISTINA DE FREITAS¹, RAQUEL GONÇALVES², MONICA RUY³

¹ Doutoranda, Faculdade de Engenharia Agrícola - Universidade Estadual de Campinas, k191538@dac.unicamp.br

² Profa. Titular, Faculdade de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Campinas, raquelg@unicamp.br - Orientadora

³ Doutora, Pesquisadora da Plataforma de Engenharia da Madeira Estrutural (PEMADE), Universidade de Santiago de Compostela, Lugo, Espanha, m.ruy@usc.es - Coorientadora

RESUMO: O fator de segurança característico da estabilidade das diferentes partes das árvores é baseado no quociente entre a resistência desse elemento e a carga efetiva ao qual o elemento está submetido. Em geral, em plantas é esperado que o fator de segurança dos diferentes membros da árvore (galhos, raízes e fuste) diminua com o aumento da dimensão da planta e, assim, a suscetibilidade de caules e raízes às falhas mecânicas aumenta à medida que as plantas crescem em massa ou em altura. O conhecimento desse fator de segurança é de grande utilidade em análises de risco que queda de árvores. Na literatura são encontradas propostas para o cálculo deste fator, com ensaios de tração em campo para a obtenção das tensões atuantes e retirada de corpos de prova para a determinação das propriedades resistentes. O objetivo geral dessa pesquisa é verificar se a inferência do fator de segurança pode ser feita, de forma mais simples e com acurácia igual ou superior aos processos tradicionais (ensaios estáticos e pulling test), utilizando ultrassom nas diferentes partes das árvores para inferir sua resistência e modelos de simulação do carregamento para inferir os esforços. Espera-se que os resultados possam contribuir com pesquisas visando o risco de queda de árvores.

PALAVRAS-CHAVE

Caesalpinia pluviosa (sibipiruna), velocidade de propagação de ondas de ultrassom, rigidez da madeira

INTRODUÇÃO

Na engenharia tradicional, aplicada em estruturas, o conceito de “Fator de Segurança” é bastante conhecido e utilizado, mas o mesmo não ocorre nas ciências biológicas. Diferente das estruturas projetadas por engenheiros, as plantas não possuem essa previsão do fator de segurança. O que se sabe é que plantas com baixos fatores de segurança têm maiores probabilidades de serem eliminadas por seleção natural, reduzindo inclusive a capacidade reprodutiva. As capacidades mecânicas de árvores individuais podem diferir mesmo entre os indivíduos de mesma espécie, idade e dimensão. Algumas árvores podem produzir madeira intrinsecamente mais fraca ou mais

forte do que outras, dependendo das condições ambientais de crescimento (NIKLAS, 2000). Outra complexidade para a obtenção do fator de segurança em plantas é que elas têm uma construção modular, e essas unidades funcionais podem ter muitas diferentes capacidades de suporte de cargas, função de condições de crescimento, danos sofridos ou condições micro ambientais (NIKLAS, 1999b). Assim, dentro do tronco de uma mesma árvore pode haver partes que cresceram abrigadas, apresentando capacidade de suporte de carga mais baixas do que as que cresceram de forma exposta, sendo essa capacidade de resposta e adaptação denominada de tigmomorfogênese (NIKLAS, 1992).

Em árvores, a solicitação mais importante é, normalmente, a proveniente do vento. O enrijecimento reduz a capacidade de adaptação da árvore à passagem do vento, aumentando assim o carregamento no fuste e o momento na raiz, diminuindo, portanto, o fator de segurança. Niklas (2002) propôs o uso do perfil de carregamento gerado pelo vento no fuste de árvores de diferentes idades para determinar as tensões às quais as árvores estão submetidas nas diferentes regiões (carga de trabalho - Nd). Esse perfil foi obtido com a medição da velocidade do vento em diferentes alturas da árvore e com a adoção de perfil logaritmo proposto na literatura. A capacidade de carga (fd) foi calculada por Niklas (2002) por meio da retirada de corpos de prova para ensaio de flexão em laboratório. Para as raízes Niklas (2002) propôs o uso da relação entre o momento resistente proveniente das raízes e do solo (MR) e o momento atuante na base do fuste (MB) para o cálculo do fator de segurança. Assim, a hipótese dessa pesquisa é que a inferência do fator de segurança das diferentes partes da árvore (fuste, galhos e raízes) pode ser realizada, com maior simplicidade e acurácia, do que os métodos atualmente propostos, aplicando-se método de propagação de ondas nas diferentes partes de árvores vivas para inferência da capacidade resistente da árvore e modelos de simulação do comportamento das árvores frente a ação de cargas gravitacionais e de ventos, para a inferência das tensões e deformações às quais as diferentes partes das árvores estarão submetidas.

O objetivo geral desta pesquisa é verificar se a inferência do fator de segurança pode ser feita, de forma mais simples e com acurácia igual ou superior aos métodos tradicionalmente propostos na literatura, utilizando a metodologia proposta nesta pesquisa. O objetivos específicos são: verificar se é viável inferir a capacidade resistente de diferentes partes da árvore (fuste, galhos e raízes) por meio de ensaio de ultrassom aplicados diretamente em árvores vivas e comparar os valores inferidos com métodos tradicionais, verificar se é viável inferir as tensões e as deformações às quais as diferentes partes das árvores estão sujeitas utilizando modelos de simulação e comparar com métodos tradicionais e avaliar, o método proposto para o cálculo do fator de segurança com métodos propostos na literatura.

MATERIAL E MÉTODOS

Material

Árvores obtidas por meio de parceria já existente entre o grupo de pesquisa e o Departamento de Meio Ambiente da Unicamp e empresas parceiras que atuam na região de Campinas/SP.

Metodologia

Ensaio nas árvores em pé – medições dendrométricas, ultrassom, trado e ensaio de tração

Para cada árvore medições da área da copa (AC), da altura total (H) e da altura da copa (h) serão realizadas com hipsômetro (Haglöf, Suécia), enquanto os diâmetros na altura do peito (DAP), na base (DAB) e na primeira ramificação (DPB) com suta (Haglöf, Suécia). Também serão mensuradas as dimensões dos galhos em três níveis para o cálculo da conicidade e do volume.

Os ensaios de propagação de ondas serão feitos, no tronco, galhos e raízes com ultrassom (USLab, Agricef, Brasil) e transdutores de onda longitudinal, de faces exponenciais e 45 kHz de frequência

aplicados a 45° em relação a direção longitudinal do elemento. Esse ensaio permitirá a obtenção das velocidades de propagação das ondas de ultrassom (V) nas diferentes posições e partes da árvore.

A inferência da densidade (aparente ρ_{sat} e básica ρ_{bas}) do fuste, dos galhos e da raiz será feita por meio da retirada de baguetas com trado de incremento. O coeficiente de rigidez ($C = \rho_{bas}V^2$) de cada parte da árvore será calculado.

O ensaio de tração da árvore (*pulling test*) será realizado para obter as tensões de tração e compressão e o deslocamento do tronco utilizando metodologia proposta por Koizumi (2016) e também o coeficiente de arrasto (CD) segundo a metodologia proposta por Linhares (2019) – Figura 1.

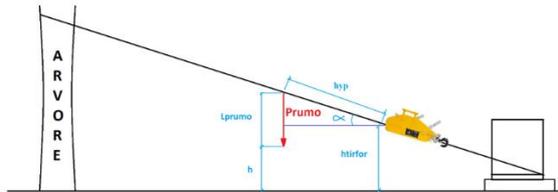


Figura 1. Esquema do ensaio de tração com posicionamento do cabo de aço no fuste da árvore. Fonte: Linhares (2019)

Ensaio após o corte da árvore – Flexão estática, cisalhamento paralelo e ultrassom

De cada parte das árvores (fuste, galhos e raiz) abatidas serão retirados corpos de prova para a determinação das propriedades de resistência e de rigidez em flexão estática a quatro pontos e de cisalhamento, ambos segundo a ABNT NBR 7190 (2022).

Também serão retirados corpos de prova poliédricos (Figura 1) de cada parte da árvore (fuste, galhos e raiz) para a determinação da matriz de rigidez por ultrassom. Com a inversão da matriz de rigidez será determinada a matriz de flexibilidade e, assim, todos os parâmetros elásticos necessários para inserção no modelo de simulação numérica (GONÇALVES et al. 2014, VÁZQUEZ et al. 2015, CAVALCANTI et al., 2018, GONÇALVES et al., 2019).

Aplicação de modelos de simulação do comportamento de árvores

Partindo do modelo estrutural estático, representativo do comportamento biomecânico de árvores (Ruy, 2019), serão determinadas as tensões atuantes nas diferentes partes da árvore (fuste, galhos e raízes). O modelo 3D, estático, proposto por Ruy (2020), desenvolvido por software de simulação numérica (Ansys Workbench 18.2), foi criado com base em três partes principais (caixa de solo, torrão de raiz e fuste), além da inserção de galhos ao longo do fuste. Como resultado da simulação se obtém os deslocamentos e as tensões (tração, compressão, cisalhamento) atuantes em diferentes posições da árvore.

Cálculos do fator de segurança

Da relação entre a resistência de cálculo (fd) e a tensão atuante (Nd), se inferirá, com as metodologias proposta na literatura e nesta pesquisa, o fator de segurança (fs) de cada região da árvore ($fs=fd/Nd$).

RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se comprovar a hipótese de que a metodologia apresentada nesta pesquisa seja de mais fácil execução e ofereça resultados com acurácia igual ou superior às metodologias propostas.

CONCLUSÕES OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ainda não há, pois estamos em fase do desenvolvimento da parte experimental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190 Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro 107p. 1997

CAVALCANTE, N.M.O.; GONÇALVES, R.; BRAZOLIN, S.; BERTOLDO, C.; RUY, M. Ultrasound test for root wood elastomechanical characterization. **Bioresources** 13(3): 5818-5835., 2018.

GARCIA, G.H.L. **Propriedades da madeira de galhos de espécies utilizadas na arborização urbana**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Campinas. SP, 2018.

GONÇALVES R., TRINCA A.J., PELLIS B.P. Elastic constants of wood determined by ultrasound using three geometries of specimens. **Wood Science and Technology** 48: 269 - 287. <https://doi.org/10.1007/s00226-013-0598-8>. 2014

GONÇALVES, R.; GARCIA, G.H.L.; BRAZOLIN, S.; BERTOLDO, C.; RUY, M. **Methodology for the characterization of elastic constants of wood from tree branches**. **Bioresources** 14(4): 8439-8454., 2019.

KOIZUMI, A., SHIMIZU, M., SASAKI, Y, HIRAI, T. In situ drag coefficient measurements for rooftop trees. **J Wood Sci** 62(4):363–369. 2016

LINHARES, C. S. F. **Caracterização Metodológica para o Cálculo do Coeficiente de Arrasto em Árvores Urbanas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas. Campinas. SP, 72p. 2019

NIKLAS, K. J. **Plant Biomechanics: an engineering approach to plant form and function**. The University of Chicago press book. Chicago. 1992

NIKLAS, K.J. . Changes in the factor of safety within the superstructure of a dicot tree. **Am. J. Bot.** 86:688–696., 1999b.

NIKLAS, K.J. Computing factors of safety against wind induced tree stem damage. **J. Exp. Bot.** 51:797–806. 2000.

NIKLAS, K.J., and H.–C. Spatz.. Methods for calculating factors of safety for plant stems. **J. Exp. Biol.** 202:3273–3280. 1999.

NIKLAS, K. , Wind, Size, and Tree Safety. **Journal of Arboriculture** 28(2): 84-93, 2002.

RUY, M. **Modelagem do comportamento biomecânico de árvores**. Tese de doutorado. Universidade Estadual de Campinas. Campinas. SP. 2020

VÁZQUEZ, C., GONÇALVES, R., BERTOLDO, C., BAÑO, V., VEJA, A., CRESPO, J., GUAITA, M. Determination of the mechanical properties of *Castanea sativa* Mill. Using ultrasonic wave propagation and comparison with static compression and bending methods. **Wood Science and Technology** 49(3): 607-622. DOI: 10.1007/s00226-015-0719-7. 2015