

TAMÍLIS DAS GRAÇAS EMERICK

**RISCO DE QUEDA DE ÁRVORES URBANAS: A ASSOCIAÇÃO
ENTRE OS PARÂMETROS DA ANÁLISE VISUAL, TOMOGRAMAS E
OCORRÊNCIA DE QUEDA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientadora: Angeline Martini

Coorientadora: Marina Moura de Souza

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

E53r
2021
Emerick, Tamílis das Graças, 1994-
Risco de queda de árvores urbanas: associação entre os
parâmetros da análise visual, tomogramas e ocorrência de queda
/ Tamílis das Graças Emerick. – Viçosa, MG, 2021.
1 dissertação eletrônica (134 f.): il. (algumas color.).

Inclui anexos.

Inclui apêndices.

Orientador: Angeline Martini.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2021.018>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Vegetação urbana - Avaliação de riscos. 2. Árvores -
Inspeção. 3. Tomografia. 4. Planejamento urbano.

I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia
Florestal. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal.

II. Título.

CDO adapt. CDD 22. ed. 634.949

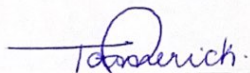
TAMÍLIS DAS GRAÇAS EMERICK

**RISCO DE QUEDA DE ÁRVORES URBANAS: A ASSOCIAÇÃO
ENTRE OS PARÂMETROS DA ANÁLISE VISUAL, TOMOGRAMAS E
OCORRÊNCIA DE QUEDA**

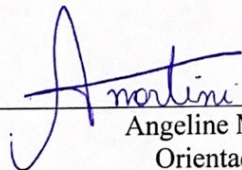
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 23 de junho de 2021

Assentimento:



Tamílis das Graças Emerick
Autora



Angeline Martini
Orientadora

“N3o deixe seus medos roubarem seus sonhos. ”

(Walt Disney)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força e fonte de inspiração.

Aos meus pais, Marta e Dormaninho, pelo zelo e compreensão, por entenderem as minhas escolhas e fazerem dos meus sonhos os seus, e à minha irmã Camila e sobrinha Raíssa, pelo carinho e apoio de sempre!

Ao meu avô Ismael (*in memorian*), que, mesmo em outro plano, me motiva e dá forças para continuar todos os dias, e aos meus tios, pelas orações e boas vibrações.

A minha orientadora, Angeline Martini, a quem tenho como uma amiga e fonte de inspiração na Engenharia Florestal, que me fez crescer muito nesses anos de convivência, me provocando sempre a ser alguém melhor.

A minha coorientadora, Marina Moura, por viabilizar esse trabalho com tamanha generosidade, junto à CEMIG.

Ao professor Leonardo Bhering, pela gentileza no apoio às estatísticas desse trabalho.

Aos meus amigos do DEF, por estarem sempre presentes, mesmo longe, ouvindo, sorrindo e chorando juntos, se fosse preciso, principalmente ao Wesley, por dividir tantos momentos juntos, por partilhar dos mesmos sentimentos e por ser o irmão que a vida me deu, e a Suellen, por tantas vezes me socorrer com tamanha generosidade, nunca hesitando em ajudar da melhor forma. À Carol, por mesmo distante fisicamente, ser ombro, ouvidos e palavras amigas em todos os momentos!

Ao Italo, pela companhia nas coletas de dados, pela paciência na reta final e por cuidar tão bem de mim nas crises de ansiedade.

A Lola, pelo amor mais puro já experimentado e por ser minha companheira de vida.

Aos parceiros da SIF, pelo encorajamento diário.

Ao Departamento de Engenharia Florestal e a Pós-Graduação em Ciência Florestal, pelo apoio e estrutura, pelos profissionais que viraram amigos e pela confiança na ciência.

A Universidade Federal de Viçosa, por construir a minha história durante esses anos na melhor e mais linda universidade do Brasil!

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

BIOGRAFIA

Tamílis das Graças Emerick, filha de Marta Aparecida Emerick e Dormaninho Emerick, nasceu em Martins Soares, Minas Gerais, em 13 de agosto de 1994.

Conclui o ensino médio em 2011, já na certeza de ingressar no curso de Engenharia Florestal, o que veio acontecer três anos depois, em 2014, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa – MG.

Em 2019, ingressou no Curso de Pós-Graduação em Ciência Florestal oferecido pelo Departamento de Engenharia Florestal da UFV, onde permaneceu até a conclusão deste estudo.

Atualmente, é coordenadora de eventos, na Sociedade de Investigações Florestais.

RESUMO

EMERICK, Tamílis das Graças, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2021. **Risco de queda de árvores urbanas: a associação entre os parâmetros da análise visual, tomogramas e ocorrência de queda.** Orientadora: Angeline Martini. Coorientadora: Marina Moura de Souza.

A vegetação presente nos ambientes urbanos atua como um importante indicador da qualidade ambiental e tem sido cada vez mais estudada, tanto em níveis técnicos como científicos, no entanto, o mau planejamento e a falta de técnicas efetivas para avaliação do risco de queda, tem levado à muitos problemas relacionados a gestão da floresta urbana. O objetivo geral do estudo foi aprimorar o diagnóstico da avaliação de risco de queda de árvores urbanas, por meio de diferentes metodologias, para compreender as diferenças e limitações dos parâmetros aplicados nesta atividade. Foram analisados todos indivíduos de *Spathodea campanulata* situados no campus da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais. As árvores foram avaliadas de forma visual um ano antes da ocorrência de uma tempestade severa que derrubou muitas delas. Os 28 parâmetros utilizados para a inspeção foram relacionados ao dano sofrido nessa ocasião. Posteriormente, cinco metodologias de análise visual (I, II, III, IV e V) de risco foram aplicadas em 43 indivíduos remanescentes, sendo a classificação final de risco e o tempo gasto para análise objetos de comparação. Além disso, foram realizadas análises com tomogramas de resistência elétrica e sônico para conhecimento da condição interna desses indivíduos e comparação entre os diferentes equipamentos. Ambas as análises, visuais e tomogramas, foram associadas aos cortes de troncos de 30 indivíduos suprimidos. Os parâmetros que mais apresentaram correlação com o dano das árvores que falharam na tempestade foram: marcas de poda, galhos interferindo na rede, folhagem rala, galhos esguios, danos e lesões de casca no tronco, espaço ou área livre, neiloide, fungos e lesões na base. Por meio de análise estatística, três parâmetros se destacaram: galhos interferindo na rede, folhagem rala e a ausência de neiloide. Na comparação entre as metodologias, constatou-se que 41,8% das árvores remanescentes foram incluídas na classe de maior risco de queda e que as metodologias I e II foram as que mais diferiram entre si. Além disso, a metodologia V foi a de mais rápida aplicação e I a mais demorada. A análise com os tomógrafos evidenciou as condições reais encontradas nos cortes após a supressão, sendo que nenhum indivíduo em condições normais foi evidenciado de forma distinta pelos tomogramas. Daqueles que apresentaram defeitos, houve diferença que pode ser atribuída a dificuldade de interpretação de árvores com presença de rachadura em estágio inicial. Já nas análises visuais, não foi

possível definir uma metodologia que refletisse maior associação aos problemas evidenciados no corte. Nove parâmetros presentes nos formulários de análise visual foram mais comuns nas árvores com algum tipo de dano (folhagem rala, ocos nos galhos, pragas, rachaduras (raízes e colo), ninhos e colmeias na base, apodrecimento do cerne, brotação epicórmica no tronco, inclinação do tronco, e exsudação de seiva pelo tronco), entre os quais três foram avaliados por ambas as metodologias (folhagem rala, ocos nos galhos e inclinação). Os tomógrafos são capazes de orientar a avaliação do risco de queda de árvores urbanas, mas não excluem análises visuais, bem como a experiência e conhecimento do avaliador.

Palavras-chave: Potencial de falha. Floresta urbana. Inspeção visual. Tomografia. Planejamento urbano.

ABSTRACT

EMERICK, Tamiris das Graças, M.Sc, Universidade Federal de Viçosa, June, 2021. **Urban tree fall risk: the association between visual analysis parameters, tomograms and fall occurrence.** Adviser: Angeline Martini. Co-adviser: Marina Moura de Souza

The vegetation present in urban environments acts as an important indicator of environmental quality and has been increasingly studied, both at technical and scientific levels, however, poor planning and lack of effective techniques for assessing the risk of falling, has led to many problems related to urban forest management. The general objective of the study was to improve the diagnosis of urban tree fall risk assessment, using different methodologies, to understand the differences and limitations of the parameters applied in this activity. All individuals of *Spathodea campanulata* located on the campus of the Federal University of Viçosa, in Viçosa, Minas Gerais, were analyzed. The trees were visually evaluated one year before the occurrence of a severe storm that felled many of them. The 28 parameters used for the inspection were related to the damage suffered on this occasion. Subsequently, five visual risk analysis methodologies (I, II, III, IV, and V) were applied to 43 remaining individuals, with the final risk rating and time spent for analysis being objects of comparison. In addition, analyses were performed with electrical resistance and sonic tomograms to learn about the internal condition of these individuals and to compare the different equipment. Both analyses, visual and tomograms, were associated with the trunk sections of 30 suppressed individuals. The parameters that showed most correlation with the damage of the trees that failed in the storm were: pruning marks, branches interfering with the net, sparse foliage, slender branches, bark damage and lesions on the trunk, free space or area, neyloid, fungus, and lesions at the base. Through statistical analysis, three parameters stood out: branches interfering with the net, sparse foliage and the absence of neyloid. In the comparison between the methodologies, it was found that 41.8% of the remaining trees were included in the class of greatest risk of falling and that methodologies I and II were the most different from each other. Furthermore, methodology V was the quickest to apply and I the most time consuming. The analysis with the tomographs showed the real conditions found in the sections after the suppression, and no individual in normal conditions was evidenced differently by the tomograms. Of those that presented defects, there was a difference that can be attributed to the difficulty of interpretation of trees with cracks in early stages. In the visual analysis, it was not possible to define a methodology that reflected a greater association with the problems evidenced in the

cut. Nine parameters present in the visual analysis forms were more common in trees with some type of damage (thin foliage, hollow branches, pests, cracks (roots and stem), nests and hives at the base, heartwood rot, epicormic sprouting in the trunk, trunk inclination, and sap exudation from the trunk), of which three were evaluated by both methodologies (thin foliage, hollow branches, and inclination). The tomographs are able to guide the assessment of the risk of falling urban trees, but do not exclude visual analysis, as well as the experience and knowledge of the assessor.

Keywords: Failure potential. Urban forest. Visual inspection. Tomography. Urban planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Danos em indivíduos de <i>Spathodea campanulata</i> verificados após ocorrência de evento climático severo no campus da UFV.....	42
Figura 2 – Porcentagem de indivíduos de <i>Spathodea campanulata</i> danificados pelo evento climático extremo no campus da UFV/Viçosa.....	43
Figura 3 - Relação entre a classe de dano causado pelo evento climático extremo e os parâmetros referentes à avaliação da copa nos indivíduos de <i>Spathodea campanulata</i> do campus UFV/Viçosa.....	44
Figura 4 – Relação entre o grau de dano causado pelo evento climático extremo e a avaliação do tronco os indivíduos de <i>Spathodea campanulata</i> do campus UFV/Viçosa.....	45
Figura 5 - Relação entre o grau de dano causado pelo evento climático extremo e a avaliação da base do tronco dos indivíduos de <i>Spathodea campanulata</i> do campus UFV/Viçosa.....	46
Figura 6 - Classificação de risco das árvores de <i>Spathodea campanulata</i> avaliadas segundo as diferentes metodologias.....	64
Figura 7 – Semelhança de cada metodologia com as demais avaliadas quanto classificação de risco das árvores de <i>Spathodea campanulata</i>	65
Figura 8 – Tempo médio gasto (minutos) para a avaliação de cada indivíduo de <i>Spathodea campanulata</i> para as diferentes metodologias de avaliação visual de risco de queda.....	68
Figura 9 – MPs alocados na árvore para inserção dos eletrodos e sensores.....	79
Figura 10 – Aferição da geometria da árvore com o equipamento Pícus Calliper.....	79
Figura 11 – Sensores do tomógrafo sônico fixado ao ponto de medição na árvore e emissão da onda por meio de martelo sônico.....	80
Figura 12 – eletrodos fixados nos pontos de medição para a execução do tomograma de resistência elétrica (ERT).....	81
Figura 13 – Escala colorimétrica produzida pelo tomograma sônico (SoT).....	81
Figura 14 - Escala colorimétrica produzida pelo tomograma por resistência elétrica (ERT).....	82
Figura 15 – indivíduos de <i>Spathodea campanulata</i> com defeitos pronunciado da condição interna do tronco, segundo tomograma sônico (SoT).....	84
Figura 16 – indivíduos de <i>Spathodea campanulata</i> com defeitos internos do tronco em menores proporções, segundo tomograma sônico (SoT).....	85
Figura 17 - indivíduos de <i>Spathodea campanulata</i> em condição de deterioração interna na porção central do tronco, segundo tomograma de resistência elétrica (ERT).....	87

Figura 18 - indivíduos com regiões de baixa condutividade elétrica, segundo tomograma de resistência elétrica (ERT).....	88
Figura 19 - indivíduos com regiões de baixa condutividade elétrica, mas com presença de cavidade previamente conhecida segundo tomograma de resistência elétrica (ERT).....	89
Figura 20 – árvores com resultados de decaimento interno distintos entre tomograma sônica (SoT) e de resistência elétrica (ERT).....	90
Figura 21 – indivíduos com diagnósticos conflitantes entre os equipamentos.....	91
Figura 22 – Caracterização da condição interna do tronco para os indivíduos de <i>Spathodea campanulata</i> avaliados pelos dois tomógrafos.....	92
Figura 23 - processo de supressão dos indivíduos de <i>Spathodea campanulata</i> no campus da UFV.....	103
Figura 24 – problemas visualizados no corte do tronco dos indivíduos de <i>Spathodea campanulata</i> e a relação com o diagnóstico por meio de tomogramas.....	106
Figura 25 – comparação do corte do tronco dos indivíduos de <i>Spathodea campanulata</i> com os tomogramas sônico e de resistência elétrica.....	108/109
Figura 26 – comparação entre os cortes do tronco e os tomogramas de indivíduos de <i>Spathodea campanulata</i> com presença de rachadura.....	111
Figura 27 – comparação entre os cortes do tronco de indivíduos de <i>Spathodea campanulata</i> e os tomogramas indicando deterioração precoce do lenho.....	113
Figura 28 – parâmetros avaliados pelas metodologias de análise visual presentes nos indivíduos de <i>Spathodea campanulata</i> com danos internos no tronco.....	115
Figura 29 - Parâmetros identificados com as análises visuais nas árvores com presença de cavidade.....	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Resultado do teste Exato de Fisher e Qui – Quadrado de Pearson para os parâmetros utilizados na avaliação dos indivíduos de <i>Spathodea campanulata</i>	46
Tabela 2 – Valores de p obtidos com o teste de Wilcoxon para dados pareados entre as medianas das diferentes metodologias.....	66
Tabela 3 – Valores da correlação de Pearson entre o tempo gasto na avaliação com o grau de risco e DAP das árvores de <i>Spathodea campanulata</i> em Viçosa/MG.....	69

SUMÁRIO

Introdução geral	15
Referências bibliográficas.....	17
Revisão bibliográfica	19
Referências bibliográficas.....	28
CAPÍTULO 1 – Parâmetros associadas à queda de indivíduos de <i>Spathodea Campanulata</i> P. BEAUV. após evento climático extremo	
Resumo	34
Abstract.....	36
Introdução	38
Metodologia	39
Resultados e discussão.....	42
Conclusão.....	48
Referências bibliográficas.....	48
CAPÍTULO 2 - Diferentes metodologias para análise visual do risco de queda de árvores urbanas aplicadas em <i>Spathodea campanulata</i> P. BEAUV.....	
Resumo	53
Abstract.....	55
Introdução	57
Metodologia	58
Resultados e discussão.....	62
Conclusão.....	69
Referências bibliográficas.....	69
CAPÍTULO 3 - Análise da condição interna do tronco em <i>Spathodea Campanulata</i> P. BEAUV. por meio de tomograma sônico e de resistência elétrica.....	
Resumo	73
Abstract.....	74

Introdução	75
Metodologia	76
Resultados e discussão	82
Conclusão.....	92
Referências bibliográficas.....	92
CAPÍTULO 4 - Associação da condição interna do tronco de <i>Spathodea campanulata</i> P. BEAUV. com os tomogramas e parâmetros de análise visual de risco	
Resumo	96
Abstract	98
Introdução	98
Metodologia	101
Resultados e discussão	104
Conclusão.....	117
Referência bibliográficas	118
Conclusão geral.....	122
APÊNDICE A	123
APÊNDICE B	124
APÊNDICE C	125
ANEXO I	128
ANEXO II.....	130
ANEXO III	131
ANEXO IV	132
ANEXO V.....	133
ANEXO VI.....	134

INTRODUÇÃO GERAL

A ONU estima que até 2050, 68% da população mundial terá migrado para os centros urbanos (UNITED NATIONS, 2019). Essa crescente demanda por áreas urbanizadas é preocupante, visto que a falta de uma solução para travar o avanço devastador deste processo desordenado encaminha todas as discussões para a gestão e planejamento sustentável das cidades, como forma de melhorar a qualidade de vida desses lugares e atingir alguma sustentabilidade (QUEIROZ, 2018).

A vegetação presente nos ambientes urbanos atua como um importante indicador da qualidade ambiental e tem sido cada vez mais estudada, tanto em níveis técnicos como científicos (BARGOS, MATIAS, 2011; SILVA, 2019). No entanto, a falta de planejamento, que considere os elementos da natureza, ainda é um problema grave, gerando, além do empobrecimento da paisagem urbana, diversos problemas, em virtude da complexidade dos centros urbanos (LOBODA, DE ANGELIS, 2005; NÓBREGA *et al.*, 2018).

Os problemas urbanos têm impacto direto na rotina da população, podendo ocasionar diversos malefícios à saúde como doenças respiratórias, cardiovasculares e até psíquicas (BORGES *et al.*, 2010). Por isso a gestão integrada e eficiente dos componentes urbanos é essencial na atualidade, uma vez que o desenvolvimento das metrópoles é fundamentado na grande concentração de pessoas e serviços (AMATO LOURENÇO *et al.*, 2016).

Nesse sentido, o bom funcionamento da infraestrutura verde aparece como ferramenta essencial, uma vez definida como a rede de espaços verdes interconectados que conservam valores naturais de um ecossistema e que proveem benefícios às populações humanas (COUTTS, HAHN, 2015).

Diversos estudos apontam evidências concretas da associação entre a presença de áreas verdes com a melhoria de qualidade de vida (AMATO LOURENÇO *et al.*, 2016), além de ressaltar seu benefício ambiental, por meio de serviços ecossistêmicos, como atenuação climática (OLIVEIRA *et al.*, 2011), redução de escoamento superficial e da concentração de poluentes atmosféricos, redução de ruídos, impacto de ventos e incidência solar em pavimentos e construções (NOWAK *et al.*, 2007) e diminuição do estoque de carbono na atmosfera (DAVIES *et al.*, 2011).

Mesmo com os inúmeros benefícios fornecidos, as árvores podem também ser a causa de danos materiais e humanos, advindos de conflitos entre as estruturas cinza e verde, como o levantamento dos passeios devido ao crescimento das raízes em espaços insuficiente (RANDRUP *et al.*, 2003) ou a queda de ramos ou da própria árvore, em situações de vento

forte, por vezes associados a níveis de precipitação elevados (OLIVEIRA, LOPES, 2007). Nesses casos, geralmente, se escolhe remover as árvores em detrimento do desenvolvimento urbano (CEMIG, 2011; PEREIRA, 2017).

Para a maioria das pessoas, a árvore é percebida uma estrutura estática e permanente, no entanto, esses indivíduos, sejam de ciclo longo ou não, inevitavelmente entrarão em colapso em algum momento (KONTOGIANNI *et al.*, 2011), levando bens e pessoas à potenciais prejuízos. Por essa razão, gestores de todo o mundo têm procurado implementar sistemas para avaliar e gerenciar o risco de queda das árvores, a fim de dissipar os temores e aumentar a conscientização popular a respeito da inserção desses elementos nos centros urbanos (LONSDALE, 2012).

Para isso ser possível, o regime de inspeção da arborização urbana e sua implantação precisam ser eficientes por meio, principalmente, da aplicação das avaliações visuais de risco e do uso de novas tecnologias, quando necessário. Esse aspecto, porém, ainda constitui a maior limitação da gestão do componente verde urbano, uma vez que a conscientização sobre a necessidade de monitoramento da arborização é algo novo para muitas cidades no mundo (LONSDALE, 2012).

Concomitantemente, observa-se, ainda, tendência a um aumento da ocorrência de tempestades severas com fortes ventos, principalmente em países de clima tropical, os quais constituem um dos maiores esforços a que as árvores estão sujeitas (JAMES, 2003; EMERICK, MARTINI, 2020).

A carência de estudos e ferramentas padronizadas, realmente eficientes, capazes de prever o potencial de falha da árvore, é o maior limitante de uma gestão assertiva da arborização urbana atual e, com o crescente número de acidentes envolvendo esse componente, se faz necessária à reavaliação dos parâmetros e metodologias eficientes para diagnosticar a situação real das árvores nas cidades.

O objetivo geral do estudo foi aprimorar o diagnóstico da avaliação de risco de queda de árvores urbanas, por meio de diferentes metodologias, para compreender as particularidades e efetividade dos parâmetros aplicados nesta atividade. Para isso, os objetivos específicos foram:

- i. determinar os parâmetros associadas à queda de indivíduos de *Spathodea campanulata* após evento climático extremo (capítulo I);
- ii. comparar métodos de avaliação visual do risco de queda de árvores urbanas de modo a apresentar as vantagens e desvantagens de cada metodologia (capítulo II);

- iii. analisar a condição interna do tronco de *Spathodea campanulata* por meio de tomograma sônico (SoT) e de resistência elétrica (ERT), associando os resultados entre os equipamentos (capítulo III);
- iv. verificar quais parâmetros observados na análise visual podem estar associados a real condição interna do tronco, bem como se os tomogramas SoT e ERT refletem esta condição (capítulo IV).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMATO LOURENÇO, L. F., MOREIRA, T. C. L., ARANTES, B. L. de, SILVA FILHO, D. F. MAUAD, T. Metrôpoles, cobertura vegetal, áreas verdes e saúde. **Estudos Avançados**, v. 30, n. 86, p. 113-130, 2016.

BARGOS, D. C.; MATIAS, L. F. Áreas verdes urbanas: Um estudo de revisão e proposta conceitual. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 6, n. 3, p. 172–188, 2011.

BORGES, C. A. R. F.; MARIM, G. C.; RODRIGUES, J. E. C. Análise da cobertura vegetal como indicador de qualidade ambiental em áreas urbanas: um estudo de caso do bairro da Pedreira – Belém/PA. In: Seminário Latino Americano de Geografia Física, 6. 2010, Coimbra. **ACTAS**. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2010.

CEMIG - Companhia Energética De Minas Gerais. **Manual de arborização**. Belo Horizonte: Superintendência do Meio Ambiente/CEMIG, 2011. 40 p.

COUTTS, C.; HAHN, M.G. Infrastructure, Ecosystem Services, and Human Health. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v.8, n.12, 2015.

DAVIES, Z. G., EDMONDSON, J. L., HEINEMEYER, A., LEAKE, J. R., GASTON, K. Mapping an urban ecosystem service: quantifying above-ground carbon storage at a city-wide scale. **Journal of Applied Ecology**, v.48, n.5, p.1125-34, 2011.

EMERICK, T. G.; MARTINI, A. Diagnóstico da arborização após a ocorrência de evento climático extremo. **Nature and Conservation**, v.13 n.1, p.77-85, 2020.

JAMES, K. Dynamic loading of trees. **Journal of Arboriculture**, v.29, n.3, p.165-171, 2003.

KONTOGIANNI, A. TSITSONI, T., GOUDELIS, G. An index based on silvicultural knowledge for tree stability assessment and improved ecological function in urban ecosystems. **Ecological Engineering**, v. 37, n. 6, p. 914 – 919, 2011.

LOBODA, C. R.; DE ANGELIS, B. L. D. Áreas verdes públicas urbanas: conceitos, usos e funções. **Revista Ambiência**, v.1 n.1, p. 125-139, 2005.

LONSDALE, D. Current issues in arboricultural risk assessment and management. **Arboricultural Journal**, v. 30, n. 2, p. 163 – 174, 2012.

NÓBREGA, C. C., SOUTO, P. C., RAMOS, T. M., DE ARAÚJO, L. H. B., LUCENA, E. O., BORGES, C. H. A. Análise de áreas verdes urbanas no município de Patos, Paraíba. **ACSA**, v.14, n.3, p.204-212, 2018.

NOWAK, D. J.; DWYER, J.F. **Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems**: Urban and community forestry in the northeast. Springer Netherlands, p.25-46, 2007.

OLIVEIRA, S.; ANDRADE, H.; VAZ, T. The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon. **Building and Environment**, v.46, n.11, p.2186-94, 2011.

OLIVEIRA, S.; LOPES, A. Metodologia de avaliação do risco de queda de árvores devido a ventos fortes. O caso de Lisboa. In: CONGRESSO DE GEOGRAFIA PORTUGUESA, 6. **Anais...** Lisboa, 2007.

PEREIRA, B. **Análise dos efeitos do entorno urbano sobre o sistema radicular de árvores viárias de São Mateus do Sul – Paraná**. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2017.

QUEIROZ, D. A. H. O. **Avaliação da qualidade das áreas verdes urbanas: uma abordagem com base nas suas funções**. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2018.

RANDRUP, T.B., MCPHERSON, E.G., COSTELLO, L.R. A review of tree root conflicts with sidewalks, curbs and roads. **Urban Ecosystems**, v. 5, p. 209-225, 2003.

SILVA, V. F. **Neutralização de carbono: adaptabilidade e desenvolvimento de espécies florestais no ambiente urbano**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2019.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. **World Urbanization Prospects: The 2018 Revision**. New York, 2019.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Importância das árvores no meio urbano

As áreas verdes podem ser definidas como o conjunto de áreas livres de edificação, ordenadas ou não, revestidas de vegetação, e que exercem funções de proteção ambiental, integração paisagística ou arquitetônica e/ou recreativa (FADIGAS, 1993; NICODEMO, PRIMAVESI, 2009).

Efetivamente, tem-se observado que na paisagem urbana tais espaços podem minimizar os impactos ambientais decorrentes do crescimento urbano, melhorando o ambiente químico e físico, moderando o microclima e a temperatura do ar; melhorando a hidrologia urbana e a qualidade do ar; reduzindo ruídos; controlando a erosão; aumentando a biodiversidade, bem como reduzindo as necessidades energéticas de uma cidade. A floresta urbana pode, ainda, proporcionar numerosos outros benefícios, como os estéticos, psicológicos e socioeconômicos, com reflexos positivos no bem-estar dos cidadãos e no valor do patrimônio imobiliário (ALMEIDA, 2006).

Já é comprovada a importância da vegetação para o bem-estar humano dentro das cidades. Os serviços ecossistêmicos das florestas urbanas vão muito além das mudanças na estrutura física, afetando a interação entre as pessoas e sua percepção de bem-estar (FERREIRA DA SILVA et al., 2019), sendo relacionadas positivamente até mesmo a algumas doenças mentais ao passo que provoca a redução de estresse e aceleração da recuperação de pacientes (BOWLER et al., 2010; BRATMAN et al., 2012).

Além disso, os vegetais são responsáveis pelo giro da economia no planeta, assimilando o CO₂ atmosférico, através de fotossíntese, e transformando o carbono em compostos orgânicos que são a base de alimentos, energia e materiais de consumo. Dessa forma, qualquer impacto sobre as plantas afetaria indiretamente o homem (BUCKERIDGE, 2015).

Quando se fala da influência econômica da vegetação urbana, por sua vez, a discussão vai além, já que a qualidade da paisagem em centros comerciais é percebida e processada de maneira a influenciar o comportamento do comprador, que busca não só bens e serviços, mas também experiências associadas com atividades agradáveis. Dessa forma, uma atmosfera local mais agradável resulta em maior permanência do consumidor no comércio, acarretando maiores ganhos (WOLF, 2004).

Estudos realizados em Washington revelam que a cada ano, o componente arbóreo fornece, ainda, \$ 3,6 bilhões em valores estruturais (por exemplo, fornecendo sombra para

resfriar edifícios) e \$ 2,5 milhões em valores funcionais, como remoção de poluição (NOWAK *et al.*, 2006; FANG *et al.*, 2020).

Ainda assim, existe dificuldade ao se reconhecer o valor das árvores na paisagem de ambientes comerciais pelos empresários do setor. Muitos acreditam que o bloqueio de sinal de internet ou diminuição de espaço nas calçadas podem reduzir os ganhos potenciais com vendas, por exemplo (WOLF, 1997, 2004).

Dessa forma, é de fundamental importância uma difusão maior de conhecimento sobre o papel das árvores na melhoria do ambiente urbano, bem como suas funções sociais, econômicas e de saúde pública (TYRVÄINEN *et al.*, 2005), de modo a contribuir com a conscientização das pessoas, evitando problemas futuros.

Problemas relacionados às árvores urbanas

As árvores urbanas, embora associadas a uma infinidade de serviços e benefícios, podem representar risco potencial para pessoas e propriedades próximas (KOESER *et al.*, 2020).

No Brasil, onde mais de 80% da população habita o meio urbano (IBGE, 2015), a qualidade das árvores é amplamente reconhecida como premissa central para a sustentabilidade de populações em constante expansão (XIAO, MCPHERSON, 2005; HUANG *et al.*, 2007; FANG *et al.*, 2020).

Mesmo com a importância da arborização para a qualidade de vida, o planejamento e a gestão quando realizados de forma inadequada podem gerar problemas para a população e resultar em perdas materiais ou mesmo fatalidades (BRESSANE *et al.*, 2018; EMERICK, MARTINI, 2020). A falta de valorização e atenção à floresta pública é uma das principais causas que levam à sua deterioração e dificulta a sua introdução no planejamento territorial (MEDINA *et al.*, 2017).

É importante considerar que enquanto nas áreas rurais, a regeneração natural se encarrega de repor alterações no ambiente, numa área urbana são necessários programas efetivos de manejo, uma vez que os solos se apresentam compactados, resultantes de escavação e aterro, e por vezes contaminados devido à impermeabilização da superfície do solo, a qual pode levar a alterações na qualidade das águas de escoamento superficial (VARENNES, 2003). O que torna o planejamento dessas áreas para o estabelecimento das árvores mais complexo.

Além disso, as condições ambientais que as árvores encontram na cidade apresentam outras adversidades, como modificações no clima e na qualidade do ar, limitações de espaço

para crescimento e alterações na qualidade da radiação incidente, por exemplo, quando comparadas com ambientes não urbanizados (PAOLLETTI *et al.*, 2002), o que provoca redução no tempo de vida das árvores urbanas (MCPHERSON *et al.*, 1997).

Para suportar esse estresse, em geral, as árvores são mecanicamente 'otimizadas' para garantir a sua estabilidade estrutural (TERHO, 2009) e, de acordo com Lonsdale (1999), existem apenas dois pontos de fraqueza importantes em sua estrutura: a formação de bifurcações fracas e a incapacidade das raízes de resistir a ventos muito fortes.

No entanto, a queda de árvores e/ou galhos ainda é um problema em várias cidades do mundo (PEREIRA *et al.*, 2011), sendo o principal fator de causas de acidentes com pessoas e danos estruturais ao patrimônio público e privado durante eventos climáticos extremos (SARAIVA, 1983; DUARTE, 2018).

Só na capital de Minas Gerais, Belo Horizonte, em 2018, foram suprimidas mais de 10 mil árvores em risco de queda, sendo investidos cerca de 15 milhões de reais para podas e remoções, além de registrada uma morte civil provocada por queda de árvore durante temporal (SUBSECRETARIA DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL DE BELO HORIZONTE, 2018; EMERICK, MARTINI, 2020).

Já na capital de São Paulo, entre os anos de 2013 e 2014 houve um aumento de 72% no total de árvores caídas, enquanto que entre 2014 e 2015, o aumento foi de 41,5% (ESTADÃO, 2016). Para 2019, a Defesa Civil do município apontou 2,5 mil árvores perdidas em tempestades de verão, tendo a prefeitura gasto cerca de 200 mil reais com indenizações a proprietários de veículos danificados (DEFESA CIVIL DE SÃO PAULO, 2019).

A queda de árvores em São Paulo já foi associada aos mais diversos fatores, como inadequação das espécies, biodeterioração do tronco por organismos xilófagos e condições climáticas desfavoráveis (IPT, 2004). Mas a inexistência de dados e estatística fornecida pelas subprefeituras aponta para a necessidade de aplicação de critérios técnico-científicos padronizados para o diagnóstico quanto ao risco de queda e o estado fitossanitário das árvores urbanas, bem como um sistema de coleta de dados quali-quantitativos da condição dos indivíduos para a gestão da arborização urbana de todo o país, com foco no manejo preventivo (BRAZOLIN, 2009).

Esse modelo já é adotado em outros países, como nos Estados Unidos, onde são investidos cerca de 15 milhões de dólares na cidade de Washington para o gerenciamento de árvores urbanas, a fim de alimentar um banco de dados para localizar e identificar os atributos de cada indivíduo arbóreo desde 2006 (FANG *et al.*, 2020).

Ações como essa devem se tornar cada vez mais comuns no mundo, devido à tendência ascendente de falha de árvores, que faz com que os municípios sejam cada vez mais responsabilizados pela correção de suas políticas e pela precisão da manutenção de suas árvores no futuro (HAAFTEN *et al.*, 2016).

Para isso, é importante o conhecimento de ferramentas eficientes e modernas capazes de orientar as intervenções necessárias na floresta urbana das cidades, onde a diminuição do risco de queda constitui, muitas vezes, uma atividade econômica e tecnicamente inviável (DE LA BARRA *et al.*, 2018).

Avaliação do risco de queda de árvores no meio urbano

O crescimento da população nos centros urbanos trouxe consigo o interesse em estudar e gerenciar de maneira sustentável as árvores dentro e ao redor da cidade (MIRANDA *et al.*, 2018). No entanto, a percepção do risco de possíveis danos causados por árvores em áreas urbanas é um tópico de pesquisa ainda pouco recorrente (POKORNY, 2003; MATHENY, CLARK, 2009), principalmente no Brasil.

É conhecido que as árvores urbanas apresentam um risco ou potencial de falha que pode colocar as pessoas em perigo e/ou danificar suas propriedades (KOESER *et al.*, 2016), sendo, normalmente, relacionado a peculiaridades da espécie, idade, injúrias, estrutura da copa, sensibilidade a pragas e doenças, espaço disponível para crescimento e práticas de manejo silvicultural, por exemplo (TERHO, HALLAKSELA, 2005; SMILEY *et al.*, 2007; KOESER *et al.*, 2017; CASTRO *et al.*, 2019).

Tais situações de risco das árvores podem ser parcialmente controladas, mas não podem ser removidas sem sua total supressão (DE LA BARRA *et al.*, 2018), fato que acarreta o desafio de desenvolver um gerenciamento adequado, a fim de garantir um nível aceitável de risco (TOMAO *et al.*, 2015). No Brasil, é raro a arborização urbana passar por um planejamento prévio, visto a ausência de políticas públicas voltadas ao setor, bem como a falta de conscientização da população quanto à importância desse recurso (SANTOS, 2001; SCHALLENBERGER, 2010), tendência que pode ser encontrada em toda a América do Sul, onde existe grande carência de estudos acerca de metodologias adequadas para determinação das condições de risco de árvores urbanas (CASTRO *et al.*, 2019).

Por isso, Ferreira (2017) acredita que há ainda grandes limitações para inferências quanto ao risco de queda de uma árvore em todo o mundo, principalmente pela escolha dos parâmetros analisados, como as relacionadas às estruturas mais complexas e que participam de maiores interações, como raízes, por exemplo.

Os métodos básicos de avaliação de risco visual comumente usados nos Estados Unidos, por exemplo, são de natureza qualitativa (KOESER *et al.*, 2016) e mesmo aqueles que se esforçam para ser quantitativos (ELLISON, 2005) são forçados a enfrentar pelo menos um obstáculo verdadeiramente qualitativo - a avaliação da probabilidade de falha (ELLISON, 2007, KOESER *et al.*, 2015; KOESER, SMILEY, 2017).

Essa dependência de parâmetros subjetivos na classificação de risco torna o treinamento indispensável para evitar equívocos, visto que os resultados da avaliação podem variar significativamente de avaliador para avaliador (NORRIS, 2007, STEWART *et al.*, 2013). Por isso, a precisão falsa em um método de avaliação pode criar um viés consistente que afasta o nível de risco percebido do risco real de falha da árvore, além disso, muitos deles são ferramentas consistentes, mas não efetivamente precisas (KOESER; SMILEY, 2017). Embora alguns estudos tenham investigado a precisão dessas metodologias, poucos deles, trataram realmente das práticas atuais de inspeção, especialmente no que diz respeito à caracterização da probabilidade de falha (KOESER *et al.*, 2020).

Desse modo, faz-se necessário a criteriosa análise de métodos para contribuir com uma seleção mais viável em contextos locais, enquanto se aguarda a adaptação ou desenvolvimento de um método para análise visual de risco de queda de árvores urbanas específico para o país (DE LA BARRA *et al.*, 2018).

Metodologias de Análise de Risco de Queda de Árvores Urbanas

Uma das ferramentas básicas para o gerenciamento de árvores urbanas são os inúmeros padrões e fórmulas de avaliação do risco de árvores urbanas existentes em todo o mundo. Todos eles produzem resultados muito diferentes, pois usam uma variedade de critérios e parâmetros (MEDINA *et al.*, 2017).

A avaliação de risco de queda é um processo sistemático para identificar, analisar e avaliar o risco associado à falha de uma árvore ou parte dela (DUNSTER *et al.*, 2013). Todos os métodos básicos de avaliação de risco de árvores comumente empregados são semelhantes, considerando três fatores principais: (1) probabilidade de impacto ao falhar, (2) probabilidade de falha estrutural da árvore e (3) consequências da falha caso um alvo seja atingido (MATHENY; CLARK, 1994, POKORNY, 2003; ELLISON, 2005; SMILEY *et al.*, 2011; DUNSTER *et al.*, 2013).

Embora a prevenção de lesões induzidas por árvores ou danos à propriedade seja uma preocupação universal entre os profissionais da área, poucos pesquisadores tentaram validar ou comparar os métodos de avaliação de risco empregados em avaliações de campo

(HICKMAN *et al.*, 1995; ROONEY *et al.*, 2005; NORRIS, 2007; KLEIN *et al.*, 2016; KOESER *et al.*, 2017).

O *American National Standards Institute* (ANSI), instituição norte americana vinculada a *International Organization for Standardization* (ISO), foi pioneiro na criação de medidas referentes a análise de risco em árvores. Esta organização propôs a categorização das análises em três diferentes níveis, de acordo com a particularidade de cada situação, por meio da norma ANSI300 (FERREIRA, 2017). De acordo com esse padrão, em cenários urbanos, onde as árvores são abundantes e os recursos financeiros escassos, a avaliação mais simples refere-se ao nível 1, que consiste em uma análise visual limitada, generalista, cujo objetivo é principalmente identificar os problemas acentuados para um conjunto grande de árvores, a partir de um mesmo ângulo de visão. O nível 2, consiste em uma análise visual básica individualizada da árvore, mais detalhado do que o anterior e verifica todo o entorno da árvore, com possibilidade de instrumentação mínima, como binóculos, sondas e outras ferramentas. O nível 3 trata-se da categoria onde se enquadram as avaliações avançadas, incluindo, por exemplo, análises de deterioração interna do lenho, direção de ventos e carga estática (KOESER *et al.*, 2013).

Para auxiliar na análise de nível 2 proposta pela ANSI, a *International Society of Arboriculture* (ISA) sugere a utilização do método *Tree Risk Assessment Qualification - TRAQ* (2013), que consiste em uma inspeção visual detalhada da árvore com intuito de quantificar os defeitos que afetam a probabilidade da falha (DUARTE, 2018). Este método combina a probabilidade de falha da árvore com a probabilidade de impacto em uma matriz e, em seguida, combina essa probabilidade com as consequências da falha em uma segunda matriz (KOESER, SMILEY, 2017), gerando um grau final de risco que define o melhor manejo a ser adotado.

Embora essa metodologia seja comumente utilizada na América do Norte, para o gerenciamento de risco de árvores urbanas, sua adoção não é isenta de críticas, uma vez que separa a condição de risco em níveis questionáveis, necessitando de que a probabilidade de falha seja melhor explorada para abordar diferenças discerníveis entre as classes propostas (COX, 2008; KOESER *et al.*, 2020). Além disso, trata-se de uma metodologia que tem como base um formulário pago e recomendado para uso por profissionais devidamente certificados pela organização.

Na Europa e na Ásia verificam-se outras realidades. Em Portugal, por exemplo, a avaliação de risco de árvores é usualmente realizada pelas Câmaras Municipais em ação conjunta com os Regimentos Sapadores de Bombeiros de Lisboa (RSBL), apresentando

grande incompatibilidade entre civis, pesquisadores e governo, visto a ausência de um formulário simples e padronizado que possa ser preenchido pelos agentes, além da inexistência de um banco de dados consistente sobre as florestas urbanas locais (OLIVEIRA, LOPES, 2007).

Pesquisadores de Hong Kong, na China, criaram um método baseado em abordagem dupla, onde as condições de sítio e da árvore são analisadas separadamente. Dessa forma, é analisada primeiramente a situação da área, mensurando o grau de risco de dano por meio de implicações do possível alvo, em seguida, é analisada a condição do indivíduo arbóreo, onde deve ser considerada a gravidade de aspectos como: doenças, cabeamento imperfeito, restrição ao crescimento, presença de cavidades, podas, hastes codominantes, raízes aneladas, etc. A cidade chinesa pretende, ainda, envolver a população nas atividades de avaliação de risco de queda, uma vez que conta com mais de um milhão de exemplares arbóreos em sua composição urbana (TREE MANAGEMENT BUREAU, 2012; FERREIRA, 2017).

Na Finlândia, assim como em muitos locais do mundo, é aplicado o método *Visual Tree Assessment* - VTA (TERHO, 2009). Criado por Matheck e Broeler (1994), que se baseia na inspeção visual de sintomas, diagnósticos de defeitos e na vitalidade de uma árvore, juntamente com a determinação da força residual da mesma, buscando inferir se algum defeito perturba a tensão constante que ocorre dentro do indivíduo (MATHECK, BROELER, 1994).

Terho (2009), porém, defende que tais diretrizes não consideram a compartimentalização e a dinâmica no processo fisiológico da árvore, fazendo com que sua aplicação dependa muito da experiência do avaliador, o que pode limitar o uso do VTA.

No Brasil, além da TRAQ realizada pelos arboristas certificados, a metodologia proposta por Seitz (2005) é bem difundida e sugere a avaliação por meio de diagnose visual das condições gerais das árvores e seus fatores de risco de queda em diferentes frações (copa, tronco e base). Cada item recebe pontuação de 0 a 5, onde 0 representa mínima contribuição ao risco e 5 sua máxima contribuição. O autor considera, ainda, o alvo potencial e seus efeitos colaterais em caso de queda da árvore, variando em 1, 3 ou 5 a depender do grau de ocupação humana local. Desse modo, é obtido um grau de risco por meio da soma entre o mais alto valor encontrado na avaliação visual das condições gerais da árvore e o risco atribuído ao alvo e efeitos colaterais, variando de 3 (baixo risco) a 15 (risco muito elevado) (DUARTE, 2018).

Muitos municípios têm desenvolvido, ainda, análises próprias, como é o caso do Rio de Janeiro, onde o manejo da floresta urbana é realizado pela Comlurb (Companhia Municipal de Limpeza Urbana) utilizando o Protocolo de Risco de Queda de Árvores, criado pela

Secretaria Municipal de Conservação e Meio Ambiente da Prefeitura do Rio de Janeiro para a Fundação Parques e Jardins, em 2018. Por meio disso, é realizada a avaliação da condição do espécime, quanto ao seu equilíbrio, estrutura, conflitos e estado fitossanitário e sua conformidade é avaliada considerando o alvo, adequação da espécie e fatores associados ao sítio. Cada subitem dessas categorias se divide em classes que serão numeradas com 0 (zero), 1 (um), 3 (três) ou 5 (cinco), conforme a situação verificada, de forma a gerar a condição geral do espécime por meio do valor do somatório em cada subitem, variando entre satisfatória, regular, insatisfatória ou crítica. Dessa forma, é possível que, ao final da avaliação, se recomende o melhor manejo para cada situação (RIO DE JANEIRO, 2018).

Existe, ainda, no país um esforço recente em desenvolver padrões para a análise de risco, por meio da criação de uma norma brasileira, a NBR 16246-3 (ABNT, 2019), que prevê a orientação do manejo de árvores, arbustos e outras plantas lenhosas nos mesmos níveis propostos pela ANSI A300 (ANSI, 2006). Embora seja uma iniciativa importante, a norma brasileira se baseia em parâmetros norte-americanos, não refletindo de maneira plena a realidade brasileira na gestão da arborização urbana.

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) talvez ainda seja a referência nacional devido ao seu pioneirismo na avaliação não destrutiva do estado das árvores, bem como risco de queda (FERREIRA, 2017). O método de diagnóstico padrão utilizado pelo IPT atualmente se constitui de análise visual externa baseada em dendrometria junto à prospecção não destrutiva (uso de tomógrafo por impulso e por impedância elétrica e *pulling test*), seguida de categorização quanto ao risco de queda orientado por um modelo matemático baseado nos princípios da biomecânica (IPT, 2016). O instituto ressalta, porém, que há problemas quanto ao cálculo de cargas do vento, por exemplo, onde reside à complexidade do parâmetro vibração, além disso, reconhece os erros associados aos equipamentos utilizados, que não se adaptam a biodiversidade brasileira, sendo em sua maioria fabricados na Alemanha.

É importante atentar-se que, embora as tecnologias avançadas de detecção do risco se mostrem eficazes na quantificação de defeitos internos, não está claro como as informações adicionais fornecidas por tais instrumentos afetam as avaliações de risco com relação à probabilidade de falha (KOESER *et al.*, 2017), que, por outro lado, é bem identificada nas análises visuais.

É notável, ainda, que as políticas voltadas para o componente arbóreo das cidades variam fortemente em termos de estrutura, aplicação e domínio (DICKERSON *et al.*, 2001; CONWAY, URBANI, 2007; LAVY, HAGELMAN, 2017), o que dificulta a criação de um

padrão internacional e, até mesmo nacional em países com grande diversidade botânica, como é o caso do Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. L. B. S. **O valor das árvores: árvores e floresta urbana de Lisboa**. Tese (Doutorado) - Universidade de Lisboa, Lisboa, 2006.
- ANSI. American National Standards for Tree Care Operations—Tree, Shrub, and Other Woody Plant Maintenance—Standard Practices (Integrated Vegetation Management. A. Electric Utility Rights-of-Way). ANSI A300 (Part 7). **American National Standards Institute Inc.**, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16246-3: Florestas urbanas — Manejo de árvores, arbustos e outras plantas lenhosas Parte 3: Avaliação de risco de árvores. Rio de Janeiro, 2019.
- BELO HORIZONTE. Subsecretaria de Proteção e Defesa Civil. Belo Horizonte, 2018. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/integrantes/obras-e-infraestrutura>>. Acesso em: 09 de Março de 2020.
- BOWLER, D. E. A systematic review of evidence for the added benefits to health of exposure to natural environments. *BMC Public Health*, v.10, p.456, 2010.
- BRATMAN, G. N.; HAMILTON, J. P.; DAILY, G. C. The impacts of nature experience on human cognitive function and mental health. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v.1249, n.1, p.118-36, 2012.
- BRAZOLIN, S. **Biodeterioração, anatomia do lenho e análise de risco de queda de árvores de tipuana, Tipuana tipu (Benth.) O. Kuntze, nos passeios públicos da cidade de São Paulo, SP**. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- BRESSANE, A., BAGATINI, J. A., BIAGOLINI, C. H., ROVEDA, J. A. F., ROVEDA, S. R. M. M., FENGLER, F. H., LONGO, R. M. Neuro-Fuzzy Modeling: A Promising Alternative For Risk Analysis In Urban Afforestation Management. *Revista Árvore*, v.42, n.1, 2018.
- BUCKERIDGE, M. Árvores urbanas em São Paulo: planejamento, economia e água. *Estudos Avançados*, v. 29, p. 85-101, 2015.
- CASTRO, D. C., ALESSO, C. A., IACONIS, A., CERINO, M. C., BUYATTI, M. Factors Influencing Street Tree Hazard Condition In Rafaela, Argentina. *Revista Árvore*, v. 43, n.4, 2019.
- DE LA BARRA, J. R., PONCE – DONOSO, M., VALLEJOS – BARRA, O., MOSQUERA, G. D., DUARTE, A. P. C. Comparación de Cuatro Métodos de Evaluación Visual del Riesgo de Árboles Urbanos. *Colomb. for.*, Bogotá , v. 21, n. 2, p. 161-173, 2018 .
- DUARTE, P. G. D. S. **Comparação de métodos de análises de risco de queda de árvores urbanas: eficiência técnica, ergonômica e econômica**. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2018.

DUNSTER, J. A., SMILEY, E. T., MATHENY, N., LILLY, S. **Tree Risk Assessment Manual**. International Society of Arboriculture, Champaign, 2013.

ELLISON, M. J. Quantified tree risk assessment used in the management of amenity trees. **Journal of Arboriculture**, v. 31, n.2, p. 57-65, 2005.

ELLISON, M. Moving the focus from tree defects to rational risk management—a paradigm shift for tree managers. **Arboricultural Journal**, v. 30, n.2, p. 137-142, 2007.

EMERICK, T. G.; MARTINI, A. Diagnóstico da arborização após a ocorrência de evento climático extremo. **Nature and Conservation**, v.13, n.1, p.77-85, 2020.

FADIGAS, L. S., **A Natureza na Cidade, uma perspectiva para a sua integração no tecido urbano**. Tese (Doutorado em Arquitectura) - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, p. 116, 1993.

FANG, F., MCNEIL, B., WARNER, T., DAHL, E. G., EUTSLER, E. Street tree health from space? An evaluation using WorldView-3 data and the Washington D.C. Street Tree Spatial Database. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 49, 2020.

FERREIRA, D. **Análise de risco de queda de árvores: a espécie *Tilia tomentosa* Moench no Parque Dr. Manuel Braga, Coimbra/Portugal**. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Biotecnologia Vegetal) - Universidade de Coimbra. Portugal, 2017.

HAAFTEN, M. A. VAN., MEUWISSEN, M. P. M., GARDEBROEK, C., KOPINGA, J., Trends in financial damage related to urban tree failure in the Netherlands. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 15, p. 15-21, 2016.

HICKMAN, G. W., PERRY, E., J. EVANS, R. Validation of a tree failure evaluation system. **J. Arboric.**, v. 21, p. 23-34, 1995.

HUANG, W. , LAMB, D.W. , NIU, Z. , ZHANG, Y. , LIU, L. , WANG, J. Identification of yellow rust in wheat using in-situ spectral reflectance measurements and airborne hyperspectral imaging. **Precis. Agric.**, v. 8, n.4-5, p. 187-197, 2007.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios (PNAD)**. Rio de Janeiro, 2015.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Relatório técnico do diagnóstico e análise de risco de queda das árvores de vias públicas da cidade de São Paulo: Projeto Operação Árvore Saudável**. São Paulo: IPT, Divisão de Produtos Florestais, v. 1, 45 p., 2004.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SP, 2016. Disponível em: <http://www.ipt.br/noticia/288.htm>. Acesso em: 09 de Março de 2020.

ISA - International Society of Arboriculture. **Tree Risk Assessment Qualification (TRAQ)**. 2013.

- JIM, C. Y. Arboricultural recommendations for urban Hong Kong. **Arboricultural Journal**, v. 14, p. 139-148, 1990.
- JIM, C. Y. Pressure on urban trees in Hong Kong: pervasive problem and possible amelioration. **Arboricultural Journal**, v. 22, p. 37-60, 1998.
- KLEIN, R. W., KOESER, A. K., HAUER, R. J., HANSEN, G., ESCOBEDO, F. J. Relationship between perceived and actual occupancy rates in urban settings. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 19, p. 194-201, 2016.
- KOESER, A. K., HASING, G., MCLEAN, D., & NORTHROP, R. **Tree Risk Assessment Methods : A Comparison of Three Common Evaluation Forms 1**, 2013.
- KOESER, A. K., KLEIN, R. W., HASING, G., NORTHROP, R. J. Factors driving professional and public urban tree risk perception. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 14, p. 968-974, 2015.
- KOESER, A. K., HAUER, R. J., MIESBAUER, J. W., & PETERSON, W. Municipal tree risk assessment in the United States: Findings from a comprehensive survey of urban forest management. **Arboricultural Journal**, v. 38, n. 4, p. 218-229, 2016.
- KOESER, A. K. & SMILEY, E. T.. Impact of assessor on tree risk assessment ratings and prescribed mitigation measures. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 24, p. 109-115, 2017.
- KOESER, A. K., HAUER, R. J., KLEIN, R. W., MIESBAUER, J. W. Assessment of likelihood of failure using limited visual, basic, and advanced assessment techniques. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 24, p.71-91, 2017.
- KOESER, A. K., SMILEY, E. T., HAUER, R. J., KANE, B., KLEIN, R. W., LANDRY, S. M., SHERWOOD, M. Can Professionals Gauge Likelihood of Failure? - Insights from Tropical Storm Matthew. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 51, 2020.
- LAVY, B.L., HAGELMAN, R.R. Spatial and temporal patterns associated with permitted tree removal in Austin, Texas, 2002–2011. **The Professional Geographer**, v. 69 n. 4, p. 539-552, 2017.
- LONSDALE, D. Princípios de avaliação e gerenciamento de riscos de árvores. **Manual da Comissão Florestal**, v. 7, 1999.
- MATHENY, N. & CLARK, J. **A Photographic Guide to the Evaluation of Hazard Trees in Urban Areas**. (2 ed.), International Society of Arboriculture, Champaign, IL, p.85, 1994.
- MATHENY, N., J. CLARK. Tree risk assessment. **Arborist News** v. 19, n.1, p.28-33, 2009.
- MATTHECK, C. & BRELOER, H. Field guide for visual tree assessment (VTA). **Arboricultural Journal**, v. 18, p. 1-23, 1994.

MCPHERSON, G.; NOWAK, D; HEISLER, G.; GRIMMOND, S.; SOUCH, C.; GRANT, R.; ROWNTREE, R. Quantifying urban forest structure, function, and value: the Chicago Urban Forest Climate Project. **Urban Ecosystems**, v. 1, p. 49-61, 1997.

MEDINA, H. B., DE OLIVEIRA AZEVEDO, M. T., GUSHIKEN, Y. “100em1Dia Cuiabá”: Micropolíticas urbanas, mobilização social e ações para a cidadania. **Revista Internacional de Folkcomunicação**, v. 15, n. 34, p. 42-57, 2017.

MIRANDA, R. P., FERNANDEZ A. S., ALVAREZ, N. D. F., LEYVA, G. B., BAUTISTA, V. N. Riesgo del arbolado urbano: estudio de caso en el Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza, **Rev. mex. de cienc. forestales**, México , v. 9, n. 45, p. 208-228, 2018

NICODEMO, M. L. F., PRIMAVESI, O. Por que manter árvores na área urbana? **Embrapa Pecuária Sudeste**, São Carlos, 2009.

NORRIS, M. Tree Risk Assessments – What Works – What Does Not – Can We Tell? A review of a range of existing tree risk assessment methods. **In: ISAAC Conference Perth 2007** p. 1-31, 2007.

NOWAK, D., HOEHN, R., CRANE, D., STEVENS, J., WALTON, J. Assessing urban forest effects and values: Washington, D.C.’s **Urban For. Urban Green.**, v. 24, 2006.

OLIVEIRA, S., & LOPES, A. VI Congresso da Geografia Portuguesa Lisboa, 17-20 de outubro de 2007. **Anais...**2007.

PAOLLETTI, E.; KARNOSKY, D.; PERCY, K., **Urban trees and air pollution**. In: Konijnendijk, C.; Schipperijn, J.; Hoyer, K. (Eds) *Forestry Serving urbanised societies*. IUFRO World, Vienna. v. 14, n.129-159, p. 130, 2002.

PEREIRA, P. Estudo de caso do risco de queda de árvores urbanas em via pública na cidade de Dois Vizinhos- PR. **Synergismus Scyentifica**, v.6, n.1, p.1-10, 2011.

POKORNY, J. **Urban Tree Risk Management: A Community Guide to Program Design and Implementation**, USDA, 2003.

QUASE 1,5 mil árvores caíram desde Janeiro na cidade de São Paulo. **Estadão**, São Paulo, 18 de maio de 2016. Disponível em: <<https://sao-paulo.estadao.com.br/noticias/geral,quase-1-5-mil-arvores-cairam-desde-janeiro-em-sao-paulo,10000051933>>. Acesso em: 13 de março de 2020.

RIO DE JANEIRO. Fundação Parques e Jardins. PORTARIA FPJ Nº DE 136 DE 17 DE JULHO DE 2018. Estabelece procedimentos para Análise Técnica Visual de Espécimes Arbóreos, situados em áreas públicas e privadas, nas solicitações de remoção, poda e transplântio e dá outras providências. **Diário Oficial do Município do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, 18 de Julho de 2018. p. 65.

ROONEY, C. J., RYAN, H. D. P., BLONJARZ, D. V., KANE, B. C. P. The reliability of a windshield survey to locate hazards in roadside trees. **J. Arboric.** V. 31, p. 89-94, 2005.

SARAIVA, G. A. J. **Aerodinâmica dos edifícios altos: características do escoamento e resposta à turbulência de formas prismáticas**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Lisboa, 1983.

SÃO PAULO. Defesa Civil. São Paulo, 2019. Disponível em: <<http://www.defesacivil.sp.gov.br/>>. Acesso em 09 de março de 2020.

SCHALLENBERGER, L. S., DE ARAUJO, A. J., DE ARAUJO, M. N., DEINER, L. J., DE OLIVEIRA MACHADO, G. Avaliação da condição de árvores urbanas nos principais parques e praças do município de Irati-Pr. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 5, n.2, p. 105-123, 2019.

SEITZ, R. **Avaliação visual de árvores de risco**. FUPEF/SBAU, Curitiba, 26 p. 2005.

SILVA, E. M. F. D., BENDER, F., MONACO, M. L. D. S. D., SMITH, A. K., SILVA, P., BUCKERIDGE, M. S., LOCOSSELLI, G. M. Um novo ecossistema: florestas urbanas construídas pelo Estado e pelos ativistas. **Estudos Avançados**, v. 33, p. 81-102, 2019.

SMILEY, E. T., FRAEDRICH, B. R., FENGLER, P. H. Hazard Tree Inspection, Evaluation, and Management. In: Kuser JE. Urban and Community Forestry in the Northeast. **Springer**, p. 277-294, 2007.

SMILEY, E.T., MATHENY, N., LILLY, S. Best Management Practices: Tree Risk Assessment. **International Society of Arboriculture**, Champaign, IL, p. 81, 2011.

TERHO, M., HALLAKSELA, A. M. Potential hazard characteristics of Tilia, Betula, and Acer trees removed in the Helsinki City Area during 2001-2003. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 3, n. 2, p.113-20, 2005.

TERHO, M. An assessment of decay among urban Tilia, Betula, and Acer trees felled as hazardous. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 8, n. 2, p. 77-85, 2009

TOMAO, A., SECONDI, A., CORONA, P., GIULIARELLI, D., QUANTRINI, V. Y AGRIMI, M. Can composite indices explain multidimensionality of tree risk assessment? A case study in an historical monumental complex. **Urban Forest & Urban Greening**, v. 14, n. 3, p. 456-465, 2015.

TREE CARE INDUSTRY ASSOCIATION. ANSI 300 Standards.

TREE MANAGEMENT BUREAU, D. **Guidelines for Tree Risk Assessment and Management Arrangement On an Area Basis and on a Tree Basis**, 2012.

TRYVÄINEN, L.; PAULEIT, S.; SEELAND, K.; VRIES, S. 2005. Benefits and uses of urban forest and trees. In: KONIJNENDIJK, C.C.; NILSSON, K.; RANDRUP, T. B.; SCHIPPERIJN, J. (Eds). Urban Forests and Trees, **Springer**, p. 81-114, 2005.

VARENNE, A. **Produtividade dos solos e ambiente**. Escolar Editora, Lisboa. 490 p., 2003.

WOLF, K. L. Enterprising landscapes: Business districts and the urban forest. **In:** *Cities by Nature's Design: Proceedings of the 8th National Urban Forest Conference*, edited by C. Kollin. Washington D.C.: American Forests, 1997.

WOLF, K. L. Nature in the retail environment: comparing consumer and business response to urban forest conditions. **Landscape Journal**, v. 23, p. 40-51, 2004.

XIAO, Q., MCPHERSON, E.G. Tree health mapping with multispectral remote sensing data at UC Davis, California. **Urban Ecosyst.**, v. 8, n. 3-4, p. 349-361, 2005.

CAPÍTULO 1

PARÂMETROS ASSOCIADAS À QUEDA DE INDIVÍDUOS DE *Spathodea campanulata* P. BEAUV. APÓS EVENTO CLIMÁTICO EXTREMO

RESUMO

EMERICK, Tamílis das Graças, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2021. **Parâmetros associadas à queda de indivíduos de *Spathodea Campanulata* P. BEAUV. após evento climático extremo.** Orientadora: Angeline Martini. Coorientadora: Marina Moura de Souza.

A frequente ocorrência de mais tempestades de vento catastróficas atribuídas a mudanças climáticas deve acontecer no futuro, esses eventos trazem danos diretos às árvores, principalmente em regiões de clima tropical, onde a maioria das falhas de árvores urbanas se dá durante temporais. Em outubro de 2019, uma tempestade severa com volumosa precipitação e ventos de até 82,4 km/h atingiu a cidade de Viçosa, Minas Gerais, causando diversos danos referentes à arborização urbana do *campus* da Universidade Federal de Viçosa, onde muitos indivíduos da espécie *Spathodea campanulata* foram afetados. O objetivo desse trabalho foi determinar quais parâmetros estiveram associadas à queda desses indivíduos após o evento climático extremo. Para isso, foi utilizado estudos anteriores sobre a avaliação do risco de queda de todos os indivíduos desta espécie e seu diagnóstico pós-evento climático extremo, que estabeleceu as seguintes classes de danos: irreversível, intermediário e sem danos. Dessa forma, foi possível realizar uma associação entre a contribuição de cada parâmetro presente no formulário de avaliação com os danos sofridos pelos indivíduos de *Spathodea campanulata*. Inicialmente foi realizada uma análise considerando apenas a observação ou não dos parâmetros por classe de dano, descartando-se os pesos atribuídos para cada parâmetro (originalmente aplicados pela metodologia), posteriormente estes pesos atribuídos foram utilizados na aplicação dos testes estatísticos de Fisher e Qui-Quadrado de Pearson. A análise geral realizada, indicou que dentre os 28 parâmetros utilizadas na avaliação visual, nove mostraram-se associadas a ocorrência de danos irreversíveis às árvores, sendo marcas de poda, galhos interferindo na rede, folhagem rala, galhos esguios, danos e lesões de casca no tronco, espaço ou área livre, neiloide, fungos e lesões na base. Já, por meio da análise estática, constatou-se que apenas seis parâmetros foram significativos, sendo: galhos interferindo na rede, folhagem rala, a ausência de neiloide, invasão da pista ou calçada, presença de fungos no tronco e na base.

Palavras-chave: Árvores urbanas. Planejamento urbano. Vento. Potencial de falha.

CHAPTER 1

PARAMETERS ASSOCIATED WITH THE FALL OF INDIVIDUALS OF *Spathodea campanulata* P. BEAUV. AFTER EXTREME CLIMATE EVENT

ABSTRACT

EMERICK, Tamilis das Graças, M.Sc, Universidade Federal de Viçosa, June, 2021. **Variables associated with the fall of individuals of *Spathodea Campanulata* P. Beauv. after extreme climate event.** Adviser: Angeline Martini. Co-adviser: Marina Moura de Souza.

The frequent occurrence of more catastrophic wind storms attributed to climate change is expected to happen in the future, these events bring direct damage to trees, especially in tropical climate regions, where most urban tree failures occur during thunderstorms. In October 2019, a severe storm with voluminous precipitation and winds of up to 82.4 km/h hit the city of Viçosa, Minas Gerais, causing several damages concerning the urban arborization of the campus of the Federal University of Viçosa, where many individuals of the species *Spathodea campanulata* were affected. The objective of this work was to determine which parameters were associated with the fall of these individuals after the extreme weather event. For this, we used previous studies on the assessment of the risk of falling of all individuals of this species and their diagnosis after the extreme weather event, which established the following classes of damage: irreversible, intermediate and no damage. Thus, it was possible to make an association between the contribution of each parameter present in the evaluation form with the damage suffered by individuals of *Spathodea campanulata*. Initially, an analysis was performed considering only the observation or not of the parameters per damage class, discarding the weights assigned for each parameter (originally applied by the methodology). Later, these weights were used in the application of Fisher's statistical test and Pearson's chi-square. The general analysis performed indicated that among the 28 parameters used in the visual evaluation, nine were associated with the occurrence of irreversible damage to trees, being pruning marks, branches interfering with the net, sparse foliage, slender branches, damage and bark lesions on the trunk, space or free area, neyloid, fungus and lesions at the base. By means of the static analysis, it was found that only six parameters were significant, being: branches interfering with the network, sparse foliage, the absence of neiloid, invasion of the road or sidewalk, and the presence of fungus on the trunk and base.

Key-words: Urban trees. Urban planning. Wind. Failure potential.

INTRODUÇÃO

Uma ocorrência mais frequente de tempestades de vento catastróficas atribuídas a mudanças climáticas deve acontecer no futuro (SEIDL *et al.*, 2014; TIPPNER *et al.*, 2019). Esses eventos trazem danos diretos às árvores (GARDNER *et al.*, 2013; CHIRICI *et al.*, 2017; TIPPNER *et al.*, 2019), principalmente em regiões de clima tropical, onde a maioria das falhas de árvores urbanas se dá durante temporais, principalmente se acompanhado de precipitação intensa, já que a infiltração da água da chuva reduz significativamente a rigidez e a resistência do solo onde a planta está ancorada (LI *et al.*, 2019).

As forças do vento, a expansão urbana e a topografia configuram os maiores desafios aos quais as árvores estão sujeitas no ambiente urbano (LI *et al.*, 2018; LEE *et al.*, 2018; KIM *et al.*, 2020). Prever a sua resposta a esforços externos do ambiente ainda é algo muito difícil, uma vez que se trata de uma estrutura com propriedades anisotrópicas¹, respondendo mecanicamente de forma mais complexa em comparação com materiais isotrópicos (ALBRETCH *et al.*, 2016). Além disso, sabe-se que o histórico de desenvolvimento da planta, como técnica e local de plantio, por exemplo, altera sua arquitetura final e que a variação de idade e espécie influenciam fortemente nas propriedades mecânicas (JAMES *et al.*, 2014; MANICKATHAN *et al.*, 2018).

As falhas mecânicas de uma árvore, por sua vez, estão relacionadas, normalmente, à ruptura de galhos individuais e falha do fuste ou do prato da raiz. Os problemas gerais de instabilidade, como falhas no tronco ou base, são mais destrutivos e representam maiores ameaças à segurança pública em comparação com as falhas individuais de ramos, especialmente em áreas urbanas com grande circulação de pessoas (LI *et al.*, 2019).

Embora a relação entre a carga do vento e a estrutura da árvore já tenha sido estudada, ainda não foi desenvolvido um entendimento detalhado do efeito dessa carga diante da estrutura e nas reações internas da madeira (HORACEK, 2003). Levando em conta que a falha das árvores causada pelo vento apresenta riscos para o ambiente urbano, para a segurança dos seres humanos e suas propriedades, determinar a estabilidade e o grau de risco a elas associado são indispensáveis e urgentes (KONTOGIANNI, 2011).

Diante disso, o papel dos gestores urbanos envolvidos no manejo de árvores ou na avaliação de sua estabilidade, torna-se cada vez mais necessário e mais sofisticado quanto às técnicas a serem aplicadas (LINDROTH *et al.*, 2009; SCHMIDLIN, 2009).

¹ Anisotrópico refere-se ao material apresentar propriedades que variam de acordo com a direção, sendo o oposto da natureza isotrópica, que implica em propriedades idênticas em qualquer orientação (ROSA, 2016).

O papel que as espécies de árvores desempenham na previsão de seu potencial de falha após eventos intensos de vento já foi analisado, mas poucos estudos foram capazes de relacionar falha a defeitos preexistentes e sem focar nas árvores urbanas (KOESER *et al.*, 2020). Apenas Hickman *et al.* (1995) foi capaz de gerar um primeiro vislumbre desse tipo, no entanto, seu trabalho apresenta limitações quanto ao intervalo entre os eventos de avaliação e falha dos indivíduos, a validade das classificações reais de risco e a ocorrência de uma tempestade no período de tempo estudado (KOESER *et al.*, 2020).

Dessa forma, é preciso que haja a disseminação de conhecimento acerca do assunto, para que se entendam os fatores que levam uma árvore à queda de fato, visando uma gestão sem riscos da floresta urbana.

O objetivo desse trabalho foi determinar os parâmetros associados à queda de indivíduos de *Spathodea campanulata* após evento climático extremo no *campus* da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG.

METODOLOGIA

O estudo foi conduzido no campus da Universidade Federal de Viçosa, na cidade de Viçosa, em Minas Gerais, situado nas coordenadas 20°45'37"S e 42°52'04" O, compreendendo uma área de 1.359 ha (PORTES *et al.*, 2009).

O município de Viçosa está inserido na porção noroeste da Zona da Mata de Minas Gerais, compreendendo o Domínio Morfoclimático de Mares de Morros, com clima classificado em tropical de altitude (VALVERDE, 1958; AMARAL, REIS, 2017) com período bem definido de chuvas volumosas e temperaturas mais elevadas e outro com baixos índices pluviométricos e temperaturas amenas (BATISTA, RODRIGUES, 2010).

A cobertura vegetal consta de remanescentes secundários de Floresta Estacional Semidecidual, do bioma Mata Atlântica (AGUIAR, TEIXEIRA, 2015). Já com relação à hidrografia, o município está inserido na bacia hidrográfica do Rio Doce, sendo abastecido pelo rio Turvo Sujo e, principalmente, pelo ribeirão São Bartolomeu que intercepta a área urbana central (ROQUE, 2013).

Considerado um dos *campi* universitários mais belos do país, a UFV conta com ampla área arborizada, importante para o lazer e recreação da comunidade local, com exemplares de diversas espécies arbóreas amplamente plantadas no ambiente urbano, úteis em diversos estudos referentes à floresta urbana, como o realizado por Alves e Martini (2020) sobre o risco de queda de indivíduos de *Spathodea campanulata*.

No estudo supracitado todos os 129 indivíduos de *Spathodea campanulata* presentes no *campus* foram mapeados e submetidos à análise visual de risco aplicando-se metodologia adaptada de Seitz (2005). O formulário utilizado contém 28 parâmetros para a avaliação de risco, sendo 13 relacionadas à copa das árvores, seis ao tronco e nove à base e raízes, variando entre 1, 3 e 5 para o grau de risco de queda (Anexo I).

Os formulários utilizados por Alves e Martini (2020) serviram como base de dados para fins de comparação com o levantamento de campo realizado após um evento climático extremo ocorrido no mesmo local. Este evento ocorreu na noite do dia 25 de outubro de 2019, onde o município de Viçosa sofreu com fortes chuvas e rajadas de vento. Às 21h foram registradas pelo INMET rajadas de vento com velocidade de 82,4 km/h e uma precipitação acumulada de 67,0 mm. Ao todo, em menos de cinco horas choveu 112,4 mm, mais do que todo o esperado para o mês inteiro. Em todo o município foram observados diversos danos desencadeados pelo evento climático, como queda de árvores, destelhamento de casas, falta no abastecimento de energia e comunicação, além de queda de placas e postes.

No dia seguinte à tempestade foi realizada coleta de dados na área de estudo com o objetivo de identificar os indivíduos de *Spathodea campanulata* significativamente danificados ou que vieram à queda (Figura 1). Nessa ocasião os danos sofridos pelos indivíduos foram caracterizados como:

- a) Irreversível - indivíduos que tiveram queda completa, com exposição da placa de raízes ou ruptura do tronco e galhos principais;
- b) Intermediário - indivíduos que apresentaram ponto de ruptura nos galhos com diâmetros acima de 20 cm, mas sem comprometimento total do indivíduo;
- c) Sem danos - indivíduos que não sofreram consequências visíveis, ou apenas perderam galhos mortos e/ou finos na extremidade da copa (diâmetro inferior a 5 cm).

Figura 1 – A: levantamento dos indivíduos danificados após evento climático extremo. B: dano por ruptura de galhos em indivíduo em *Spathodea campanulata*. C: dano por ruptura no tronco em indivíduo de *Spathodea campanulata*. D: dano por arrancamento de raiz em indivíduo de *Spathodea campanulata*.



Fonte: a autora

No momento da coleta de dados, foi, ainda, elaborado um croqui com a localização das árvores para facilitar o cruzamento das informações com o estudo anterior. Dessa forma, com tal conjunto de informações foi possível organizar os dados da análise de risco prévia de cada árvore por classes de dano sofrido e, assim, estabelecer quais parâmetros foram mais frequentes nas árvores que tiveram danos irreversíveis, bem como nas demais classes.

Os dados foram analisados com auxílio do *software* Excel e submetidos à análises estatísticas por meio do teste de Fisher Univariado e Qui-Quadrado de Pearson, a fim de medir a associação do dano à cada parâmetro, por meio do *software* RBio.

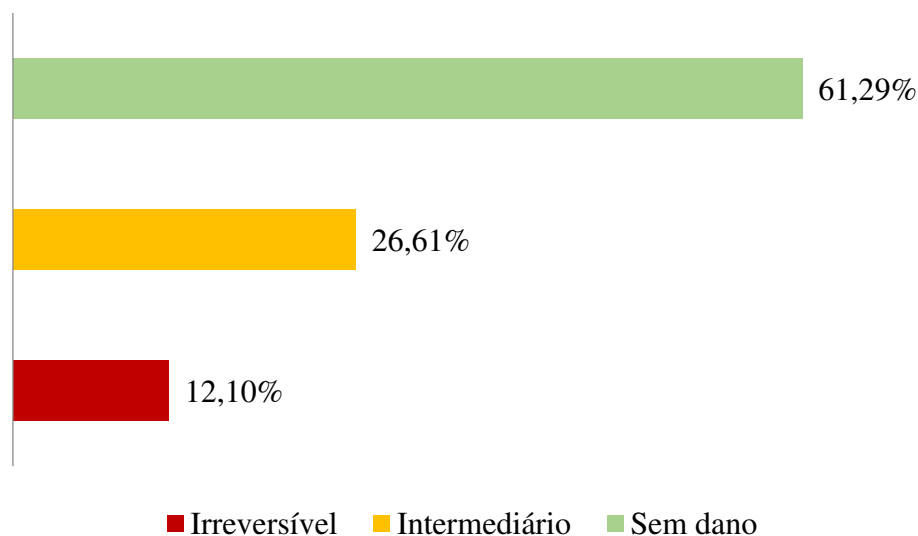
Foi possível, então, associar a contribuição de cada parâmetro presente no formulário aos danos reais sofridos por cada indivíduo de *Spathodea campanulata*, levando a inferir

sobre sua relevância em uma avaliação visual de risco de queda de árvores urbanas, bem como sua capacidade em prever o potencial de falha a elas associado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O evento climático extremo danificou 38,7% dos indivíduos de *Spathodea campanulata*, dos quais 31,3% tiveram danos irreversíveis (Figura 2). Do total de indivíduos existentes no campus, cerca de 60% não sofreram qualquer tipo de dano.

Figura 2 – Porcentagem de indivíduos de *Spathodea campanulata* danificados pelo evento climático extremo no campus da UFV/Viçosa.



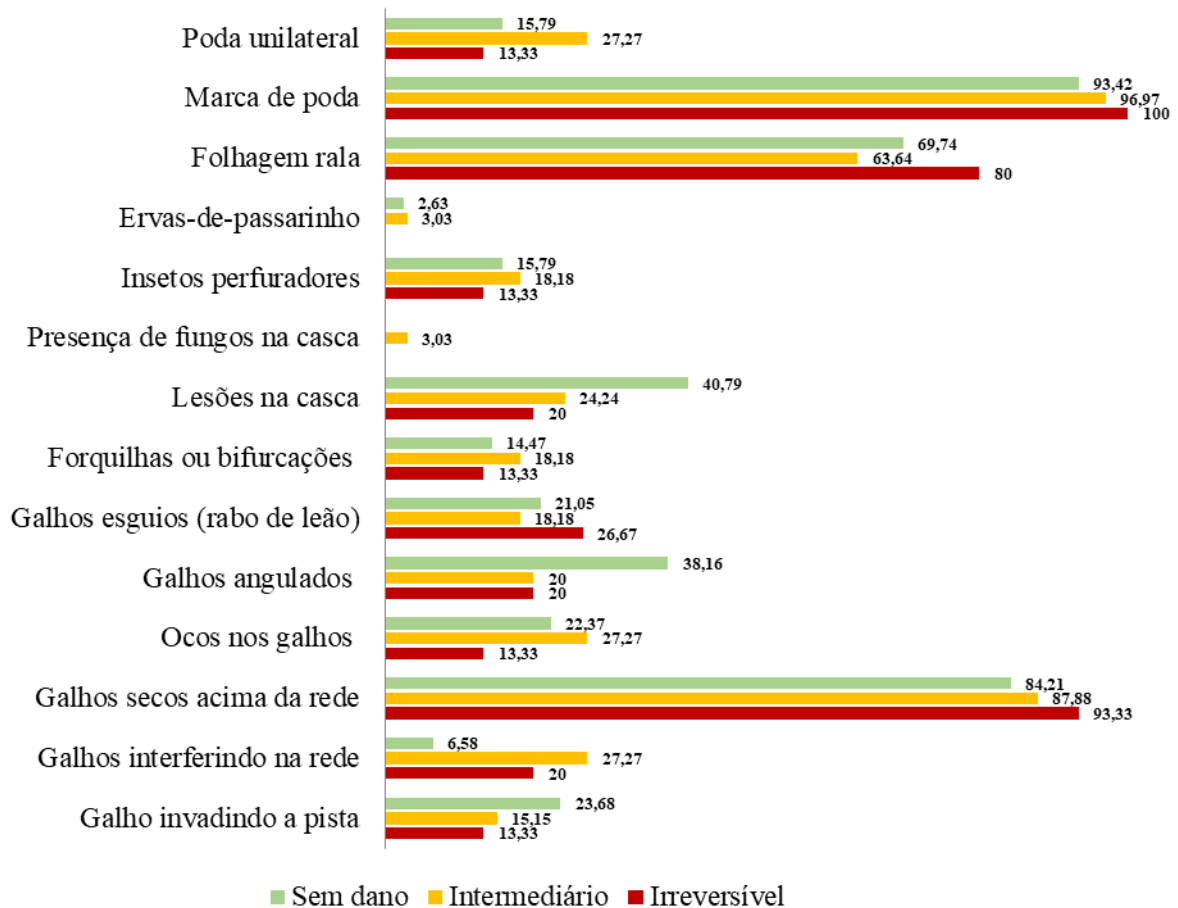
Fonte: a autora

A associação entre a contribuição de cada parâmetro presente no formulário e os danos reais sofridos por cada indivíduo de *Spathodea campanulata* indicaram que dos 14 parâmetros empregadas para observação na copa das árvores apenas quatro foram mais expressivas nos indivíduos com danos irreversíveis (Figura 3). Verificou-se que em 100% deles houve poda, sendo a maioria dos galhos retirados de diâmetro superior a 20 cm, 93% possuíam galhos secos acima da rede e 87% folhagem rala, 26% apresentavam, ainda, galhos esguios (rabo de leão).

A presença de poda excessiva em todos os indivíduos avaliados é um fator preocupante, uma vez que causa o desequilíbrio da árvore e pode aumentar seu potencial de falha ao longo do tempo. Isto se dá devido as árvores crescerem de forma adaptativa para, assim, suportar a força de ventos incidentes (LONSDALE, 2003; KONTOGIANNI, 2011), o que faz com que a remoção de parte da copa influencie na distribuição de massa foliar em toda a árvore (MOORE, AGUIRE, 2004). Uma interação harmoniosa entre seus componentes

pode impedir a geração de frequências de oscilação naturais e minimizar cargas dinâmicas extremas que potencialmente causariam falhas mecânicas (JAMES *et al.*, 2006).

Figura 3- Relação entre a classe de dano causado pelo evento climático extremo e os parâmetros referentes à avaliação da copa nos indivíduos de *Spathodea campanulata* do campus UFV/Viçosa.



Fonte: a autora

Além disso, um desequilíbrio entre a superfície assimilatória da copa (folhas) e a superfície de absorção de água e nutrientes (raízes finas) pode ser causado pelas podas. A reação da árvore será, então, a de recompor sua folhagem original, a partir de gemas epicórmicas, que produzem galhos com ligação deficiente com a base, constituindo fator de risco futuro (PINHEIRO; JÚNIOR, 2020).

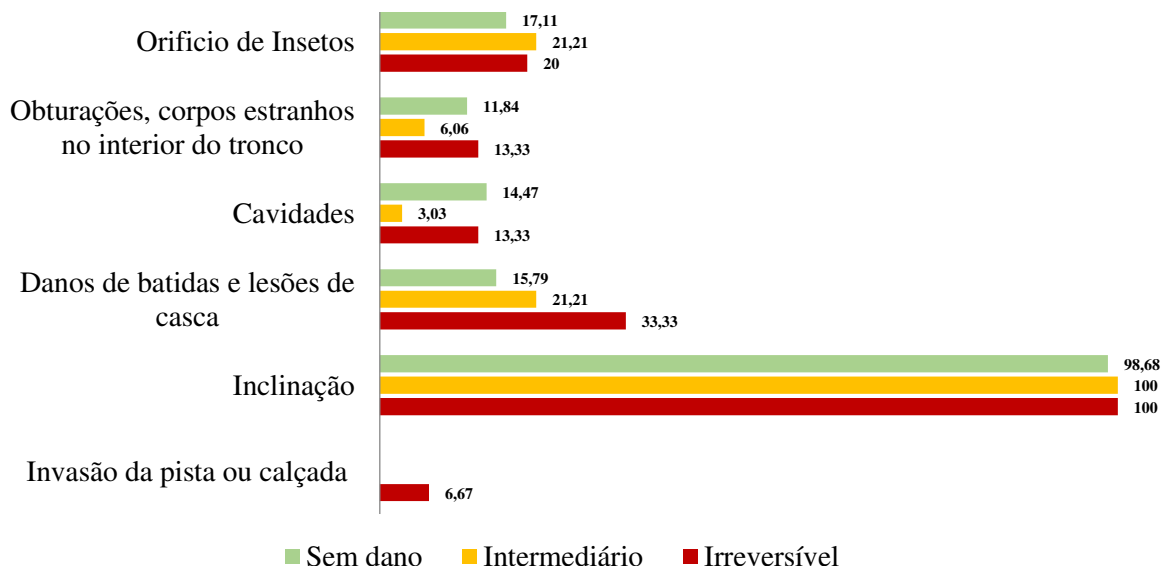
É possível estabelecer forte relação entre indivíduos que sofrem podas mais severas e aspectos fitossanitários negativos. Árvores sadias comumente não apresentam nenhum tipo de poda ou são submetidas a podas pouco impactantes, por outro lado, aspectos fitossanitários negativos são evidenciados com maior frequência em árvores com intervenções mais acentuadas, como poda drástica, poda de raiz, poda de galhos maiores ou a ação combinada de diferentes tipos de podas (MARTINS *et al.*, 2010).

O aspecto de folhagem rala, por sua vez, é tido por Seitz (2005) como indicativo de problemas no enraizamento das árvores ou outros distúrbios que possam estar alterando sua fisiologia (estresse ambiental), fato que corrobora com o alto número de indivíduos danificados apresentando podas de raízes e restrição de espaço ou área livre do canteiro para crescimento vegetativo.

Parâmetros referentes à presença de fungos e infestação por ervas de passarinho não apresentaram qualquer relação com a queda dos indivíduos avaliados. Destaca-se, ainda, que os parâmetros referentes à copa tiveram maior relação com danos relacionados à ruptura de galhos (classificados como intermediários), por esse motivo, a obtenção de valores menores nos danos irreversíveis do que intermediários pode ser um resultado justificável para este grupo. Assim, para o nível intermediário de dano os parâmetros que se destacaram foram: presença de poda unilateral, danos causados por insetos perfuradores, forquilhas ou bifurcações, ocos nos galhos e interferência de galhos na rede.

Para a avaliação do tronco foram considerados sete parâmetros, dos quais três foram mais importantes para o dano irreversível: a presença de fungos no tronco, danos de batidas e lesões de casca e invasão da pista ou calçada (Figura 4).

Figura 4 – Relação entre o grau de dano causado pelo evento climático extremo e a avaliação do tronco os indivíduos de *Spathodea campanulata* do campus UFV/Viçosa.



Fonte: a autora

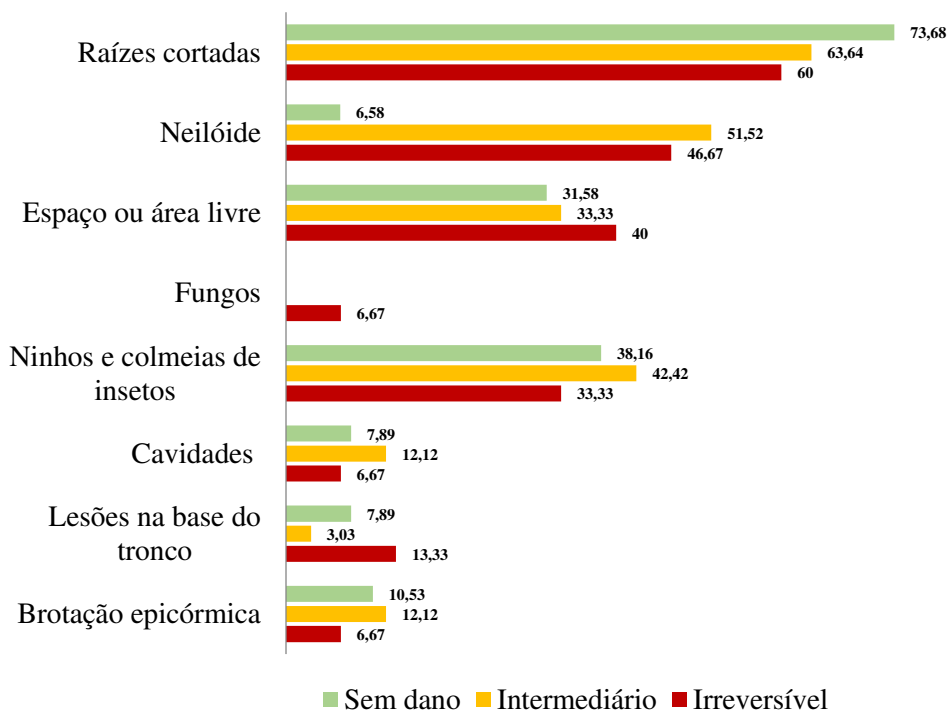
Devido à baixa porcentagem de árvores com danos irreversíveis diagnosticadas com presença de fungos e invadindo a pista/calçada, pode-se inferir que apenas os danos com batidas e lesões de casca demonstraram relação direta. Destaca-se ainda, que embora todos os

indivíduos com danos irreversíveis tenham apresentado inclinação do tronco, esta característica também foi comum nos indivíduos das demais classes.

As lesões de casca podem contribuir para o processo de decomposição da madeira, uma vez que compromete a compartimentalização de feridas, podendo, assim, desencadear grave instabilidade estrutural do tronco (JIM, ZHANG, 2013). Devendo ser evitado por meio de melhores práticas de manejo da arborização urbana.

A avaliação considerou, ainda, oito parâmetros referentes ao estado da base do tronco, onde a restrição de espaço ou área livre do canteiro, ausência da forma neilóide, presença de fungos e as lesões na base do tronco predominaram nos indivíduos danificados, quando comparados àqueles que não sofreram danos (Figura 5).

Figura 5- Relação entre o grau de dano causado pelo evento climático extremo e a avaliação da base do tronco dos indivíduos de *Spathodea campanulata* do campus UFV/Viçosa.



Fonte: a autora

O corte de raízes também se mostrou um parâmetro importante, pois 60% das árvores que tiveram danos irreversíveis apresentaram essa característica, embora esse valor também tenha sido expressivo nas árvores que não apresentaram danos.

Cortar qualquer raiz ao redor do tronco pode aumentar o risco de falha prematura da árvore (SMILEY *et al.*, 2014), assim como características do local de plantio que impeçam seu aprofundamento tornam as árvores mais susceptíveis a queda por desenraizamento

(ACHIM *et al.*, 2005), além disso, danos e lesões na base do tronco são grandes indicadores de um sistema radicular debilitado (SEITZ, 2005).

A ausência da forma neiloide, por sua vez, leva a inferir sobre a ocorrência de aterro, que pode danificar as raízes e levar o indivíduo a instabilidade, além de ocultar demais problemas na base original (SEITZ, 2005), como a presença de nidificação na base do tronco, expressiva nos indivíduos com danos intermediários. Embora represente uma característica benéfica do ponto de vista ecológico, favorecendo a nidificação, a ocorrência desse parâmetro eleva fortemente o potencial de falha na base da árvore, uma vez que pode funcionar como indicadora de tecidos mortos e deteriorados (KANE *et al.*, 2015), que frequentemente são ocupados por animais nidificadores.

No geral, apenas 9 dentre os 28 parâmetros foram considerados preponderantes para inferir sobre o risco de queda dos indivíduos de *Spathodea campanulata*, que sofreram danos irreversíveis, sendo: marcas de poda em galhos com diâmetro acima de 20 cm, presença de galhos secos acima da rede, folhagem rala e galhos esguios (copa); danos com batidas e lesões de casca (tronco); restrição de canteiro, ausência de neiloide, espaço ou área livre do canteiro para expansão das raízes, presença de fungos e lesões na base do tronco (base do tronco).

Além disso, Day *et al.* (2010) acreditam que as diferenças ambientais têm importante papel no tamanho e na forma do tronco e, por isso, pesquisas futuras devem investigar até que ponto fatores locais, como hidrologia e densidade do solo, afetam seu desenvolvimento e alargamento, podendo facilitar a identificação de problemas até então invisíveis a esse tipo de avaliação, com a inclusão de parâmetros de fácil obtenção.

Com relação aos testes estatísticos realizados nas 129 árvores (antes e depois) para comprovar tais resultados, estes indicaram que apenas seis parâmetros estiveram diretamente associados ao risco de queda dos indivíduos, sendo eles: galhos interferindo na rede, folhagem rala, invasão da pista ou calçada, presença de fungos no tronco e na base e a ausência de neiloide (Tabela 1).

Tabela 1- Resultado do teste Exato de Fisher e Qui – Quadrado de Pearson para os parâmetros utilizados na avaliação dos indivíduos de *Spathodea campanulata*.

Parâmetro	p - valor	
	Qui – Quadrado	Fisher

Galhos invadindo a pista	0,1173 ^{ns}	0,1015 ^{ns}
Galhos interferindo na rede	0,0116**	0,0103**
Galhos secos acima da rede	0,0809**	0,1068 ^{ns}
Ocos nos galhos	0,6324 ^{ns}	0,7342 ^{ns}
Galhos angulados	0,6779 ^{ns}	0,7702 ^{ns}
Galhos esguios (rabo de leão)	0,1463 ^{ns}	0,0644 ^{ns}
Forquilhas ou bifurcações	0,8918 ^{ns}	0,9200 ^{ns}
Lesões na casca	0,1293 ^{ns}	0,1234 ^{ns}
Presença de fungos na casca	0,2491 ^{ns}	0,3871 ^{ns}
Insetos perfuradores	0,9226 ^{ns}	0,9588 ^{ns}
Ervas-de-passarinho	0,8031 ^{ns}	1,0000 ^{ns}
Folhagem rala	0,0053*	0,0046*
Marca de poda	0,3262 ^{ns}	0,3836 ^{ns}
Poda unilateral	0,2035 ^{ns}	0,1070 ^{ns}
Invasão da pista ou calçada	0,0256 ^{ns}	0,1210 ^{ns}
Inclinação	0,9078 ^{ns}	0,9729 ^{ns}
Danos de batidas e lesões de casca	0,0645 ^{ns}	0,1378 ^{ns}
Cavidades	0,6987 ^{ns}	0,5954 ^{ns}
Obturações, corpos estranhos no interior do tronco	0,6166 ^{ns}	0,6835 ^{ns}
Orifícios de insetos	0,8691 ^{ns}	0,7910 ^{ns}
Fungos no tronco	0,0256**	0,1210 ^{ns}
Brotação adventícia	0,9056 ^{ns}	0,9412 ^{ns}
Cavidades na base do tronco	0,6317 ^{ns}	0,6192 ^{ns}
Ninhos e colmeias de insetos na base do tronco	0,8251 ^{ns}	0,8296 ^{ns}
Fungos na base do tronco	0,0256**	0,1210 ^{ns}
Espaço ou área livre do canteiro	0,2036 ^{ns}	0,1959 ^{ns}
Neilóide	1,77e ^{-04*}	1,01e ^{-04*}
Raízes cortadas	0,6275 ^{ns}	0,6592 ^{ns}

* Significativo a 1% de probabilidade; ** Significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo.

Três parâmetros foram significativos apenas com relação ao Teste Qui-Quadrado de Pearson (galhos secos acima da rede, fungos no tronco e na base). Esse teste indica a existência de associação entre parâmetros distintos, por meio da diferença entre frequências esperadas e observadas de determinado evento, nesse caso, entre o dano irreversível e a pré-existência do defeito.

O Teste Exato de Fisher, por sua vez, infere sobre a dependência ou não entre dois parâmetros, dessa forma, mostra que o grau irreversível de dano teve relação, basicamente, com a existência de galhos interferindo na rede, neiloide e folhagem rala, parâmetros que foram significativos em ambos os testes. Cabe destacar que, muitas vezes, o teste Qui-Quadrado pode ser impreciso em pequenas amostras, dessa forma, considera-se como parâmetros principais apenas essas três.

Árvores com interferência de galhos na rede são alvos de podas frequentes, que podem levar ao seu desequilíbrio e aumentar o potencial de falha ao longo do tempo, causando a morte de raízes bem estabelecidas ao diminuir a exigência nutricional e fisiológica com a retirada de parte da copa (SEITZ, 2006; SAMPAIO *et al.*, 2010).

CONCLUSÃO

Dentre os 28 parâmetros presentes na metodologia de avaliação visual de risco de queda realizada, nove foram mais frequentes dentre os indivíduos de *Spathodea campanulata* danificados após o evento climático extremo ocorrido na Universidade Federal de Viçosa, estando assim mais associados ao dano.

Em indivíduos danificados de forma irreversível, na copa foram mais frequentes as marcas de poda, galhos interferindo na rede, folhagem rala e galhos esguios, enquanto no tronco foram danos e lesões de casca e na base espaço ou área livre, ausência de neiloide, fungos e lesões.

Foram estatisticamente significativos ao grau de dano mais alto seis parâmetros, sendo: galhos interferindo na rede, folhagem rala, invasão da pista ou calçada pelo tronco, presença de fungos no tronco e na base e a ausência de neiloide, onde três foram apontadas como mais importantes, devido ao resultado de ambos os testes aplicados - galhos interferindo na rede, folhagem rala e ausência de neiloide.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBRECHT, A., BADEL, E., BONNESOEUR, V., BRUNET, Y., CONSTANT, T., DÉFOSSEZ, P., DE LANGRE, E., DUPONT, S., FOURNIER, M., GARDINER, B., MITCHELL, S. J., MOORE, J.R., MOULIA, B., NICOLL, B.C., NIKLAS, K.J., SCHELHAAS, M.J., SPATZ, H.C., TELEWSKI, F.W. Comment on “critical wind speed at which trees break” **Phys. Rev. E**, v. 94, p. 5-6, 2016.

ACHIM, A., RUEL, A. D., GARDINER, B. A., CHAMA, G. A., MILLER, S. Modelling the vulnerability of balsam fir forests to wind damage. **Forest Ecology and Management**, v. 204, p. 35 – 50, 2005.

ALVES, M. C. A., MARTINI, A. Potencial de falha dos indivíduos de *Spathodea campanulata* existentes no campus da UFV, em Viçosa – MG. **REVSBAU**, v. 15, n. 2, p. 13 – 27, 2020.

BOSCHETTI, W. T. N., PAES, J. B., VIDAURRE, G. P., ARANTES, M. D. C., LEITE, F. Parâmetros dendrométricos e excentricidade da medula em árvores inclinadas de Eucalipto. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 108, p. 781 – 789, 2015.

BRAZOLIN, S., TOMAZELLO FILHO, M., YOJO, T., OLIVEIRA NETO, M. A. DE, ALBUQUERQUE, A. R., SETTE JÚNIOR, C. R. Propriedades físico-mecânicas do lenho deteriorado por fungos apodrecedores de árvores de *Tipuana tipu*. **CERNE**, v. 20, n.2, p. 183-190, 2014.

BRUN, F. G. C., LONGHI, S. J., BRUN, E. J., FREITAG, A. S., SHUMACHER, M. V. Comportamento fenológico e efeito da poda em algumas espécies empregadas na arborização do bairro Camobi – Santa Maria, RS. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 2, n. 1, p. 44 – 63, 2007.

CARVALHO, A. L. P., FERREIRA, D., SANTOS, M. C. M. P. N. Análise de risco de queda de árvores: *Tilia Tomentosa* Moench. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 14, n. 3, p. 01 – 16, 2019.

CHIRICI, G., BOTTALICO, F., GIANNETTI, F., DEL PERUGIA, D., TRAVAGLINI, D., NOCENTINI, S., KUTCHARTT, E., MARCHI, E., FODERI, C., FIORAVANTI, M., FATTORINI, L., BOTTAI, L., MCROBERTS, R. E., NÆSSET, E., CORONA, P., GOZZINI, B. Assessing forest windthrow damage using single-date, post-event airborne laser scanning data. **Forestry**, v. 91, n.1, p. 27-37, 2018.

CIFTCI, C., KANE, B., BRENA, S. F. Loss in moment capacity of tree stems induced by decay. **Trees**, v. 28, p. 517–529, 2014.

DAY, S. D., DICKINSON, S. B., WISEMAN, P., HARRIS, J.R. Tree root ecology in the urban environment and implications for a sustainable rhizosphere. **Arboric. Urban For.**, v. 36, n. 5, p. 193-205, 2010.

EMERICK, T. G.; MARTINI, A. Diagnóstico da arborização após a ocorrência de evento climático extremo. **Nature and Conservation** , v.13 n.1, p.77-85, 2020.

ENCINAS, O.; MORA, N. Padrones de degradación de las maderas de pino caribe, curarire y drago por *Gloeophyllum trabeum*, *Trametes versicolor*, y *Pycnoporus sanguineus*. In:

GRUPO DE INVESTIGACIÓN EM CONSERVACIÓN DE MADERAS, 2002, Mérida. **Anais...** Mérida: MARN, 2002. p. 1-14.

FERREIRA, F. A. **Patologia Florestal: Principais doenças florestais no Brasil**. Viçosa: Ed. da UFV, 570 p., 1989.

GARDINER, B., SCHUCK, A., SCHELHAAS, M. J., ORAZIO, C., BLENNOW, K., NICOLL, B. **Living With Storm Damage to Forests**, EFI, 132 p, 2013.

HICKMAN, G.W., PERRY, E., EVANS, R. Validation of a tree failure evaluation system. **Journal of Arboriculture**, v. 21, n.5, p. 233-234, 1995.

HORACEK, P. Introduction to the tree statics & static assessment. **Presentation Proc. Workshop**, Westonbirt, UK, p. 69, 2003.

JAMES, K.R., HARITOS, N., ADES, P.K. Mechanical stability of trees under dynamic loads. **Am. J. Bot.**, v. 93, n. 10, p. 1522-1530, 2006.

JAMES, K.R., DAHLE, G.A., GRABOSKY, J., KANE, B., DETTER, A. Tree biomechanics literature review: dynamics. **Arboric. Urban For.**, v. 40, p. 1-15, 2014.

KANE, B., WARREN, P. S., LERMAN, S. B. A broad scale analysis of tree risk, mitigation and potential habitat for cavity-nesting birds. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 14, n. 4, p. 1137 – 1146, 2015.

KIM, Y., RAHARDJO, H., TSEN-TIENG, D. L. Stability analysis of laterally loaded trees based on tree-root-soil interaction. **Urban Forestry & Urban Greening**. v. 49, 2020.

KOESER, A. K., SMILEY, E. T., HAUER, R. J., KANE, B., KLEIN, R. W., LANDRY, S. M., SHERWOOD, M. Can Professionals Gauge Likelihood of Failure? - Insights from Tropical Storm Matthew. **Urban Forestry & Urban Greening**, 2020.

KONTOGIANNI, A. TSITSONI, T., GOUDELIS, G. An index based on silvicultural knowledge for tree stability assessment and improved ecological function in urban ecosystems. **Ecological Engineering**, v. 37, n. 6, p. 914 – 919, 2011.

LEE, D.T.T., RAHARDJO, H., LEONG, E.C., FONG, Y.K.. Anchorage and stability in the root-soil plate systems of young Rain trees (*Samanea saman*). **Environ. Geotech.** Published Online, 2018.

LI, Y., RAHARDJO, H., IRVINE, K.N., LAW, A.W.K. CFD analyses of the wind drags on *Khaya Senegalensis* and *Eugenia Grandis*. **Urban For. Urban Green.**, v. 34, p. 29-43, 2018.

LI, Y., RAHARDJO, H., INVINE, K. N. Effect of weather conditions on leans of one *Eugenia Grandis* tree in Singapore. **Urban Forest & Urban Greening**, v. 43, 2019.

LINDROTH, A., LAGERGREN, F., GRELLE, A., KLEMEDTSSON, L., LANGVALL, O., WESLIEN, P., TUULIK, J. Storms can cause Europe-wide reduction in forest carbon sink. **Glob. Change Biol.**, v. 15, p. 346-355, 2009.

LONSDALE, D. Overview of Techniques and Procedures for Assessing the Probability of Tree Failure. **Conference Presentation**. Tree Statics and Tree Dynamics: New Approaches, 2003.

MANICKATHAN, L., DEFRAEYE, T., ALLEGRINI, J., DEROME, D., CARMELIET, J. Comparative study of flow field and drag coefficient of model and small natural trees in a wind tunnel. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 35, p. 230 – 239, 2018.

MARTINS, L. F. V., DE ANDRADE, H. H. B., & DE ANGELIS, B. L. D. Relação entre podas e aspectos fitossanitários em árvores urbanas na cidade de Luiziana, Paraná. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 5, n.4, 141-155, 2010.

MODES, K. S., LAZAROTTO, M., BELTRAME, R., VIVIAN, M. A., SANTINI, E. J., MUNIZ, M. F. B. Resistência natural das madeiras de sete espécies florestais ao fungo *Pycnoporus sanguineus* causador da podridão-branca. **CERNE**, v. 18, n. 3, p. 407-411, 2012.

MOORE, J.R., MAGUIRE, D.A. Natural sway frequencies and damping ratios of trees: concepts, review and synthesis of previous studies. **Trees**, v. 18, p. 195-203, 2004.

NORTH, E.A., JOHNSON, G.R., BURK, T.E. Trunk flare diameter predictions as an infrastructure planning tool to reduce tree and sidewalk conflicts. **Urban For. Urban Green.**, v. 14, n 1, p. 65-71, 2015.

PINHEIRO, C. V., JUNIOR, R. A. Efeito físico-ambiental da poda de árvores em Caraguatatuba-SP. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 8, n. 58, 2020.

ROSA, V. A. M, **Localização de danos em estruturas anisotrópicas com a utilização de ondas guiadas**. Dissertação (Mestrado em Mecânica dos Sólidos) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2016.

SAMPAIO, A. C. F.; DUARTE, F. G.; SILVA, E. G. C.; ANGELIS, B.L. D.; BLUM, C. T.. Avaliação de árvores de risco na arborização de vias públicas de Nova Olímpia, Paraná. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v.5, n.2, p.82-104, 2010.

SANTOS, V. H. M., MINATEL, I. O., LIMA, G. P. P., Antioxidant capacity and phytochemical characterization of *Spathodea campanulata* growing in different climatic zones in Brazil. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 24, 2020.

SCHMIDLIN, T. W. Human fatalities from wind-related tree failures in the United States, 1995–2007. **Nat. Hazards**, v. 50, n.1, p. 13-25, 2009.

SEIDL, R., SCHELHAAS, M. J., RAMMER, W., VERKERK, P. J. Increasing forest disturbances in Europe and their impact on carbon storage. **Nat. Clim. Change**, v. 4, p. 806-810, 2014.

SEITZ, R.. **Avaliação visual de árvores de risco**. Curitiba: FUPEF; SBAU, 2005.

SEITZ, R. Avaliação visual de árvores de risco (AVR). Mini-curso. In: X CBAU - Congresso Brasileiro de Arborização Urbana, Maringá, 2006. **Anais...** Maringá, 2006. CD-ROM.

SHORTLE, W. C., DUDZIK, K. R., & SMITH, K. T. Development of wood decay in woundinitiated discolored wood of eastern red cedar. **Holzforschung - International Journal of the Biology, Chemistry, Physics and Technology of Wood**, v. 64, n. 4, p. 529–536, 2010.

SMILEY, E. T., HOLMES, L., FRAEDRICH, B. R. Poda de raízes de contraforte e alterações de estabilidade do bordo vermelho. **Arboriculture & Urban Forestry**, v. 40, n. 4, p. 230 – 236, 2014.

TIPPNER, J., PRAUS, L., BRABEC, M., SEBERA, V., VOJACKOVA, B., MILCH, J., Using 3D digital image correlation in an identification of defects of trees subjected to bending. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 46, 2019

CAPÍTULO 2

METODOLOGIAS PARA ANÁLISE VISUAL DO RISCO DE QUEDA DE ÁRVORES URBANAS APLICADAS EM *Spathodea campanulata* P. BEAUV.

RESUMO

EMERICK, Tamílis das Graças, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2021. **Metodologias para análise visual do risco de queda de árvores urbanas aplicadas em *Spathodea campanulata* P. BEAUV.** Orientadora: Angeline Martini. Coorientadora: Marina Moura de Souza.

A preocupação com o risco de queda de árvores, desencadeada por acidentes fatais em ambiente urbano, aumentou o interesse de gestores de todo o mundo para o desenvolvimento de técnicas efetivas de avaliação para a prevenção de acidentes, sendo as técnicas de análise visual comprovadamente aceitas como um meio barato, eficiente e confiável de identificar árvores comprometidas. O objetivo do estudo foi comparar diferentes métodos de avaliação visual do risco de queda de árvores urbanas em indivíduos de *Spathodea campanulata* de modo a apresentar as vantagens e desvantagens de cada metodologia. Para isso, foram analisados 43 indivíduos da espécie situadas no campus Viçosa da UFV, por meio de cinco metodologias de análise visual de risco entre as mais recentes e utilizadas. A coleta de dados foi realizada entre os meses de dezembro/2020 e janeiro/2021, por meio de formulário criado no *Google Forms*. A classificação do grau de risco foi padronizada em alta, média e baixa para todas as metodologias e foram realizados os testes estatísticos de Kruskal – Wallis e Wilcoxon, por meio do software RBio, a fim de verificar a semelhança entre as mesmas. Além disso, o tempo gasto para análise foi cronometrado em cada avaliação e, posteriormente, realizada correlação de Pearson a fim de verificar a associação do tempo gasto com o grau de risco de queda e dimensões de DAP da árvore. Os resultados mostraram que 41,8% das árvores foram incluídas na classe de alto risco por todas as metodologias, tendo a metodologia II apresentado a menor variação entre os indivíduos, enquanto I foi a que distribuiu os indivíduos de forma mais equilibrada entre as classes de risco e a que apresentou maior diferenciação de resultados, ao contrário da III, que apresentou maior semelhança com as metodologias analisadas. Estatisticamente, a 5% de significância, I diferiu de todas as metodologias, enquanto II se mostrou igual apenas com a IV, já as demais se mostraram semelhantes. Com relação ao tempo de aplicação, V é a mais rápida e I a mais demorada. Não

foi encontrada alta correlação entre o tempo gasto e o grau de risco de queda de árvores ou DAP, embora este último explique cerca de metade do tempo gasto para análise com I e IV.

Palavras-chave: Potencial de falha. Gestão de risco. Grau de risco.

CHAPTER 2

METHODOLOGIES FOR VISUAL ANALYSIS OF FALLING RISK OF URBAN TREES APPLIED TO *SPHATODEA CAMPANULATA* P. BEAUV

ABSTRACT

EMERICK, Tamiris das Graças, M.Sc, Universidade Federal de Viçosa, June, 2021. **Methodologies for visual analysis of falling risk of urban trees applied to *Spathodea campanulata* P. BEAUV.** Adviser: Angeline Martini. Co – adviser: Marina Moura de Souza.

Concern about the risk of falling trees, triggered by fatal accidents in the urban environment, has increased the interest of managers worldwide to develop effective assessment techniques for accident prevention, and visual analysis techniques have proven to be accepted as a cheap, efficient and reliable means of identifying compromised trees. The objective of the study was to compare different methods of visual assessment of urban tree fall risk in individuals of *Spathodea campanulata* in order to present the advantages and disadvantages of each methodology. For this purpose, 43 individuals of the species located on the Viçosa campus of the UFV were analyzed using five methodologies of visual risk analysis among the most recent and used ones. Data collection was carried out between December/2020 and January/2021, using a form created in Google Forms. The classification of the degree of risk was standardized in high, medium and low for all methodologies and the Kruskal-Wallis and Wilcoxon statistical tests were performed using the RBio software to verify the similarity between them. In addition, the time spent for analysis was timed in each evaluation and, subsequently, Pearson correlation was performed in order to verify the association of time spent with the degree of risk of falling and DBH dimensions of the tree. The results showed that 41.8% of the trees were included in the high risk class by all the methodologies, with methodology II presenting the least variation among the individuals, while I was the one that distributed the individuals more evenly among the risk classes and the one that presented the greatest differentiation of results, unlike III, which presented the greatest similarity with the methodologies analyzed. Statistically, at a 5% significance level, I differed from all the methodologies, while II was equal only to IV, and the others were similar. Regarding the application time, V is the fastest and I the slowest. No high correlation was found between the time spent and the degree of tree fall risk or DBH, although the latter explains about half of the time spent for analysis with I and IV.

Key-words: Failure potential. Risk management. Degree of risk.

INTRODUÇÃO

Recentemente, a preocupação com o risco de árvores, desencadeada por vários acidentes fatais envolvendo quedas em ambiente urbano, aumentou o interesse de gestores de todo o mundo para o desenvolvimento de técnicas efetivas de avaliação para a prevenção de acidentes.

A probabilidade de uma árvore ou parte dela falhar e provocar transtornos é tida como dependente da resistência intrínseca da madeira, de sua geometria e da carga a que está submetida. Juntos, os dois últimos fatores governam a tensão aplicada, que, ao exceder a resistência da madeira, induz à falha. Defeitos, como deterioração, rachaduras e lesões, aumentam a probabilidade de falha ao reduzir a resistência da madeira, mas cabe ao avaliador definir o seu grau de importância corretamente (KANE *et al.*, 2015).

Nesse sentido, uma avaliação visual só é eficiente se o gestor compreende os fatores que contribuem para o real risco de queda de árvores, considerando características locais e ambientais e histórico de manejo, por exemplo, podendo identificar potenciais alvos, padrões particulares da espécie, condições de saúde e vigor (NORRIS, 2010; ANSI, 2011; CALAZA, IGLESIAS, 2016; KOESER *et al.*, 2016; BLODGETT *et al.*, 2017; COELHO – DUARTE *et al.*, 2021).

Além disso, a composição do método de avaliação utilizado é importante para a tomada de decisão. Em geral, são desenvolvidos para serem aplicados em contextos locais e utilizados em diferentes países sem validação ou adaptação, comprometendo sua confiabilidade (KOESER *et al.*, 2016). Isso só pode ser resolvido desenvolvendo-se formas de confirmar a efetividade de um método em prever o risco, comparando-se diferentes propostas em uma mesma amostra de árvores. Assim é possível identificar aquela que tem melhor aplicabilidade e apresenta um nível adequado de confiabilidade e repetibilidade (NORRIS, 2010; KOESER *et al.*, 2017; KOESER, SMILEY, 2017; REYES DE LA BARRA *et al.*, 2018).

As metodologias de análise visual para avaliar o risco de queda de árvores podem ser classificadas como pertencentes ao Nível 2 (básico) sugerido pela Sociedade Internacional de Arboricultura. Esta análise consiste em uma inspeção visual de 360 graus de uma árvore ao nível do solo e que considera seus arredores (DUNSTER *et al.*, 2013). Embora existam metodologias de avaliação de risco mais avançadas, com uso de tecnologias, a maioria das avaliações são conduzidos visualmente (KLEIN *et al.*, 2019).

Avaliações visuais básicas foram comprovadamente aceitas como um meio eficiente e confiável de identificar árvores comprometidas (DUNSTER *et al.*, 2013). No entanto, não há um método aceito como padrão para todas as situações, o que permitiria a consistência entre as avaliações e, potencialmente, reduziria a responsabilidade dos avaliadores individuais (KLEIN *et al.*, 2019).

Embora os modelos atuais de avaliação de risco de árvores atendam ao seu propósito (KLEIN *et al.*, 2019), têm-se investigado a eficácia das avaliações visuais na previsão de falhas (KOESER *et al.*, 2017). Assim, a importância de se analisar a eficácia destas metodologias consiste principalmente em se aprimorar com testes as tendências do sistema, a precisão, a replicabilidade e o impacto geral nas medidas de manejo prescritas (KLEIN *et al.*, 2019).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi comparar diferentes métodos de avaliação visual do risco de queda de árvores urbanas em indivíduos de *Spathodea campanulata* de modo a apresentar as vantagens e desvantagens de cada metodologia.

METODOLOGIA

Foram submetidos à avaliação visual 43 indivíduos de *Spathodea campanulata* presentes na arborização urbana de uma importante via do *campus* da Universidade Federal de Viçosa, no município de Viçosa, Minas Gerais. O município está inserido na porção noroeste da Zona da Mata, entre as coordenadas geográficas de 20°45'14'' de latitude Sul e 42°52'54'' de longitude Oeste (AMARAL, REIS, 2017), compreendendo o Domínio Morfoclimático de Mares de Morros, com clima classificado em tropical de altitude (VALVERDE, 1958; AMARAL, REIS, 2017). A região caracteriza-se por apresentar período bem definido de chuvas volumosas e temperaturas mais elevadas e outro com baixos índices pluviométricos e temperaturas amenas (BATISTA, RODRIGUES, 2010).

O município se situa na bacia hidrográfica do Rio Doce, sendo abastecido pelo rio Turvo Sujo e, principalmente, pelo ribeirão São Bartolomeu que intercepta a área urbana central (ROQUE, 2013).

Sua cobertura vegetal consta de remanescentes secundários de Floresta Estacional Semidecidual, do bioma Mata Atlântica (AGUIAR, TEIXEIRA, 2015).

O *campus* da UFV em Viçosa surgiu como a ESAV (Escola Superior de Agricultura e Veterinária) em 1926 e, hoje, é considerado um dos mais belos do Brasil, principalmente, pela grande quantidade de vias arborizadas e de alto valor paisagístico.

A via onde estão situadas as árvores utilizadas no estudo é caracterizada por grande fluxo de pessoas e veículos, dando acesso a bancos, pavilhões de aulas, ginásio de esportes, estacionamento, restaurante universitário, pontos de ônibus, rodovia de acesso à municípios vizinhos, entre outros, e já foi alvo de evento climático extremo que danificou boa parte de sua arborização, no ano de 2019.

Para avaliação dos exemplares arbóreos remanescentes desse evento foram utilizadas cinco metodologias destinadas à análise visual do risco de queda, sendo:

- I. *Tree Risk Assessment Qualification* (TRAQ) - inspeção visual detalhada da árvore, com intuito de quantificar os defeitos que afetam a probabilidade da falha (DUARTE, 2018) em suas diversas frações. Esta é a avaliação recomendada pela *International Society of Arboriculture* (ISA) e muito utilizada em diversos países do mundo (ANEXO II). Este método combina, ainda, a probabilidade de falha da árvore com a probabilidade de impacto em uma matriz e, em seguida, combina essa probabilidade com as consequências da falha em uma segunda matriz (KOESER, SMILEY, 2017), gerando um grau final de risco que define o melhor manejo a ser adotado.
- II. Avaliação de Risco de Falha criada por Seitz (2005) - se dá por meio de diagnose visual das condições gerais das árvores e seus fatores de risco de queda em suas diferentes frações (copa, tronco e base). Cada item recebe pontuação de 1 a 5, onde 1 representa menor contribuição ao risco e 5 sua máxima contribuição. O autor considera, ainda, o alvo potencial e seus efeitos colaterais em caso de queda da árvore, variando em 1, 3 ou 5 a depender do grau de ocupação humana local. Desse modo, é obtido um grau de risco único por meio de soma entre o mais alto valor encontrado na avaliação visual das condições gerais da árvore e o risco atribuído ao alvo e efeitos colaterais, variando de 3 (baixo risco) a 15 (risco muito elevado) (ANEXO III).
- III. Avaliação de risco para árvores históricas da área urbana de Hong Kong (Jim, Zang, 2013) – formulário de registro elaborado, testado e refinado para permitir a coleta sistemática de dados de campo, buscando minimizar a subjetividade, garantir a consistência e facilitar a entrada e a análise de dados. Considera o habitat da árvore e a ocorrência de defeitos e distúrbios, agrupando 30 principais

doenças entre copa, tronco e base. A classificação do risco de falha é a soma entre a probabilidade da falha, o tamanho da peça que pode falhar e seu alvo potencial. (ANEXO IV).

- IV. Avaliação do Potencial de Falha de Árvores Urbanas criado pela Secretaria Municipal de Conservação e Meio Ambiente do Rio de Janeiro (2018) - visa dar as diretrizes para a avaliação da condição do espécime, quanto ao seu equilíbrio, estrutura, conflitos e estado fitossanitário e sua conformidade, considerando o alvo, adequação da espécie e fatores associados ao sítio. Cada subitem dessas categorias se divide em classes que são numeradas em 0 (zero), 1 (um), 3 (três) ou 5 (cinco), conforme a situação verificada, de forma a gerar a condição geral do espécime por meio de valor do somatório em cada subitem, variando entre satisfatória, regular, insatisfatória ou crítica. Dessa forma, é possível que, ao final da avaliação, se recomende o melhor manejo para cada situação (ANEXO V).
- V. Parâmetros para Análise de Tílias proposto por Ferreira (2017) – esta metodologia foi proposta para análise de risco de queda de *Tilia tomentosa* em Portugal, por meio de avaliações simples e puramente visuais divididas em inclinação do tronco, irregularidade da base e problemas nos ramos. Para cada defeito associado a essas frações é atribuída uma pontuação que varia entre 0 (mínimo) e 3 (máximo), isso permite a obtenção de uma nota final por meio de somatório simples, que infere quanto ao estado da árvore, variando de 0 a 9, onde entre 0 e 3 é expresso bom estado e entre 6 e 9, risco elevado (ANEXO VI).

As metodologias I e II foram escolhidas por serem as mais conhecidas e aplicadas no Brasil. As outras três por serem as mais recentes encontradas na literatura, tanto nacional quanto internacional. Para cada metodologia foi criado um formulário específico via *Google Forms*, seguindo o modelo de ficha de campo proposto pelos autores das metodologias. O preenchimento desse formulário foi realizado em campo durante os meses de dezembro/2020 e janeiro/2021 com o tablet M9-3G NB248, fabricado pela multilaser.

Cada um dos 43 indivíduos selecionados foi avaliado por meio dos cinco protocolos sequencialmente, sendo registrado o tempo gasto para a aplicação de cada formulário por indivíduo. Em seguida, os dados foram tabulados, organizados e, assim, gerada a classificação de risco apontada para cada árvore em cada metodologia, a fim de apontar a quantidade de árvores em cada classe de risco.

Originalmente cada metodologia tem uma terminologia própria e diferentes números de classes. A metodologia I classifica as árvores em 4 níveis de risco: improvável, pouco provável, provável e muito provável. A II em 3 níveis: baixo, médio e alto. A III em 4 níveis: alto, moderado, baixo e insignificante. A IV em alto, médio, baixo e muito baixo e a V em bom estado, potencial de risco, potencial de risco elevado e risco imediato. Assim, para permitir uma comparação entre as metodologias, foi necessário estabelecer uma mesma nomenclatura e número de classes para todas. O número de classes foi definido de acordo com o menor número encontrado dentre as metodologias e as adaptações feitas foram as seguintes:

- a) Baixo – classe improvável e pouco provável da metodologia I; baixo da metodologia II; baixo e insignificante da metodologia III; muito baixo e baixo da metodologia IV e bom estado da metodologia V.
- b) Médio - classe provável da metodologia I; médio da metodologia II; moderado da metodologia III; médio da metodologia IV e potencial de risco da metodologia V.
- c) Alto - classe muito provável da metodologia I; alto da metodologia II; alto da metodologia III; alto da metodologia IV e potencial de risco elevado e risco imediato da metodologia V.

Com o mesmo número de classes definido para cada metodologia foi realizada uma comparação árvore a árvore a fim de verificar se os resultados eram iguais ou não. A análise foi feita separadamente para cada metodologia, ou seja, quando se analisou a metodologia I, o resultado de cada árvore foi comparado com o resultado da II, depois da III, IV e V. A comparação realizada de forma pareada resultou na seguinte reclassificação: igual – quando a classe de risco da metodologia analisada era igual ao resultado das demais metodologias; menor risco – quando o resultado das outras metodologias foi menor que a classe de risco da metodologia analisada; maior risco – quando o resultado das outras metodologias foi maior que a classe de risco da metodologia analisada. O valor final atribuído foi referente a média apresentada por todas as árvores em cada classe da metodologia.

Para verificar a existência de diferença entre as metodologias realizou-se análise estatística. O teste de Kruskal Wallis a 5% de significância foi aplicado, uma vez que os dados não seguiram distribuição normal. Em seguida, os dados foram submetidos ao teste de Wilcoxon, capaz de indicar quais metodologias diferem entre si. Todos os testes foram realizados no *software* RBio. Ambos se tratam de testes não paramétricos, sendo Kruskal Wallis utilizado para comparar três ou mais populações a fim de testar a hipótese nula de que todas as populações possuem funções de distribuição iguais contra a hipótese alternativa de

que ao menos duas das populações possuem funções de distribuição diferentes (PONTES, 2000), e Wilcoxon empregado quando se deseja comparar medidas repetidas em uma mesma amostra para avaliar se os postos médios populacionais diferem entre si (COELHO BARROS; MAZUCHELI, 2005). Os valores de entrada foram as classes de risco estabelecidas pelas diferentes metodologias aplicadas para cada indivíduo avaliado, ou seja, baixo (1), médio (2) e alto (3).

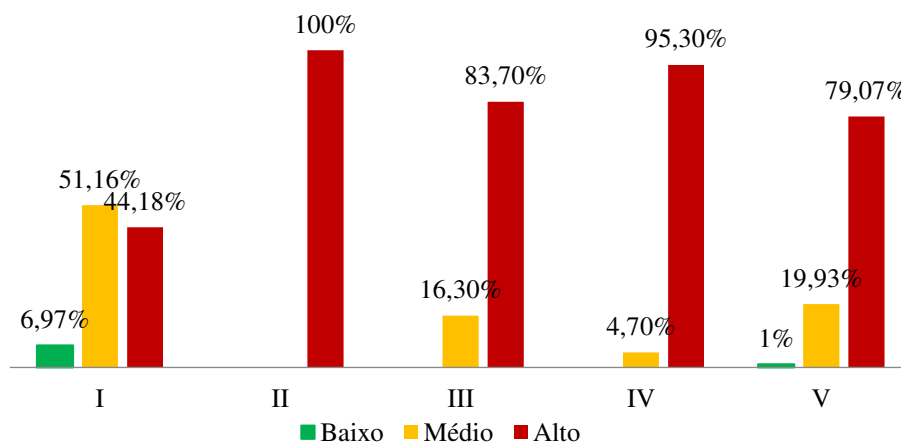
Foi realizada, ainda, análise de correlação de Pearson entre os parâmetros para avaliar o grau de associação do tempo gasto na avaliação com a classe de risco e o DAP das árvores, visando auxílio na compreensão de possíveis influências de risco de falha e tamanho do indivíduo sobre o tempo gasto.

RESULTADOS

A metodologia II apontou que 100% das árvores avaliadas apresentaram alto risco de queda, seguida pelas metodologias IV, III, V e I, que associaram, respectivamente, 95,3%, 83,7%, 79% e 44,18% das árvores a um alto grau de risco (Figura 6).

A metodologia que mais conseguiu diferenciar as árvores avaliadas foi a I, a qual caracterizou indivíduos como de médio risco em detrimento da classe mais elevada (51,15%), sendo também a que mais considerou indivíduos na classe mais baixa de risco. Independente desta variação, 41,8% das árvores avaliadas foram classificadas como de risco alto por todas as metodologias.

Figura 6 - Classificação de risco das árvores de *Spathodea campanulata* avaliadas segundo as diferentes metodologias.



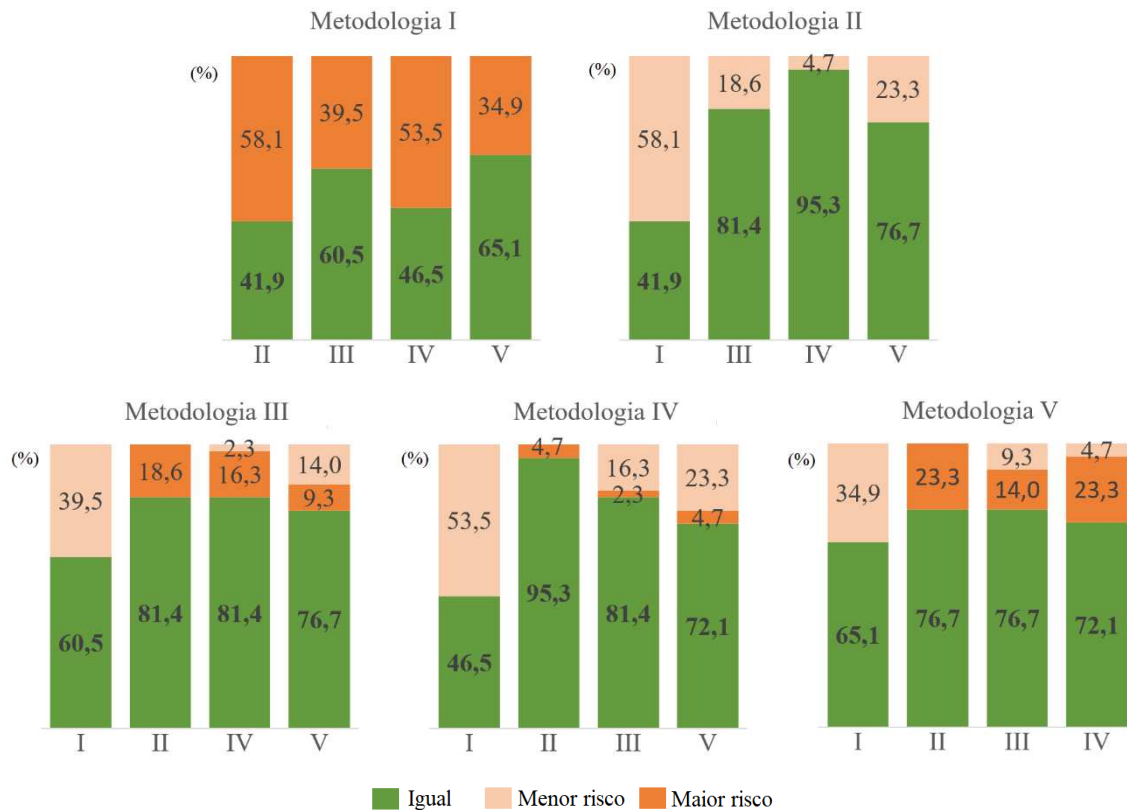
Fonte: a autora

Ao comparar os resultados de cada metodologia individualmente foi possível verificar que a metodologia III foi a que apresentou maior semelhança com as demais. Em média, 75,0% dos resultados encontrados por esta metodologia foram iguais a todas as outras, variando de 60,5% com a metodologia I a 81,4% com as metodologias II e IV (Figura 7). Na sequência vieram as metodologias II e IV, ambas com 73,8% de resultados iguais a todas as outras, seguidas pela metodologia V (72,7%). A metodologia I foi a que menos apresentou semelhança com as demais, apenas 53,5% dos resultados foram semelhantes ao apontado pelas demais metodologias (Figura 6).

Norris (2007) definiu como alta uma associação superior à 70% entre os resultados das metodologias comparadas em seu estudo, dessa forma, considera-se que a metodologia I é diferente das demais testadas, que apresentaram maiores semelhanças entre si.

Ao comparar a metodologia I com as demais foi possível constatar que todas as outras resultaram em classes de maior risco do que a indicada por ela, apresentando maior diferença com a metodologia II (58,1%) e menor com a V (34,9%). Já a metodologia II apresentou o inverso, todas as outras resultaram em classes de menor risco, com menor diferença para a IV (4,7%). Ou seja, é possível afirmar que a metodologia I apresenta tendência de classificar as árvores em melhores condições quando comparada com as demais. Já a metodologia II apresenta tendência de classificar as árvores em piores condições.

Figura 7– Semelhança de cada metodologia quanto classificação de risco de queda dos indivíduos de *Spathodea campanulata*.



Fonte: a autora

Outros estudos comparativos, como o de Reyes De La Barra (2018), obtiveram resultados semelhantes ao utilizar a metodologia I em conjunto com outras análises visuais, onde a mesma distribuiu mais os indivíduos nas diferentes classes de risco de queda, concentrando os resultados em níveis mais baixos em relação às demais.

O peso relativo de cada componente da árvore influencia na classificação do risco (NORRIS, 2010; KOESER, SMILEY, 2017; REYES DE LA BARRA *et al.*, 2018), por isso, metodologias que não consideram esse aspecto podem gerar uma supervalorização dos resultados, uma vez que a classificação de risco seria independentemente do tamanho da parte com maior potencial de falha e seu possível dano (COELHO – DUARTE *et al.*, 2021). Isso pode explicar o fato de que a metodologia II foi a que mais incluiu indivíduos na classe de maior risco de queda, uma vez que não utiliza esse critério de avaliação.

A Metodologia III embora na média tenha sido a que apresentou maior semelhança com as demais, quando difere, a tendência é que registre menor risco (exceto em relação a I). Para a Metodologia IV a tendência é que as demais registrem menor risco e para a V maior risco (exceto a I). Assim, entende-se que as metodologias III e V classificam as árvores em melhores condições quando comparada com as demais e a IV em piores.

A metodologia IV apresenta a mesma limitação de II, ao não considerar o tamanho da parte sujeita à falha na árvore. Já III e V apresentam resultados semelhantes em outros estudos, como no caso de Jim e Zhang (2013), onde III classificou apenas 4% dos indivíduos avaliados em alto risco, 51% em moderado e 45% em baixo. Carvalho *et al.* (2019), por sua vez, obteve com a metodologia V apenas 6% de sua amostra em condição de alto risco, 58% em risco moderado e 36% em baixo, evidenciando a tendência desses métodos em classificar os indivíduos avaliados em melhores condições. Cabe ressaltar que V não inclui no processo de análise o uso do local, que está relacionado à probabilidade de uma árvore ou parte dela atingir um alvo, como pessoas ou propriedades (MATHENY, CLARK, 1994; COELHO – DUARTE *et al.*, 2021), o que pode levar à uma subestimação do potencial de falha do indivíduo, visto que as avaliações melhoram quando os dados de tráfego de pedestres e veículos são incorporados (KLEIN *et al.*, 2016).

Estatisticamente, para um valor de $p=3,443.e^{-11}$, foi observado que existe diferença entre as metodologias de análise visual, segundo o teste de Kruskal Wallis, seguido pelo teste de Wilcoxon, que mostra, a 1% de significância que as metodologias III, IV, V não apresentam diferenças significativas entre si, enquanto que a metodologia I difere de todas as demais, e a II só não difere de IV (tabela 2).

Tabela 2 – Valores de p obtidos com o teste de Wilcoxon para dados pareados entre as medianas das diferentes metodologias.

Metodologia	I	II	III	IV
I				
II	4,6⁻⁰⁸			
III	4,3⁻⁰⁴	5,4⁻⁰³		
IV	5,7⁻⁰⁷	1,7 ⁻⁰¹	5,7 ⁻⁰²	
V	2,3⁻⁰³	2,1⁻⁰³	5,7 ⁻⁰¹	1,8⁻⁰²

*valores de p estatisticamente significativos a 1% de significância ($p<0,01$), **valores de p estatisticamente significativos a 5% de significância ($p<0,05$), pelo teste de Wilcoxon para dados pareados.

Uma vez que o principal objetivo da análise visual é mensurar o risco de queda da árvore, assume-se que deve existir forte semelhança entre diferentes metodologias de avaliação (NORRIS, 2007), principalmente, quando utilizadas em conjunto por um mesmo avaliador. No entanto, em geral, existe distinção nos resultados devido às diferenças estruturais dos métodos, visto que a multidimensionalidade que o risco representa na avaliação é expressa nos diferentes parâmetros e em seu peso relativo (NORRIS, 2007; TOMAO *et al.*, 2015; KOESER, SMILEY, 2017; REYES DE LA BARRA, 2018).

A pontuação de risco pela metodologia II apresentou variação nula entre os indivíduos avaliados, o que pode ser explicado por se basear em uma escala ordinal, que é pouco sensível à alterações nas diferentes categorias de avaliação. Por outro lado, a metodologia I trabalha em escala nominal, onde pequenas variações são captadas e alteram significativamente o resultado da classe de risco (NORRIS, 2007), desse modo, haveria uma distribuição mais ampla dos indivíduos em diferentes classes de risco ao utilizar o formulário I.

Em vez disso, as classificações numéricas permitem que os usuários priorizem os esforços de redução de risco, abordando primeiro as árvores que representam a maior ameaça potencial para pessoas e bens materiais, reduzindo a lista para as árvores com classificação inferior (KOESER *et al.*, 2016).

Sistemas de classificação nominal categorizam igualmente partes da árvore com diferenças óbvias, não conseguindo captar o risco. Um exemplo é a comparação entre um ramo menor com grande probabilidade de falha ser classificado de baixo risco e um ramo maior com baixa probabilidade de falha ser classificado de alto risco apenas pelo tamanho da peça, sendo que numerosos casos de acidentes com pessoas envolvem galhos menores, que têm maior associação com risco imediato (DUNTEMANN, STUART, 2014).

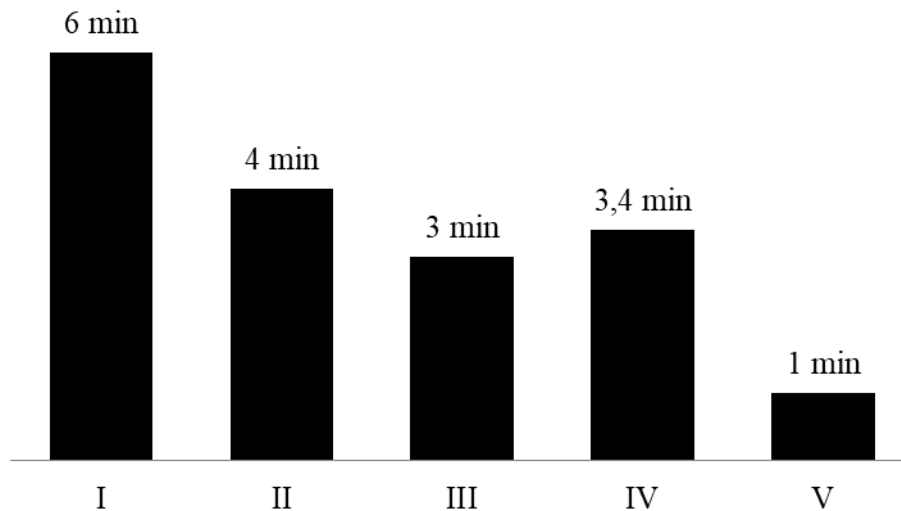
Com relação ao tempo médio para realização da avaliação por meio de cada formulário por árvore, a metodologia V foi a que apresentou menor tempo, seguida por III, IV, II, e I, (Figura 8).

A metodologia cuja aplicação foi mais demorada (I) também foi a que permitiu diferenciar mais as árvores analisadas, bem como se mostrou diferente das demais. As metodologias com aplicação mais rápida (III, IV e V) coincidiram com aquelas que não diferem entre si no resultado. Assim, devido a rapidez e praticidade da metodologia V esta é mais indicada do que a III e IV, visto que seus resultados não diferem.

O tempo gasto para preencher o formulário I é um limitante quando se pensa na avaliação de grandes populações de árvores, no entanto, deve diminuir à medida que o

Figura 8 – Tempo médio gasto (minutos) para a avaliação de cada indivíduo de *Spathodea campanulata* para as diferentes metodologias de avaliação visual de risco de queda.

avaliador se familiariza com o mesmo, como observado por Koeser *et al.* (2016), que registrou tempo gasto de até 20 minutos para a observação em 360° de um indivíduo com a mesma metodologia.



Fonte: a autora

Já as semelhanças de tempo gasto em II, III e IV servem como uma indicação de que qualquer método pode ser adequado para a avaliação do risco de queda em campo. No entanto, os dados adicionais de local, codificações e refinamentos para o processo de derivação da classe final do risco é o que pode fazer um método específico se destacar para um determinado grupo de usuários, dependendo das necessidades e recursos caso a caso. Deve-se ter cuidado, entretanto, para que a velocidade da coleta de dados não acarrete perda de precisão e consistência do método, que são essenciais para uma classificação de risco eficaz (KOESER *et al.*, 2016).

Para possibilitar maior detalhamento sobre o tempo gasto na aplicação de cada metodologia, outras análises foram realizadas. A correlação entre o tempo gasto para a avaliação e o grau de risco encontrado foi baixo em todas as metodologias, o que sugere não haver influência da classe de risco no tempo gasto para realização da análise visual (Tabela 3). Ou seja, para nenhuma metodologia foi constatado que se gasta mais tempo em árvores com maior comprometimento.

Observa-se que a correlação do tempo com o grau de risco para a metodologia II foi nula, uma vez que o desvio padrão entre os dados de grau de risco foi 0, tendo sido todos os indivíduos classificados como de alto risco. Já a metodologia III apresentou correlação negativa, indicando que o tempo de avaliação foi inversamente proporcional ao grau de risco de queda apontado pela análise visual.

Tabela 3 – Valores da correlação de Pearson entre o tempo gasto na avaliação com o grau de risco e DAP das árvores de *Spathodea campanulata* em Viçosa/MG

Metodologia	I	II	III	IV	V
Grau de risco	0,163	0,00	-0,155	0,384	0,205
DAP	0,522	0,230	0,243	0,542	-0,269

Não existem estudos que indicam evidências de interferência do grau de risco de queda no tempo de avaliação da árvore, no entanto, é possível que árvores com grandes defeitos levem menor tempo para serem avaliadas, uma vez que a percepção do risco ocorre de maneira mais rápida e direta.

A correlação entre o tempo gasto para a avaliação e o DAP das árvores foi baixo nas metodologias II, III e V e médio nas metodologias I e IV. Este resultado sugere que o tamanho da árvore (DAP) explica aproximadamente metade do tempo gasto na avaliação visual das metodologias I e V. No entanto, não é uma evidência para a maioria das metodologias aplicadas.

É importante destacar que as análises realizadas não permitem inferir sobre a eficácia das metodologias, mas podem auxiliar na escolha destas, uma vez que apontam suas vantagens e desvantagens. Assim, a aplicação das metodologias I e II diferenciam-se da III, IV e V, sendo que a I resulta em uma classificação de menor risco e a II em maior. Por não existir diferença nos resultados entre as metodologias III, IV e V a escolha pela metodologia mais rápida (V) é indicada.

Quanto à subjetividade, todas as metodologias apresentam fatores que levam à que a análise sofra grande influência do avaliador, porém, o formulário da metodologia III caracteriza seus elementos de forma mais direta, estabelecendo maior homogeneidade na percepção do defeito entre diferentes avaliadores. Além disso, é uma metodologia com alta praticidade, não exigindo muito tempo para a observação, evitando cálculos e grandes medições, além de demandar baixo conhecimento prévio, por utilizar termos de fácil compreensão e localização, denotando sua boa operacionalidade.

Ao incluir análises de localização e domínio do indivíduo, alvo, sanidade e tamanho da peça que pode falhar, a metodologia III segue um padrão dentre as demais e se destaca em relação à V, que não considera o alvo na classificação do risco.

O número de classes de risco proposto por III é de quatro classes alta, moderada, baixa e insignificante, diferindo de I, com cinco classes, e de II, com três classes. Ao aplicá-las foi

possível perceber que é necessária maior experiência do avaliador quanto maior o número de classes.

A metodologia I, por sua vez, é a de aplicação mais onerosa, visto o grande número de critérios a serem avaliados e o alto grau de conhecimento exigido para a análise. A classificação do risco por meio de matriz também é um fator de atenção, visto a demanda de tempo e grau de compreensão técnica. Por outro lado, é muito vantajosa quando considera vários alvos para uma única árvore, permitindo lidar com cenários multifacetados, o que torna a sua classificação de risco melhor distribuída entre as classes (KOESER *et al.*, 2016).

CONCLUSÃO

Das árvores analisadas, 41,8% foram classificadas como em alto risco de queda por todas as metodologias, sendo que a metodologia II foi a que menos apresentou variação entre árvores e a I a que teve a maior distribuição entre classes de risco. A metodologia III foi a que se mostrou mais semelhante às demais, enquanto I foi a que mais se diferenciou.

Estatisticamente, a I também foi diferente de todas as demais metodologias utilizadas na análise e teve maior discrepância com II, que não difere de IV. Já as metodologias III, IV e V não diferiram entre si.

A metodologia I apresenta tendência de classificar as árvores em melhores condições, subestimando o grau de risco de queda, quando comparada com as demais. Já a metodologia II apresenta tendência de classificar as árvores em piores condições.

A metodologia V foi a que demandou menor tempo para aplicação e I o maior. O tempo de avaliação apresentou baixa correlação com o grau de risco de queda associado ao indivíduo avaliado, assim como com o DAP. As análises realizadas não permitem inferir sobre a eficácia das metodologias, mas podem auxiliar na escolha destas, uma vez que apontam suas vantagens e desvantagens.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSI. Tree, Shrub, and Other Woody Plant Management – Standard Practices. Tree Risk Assessment. Tree Structure Assessment ANSI A300 (Part 9). ANSI, p. 14, 2011.

COELHO BARROS, E. A., MAZUCHELLI, J. Um estudo sobre o tamanho e poder dos testes t-Student e Wilcoxon. **Acta Scientiarum. Technology**, 2005.

BATISTA, M. S.; RODRIGUES, R. A. Análise climática de Viçosa associada à ocorrência de eventos pluviométricos extremos. **Revista Caminhos da Geografia**, v. 11, n. 3, p. 52-67, 2010.

BLODGETT, J.T., BURNS, K.S., WORRALL, J.J. Guide to Hazard Tree Management. **USDA Forest Service**, Rocky Mountain Region, 2017.

CALAZA, P., IGLESIAS, I. El riesgo del arbolado urbano: Contexto, concepto y evolución, **Mundi-Prensa**, 2016.

COELHO-DUARTE, A. P., DANILUK-MOSQUERA, G., GRAVINA, V., VALLEJOS-BARRA, O., PONCE-DONOSO, M. Tree Risk Assessment: Component analysis of six visual methods applied in an urban park, Montevideo, Uruguay. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 59, 2021.

DE CARVALHO, A. L. P., FERREIRA, F., DOS SANTOS, M. C. M. P. N. Análise de risco de queda de árvores: *Tilia tomentosa* Moench. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v.14, n.3, p. 01-16, 2019.

DUARTE, P. G. D. S. **Comparação de métodos de análises de risco de queda de árvores urbanas: eficiência técnica, ergonômica e econômica**. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2018.

DUNSTER, J. A., SMILEY, E. T., MATHENY, N., LILLY, S. **Tree risk assessment manual**. International Society of Arboriculture, ed. 2, 2013.

DUNTEMANN, M, STUART, N. An Assessment of Ordinal Tree Risk Rating Systems. **Natural Path Urban Forestry**, 2014.

FERREIRA, D. **Análise de risco de queda de árvores: a espécie *Tilia tomentosa* Moench no Parque Dr. Manuel Braga, Coimbra/Portugal**. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Biotecnologia Vegetal) - Universidade de Coimbra. Portugal, 2017.

ISA - International Society of Arboriculture. Tree Risk Assessment Qualification (TRAQ). 2013.

JIM, C. Y., ZHANG, H. Defect-disorder and risk assessment of heritage trees in urban Hong Kong. **Urban forestry & urban greening**, v. 12, n. 4, p. 585-596, 2013.

KANE, B., WARREN, P. S., LERMAN, S. B. A broad scale analysis of tree risk, mitigation and potential habitat for cavity-nesting birds. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 14, n. 4, p. 1137-1146, 2015.

KLEIN, R.W., KOESER, A.K., HAUER, R.J., HANSEN, G., ESCOBEDO, F.J. Relationship between perceived and actual occupancy rates in urban settings. **Urban For. Urban Green.**, v. 19, p. 194-201, 2016.

KLEIN, R.W., KOESER, A.K., HAUER, R.J., HANSEN, G., ESCOBEDO, F.J. Risk Assessment and Risk Perception of Trees: A Review of Literature Relating to Arboriculture and Urban Forestry. **Arboriculture & Urban Forestry Online**, v. 45, n.1, 2019.

KOESER, A.K., HASING, G., MCLEAN, D., NORTHROP, R. Tree Risk Assessment Methods: A Comparison of Three Common Evaluation Forms. **University of Florida IFAS Extension – EDIS**, 2016.

KOESER, A., HAUER, R.J., KLEIN, R. W. Y MIESBAUER, J.W. Assessment of likelihood of failure using limited visual, basic, and advanced assessment techniques. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 24, p. 71-79, 2017.

KOESER, A., SMILEY, T. Impact of assessor on tree risk assessment rating and prescribed mitigation measures. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 24, p. 109-115, 2017.

MATHENY, N. Y CLARK, J. **A photographic guide to the evaluation of hazard trees in urban areas**. International Society of Arboriculture, ed. 2, 1994.

NORRIS, M. Tree risk assessment - What works - What does not - Can we tell? A review of a range of existing tree risk assessment methods. **Ponencia presentada en el ISAAC Conference Perth**, 2007.

NORRIS, M. **A Review of Methods Used to Undertake Risk Assessments of Urban Trees**. (MSc. Thesis, University of Melbourne), 2010.

PONTES, A. C. F. **Obtenção dos níveis de significância para os testes de Kruskal-Wallis, Friedman e comparações múltiplas não-paramétricas** (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo), 2000.

REYES DE LA BARRA, J., PONCE-DONOSO, M., VALLEJO-BARRA, O., DANILUK-MOSQUERA, G. Y COELHO-DUARTE, A.P. Comparación de cuatro métodos de evaluación visual del riesgo de árboles urbanos. **Colombia Forestal**, v. 21, n. 2, p. 161-173, 2018.

RIO DE JANEIRO. Fundação Parques e Jardins. PORTARIA FPJ Nº DE 136 DE 17 DE JULHO DE 2018. Estabelece procedimentos para Análise Técnica Visual de Espécimes Arbóreos, situados em áreas públicas e privadas, nas solicitações de remoção, poda e transplante e dá outras providências. Diário Oficial do Município do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 18 de Julho de 2018. p. 65.

SEITZ, R. **Avaliação visual de árvores de risco**. FUPEF/SBAU, Curitiba, 26 p. 2005.

TOMAO, A., SECONDI, A., CORONA, P., GIULIARELLI, D., QUANTRINI, V. Y AGRIMI, M. Can composite indices explain multidimensionality of tree risk assessment? A case study in an historical monumental complex. **Urban Forest & Urban Greening**, v. 14, n.3, p. 456-465, 2015.

CAPÍTULO 3

ANÁLISE DA CONDIÇÃO INTERNA DO TRONCO EM *Spathodea campanulata* P. BEAUV. POR MEIO DE TOMOGRAMA SÔNICO E DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA

RESUMO

EMERICK, Tamílis das Graças, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2021. **Análise da condição interna do tronco em *Spathodea Campanulata* P. BEAUV. por meio de tomogramas sônico e de resistência elétrica.** Orientadora: Angeline Martini. Coorientadora: Marina Moura de Souza.

Embora tenham se mostrado mais eficazes na quantificação da deterioração interna do tronco, não está claro como as informações fornecidas pelos tomógrafos impactam as avaliações de risco quanto à probabilidade de falha da árvore. O objetivo do estudo foi avaliar a condição interna dos troncos de *Spathodea campanulata* por meio de tomogramas sônico e de resistência elétrica, a fim de analisar a associação dos resultados entre os equipamentos e em conjunto. Foram avaliados 43 indivíduos da espécie com o auxílio dos tomógrafos PiCUS 3 e Tretronic 3, do fabricante Argus Electronic. Em seguida, as leituras foram exportadas por meio do software Picus e avaliadas de forma independente e conjunta entre os equipamentos. Foi realizado, ainda, cálculo do coeficiente de correlação entre os resultados e equipamentos, para verificar sua acurácia. Os tomogramas sônicos caracterizaram 27,9% dos indivíduos com decaimento interno da madeira, enquanto que as de resistência elétrica caracterizaram 30,2% deles nessa mesma condição. Apenas cinco indivíduos diferiram os resultados entre os equipamentos. Já, quando analisados em conjunto, os tomogramas mostraram que 55,8% das árvores apresentam boas condições internas da madeira, enquanto que 16,3% possuem decaimento interno, 16,3% têm deterioração precoce e 11,6% está em grau avançado de degradação da madeira, com cavidades e rachaduras internas. O índice de correlação obtido entre os resultados dos equipamentos foi de 0,85, evidenciando grande associação em seus resultados. Pode-se concluir que ambos os tomógrafos proporcionaram informações importantes para auxiliar no diagnóstico sobre a condição interna do tronco, mas a interpretação correta dos tomogramas depende diretamente do nível de conhecimento e experiência do operador.

Palavras – chave: Tomografias. Potencial de falha. Arborização urbana. Decaimento interno. SoT. ERT.

CHAPTER 3

ANALYSIS OF THE INTERNAL CONDITION OF THE TRUNK WOOD OF INDIVIDUALS OF *Spathodea campanulata* P. BEAUV. USING SONIC AND ELECTRICAL RESISTANCE TOMOGRAPHY

ABSTRACT

EMERICK, Tamílis das Graças, M.Sc, Universidade Federal de Viçosa, June, 2021. **Analysis of the internal condition of the trunk wood of individuals of *Spathodea campanulata* P. BEAUV. using sonic and electrical resistance tomography.** Adviser: Angeline Martini. Co-adviser: Marina Moura de Souza.

Although they have proven to be more effective in quantifying internal trunk deterioration, it is unclear how the information provided by tomographs impacts risk assessments regarding the probability of tree failure. The objective of this study was to evaluate the internal condition of *Spathodea campanulata* trunks using sonic and electrical resistance tomographs, in order to analyze the association of results between the equipment and together. Forty-three individuals of the species were evaluated using PicUS 3 and Tretronic 3 tomographs, from Argus Electronic. Then, the readings were exported through the Picus software finger and evaluated independently and jointly between the devices. The correlation coefficient between results and equipment was also calculated to verify their accuracy. The sonic tomographs characterized 27.9% of the individuals with internal wood decay, while the electrical resistance tomographs characterized 30.2% of them in this same condition. Only five individuals had different results between the equipment. When analyzed as a whole, the tomographs showed that 55.8% of the trees had good internal wood conditions, while 16.3% had internal decay, 16.3% had early decay and 11.6% had an advanced degree of wood degradation, with cavities and internal cracks. The correlation index obtained between the equipment results was 0.85, showing a great association in their results. It can be concluded that both tomographs provide important information to help diagnose the internal condition of the trunk, but the correct interpretation of the tomographs depends directly on the level of knowledge and experience of the operator.

Key-words: Tomography. Failure potential. Urban forestry. Internal decay. SoT. ERT.

INTRODUÇÃO

A análise do potencial de falha de uma árvore é um processo sistemático para identificar, analisar e avaliar o risco (DUNSTER *et al.*, 2013), podendo variar de uma simples inspeção visual até investigações internas com equipamentos altamente tecnológicos (ANSI, 2011, SMILEY *et al.*, 2011), chamadas de avaliações avançadas ou nível 3.

Esse tipo de avaliação pode incluir inspeções aéreas, métodos avançados de detecção de decomposição e avaliações estáticas / dinâmicas de estabilidade de árvores (VAN WASSENAER, RICHARDSON, 2009; DUNSTER *et al.*, 2013; KOESER *et al.*, 2017), diferindo em custo, tecnologia subjacente, nível de invasão e requisitos de tempo (NICOLOTTI, MIGLIETTA, 1998; OUIS, 2003; JOHNSTONE *et al.*, 2010; LEONG *et al.*, 2012).

Nas últimas décadas, os métodos tomográficos surgiram como aqueles menos invasivos para avaliar a condição interna do tronco em avaliações de nível 3 (BUCOR, 2005), com a fabricação de aparelhos de última geração capazes de gerar imagens internas da árvore, sem colocar em risco a sua saúde em longo prazo (BRAZEE, MARRA, 2019). Estes, por sua vez, trabalham de diferentes formas e geram tomogramas que podem ser, dentre outras, do tipo sônica (SoT), onde é medida a velocidade das ondas sonoras enquanto elas viajam pela madeira, e por resistência elétrica (ERT), onde se determina a condutividade elétrica por meio de tecido lenhoso (BRAZEE *et al.*, 2011).

Independente do princípio de trabalho, os arboristas reconhecem, cada vez mais, que essa ferramenta é uma forma útil de analisar a condição interna das árvores (SMILEY *et al.*, 2011), com avaliações razoavelmente precisas (JOHNSTONE *et al.*, 2010), porém, ainda não está claro como as informações adicionais fornecidas por esses instrumentos impactam as avaliações de risco quanto à probabilidade de falha da árvore. Os métodos existentes para estimar a perda de resistência mecânica da madeira diferem em seus resultados (KANE *et al.*, 2001; KOESER *et al.*, 2017) e podem não oferecer estimativas precisas para defeitos mais complexos, como cavidades, por exemplo (KANE, RYAN, 2004).

Entender essas particularidades constitui uma revolução para a avaliação da qualidade do interior das árvores urbanas, uma vez que, antes desses equipamentos, não era possível conhecer seções inteiras de árvores com tamanhas rapidez e praticidade (PEREIRA *et al.*, 2007), podendo contribuir para minimizar o dano potencial em caso de queda e evitar o abate de árvores sadias (HEIKURA *et al.*, 2008).

No entanto, aplicações práticas mostram que cada tecnologia tem seus prós e contras, sendo de suma importância que sejam mais bem estudadas e compreendidas, a fim de determinar sua eficácia para ações de manejo das árvores urbanas (YUE *et al.*, 2019). Cabe ressaltar, ainda, que a complexidade na interpretação dos resultados dos tomogramas, implica na associação com outros métodos e tecnologias que tornem a avaliação mais acurada, como a resistografia, por exemplo.

O objetivo deste estudo foi analisar a condição interna do tronco de *Spathodea campanulata* por meio de tomogramas sônico e de resistência elétrica, a fim de associar os resultados entre os equipamentos.

METODOLOGIA

Foram realizados tomogramas de caráter sônico e de resistência elétrica em 43 indivíduos de *Spathodea campanulata* que compõem a arborização de uma das vias principais do *campus* da Universidade Federal de Viçosa, na cidade de Viçosa, em Minas Gerais, situado nas coordenadas 20°45'37"S e 42°52'04" O.

O município de Viçosa compreende o Domínio Morfoclimático de Mares de Morros, com clima classificado em tropical de altitude (VALVERDE, 1958; AMARAL, REIS, 2017) com período bem definido de chuvas volumosas e temperaturas mais elevadas e outro com baixos índices pluviométricos e temperaturas amenas (BATISTA, RODRIGUES, 2010).

Está inserido na porção noroeste da Zona da Mata de Minas Gerais, entre as coordenadas geográficas de 20°45'14'' de latitude Sul e 42°52'54'' de longitude Oeste (AMARAL, REIS, 2017) e na bacia hidrográfica do Rio Doce, sendo abastecido pelo rio Turvo Sujo e, principalmente, pelo ribeirão São Bartolomeu (ROQUE, 2013). Sua cobertura vegetal consta de remanescentes secundários de Floresta Estacional Semidecidual, do bioma Mata Atlântica (AGUIAR, TEIXEIRA, 2015).

Para capturar os tomogramas sônicos e de resistência elétrica, foram utilizados neste estudo os equipamentos PiCUS® Sonic Tomograph 3 e o TreeTronic 3, cedidos pela Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG, os quais são de origem alemã e fabricados pela empresa Argus Electronic.

Segundo o fabricante, o Tomógrafo Sônico (SoT) mede a velocidade das ondas sonoras na madeira para detectar decomposição e cavidades em árvores em pé de forma não invasiva. A velocidade acústica depende do módulo de elasticidade e da densidade da própria madeira, uma vez que degradação do material lenhoso causa fraturas, cavidades ou

apodrecimento e reduzem a elasticidade e a densidade do mesmo. Usando informações de tempo de viagem acústica e dados de geometria do nível de medição, o software calcula tomogramas que mostram as velocidades sônicas aparentes, chamados de tomogramas sônicos ou acústicos. A velocidade do som na madeira está correlacionada com sua resistência mecânica e é, portanto, uma medida para inferir sobre o potencial de falha do tronco (ARGUS ELECTRONIC, 2017).

Já o Tomograma por Resistência Elétrica (ERT) é um método de inspeção originalmente desenvolvido no campo da geofísica. Utiliza tensão e corrente elétrica, fornecida por eletrodos colocados em uma superfície, para localizar anomalias de resistência. O Tomógrafo Tretronic® utiliza os princípios de trabalho do ERT para inspecionar a resistência da madeira nas árvores, sendo esta influenciada pelo conteúdo de água, estrutura celular, composição química, concentração de íons, dentre outros. Ele é usado, principalmente, em conjunto com o tomograma sônico (SoT) e permite ao operador analisar o tipo de defeito e o tamanho das paredes residuais de forma mais precisa, além de ser muito sensível na detecção de estágios iniciais de deterioração. (GOCKE, 2017).

Ambos os tomogramas foram realizadas 20 cm acima da base da árvore, considerando – se um ponto de fragilidade do tronco em caso de deterioração, acompanhado de medição de circunferência, marcação e alocação de pregos galvanizados de 5,1, cm de comprimento, em profundidade superior à da casca, estabelecendo contato com o alburno. Estes foram espaçados entre 15 e 20 cm e constituíram os pontos de medição (MPs), onde foram inseridos os sensores e eletrodos para a coleta dos dados sônicos e elétricos (Figura 9).

Os MPs foram numerados sequencialmente, a partir do MP-1, colocado no norte magnético (determinado com uma bússola). Para todas as seções transversais, foram feitas todas as tentativas de usar o maior número possível de MPs, proporcionalmente à circunferência da seção transversal. Informações de diâmetro do tronco e espécie também foram coletadas nesse momento.

Figura 8 – MPs alocados na árvore para inserção dos eletrodos e sensores.



Fonte: a autora

A quantidade de pontos foi, então, inserida no equipamento, para que fosse feita aferição da geometria do tronco, por meio do equipamento Picus Calliper (Figura 10), que fornece informações de geometria exata sobre as posições de todos os pontos de medição para o cálculo dos tomogramas pelos tomógrafos. Segundo o fabricante, quanto mais precisas essas posições, mais exato será o tomograma.

Figura 9– Aferição da geometria da árvore com o equipamento Picus Calliper.



Fonte: a autora

Em seguida, foram alocados os sensores do tomógrafo sônico, correspondentes à identificação de cada ponto, onde são emitidas e recebidas as ondas sonoras pela batida do martelo sônico, que acompanha o equipamento.

Cerca de cinco batidas devem ser realizadas em cada ponto, a fim de que todos atuem como emissor e receptor da onda. É importante verificar a boa fixação do sensor na árvore e atentar para a distribuição dos pontos de forma homogênea e em regiões de interesse, como aquelas que apresentam defeitos visíveis (Figura 11).

Figura 10– Sensores do tomógrafo sônico fixado ao ponto de medição na árvore e emissão da onda por meio do martelo sônico.



Fonte: a autora

Após registrar a leitura, a geometria do fuste é exportada para o tomógrafo de resistência elétrica, por meio do qual será realizada a medida de condutividade elétrica pela madeira. Para essa análise, o número de MPs é o dobro em relação ao anterior e a alocação dos eletrodos é, então, realizada nos pontos correspondentes para que seja emitida a corrente. Os condutores positivos e negativos, conectados a cada par de pregos automatiza um processo pelo qual um pulso elétrico é gerado e detectado pelos outros pares de eletrodos, gerando a imagem do tomograma (Figura 12).

Figura 11– eletrodos fixados nos pontos de medição para a execução do tomograma de resistência elétrica (ERT).

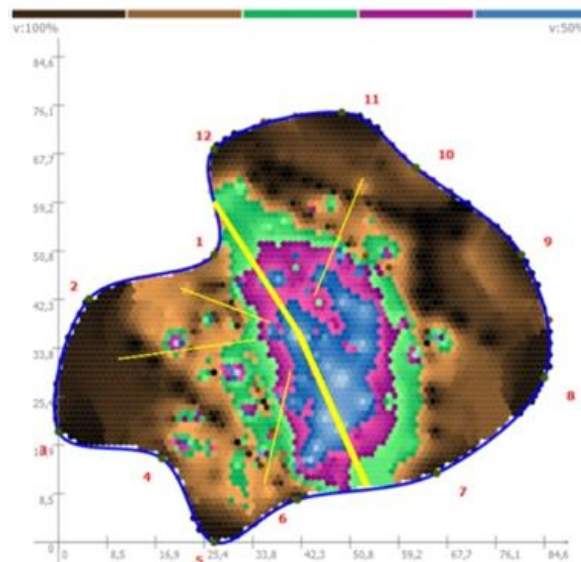


Fonte: a autora

Os dados obtidos foram exportados por meio do *software* Picus, sendo as velocidades do som usadas para estimar a área do tecido de madeira em decomposição e os resultados de resistência elétrica para inferir sobre condutividade elétrica por meio do tecido lenhoso.

O *software* produz uma imagem com uma escala colorimétrica representando as densidades da madeira nessa seção transversal. A escala colorimétrica designa madeira intacta e não deteriorada como marrom (velocidades relativas mais altas), enquanto a madeira deteriorada é designada por verde, rosa e azul (velocidades relativas mais baixas, em ordem decrescente) (Figura 13).

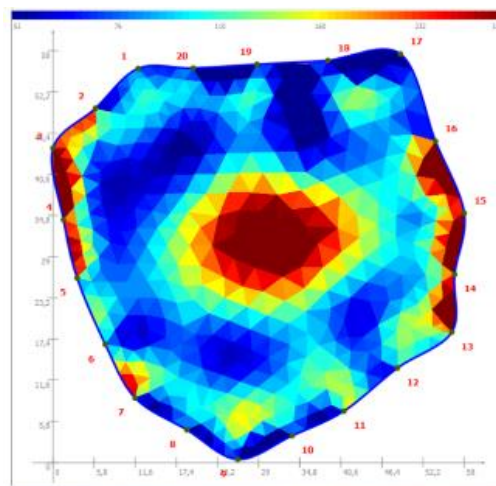
Figura 13 – Escala colorimétrica produzida pelo tomograma sônico (SoT).



Fonte: a autora

Já para o tomograma por resistência elétrica, desvios da homogeneidade na madeira resultam em um mapa de resistividade elétrica relativa, correlacionando-se principalmente com o teor de água, mas também com mudanças na concentração de íons e / ou estrutura celular, assim, o mapa usa vermelho para retratar áreas de maior resistividade elétrica (baixa condutividade), progredindo em laranja, amarelo, verde e azul com resistividade decrescente (alta condutividade) (Figura 14).

Figura 14 - Escala colorimétrica produzida pelo tomograma de resistência elétrica (ERT).
Fonte: a autora



Os dados do SoT e ERT devem ser interpretados em conjunto para prever com precisão a condição interna em cada seção transversal de uma árvore, com base nos seguintes critérios (MARRA *et al.* 2018; BRAZE, MARRA, 2020):

- a) Regiões de cor marrom no tomograma sônico (densidade máxima da madeira) e de coloração vermelha no tomograma de resistência elétrica (ausência de umidade) sinalizam condições de madeira saudável;
- b) Regiões de cor marrom no tomograma sônico (máxima densidade da madeira) e de coloração azul no tomograma de resistência elétrica (presença de umidade) representam condições de deterioração incipiente ou umidade bacteriana;
- c) Regiões de cor azul/rosa no tomograma sônico (densidade reduzida da madeira) e vermelha no tomograma de resistência elétrica (ausência de umidade) indicam a existência de cavidade;
- d) Regiões de cor azul/rosa no tomograma sônico (redução na densidade da madeira) e azul no tomograma de resistência elétrica indicam deterioração ativa da madeira.

A união das análises é recomendada pelos próprios fabricantes, mas devido ao custo dos equipamentos e particularidade de cada metodologia, buscou-se aprofundar as análises

tanto individuais quanto em conjunto. Para analisar a associação dos equipamentos com os resultados interpretados e entre si foi calculado índice de correlação de Pearson entre os parâmetros de grau de decaimento interno.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

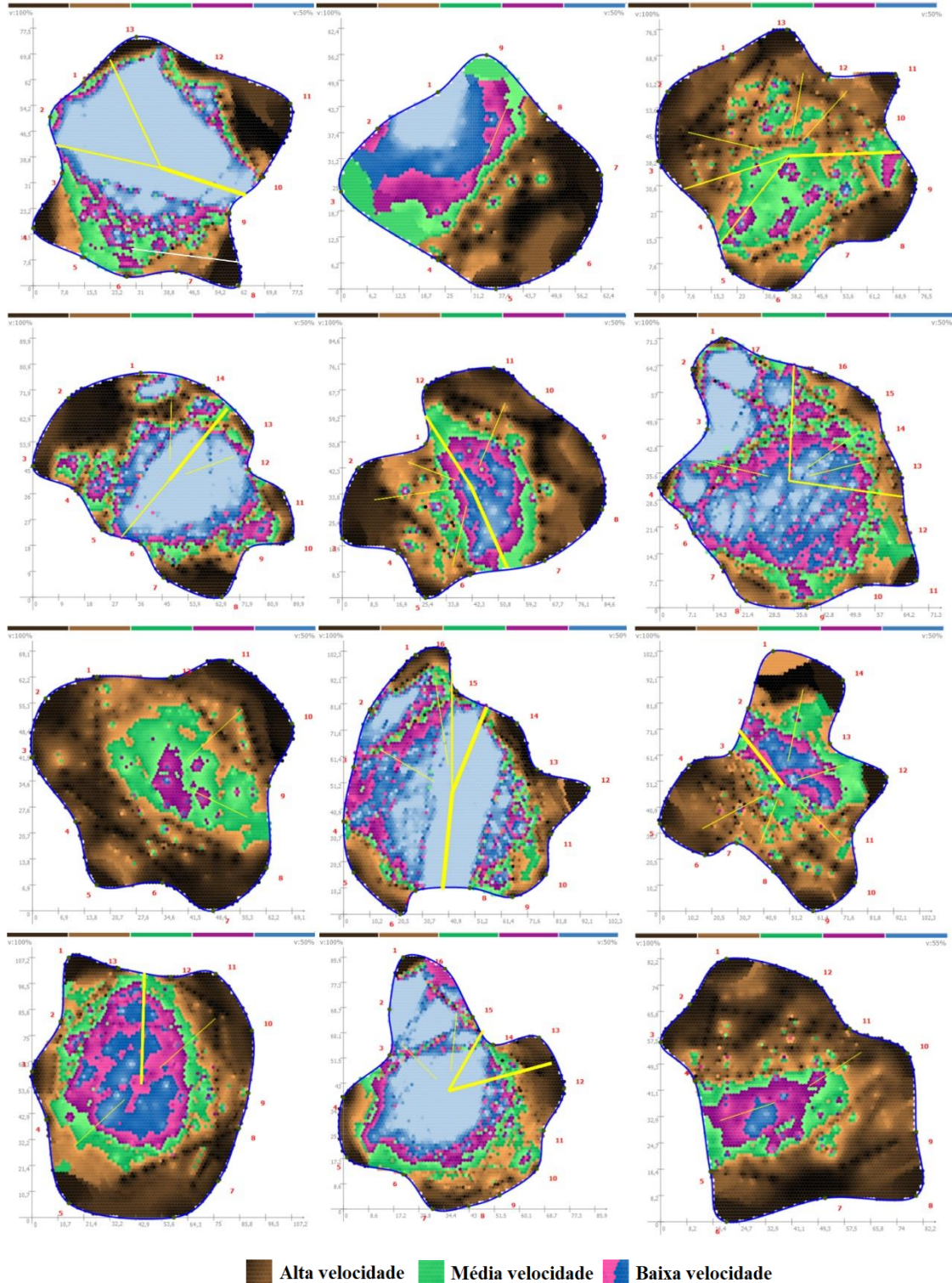
Tomógrafo Sônico (SoT)

As análises dos tomogramas sônico indicaram que 27,9% dos indivíduos de *Spathodea campanulata* avaliados apresentam decaimento da condição da madeira expressivo, com ocos ou rachaduras e deterioração no interior do tronco (Figura 15).

As mudanças de cores representam maior ou menor velocidade de propagação da onda sonora na madeira, apenas na secção analisada. Nota-se que o marrom escuro indica áreas com onda de alta velocidade e o azul/rosa representa uma área com ondas de condutividade menor, refletindo em uma relação entre módulos de elasticidade/densidade muito ruim, o que acontece devido à degradação de grande quantidade de celulose, hemicelulose e lignina da madeira, por meio de podridão do lenho, que diminui a densidade de acordo com a formação de defeitos no interior do tronco. Isso altera o tempo de propagação da onda sonora, uma vez que seu caminho muda de uma linha reta para uma linha curva (YUE *et al.*, 2019). Imagens com altos índices de cor azul celeste podem também indicar a presença de rachaduras internas, uma vez que a presença destas compromete a linearidade do percurso da onda, desviando-a para um caminho mais longo que o natural (WANG, ALLISON, 2008).

Fizeram parte deste grupo principalmente as árvores que apresentaram valores de média e alta velocidade na porção central do tronco e, também aquelas com valores de média e alta velocidade nas extremidades, ocupando mais de 50% da área. Cabe ressaltar que quando a deterioração do tronco ocorre numa das extremidades e não no centro, o momento de resistência (capacidade da árvore em suportar esforços mecânicos externos) no sentido oposto ao da deterioração diminui num grau maior porque a força de tensão na madeira é maior do que a força de compressão. Logo, a perda de resistência de uma secção transversal de um tronco depende não só da extensão da degradação, mas acima de tudo de sua localização (RINN, 2011; SACRAMENTO 2013).

Figura 15 – Leituras das secções de indivíduos de *Spathodea campanulata* caracterizados com defeitos pronunciados da condição interna do tronco pelo tomograma sônico (SoT).

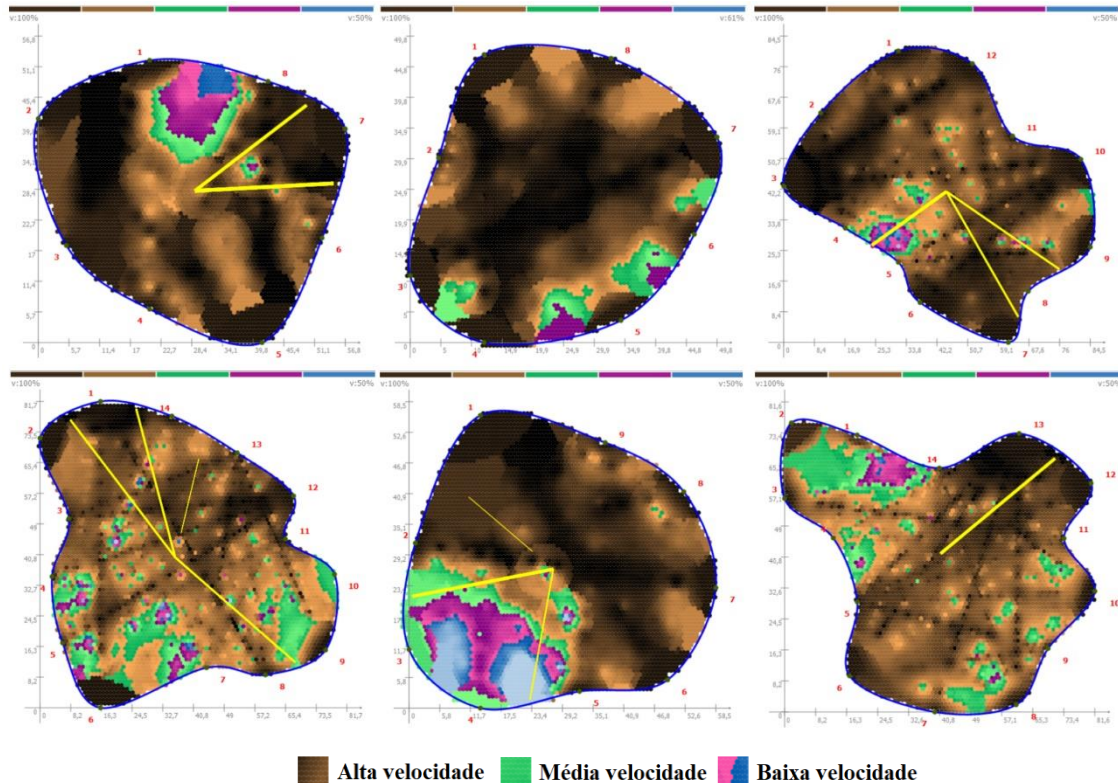


Fonte: a autora

Outras árvores também apresentaram áreas com possíveis defeitos, no entanto, ocupam uma proporção menor da área do tronco (Figura 16). Este resultado alerta para ações

de monitoramento nestes indivíduos, visto que se encontram em uma fase inicial do processo de decaimento.

Figura 16 – Leituras das secções de indivíduos de *Spathodea campanulata* caracterizados com defeitos internos do tronco em menores proporções pelo tomograma sônico (SoT).



Fonte: a autora

Deve ser levado em conta que a dimensão do defeito que o equipamento pode detectar é dependente do diâmetro da árvore, do número de pontos de medição alocados e do tipo de madeira (quanto maior for a densidade da madeira, menor será o defeito que pode ser detectado). Em geral, a menor anomalia detectável situa-se na gama de 5 a 10 cm, o que elimina algumas suposições, como orifícios de brocas (GILBERT, SMILEY, 2004).

O fato de que o tomógrafo pode detectar defeitos iniciais e pequenos tem importância para a eficácia do monitoramento das florestas urbanas, uma vez que é capaz de identificar regiões de menor resistência da madeira causada, por exemplo, por lesões mecânicas ou fungos, mesmo que sem sintomas visíveis (FAN *et al.*, 2008; SECCO, 2011). Isso possibilita um monitoramento baseado no avanço ou não da anomalia, considerando que o ponto de partida para o apodrecimento da madeira em árvores vivas é a presença de uma ferida qualquer (SHORTLE, DUDZIK, 2012).

Mesmo assim, o conhecimento sobre a detecção de estágios iniciais de decomposição da madeira do caule ainda é muito baixo e carece de estudos posteriores (DEFJORIO *et al.*, 2007).

A maior parte das árvores analisadas (58,1%) apresentou homogeneidade na velocidade de propagação do som, resultando em um tomograma com grande percentual de cor marrom claro e escuro (Apêndice A). Este resultado, no entanto, não garante que a madeira apresente alta resistência, apenas revela a inexistência de alteração na propagação da onda sonora.

Esse tipo de resultado deve ser interpretado de forma atenciosa, como mostram estudos realizados por Deflorio *et al.* (2007), onde o tomograma sônico não detectou casos de deterioração com avanço da periferia para o centro, variando, por exemplo, com o perfil invasivo do fungo decompositor. Ao se considerar que cargas geradas pelo vento podem introduzir tensões de flexão nesse sentido (MATTHECK & BRELOER, 2003), deve haver cuidado na interpretação do resultado.

Além disso, tanto a equação matemática utilizada pelo software do fabricante quanto a frequência das batidas na medição são características relevantes que contribuem para a qualidade da resolução dos tomogramas. Cálculos baseados nas propriedades isotrópicas da madeira, por exemplo, levam ao chamado “efeito fantasma”, que super ou subestima a velocidade da onda (NICOLOTTI *et al.* 2003), fator esse que não é claramente explicado pelo fabricante do equipamento mas que, provavelmente, está relacionado com a complexidade da forma da secção transversal, ou seja, quanto mais próximo de um círculo o fuste estiver, maior seria a exatidão do tomograma e vice-versa (RABE *et al.*, 2012). Assim, esta dificuldade pode ser revertida por meio da integração com outros tipos de avaliação de decaimento da madeira, como avaliações visuais, tomógrafos com outros princípios de funcionamento ou resistografia.

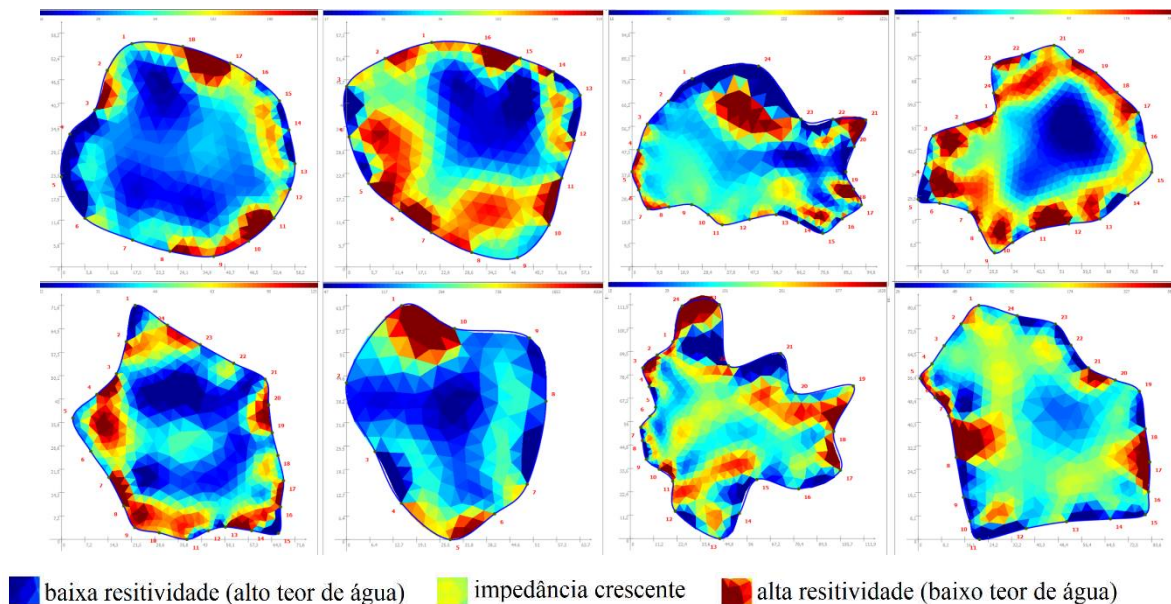
Tomograma por Resistência Elétrica (ERT)

Para a análise dos tomogramas de resistência elétrica é necessário compreender primeiro o padrão da espécie, para evitar erros de interpretação. Assim, desconsiderando as árvores que apresentaram valores de média e alta velocidade com o tomógrafo sônico, o que já indica um possível decaimento da madeira, constatou-se que 80% das árvores apresentaram baixa condutividade elétrica na porção central do tronco (Apêndice B). Ou seja, as árvores saudáveis apresentam alta resistência no centro (vermelho) e baixa resistência nas bordas, com maior teor de umidade nas extremidades do que na porção central, evidenciando que o

cerne da madeira de *Spathodea campanulata* é menos condutor (maior resistividade) do que a extremidade da árvore.

As análises feitas com o tomógrafo de resistência elétrica indicaram que 18,6% dos indivíduos de *Spathodea campanulata* avaliados apresentam condição inversa ao padrão estabelecido para a espécie, com menor resistividade no centro do que nas extremidades (Figura 17). Este resultado, por indicar que a porção central das árvores apresenta menor resistividade, com possível teor de umidade mais elevado, sugere indivíduos com deterioração interna do tronco.

Figura 17 - indivíduos de *Spathodea campanulata* em condição de deterioração interna na porção central do tronco, segundo tomograma de resistência elétrica (ERT).



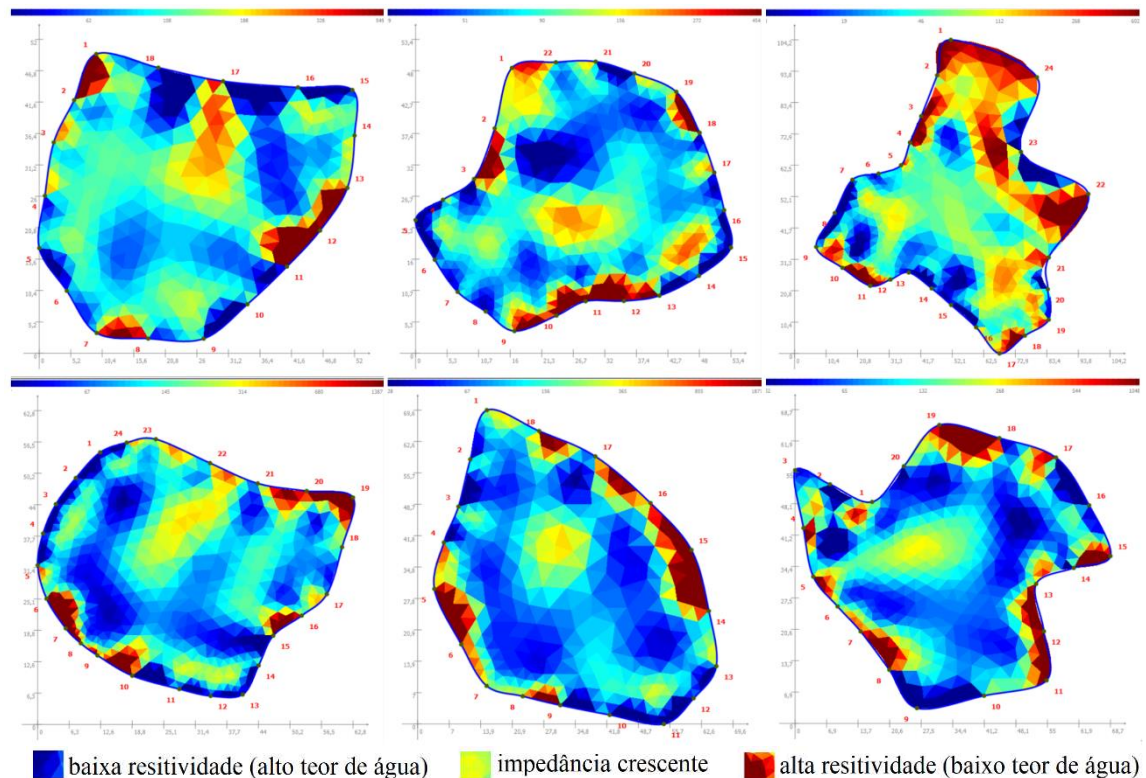
Fonte: a autora

Isso ocorre, pois, uma vez que a madeira entra em processo de degradação, suas paredes celulares são decompostas e fazem com que a madeira apodreça e se desintegre. Quando a madeira está apodrecida e descolorida, o crescimento de hifas fúngicas requer muita água, o que aumentará o teor de umidade da área deteriorada, dessa forma, haverá um aumento na concentração de íons metálicos como potássio, cálcio, manganês e magnésio na madeira, comprometendo sua resistividade em comparação com madeira saudável (YUE, 2019). Além disso, a resistividade é influenciada pela porosidade e textura do lenho, também modificadas pelo processo de decomposição (NICOLOTTI *et al.*, 2003).

Destaca-se, no entanto, que 13,9% das análises com o tomógrafo elétrico não permitiram definir de forma clara a condição das árvores (Figura 18). Nestas análises a porção central das árvores apresentaram valores de resistividade intermediários (verde/amarelo),

impossibilitando a classificação da porção central em alta (vermelho) ou baixa resistividade (azul). Além disso, nas três últimas árvores, embora o padrão da espécie possa ser sutilmente percebido, a proporção do tronco com valores de baixa resistividade (maior área azul) predominaram na imagem.

Figura 18 - indivíduos com regiões de baixa condutividade elétrica, segundo tomograma de resistência elétrica (ERT).

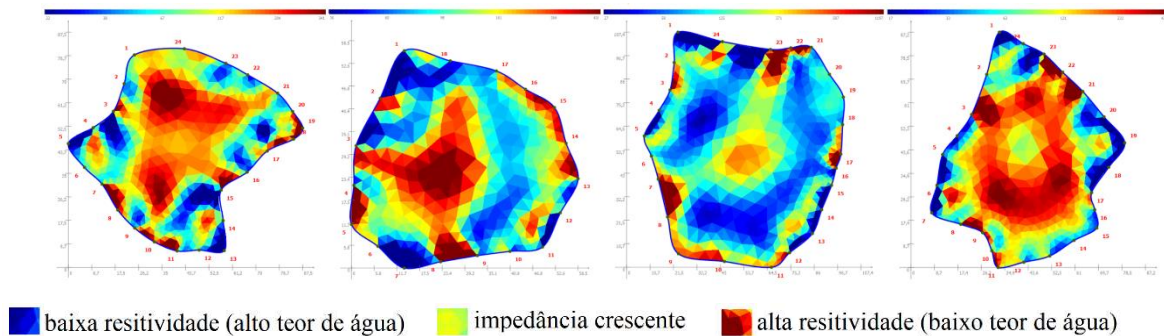


Fonte: a autora

O manual do tomógrafo afirma que para avaliar a saúde e a estabilidade das árvores com base na resistência elétrica é preciso ter muita experiência. Isto porque, a resistência elétrica da madeira é influenciada por diversos fatores, principalmente: teor de água; elementos químicos que mudam de acordo com o estado da madeira; e estrutura celular (como madeira de reação) (GOCKE, 2017). Neste sentido, destaca-se a importância de se considerar a possibilidade de não existir madeira no centro de uma árvore, ou seja, a presença de ocós.

A presença de cavidade, também resulta em áreas com baixa condutividade no tomograma (alta resistividade - vermelho) podendo levar a erros de interpretação. A análise de campo em conjunto com a compreensão do manual permitiu constatar esta situação em 9,3% das árvores (Figura 19).

Figura 19 - indivíduos com regiões de baixa condutividade elétrica, mas com presença de cavidade previamente conhecida segundo tomograma de resistência elétrica (ERT).



Fonte: a autora

A presença de cavidade nestas árvores era conhecida antes da realização do tomograma. Algumas delas abrigavam ninhos de abelha, com exposição externa de um pequeno orifício, identificado facilmente pela intensidade de movimentação dos insetos.

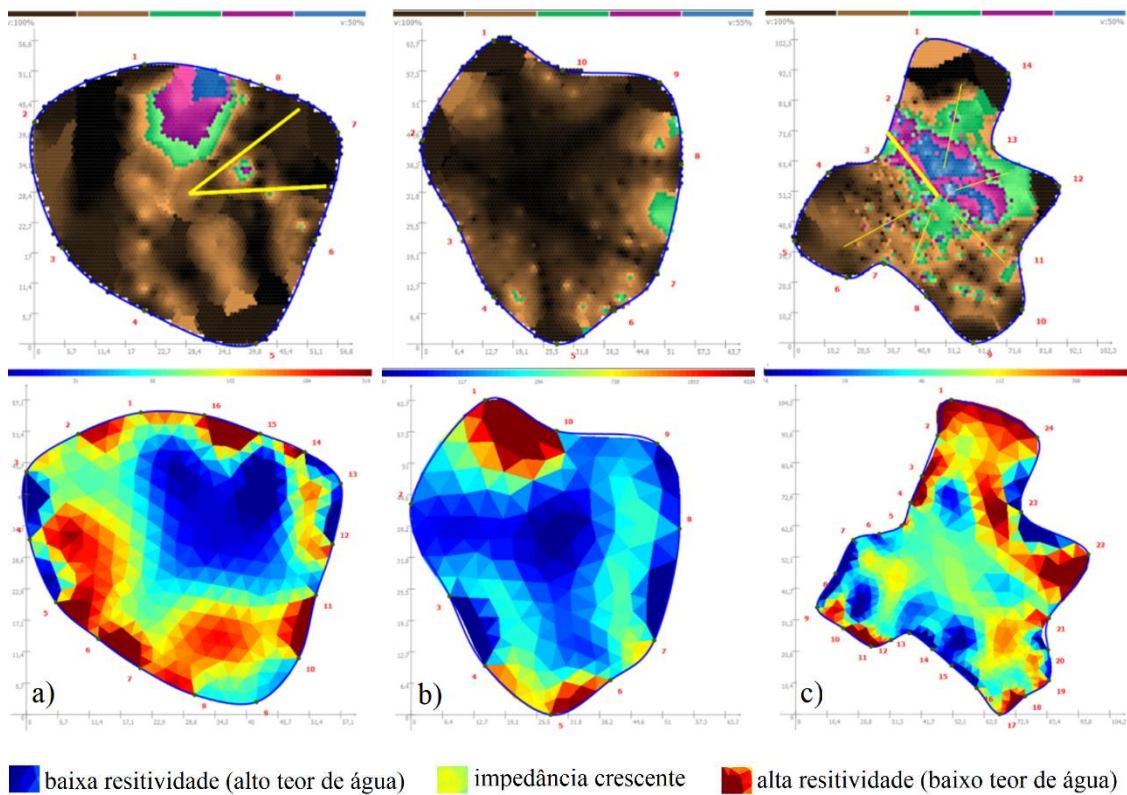
Por fim é possível afirmar que o tomógrafo de resistência elétrica identificou problemas em 25,6% das árvores. Das 11 árvores, 8 foram diagnosticadas com significativo decaimento da condição da madeira também com o uso do tomógrafo sônico.

Principais diferenças SoT e ERT

Das três árvores em que foram identificados problemas com o tomógrafo de resistência elétrica, mas não com o sônico, apenas uma apresentou homogeneidade na velocidade de propagação do som e teve a porção central com menor resistividade elétrica, indicando resultados que poderiam levar a interpretações distintas entre os equipamentos (Figura 20b).

É conhecido que, em fases iniciais de decaimento, o tomograma de resistência elétrica é mais preciso quando comparado ao sônico, pelo fato de que os fungos decompositores se estabelecem entre as células da madeira e secretam enzimas para degradar a celulose, hemicelulose e lignina presentes, alterando a composição química do lenho logo nos primeiros estágios de colonização, o que exerce influência sobre a resistividade. Já o tomograma sônico depende da presença de espaços capazes de alterar significativamente o caminho da onda sonora (YUE, 2019), apresentando melhor desempenho quando já existe degradação pronunciada em cavidades e fissuras. Dessa forma, o grau de decomposição pode, muitas vezes, explicar as diferenças dos resultados em um mesmo indivíduo ao ser detectada por um ou o outro aparelho.

Figura 20 – Secções do tronco de indivíduos caracterizados de forma distinta quanto ao decaimento interno com o tomograma sônico (SoT) e de resistência elétrica (ERT).



Fonte: a autora

O manual do fabricante pontua, ainda, que as análises de resistividade muitas vezes são como uma previsão, visto que a degradação pode ser detectada em fases extremamente precoces, incapazes de afetar o módulo de elasticidade da madeira (MOE), que, junto à densidade, é quem determina a velocidade da onda sonora. Nesse sentido, a avaliação visual prévia pode orientar o processo de interpretação (GOCKE, 2017).

Os demais indivíduos tiveram resultados semelhantes nas leituras de ambos os equipamentos, o que só foi evidenciado após a comparação árvore – árvore, o que não ocorre em sua análise individual.

Por apresentar uma pequena porção do tronco com valores de média e alta velocidade de propagação do som (azul-rosa-verde), um dos indivíduos (Figura 20a), foi classificado pelo tomograma sônico no grupo intermediário de decaimento interno da madeira, no entanto, pelo tomograma de resistência elétrica manteve-se no grupo principal, aquele com menor resistividade elétrica na porção central (azul).

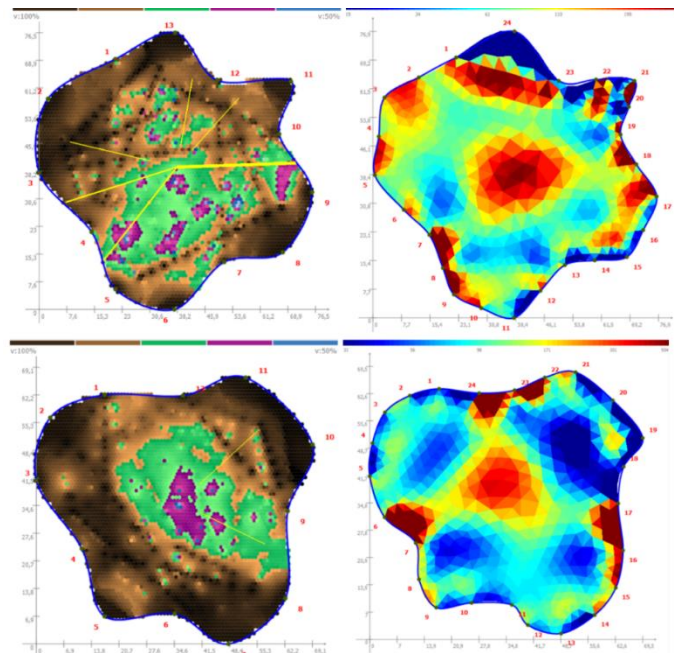
Apenas um indivíduo (Figura 20c) foi inserido no grupo com condição indefinida, por meio de ERT. É possível que tenha ocorrido subestimação da degradação por parte do

tomógrafo sônico, como em estudos de Burcham et al. (2019), onde se observou sensibilidade reduzida do equipamento para captar leves alterações na forma de propagação da onda sonora, o que constitui uma limitação na interpretação dos resultados e deve ser um ponto de atenção.

Por outro lado, variações entre o alborno e o cerne podem induzir a diferenças de resistividade da madeira e confundir conclusões sobre a deterioração por meio dos tomogramas de resistência elétrica (BIEKER, RUST 2010), visto que ocorrem alterações químicas e físicas nos tecidos do xilema à medida que estes perdem sua função. Além disso, áreas altamente condutoras de eletricidade podem mascarar áreas de baixa condutividade, onde estão as cavidades, influenciando na interpretação da leitura pelo software (BRAZEE *et al.*, 2011).

Vale destacar ainda que duas árvores diagnosticadas sem defeito pelo tomograma de resistência elétrica tiveram valores de média e alta velocidade de propagação do som na porção central do tronco (Figura 21).

Figura 21 – Indivíduos com diagnósticos conflitantes entre os equipamentos.



Fonte: a autora

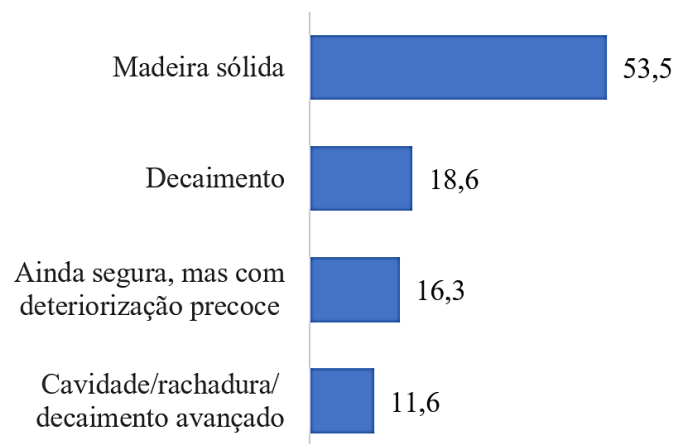
Embora os tomogramas de resistência elétrica indiquem o padrão para árvores saudáveis de *Spathodea campanulata*, a imagem do tomograma sônico sugere existência de defeito, do tipo rachadura. Assim, os tomogramas sônicos podem demonstrar a fase inicial do surgimento desse defeito. Vale destacar também que como foi discutido para cavidade, a

existência de rachadura também é caracterizada por áreas com baixa condutividade no tomograma (alta resistividade - vermelho).

Análise em conjunto (SoT + ERT)

Quando analisadas em conjunto, as leituras dos tomógrafos mostram que 30,3% dos indivíduos apresentam cavidades ou decaimento expressivo no interior do tronco (Figura 22).

Figura 22 – Caracterização da condição interna do tronco para os indivíduos de *Spathodea campanulata* avaliados pelos dois tomógrafos.



Fonte: a autora

Com esta análise, é possível afirmar que 53,5% das árvores apresentaram madeira sólida, descartando qualquer hipótese sobre problemas na condição interna da árvore.

A análise de correlação aplicada entre os resultados apresentados pelo tomógrafo sônico e o de resistência elétrica resultou em coeficiente igual a 0,72, que indica forte semelhança entre seus resultados sobre a condição interna da madeira.

Ao comparar o uso individual de cada equipamento ao uso em conjunto, verificou-se uma correlação maior para o tomógrafo sônico (0,91) do que para o tomógrafo de resistência elétrica (0,86). Com isso, verifica-se uma leve superioridade na acurácia do tomógrafo sônico sobre o de resistência elétrica, por meio desta análise.

De qualquer forma, a utilização de informação sônica e de resistência elétrica em conjunto permite fazer uma análise mais completa de uma árvore, diagnosticando a natureza do defeito (fenda, cavidade ou apodrecimento) com mais precisão (GÖCKE, 2017), o que suporta melhor os processos de tomada de decisão na gestão da floresta urbana.

CONCLUSÃO

Analisando –se as leituras dos tomógrafos para os indivíduos de *Spathodea campanulata*, foi evidenciado com decaimento interno da madeira do tronco 25,6% pelo tomógrafo sônico e 30,2% via tomógrafo de resistência elétrica (ERT).

Foi possível caracterizar, com o uso dos equipamentos em conjunto, 53,5% das árvores em boas condições internas da madeira do tronco, 18,6% com decaimento interno pronunciado, 16,3% em estado de deterioração precoce e 11,6% em estado avançado de deterioração da madeira e com cavidades no interior do tronco.

Do total de indivíduos avaliados, cinco apresentaram resultados com interpretações distintas entre os equipamentos.

Os tomogramas SoT mostraram-se ligeiramente mais fáceis e assertivos de serem interpretados do que os ETRs, mas independente do tomógrafo utilizado, a interpretação correta mostra-se diretamente associada ao nível de conhecimento e experiência do operador.

A correlação obtida entre os resultados dos diferentes aparelhos foi de 0,72, mostrando alta associação entre os mesmos. Assim, ambos os tomógrafos proporcionaram informações importantes para auxiliar no diagnóstico sobre a condição interna do tronco, mas quando em conjunto as informações podem ser mais facilmente interpretadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSI. Tree, Shrub, and Other Woody Plant Management – Standard Practices. Tree Risk Assessment. Tree Structure Assessment ANSI A300 (Part 9). ANSI, p. 14, 2011.

BATISTA, M. S., RODRIGUES, R. A. Análise climática de Viçosa associada à ocorrência de eventos pluviométricos extremos. **Revista Caminhos da Geografia**, v. 11, n. 3, p. 52-67, 2010.

BRAZEE, N. J., MARRA, R. E., GÖCKE, L., VAN WASSENAER, P. Non-destructive assessment of internal decay in three hardwood species of northeastern North America using sonic and electrical impedance tomography. **Forestry: An International Journal of Forest Research**, v. 84, p. 33–39, 2011.

BRAZEE, N.J, MARRA, R. E. Tomography an innovative technique for assessing forest carbon storage. **Scientia**, Bristol, UK, 10 de Julho de 2019. Earth and Environment, Engineering and Tech. Disponível em: <<https://www.scientia.global/tomography-an-innovative-technique-for-assessing-forest-carbon-storage/>>. Acesso em: 29 de abril de 2021.

BRAZEE, N.J., MARRA, R. E. Incidence of Internal Decay in American Elms (*Ulmus americana*) Under Regular Fungicide Injection to Manage Dutch Elm Disease. **Arboriculture & Urban Forestry Online**, v. 46, n. 1, 2020.

BIEKER, D., RUST, S. Electric resistivity tomography shows radial variation of electrolytes in *Quercus robur*. **Can. J. For. Res.**, v. 40, p.1189-1193, 2010.

BUCOR V. Ultrasonic techniques for nondestructive testing of standing trees, **Ultrasonics**, v. 43, p. 237-239, 2005.

BURCHAM, D.C., BRAZEE, N.J., MARRA, R. E., KANE, B. Can sonic tomography predict loss in load-bearing capacity for trees with internal defects? A comparison of sonic tomograms with destructive measurements. **Trees**, v. 33, p. 681 – 695, 2019.

DEFLORIO, G., FINK, S., SCHWARZE, F.W. M. R. Detection of incipient decay in tree stems with sonic tomography after wounding and fungal inoculation. *Wood Science and Technology*, v. 42, p. 117 – 132, 2008.

DUNSTER, J. A., SMILEY, E. T., MATHENY, N., LILLY, S. **Tree risk assessment manual**. International Society of Arboriculture, Champaign, IL, p. 198, 2013.

FAN, H., GUO, S., TAMURA, Y., YANAGIDA, H., TAKAHASHI, T., ADACHI, K. Time of Flight Ultrasonic CT Based on MLEM for Wooden Pillars. **In: IEEE International Ultrasonics Symposium Proceedings**, p.4, 2008.

GILBERT, E. A., SMILEY, T. E. Picus Sonic tomography for the quantification of decay in white oak (*Quercus Alba*) and Hickory (*Carya* spp.). **Journal of Arboriculture**, v.30, n. 5, 2004.

GÖCKE, L. **PiCUS : TreeTronic - Electric Resistance Tomograph**. Hardware manual, version 3. Argus Electronic GMBH, 2017, 41 p.

HEIKURA, T., TERHO, M., PERTTUNEN, J., SIEVÄNEN, R. A computer-based tool to link decay information to 3D architecture of urban trees. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 7, n. 4, p. 233-239, 2008.

JOHNSTONE, D., MOORE, G., TAUSZ, M. , NICOLAS, M. The measurement of wood decay in landscape trees. **Arboric. Urban For.**, v. 36, p. 121-127, 2010.

KANE, B., RYAN, D., BLONJARZ, D.V. Comparing formulae that assess strength loss due to decay in trees. **J. Arboricult.**, v.27, n.2, p. 78-87, 2001.

KANE, B.C.P., RYAN, H.D.P. **The accuracy of formulas used to assess strength loss due to decay in trees**. *J. Arboric.*, v. 30, p. 347-356, 2004.

KOESER, A., HAUER, R.J., KLEIN, R. W. Y MIESBAUER, J.W. Assessment of likelihood of failure using limited visual, basic, and advanced assessment techniques. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 24, p. 71-79, 2017.

LEONG, E. C., BURCHAM, D.C., FONG, Y. K. A purposeful classification of tree decay detection tools. **Arboric. J.**, v. 34, p. 91-115, 2012.

MARRA, R.E., BRAZEE, N.J, FRAVER, S. Estimating carbon loss due to internal decay in living trees using tomography: implications for forest carbon budgets. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 10, 2018.

MATTHECK, C., BRELOER, H. The Body Language of Trees: A Handbook for Failure Analysis. **HMSO Publications**, p. 240, 2003.

NICOLOTTI, G., MIGLIETTA, P. Using high-technology instruments to assess defects in trees. **J. Arboric**, v. 24, p. 279 – 302, 1998.

NICOLOTTI, G., SOCCO, L. V., MARTINIS, R., GODIO, A., SAMBUELLI, L. Aplicação e comparação de três técnicas tomográficas para detecção de decomposição em árvores. **Journal of Arboriculture**, v 29, p.66-78, 2003.

OUIS, D. Non – destructive techniques for detecting decay in standing trees. **Arboricult. Journal**, v. 27, p. 159 – 177, 2003.

PEREIRA, L. C., FILHO, D. F. S., FILHO, M. T., COUTO, H. T. Z., MOREIRA, J. M. M. A. P, POLIZEL, J. L. Tomograma de impulso para avaliação do interior do lenho de árvores. **Revista Da Sociedade Brasileira De Arborização Urbana**, v.2, n. 2, 2007.

PiCUS : Sonic Tomograph. Hardware manual, version 3, 2 ed. **Argus Electronic GMBH**, Germany, 2017, 34 p.

RABE, C., FERNER, D., FINK, S., SCHWARZE, F. W. M. R. Detection of decay in trees with stress waves and interpretation of acoustic tomograms. *Arboricultural Journal*, v. 28, n.1-2, p. 3-19, 2012.

RINN, F. Basic Aspects of Mechanical Stability of Tree Cross-Sections. **Arborist News**, p. 52-54, 2011.

SACRAMENTO, F. A. C. B. **Tomograma das árvores do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra: avaliação do estado de conservação**. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Biotecnologia Vegetal - Especialidade em Biotecnologia). Universidade de Coimbra, 2013.

SECCO, C. B. Detecção de ocos em toras utilizando métodos de propagação de ondas ultrassônicas. **Dissertação** de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, 2011.

SHORTLE, W. C., DUDZIK, Z.R. Wood Decay in Living and Dead Trees: A Pictorial Overview. United States Department of Agriculture (USDA), **General Technical Report NRS-97**, 2012.

SMILEY, E.T., MATHENY, N., LILLY, S. Best Management Practices: Tree Risk Assessment. **International Society of Arboriculture**, p. 81, 2011.

VAN WASSENAER, P. & RICHARDSON, M. A review of tree risk assessment using minimally invasive technologies and two case studies. **Arboric. Journal**, v. 23, p. 275-292, 2009.

WANG, X., ALLISON, R. B. Decay Detection in Red Oak Trees Using a Combination of Visual Inspection, Acoustic Testing, and Resistance Microdrilling. **Arboriculture & Urban Forestry**, v. 34, n.1, p.1-4, 2008.

YUE, X., WANG, L., WACKER, J. P., ZHU, Z. Electric resistance tomography and stress wave tomography for decay detection in trees—a comparison study. **PEERJ**, v. 7, 2019.

CAPÍTULO 4

ASSOCIAÇÃO DA CONDIÇÃO INTERNA DO TRONCO de *Spathodea campanulata* P. BEAUV. COM OS TOMOGRAMAS E PARÂMETROS VISUAIS DE RISCO DE QUEDA

RESUMO

EMERICK, Tamílis das Graças, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2021. **Associação da condição interna do tronco de *Spathodea campanulata* P. BEAUV. com os tomogramas e parâmetros visuais de risco de queda.** Orientadora: Angeline Martini. Coorientadora: Marina Moura de Souza.

A eliminação total do risco de queda de árvores no meio urbano é uma atividade econômica e tecnicamente inviável, por isso, um bom gestor deve dispor de ferramentas eficientes que orientem suas intervenções, evitando equívocos e garantindo a máxima extração dos benefícios da floresta urbana. O objetivo deste estudo foi verificar quais parâmetros observados na análise visual podem estar associados a real condição interna do tronco de *Spathodea campanulata*, bem como verificar se os tomogramas SoT e ERT refletem esta condição. Para isso, foram analisados cortes do tronco de 30 indivíduos da espécie suprimidos no campus da UFV em Viçosa-MG. Seu aspecto visual foi comparado aos resultados de tomogramas e análises visuais, realizados previamente ao corte. Observou-se que 26,7% das árvores cortadas apresentaram cavidades, 20,0% rachaduras e 10,0% deterioração da madeira. A maioria (70,0%) dos cortes refletiram o resultado apontado pelos tomógrafos, além disso, nenhuma árvore identificada como em condições normais no corte foi classificada de forma diferente pelas leituras dos tomogramas. O principal motivo de divergência entre a condição real observada e o resultado do tomograma foi a dificuldade de detecção de rachaduras em estágio inicial pelo equipamento. Para a detecção de cavidade foi observado que o tomógrafo sônico apresenta resultados de mais fácil interpretação, já na detecção de deterioração de parte da madeira, o elétrico mostrou-se mais preciso, além disso, o uso dos equipamentos em conjunto garantiu melhores resultados, embora não pareça imprescindível para a detecção de todos os defeitos. Não foi possível definir uma metodologia de análise visual com associação aos problemas evidenciados no corte, mas identificaram-se nove parâmetros presentes nos formulários que foram mais comuns nas árvores com algum tipo de dano (folhagem rala, ocos nos galhos, pragas, rachaduras (raízes e colo), ninhos e colmeias na base, apodrecimento do cerne, brotação epicórmica no tronco, inclinação do tronco, e exsudação de seiva pelo tronco), entre os quais três são foram avaliados por ambas as metodologias (folhagem rala, ocos nos

galhos e inclinação). O uso dos tomógrafos não excluem inspeções visuais e o uso dessas técnicas em conjunto pode tornar o processo de avaliação de risco de queda de árvores mais sólido e assertivo.

Palavras-chave: Inspeção visual. Silvicultura urbana. Tomogramas. Supressão.

CHAPTER 4

ASSOCIATION OF THE INTERNAL TRUNK CONDITION OF *Spathodea campanulata* WITH THE TOMOGRAMS AND PARAMETERS OF VISUAL RISK ANALYSIS

ABSTRACT

EMERICK, Tamiris das Graças, M.Sc, Universidade Federal de Viçosa, June, 2021. **Association of *Spathodea campanulata* P. BEAUV. trunk internal condition with tomograms and visual risk analysis parameters.** Adviser: Angeline Martini. Co-adviser: Marina Moura de Souza.

The total elimination of the risk of falling trees in the urban environment is an economically and technically unfeasible activity, so a good manager must have efficient tools to guide his interventions, avoiding mistakes and ensuring the maximum extraction of benefits from the urban forest. The objective of this study was to verify which parameters observed in the visual analysis may be associated with the real internal condition of the *Spathodea campanulata* trunk, as well as to verify whether the SoT and ERT tomograms reflect this condition. To this end, we analyzed sections of the trunk of 30 individuals of the species suppressed on the UFV campus in Viçosa-MG. Their visual appearance was compared to the results of tomograms and visual analysis, performed prior to cutting. It was observed that 26.7% of the cut trees showed cavities, 20.0% cracks and 10.0% deterioration of the wood. The majority (70.0%) of the cuts reflected the results indicated by the tomographs. Moreover, no tree identified as being in normal condition at cutting was classified differently by the tomogram readings. The main reason for divergence between the actual condition observed and the tomogram results was the difficulty of detecting cracks at an early stage by the equipment. For the detection of cavities, it was observed that the sonic tomograph presents results that are easier to interpret, whereas in the detection of deterioration of part of the wood, the electric one proved to be more accurate. It was not possible to define a visual analysis methodology with association to the problems evidenced during cutting, but nine parameters present in the forms were identified that were more common in trees with some type of damage (thin foliage, hollow branches, pests). The use of tomographs did not exclude the use of the tomographs, but it was possible to identify nine parameters that were more common in trees with some type of damage (sparse foliage, hollow branches, pests, cracks (roots and neck), nests and hives at the base, heartwood rot, epicormic sprouting in the trunk, trunk inclination, and exudation of sap through the trunk), among which three were evaluated by both methodologies (sparse foliage,

hollow branches, and inclination). The use of tomographs does not exclude visual inspections, and the use of these techniques together can make the tree fall risk assessment process more robust and assertive.

Key-words: Visual inspection. Urban forestry. Tomograms. Suppression.

INTRODUÇÃO

As árvores fornecem uma ampla variedade de benefícios ecossistêmicos, mas não estão isentas de riscos potenciais (MILLER *et al.* 2015). Mesmo assim, enquanto estudos se dedicaram a analisar os benefícios, poucos se debruçaram a entender os agentes que efetivamente levam aos riscos potenciais de falha (KLEIN *et al.*, 2019).

Até o momento, sabe – se que a eliminação total do risco de queda de árvores no ambiente urbano é uma atividade econômica e tecnicamente inviável, devendo o gestor dispor de ferramentas eficientes que orientem suas intervenções, por meio de metodologias confiáveis de avaliação de risco de queda de árvores (DE LA BARRA *et al.*, 2018).

O desafio dos profissionais da área é o de desenvolver um modelo de gestão, com técnicas que subsidiem a tomada de decisão sobre a floresta urbana com o menor erro associado (TOMAO *et al.*, 2015), sendo a detecção da deterioração das árvores importante não apenas para o manejo florestal urbano, mas também uma questão de segurança pública (LI *et al.*, 2014).

Esta análise, no entanto, é bastante complexa e deve envolver aspectos de biologia, considerando crescimento, anatomia e susceptibilidade à agentes deterioradores, e de engenharia, entendendo as propriedades mecânicas da madeira nas diferentes regiões da árvore (fuste, galhos e raízes), bem como os diferentes tipos de esforços a que esse indivíduo está sujeito (MORAES *et al.*, 2018).

Nesse sentido, existe alguma dedicação em se avaliar o desempenho de diferentes métodos visuais, quantitativos e quali-quantitativos, cujos resultados apresentam grande variabilidade (NORRIS, 2007; KOESER, SMILEY, 2017), a fim de desenvolver um modelo de manejo baseado na junção entre as informações obtidas por meio da avaliação visual às informações tomográficas, permitindo a identificação precisa de problemas fitossanitários e biomecânicos, unindo biologia e engenharia. Isso possibilita uma avaliação completa a respeito da qualidade e risco de queda dos indivíduos constituintes da floresta urbana (ROLLO, 2009).

Muitas ferramentas estão disponíveis para auxiliar na detecção da deterioração da madeira em árvores em pé (DOLWIN *et al.*, 1999; OUIS, 2003; CATENA, 2003; NICOLOTTI *et al.*, 2003; TERHO, 2009). No entanto, ainda existem restrições no uso de muitos desses dispositivos, incluindo a forma de deterioração (KERSTEN, SCHWARZE, 2005; WEBER, MATTHECK, 2006), ou dificuldades na construção e interpretação de uma imagem da secção analisada (DOLWIN *et al.*, 1999; TERHO, 2009).

Há interesse em se desenvolver e aplicar um diagnóstico mais rápido e preciso com ferramentas que detectem a decomposição e outros tipos de defeitos estruturais nas árvores (Allison et al., 2006) e, até o momento, basicamente, as técnicas não invasivas mais promissoras são baseadas no uso de tomogramas (NICOLOTTI *et al.*, 2003; RABE *et al.*, 2004).

Em comparação com outros métodos não destrutivos, tais como o raio-X, tomografia computadorizada (CT) e radar de penetração, os tomógrafos são considerados equipamentos de baixo custo, fáceis de utilizar e adequados para muitas situações de campo (BRANCHERIAU *et al.*, 2012; WANG, 2013; LIU, LI, 2018), mas ainda é preciso mensurar o quanto esses equipamentos são capazes de refletir as condições reais de uma árvore.

Dessa forma, o objetivo do estudo foi verificar a existência de associação entre parâmetros observados na análise visual e tomogramas sônico (SoT) e de resistência elétrica (ERT) e a real condição interna do tronco de indivíduos de *Spathodea campanulata*.

METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida no campus da UFV, no município de Viçosa, na zona da mata de Minas Gerais, nas coordenadas 20°45'37"S e 42°52'04" O.

A cobertura vegetal local corresponde a remanescentes secundários de Floresta Estacional Semidecidual, do bioma Mata Atlântica (AGUIAR & TEIXEIRA, 2015), além disso, o município está inserido na bacia hidrográfica do Rio Doce, sendo abastecido pelo rio Turvo Sujo e, principalmente, pelo ribeirão São Bartolomeu que intercepta a área urbana central (ROQUE, 2013). O clima é definido como tropical de altitude, com período de chuvas concentrado na época mais quente do ano e estação seca no período de temperaturas mais amenas (VALVERDE, 1958; AMARAL & REIS, 2017).

O campus Viçosa é tido como um dos mais belos do país, com ampla área arborizada de alto valor paisagístico. No entanto, muitos indivíduos estão em estágio de maturidade avançado na floresta urbana local, o que acarretou uma revitalização da arborização de algumas vias, como a que abrigava os espécimes deste estudo.

Foram suprimidas 30 árvores de *Spathodea campanulata* entre os meses de abril e maio de 2021. Para essas árvores o tronco foi rebaixado com auxílio de motosserra até uma altura de 20 cm acima da base, na mesma secção onde foram realizados os tomogramas, mantendo-se o toco no local (Figura 23). Imediatamente após os cortes, os tocos foram limpos e fotografados em campo, com a lente posicionada para registrar a área transversal do corte.

Após a aquisição das imagens estas foram processadas no software Paint 3D para a remoção do fundo, evidenciando apenas a seção transversal da árvore. A altura do corte foi previamente marcada nas árvores, correspondente a mesma altura onde foram realizados previamente os tomogramas SoT e ERT.

Figura 23 - Processo de supressão dos indivíduos de *Spathodea campanulata* no campus da UFV.



Fonte: a autora

A captura dos tomogramas sônicos e de resistência elétrica, foram obtidas com os equipamentos PiCUS® Sonic Tomograph 3 e o TreeTronic 3, os quais são de origem alemã e fabricados pela empresa Argus Electronic.

O Tomógrafo Sônico (SoT) mede a velocidade das ondas sonoras na madeira para detectar decomposição e cavidades em árvores em pé de forma não invasiva. Ao utilizar as informações de tempo de viagem acústica e dados de geometria do nível de medição, o software calcula tomogramas que mostram as velocidades sônicas aparentes, chamados de tomogramas. A velocidade do som na madeira está correlacionada com sua resistência mecânica e é, portanto, uma medida para inferir sobre o potencial de falha do tronco (ARGUS ELECTRONIC, 2017).

O Tomograma por Resistência Elétrica (ERT) trata-se de um método de inspeção originalmente desenvolvido no campo da geofísica. Utiliza tensão e corrente elétrica, fornecida por eletrodos colocados em uma superfície, para localizar anomalias de resistência. O Tomógrafo TreeTronic® utiliza os princípios de trabalho do ERT para inspecionar a

resistência da madeira nas árvores, sendo esta influenciada pelo conteúdo de água, estrutura celular, composição química, concentração de íons, dentre outros.

Os tomogramas com os dois aparelhos foram realizadas 20 cm acima da base da árvore, acompanhado de medição de circunferência, marcação e alocação de pregos galvanizados de 5,1, cm de comprimento, em profundidade superior à da casca, estabelecendo contato com o alburno. Estes foram espaçados entre 15 e 20 cm e constituíram os pontos de medição (MPs), onde foram inseridos os sensores e eletrodos para a coleta dos dados sônicos e elétricos.

Os dados obtidos em novembro de 2020, antes da supressão dos indivíduos, foram exportados por meio do *software* Picus, sendo as velocidades do som (SoT) usadas para identificar a madeira em decomposição e os resultados de resistência elétrica (ERT) para inferir sobre condutividade elétrica por meio de tecido lenhoso, evidenciando a condição interna do lenho dos indivíduos.

O *software* produz uma imagem com uma escala colorimétrica representando as densidades da madeira nessa seção transversal, que designa madeira intacta e não deteriorada como marrom (velocidades relativas mais altas), enquanto a madeira deteriorada é verde, rosa e azul (velocidades relativas mais baixas, em ordem decrescente). O tomograma por resistência elétrica, resultam em um mapa de resistividade elétrica relativa, correlacionando-se principalmente com o teor de água, mas também com mudanças na concentração de íons e / ou estrutura celular, assim, o mapa usa vermelho para retratar áreas de maior resistividade elétrica (baixa condutividade), progredindo em laranja, amarelo, verde e azul com resistividade decrescente (alta condutividade).

Os dados do SoT e ERT devem ser interpretados em conjunto para prever com precisão a condição interna em cada seção transversal de uma árvore, com base nos seguintes critérios (MARRA *et al.* 2018; BRAZE, MARRA, 2020):

- e) Regiões de cor marrom no tomograma sônico (densidade máxima da madeira) e de coloração vermelha no tomograma de resistência elétrica (ausência de umidade) sinalizam condições de madeira saudável;
- f) Regiões de cor marrom no tomograma sônico (máxima densidade da madeira) e de coloração azul no tomograma de resistência elétrica (presença de umidade) representam condições de deterioração incipiente ou umidade bacteriana;
- g) Regiões de cor azul/rosa no tomograma sônico (densidade reduzida da madeira) e vermelha no tomograma de resistência elétrica (ausência de umidade) indicam a existência de cavidade;

- h) Regiões de cor azul/rosa no tomograma sônico (redução na densidade da madeira) e azul no tomograma de resistência elétrica indicam deterioração ativa da madeira.

Todos os indivíduos passaram também por análise visual de risco de queda em janeiro de 2021, com o uso de dois formulários de avaliação tradicionais. A *Tree Risk Assessment Qualification* (TRAQ), é recomendada pela *International Society of Arboriculture* e muito utilizada em diversos países do mundo (Anexo I) e a metodologia de Avaliação de Risco de Falha criada por Seitz (2005), desenvolvida no Brasil (Anexo II).

Com as imagens obtidas da seção transversal do tronco, cada árvore foi classificada quanto a sua condição, por meio de observação visual, nas seguintes classes: condição normal (sem qualquer presença de defeito); presença de cavidade; presença de deterioração em parte da seção, evidenciada pela alteração da coloração da madeira; e rachaduras.

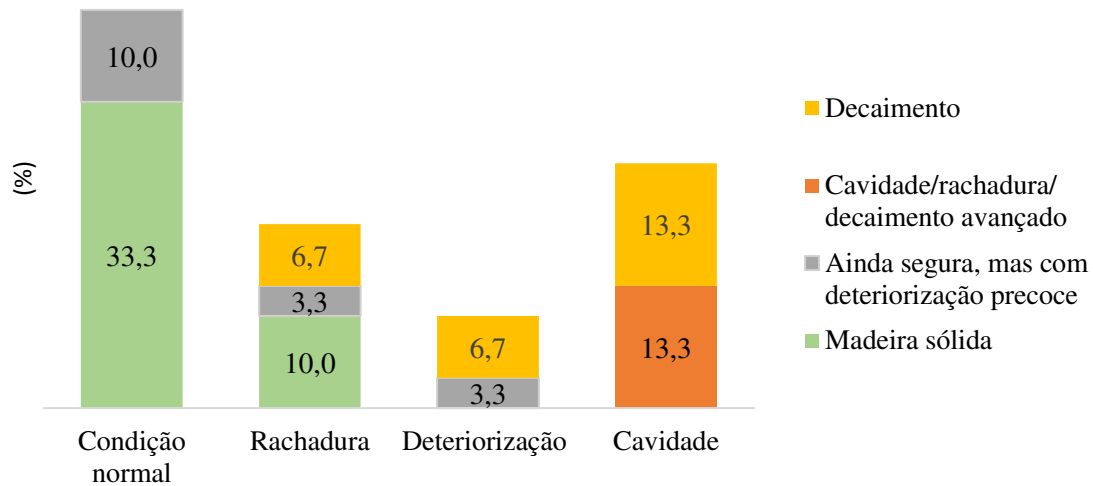
Foram então observados os parâmetros presentes nos formulários de avaliação visual predominantes nos indivíduos agrupados pela condição do corte. Além disso, a condição observada após a supressão foi comparada aquela apontada pelo resultado dos tomogramas, por meio de uma análise árvore – árvore.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Das 30 árvores cortadas, a maior parte (43,3%) apresentou o interior do tronco com madeira em condição normal, sem sinal de rachaduras (Apêndice C), cavidade ou deterioração evidente. Dos problemas verificados, constatou-se cavidade em 26,7% dos indivíduos, rachaduras em 20,0% e, deterioração em parte da madeira, em 10,0%.

Na comparação com os tomogramas SoT e ERT para a maioria das árvores (70,0%) ocorreu semelhança entre o aspecto visual dos cortes e o diagnóstico realizado por meio dos tomógrafos. Todas as árvores que apresentaram cavidade ou deterioração avançada evidenciada após a supressão também foram diagnosticadas desta forma com a árvore em pé, com os tomogramas. Além disso, nenhuma árvore em condições normais evidenciadas no corte foi classificada em estágios avançados de deterioração ou com presença de cavidade pelos equipamentos (Figura 24).

Figura 24 – condição visualizada no corte do tronco dos indivíduos de *Spathodea campanulata* e sua relação com o diagnóstico por meio dos tomogramas SoT e ERT.



Fonte:

a autora

A diferença obtida entre o aspecto visual do corte e o resultado diagnosticado por meio dos tomógrafos embora tenha ocorrido para algumas árvores, não invalida esta metodologia, apenas destaca a importância em se ter cautela na interpretação dos resultados. Em 10% das árvores onde não foram observados problemas no corte (condição normal), o diagnóstico com os tomógrafos indicou que a árvore apresentava deterioração precoce, o que não levaria a uma interpretação contrária. Já na maioria das árvores onde o aspecto visual do corte indicou rachadura inicial (10,0%), esta foi considerada como madeira sólida pelo diagnóstico com os tomógrafos.

Um orifício de forma circular diminui a velocidade da onda sonora mais do que uma rachadura, uma vez que a onda terá de se propagar por uma distância maior. Por isso, para detectar uma rachadura, o ideal seria medir a velocidade ultrassônica pelo menos em duas direções, pois é possível que a medição seja realizada paralelamente ao comprimento da fissura, não detectando o defeito (NAJAFI *et al.*, 2009).

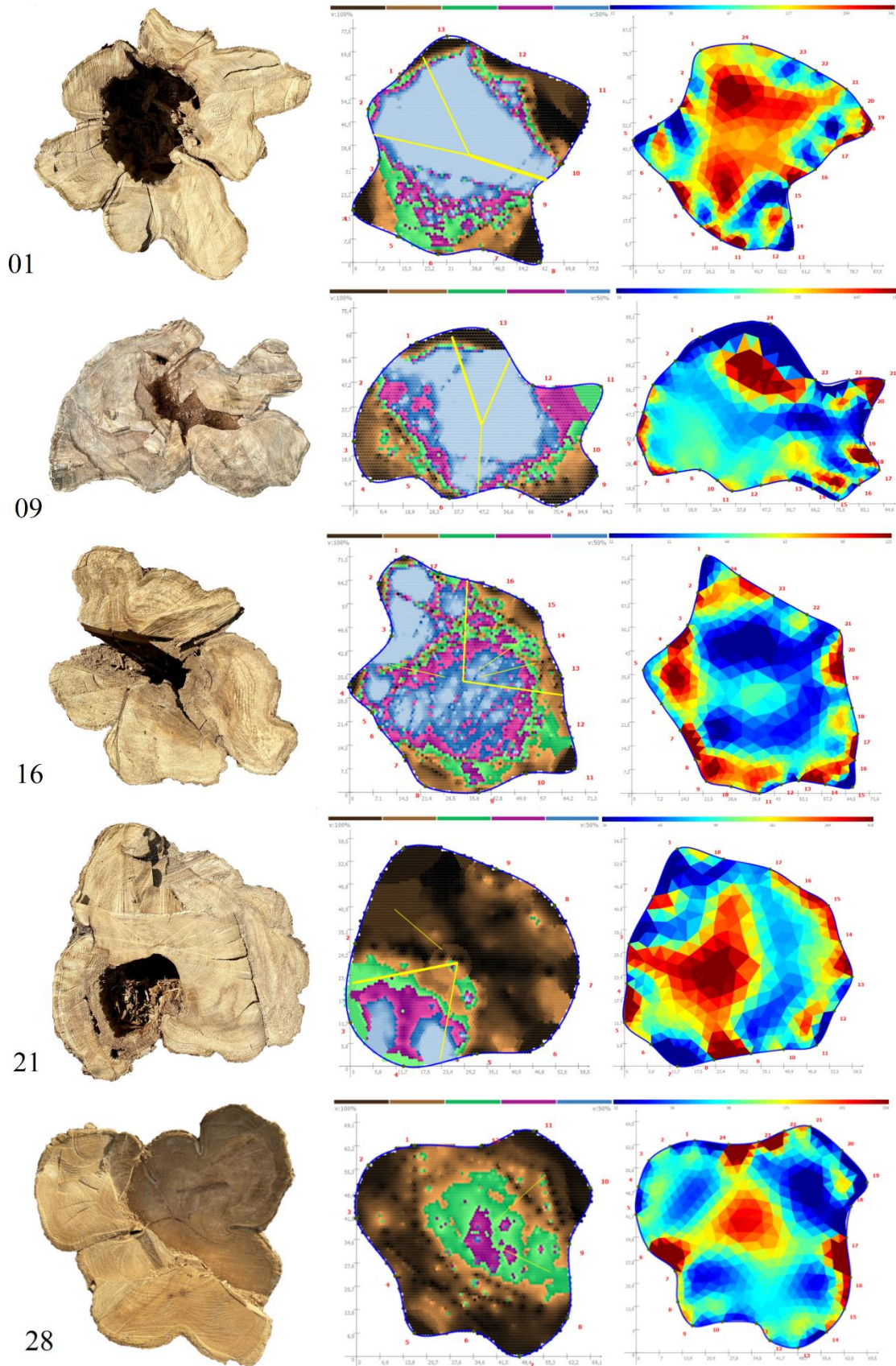
Para a deterioração da madeira observada no corte, não houve inconsistência entre os resultados, pois as diferentes classes encontradas pela metodologia aplicada expressam níveis diferentes deste problema. E por fim, todas as árvores com cavidade evidenciada no corte foram diagnosticadas com problemas graves, mediante o uso dos tomógrafos (Figura 25). No entanto, em 13,3% o resultado indicou decaimento e não existência de cavidade. Este fato pode ser justificado por diferentes motivos, em metade das ocorrências (árvores 9 e 16) foi devido a existência de formigueiro no interior de parte das árvores, que de fato não apresentou

um espaço vazio no momento da realização dos tomogramas, pois estava preenchido com terra. Nas outras árvores (33 e 40) justifica-se pelo tamanho da cavidade, que por ainda ser inicial apresentou predomínio de baixa e média resistividade na porção central do tronco, ou seja, embora a cavidade estivesse presente, a maior parte do tronco também apresentava deterioração.

Uma vez que as ondas sonoras necessitam de um meio material para propagação, e que esta pode sofrer a influência das propriedades intrínsecas do material, como a massa, densidade, e o tipo de forças de coesão (ALCANTARA et al., 2014), a presença de terra proveniente da ação do formigueiro no interior do tronco, altera a forma de propagação do som no espaço vazio e faz com que o aparelho seja incapaz de retratar a cavidade.

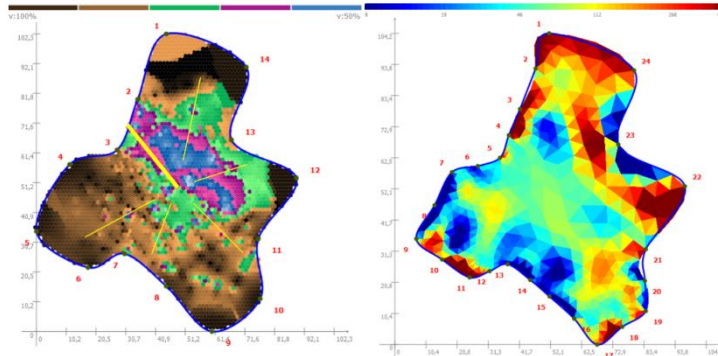
Das árvores com presença de cavidade evidenciada no corte observa-se que a indicação desse problema foi apontada pelos tomogramas, sejam eles em conjunto ou separadamente. Com o tomógrafo sônico essa indicação ocorreu pela coloração azul claro e rosa, que reflete as baixas velocidades da propagação da onda sonora. Foi evidente que a proporção de área ocupada por essa coloração foi maior do que a real área observada no corte, o que ocorre por dois fatores: primeiro que a onda sonora ao encontrar um vazio sofre alteração na sua trajetória linear podendo se dissipar em diferentes direções da sua trajetória original, percorrendo um caminho mais longo que o natural (WANG *et al.*, 2007). Outra questão pode estar associada ao cuidado com a execução do processo, pois o número e posição dos pontos são fundamentais para a precisão da digitalização. Quanto mais criterioso e cuidadoso for o estabelecimento da geometria da árvore, mais preciso será o resultado, em contrapartida, quanto mais complexa a geometria das árvores mais difícil é este procedimento. Assim, com base nas imagens do corte é possível afirmar que a complexidade da geometria da árvore foi a principal responsável pela maior proporção de áreas com baixa velocidade de propagação da onda sonora.

Figura 25 – comparação do corte do tronco dos indivíduos de *Spathodea campanulata* com os tomogramas sônico e de resistência elétrica.

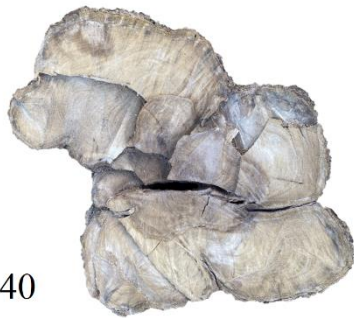
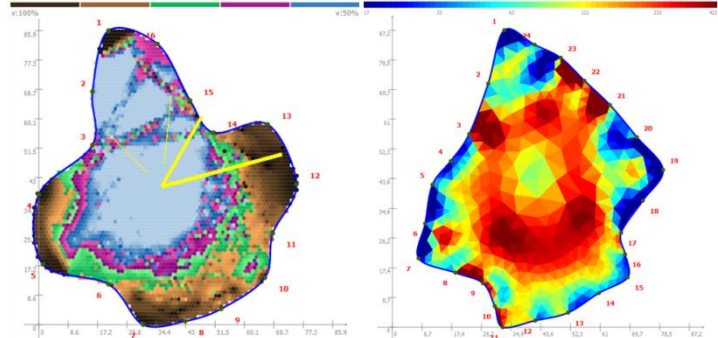




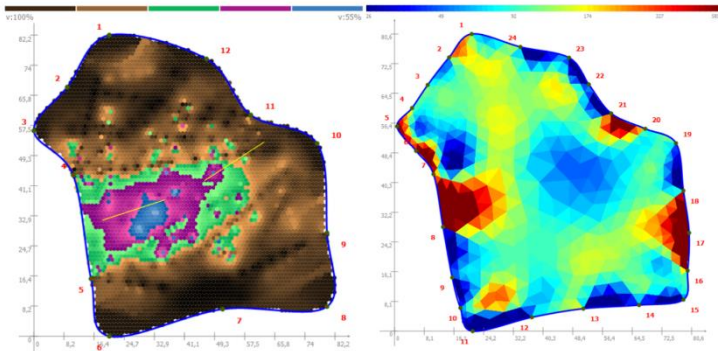
33



37



40



Alta velocidade Média velocidade Baixa velocidade

baixa resistividade (alto teor de água) impedância crescente alta resistividade (baixo teor de água)

Fonte: a autora

Isso, no entanto, não configura um problema à avaliação, apenas um ponto de atenção, visto que o objetivo dessas análises é detectar a presença de decadência interna em árvores em pé e não a sua extensão (NAJAFI *et al.*, 2009).

O tomógrafo de resistência elétrica indicou situações diferentes no local da cavidade, a presença da coloração azul claro em algumas árvores (9, 16 e 40) e vermelho em outras (1, 21, 28 e 37). Segundo o manual do fabricante, espera-se em cavidades encontrar a coloração vermelha, uma vez que sua presença na árvore deve criar valores de resistividade elétrica muito altos no centro do tomograma (BRAZEE *et al.*, 2011).

Vale destacar que o tomograma ERT da árvore 33 (coloração verde no centro) sugere um aumento da resistividade, contudo não foi suficiente para definir um diagnóstico conclusivo apenas com esse equipamento.

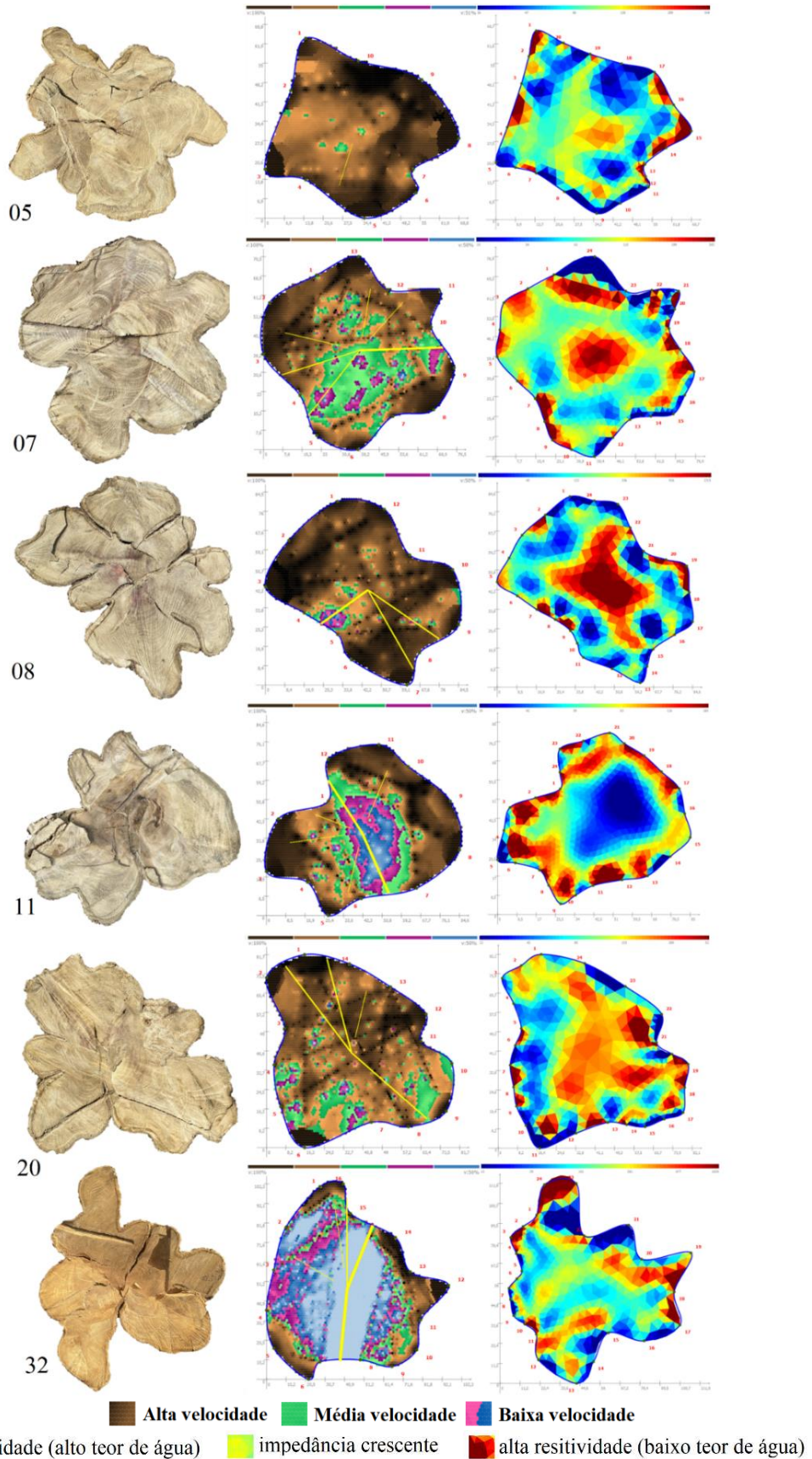
Além disso, outro resultado que chamou a atenção foi o obtido na árvore 28: apenas com a análise do tomograma de resistência elétrica esta árvore seria diagnosticada sem presença de cavidade, uma vez que o cerne da madeira de *Spathodea campanulata* é menos condutor do que a extremidade da árvore e, portanto, apresenta a porção central de coloração vermelha. Como não se trata de uma cavidade percebida previamente, o diagnóstico seria equivocado.

Não deve ser ignorada, no entanto, a especificidade do defeito observado na árvore 28. Trata-se da menor cavidade encontrada e proveniente da existência de casca inclusa, ou seja, uma resposta da ação de crescimento natural da árvore e não advinda de uma injúria, o que explica a ausência de deterioração no entorno. Mas além deste defeito, esta árvore também apresentou rachaduras na porção central do tronco, responsável pela presença de baixa velocidade de propagação do som na parte central (SoT).

Os resultados obtidos com o tomógrafo de resistência elétrica acentuam a necessidade de um profissional experiente para interpretar as informações dadas pelos tomogramas, visto que a existência de oco já havia sido percebida pela análise com martelo de borracha e que a formação acentuada do formigueiro também já era conhecida.

A presença de rachadura foi o problema mais difícil de ser detectado com o uso dos tomógrafos, sendo que a análise realizada separadamente com os equipamentos resultou em interpretações duvidosas, o que não ocorre quando analisadas em conjunto. As imagens dos cortes onde foram identificadas rachaduras, tiveram diagnósticos conflitantes pelas tomografias (Figura 26).

Figura 26 – comparação entre os cortes do tronco e os tomogramas de indivíduos de *Spathodea campanulata* com presença de rachadura.



Fonte: a autora

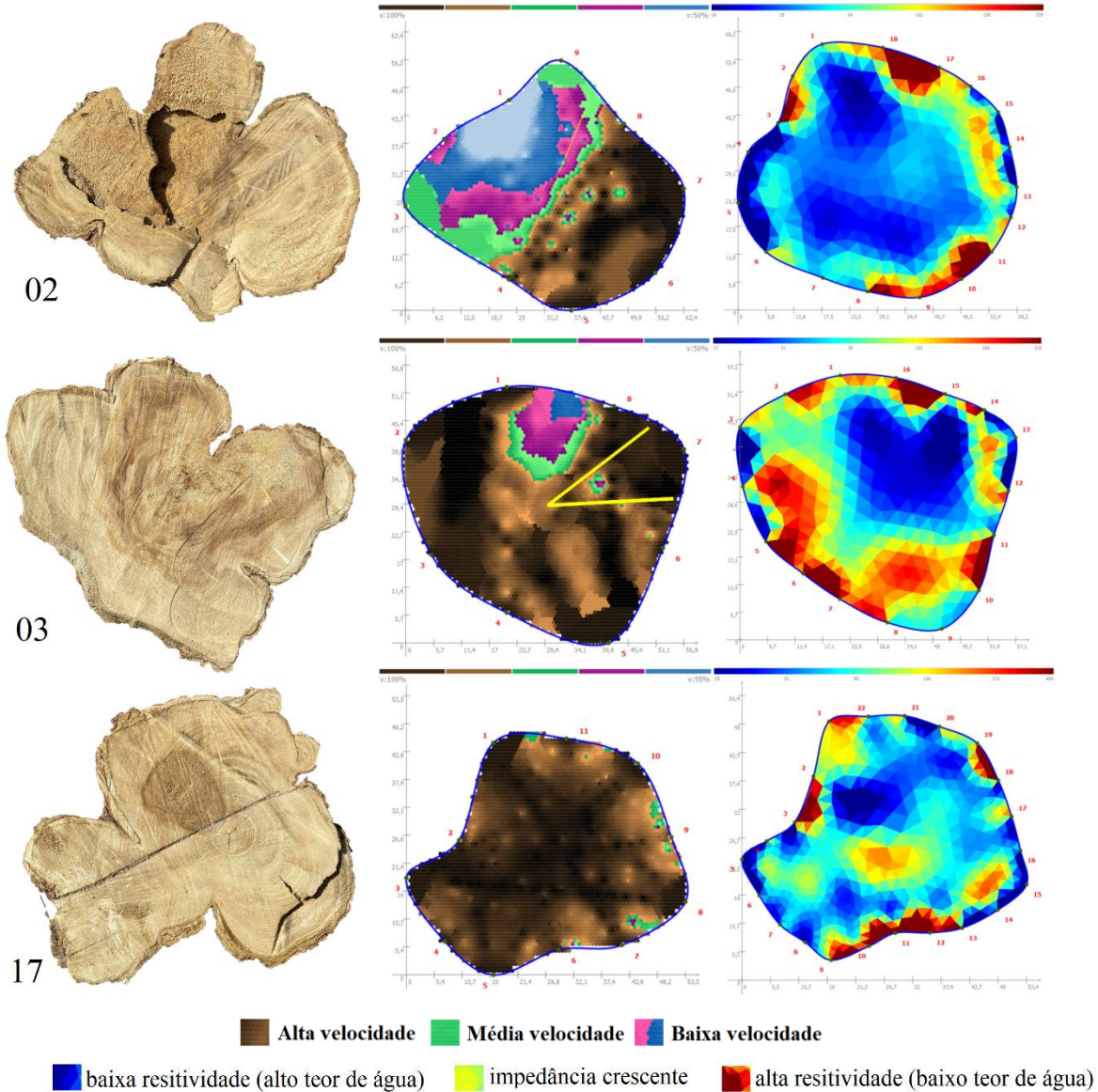
Com exceção das árvores 11 e 32, todas as demais apresentaram o mesmo padrão em ambos os tomógrafos. Para o sônico, ocorreu o predomínio de área com velocidades mais altas (marrom) e pequenas porções de velocidade intermediária (verde). Já para o tomógrafo elétrico as árvores caracterizaram-se pelo centro vermelho, o que impede afirmar se há uma rachadura ou se está apenas seguindo o padrão da espécie (cerne mais resistente à condução elétrica).

Ao interpretar os dois tomogramas em conjunto, contudo, foi evidenciado que os indivíduos não apresentavam dano significativo. As árvores 11 e 32, por sua vez, no diagnóstico com ambos os tomógrafos foram classificadas como com decaimento interno. Tanto o tomógrafo sônico quanto o elétrico indicaram separadamente a existência de problema, mas não evidenciam qual a sua tipologia. Por meio do sônico poderia ser identificada uma cavidade, já com o de resistência elétrica apenas uma deterioração da madeira na árvore 11, que de fato ocorre, mas não como único problema. Para a árvore 32 o ERT não mostrou evidências conclusivas, dificultando o diagnóstico final.

É importante destacar que o tomógrafo sônico indica nas imagens algumas linhas amarelas, que segundo o manual do fabricante pode sugerir a presença e a direção de fendas, sendo assim o mais indicado para a detecção desse tipo de defeito.

A dificuldade em interpretar e presença de rachaduras em fase inicial foi o principal defeito que levou a falta de semelhança entre o aspecto visual dos cortes com o diagnóstico realizado por meio dos tomógrafos em parte das árvores. A presença de deterioração em parte da madeira é mais fácil de ser detectada com o uso do tomógrafo de resistência elétrica, sendo que a análise realizada em conjunto com o sônico permite interpretar inclusive a severidade desta (Figura 27). A coloração azul em ambos os tomogramas resulta na interceptação de decaimento da madeira. Sendo que a porção azul demonstrada pelo tomograma elétrico se mostra mais próxima da área real deteriorada em todas as imagens, o que pode ser explicado pelo fato de que esse equipamento é sensível à deteriorações incipientes do lenho, que envolvem a deslignificação seletiva das células lenhosas, resultando em uma mudança significativa na impedância elétrica da porção afetada (BLANCHETTE, 1991; BRAZEE *et al.*, 2011).

Figura 27 – comparação entre os cortes do tronco de indivíduos de *Spathodea campanulata* e os tomogramas indicando deterioração precoce do lenho.



Os resultados indicaram que o uso dos tomógrafos sônico e de resistência elétrica permitem inferir sobre a condição da madeira de forma adequada, digitalizando um retrato bem próximo da situação interna real. O uso dos equipamentos em conjunto garante melhores resultados, mas não é imprescindível para a detecção de todos os defeitos, apenas para a existência de rachaduras.

Para a detecção de cavidade o tomógrafo sônico apresenta resultados de mais fácil interpretação que o elétrico, mas para a existência de deterioração de parte da madeira, o elétrico mostrou-se mais preciso, desde que garantida sua correta interpretação. Destaca-se,

desta forma, que o uso dessas tecnologias se torna eficaz apenas se interpretadas por profissionais capacitados e experientes e que para fazer uma melhor avaliação de condições internas das árvores urbanas, outras abordagens tais como inspeção visual e penetração de resistência devem ser utilizadas para fornecer evidências de apoio sempre que necessário (WANG *et al.*, 2009).

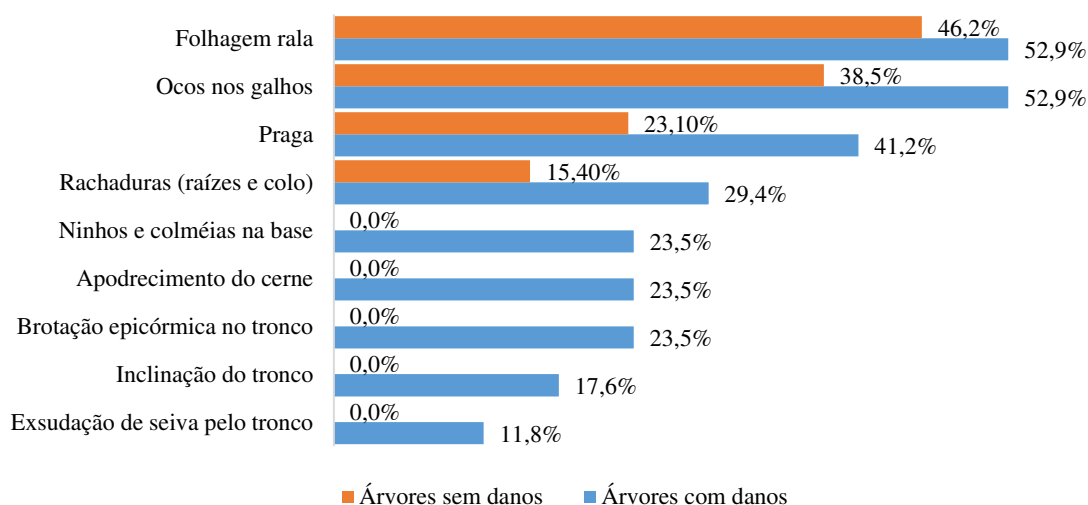
Parâmetros predominantes na avaliação visual

A comparação entre os cortes e o resultado do diagnóstico por meio da metodologia de Seitz, não permitiu diferenciar as árvores quanto aos problemas encontrados, visto que todas as árvores analisadas foram classificadas como de alto risco pela análise visual. Já com a metodologia TRAQ observou-se que das árvores que apresentaram algum problema interno, a maioria foi classificada com grau de risco moderado (52,9%), seguido pelo risco alto (23,5%), máximo (17,6%) e baixo (5,9%).

A análise visual compreende a árvore como um todo e não apenas a parte do tronco. Assim, além de cavidades, rachaduras e deterioração da madeira é importante destacar que uma árvore pode oferecer risco por outros fatores, como problemas de raízes ou má ligação de galhos na parte superior da árvore, o que não tem relação com o aspecto interno da madeira do tronco. Tais fatores são contemplados na análise visual, mas não refletem necessariamente em alterações evidenciadas no tronco, por meio do corte. Por esse motivo, optou-se por realizar uma comparação entre os defeitos evidenciados no corte e os parâmetros avaliados separadamente pelas análises visuais.

Com a análise visual prévia foi possível identificar que nove parâmetros foram mais comuns nas árvores com algum tipo de dano, quando comparadas com aquelas em condições normais, estes foram: folhagem rala, ocos nos galhos; praga; rachaduras (raízes e colo); ninhos e colmeias na base; apodrecimento do cerne; brotação epicórmica no tronco; inclinação do tronco; e exsudação de seiva pelo tronco (Figura 28).

Figura 28– Parâmetros avaliados pelas metodologias de análise visual presentes nos indivíduos de *Spathodea campanulata* com danos internos no tronco.



Fonte: a autora

Dos parâmetros apresentados três foram avaliados por ambas as metodologias (folhagem rala, ocos nos galhos e inclinação), dois apenas pela metodologia de Seitz (ninhos e colmeias na base e brotação epicórmica no tronco) e os outros quatro, pela TRAQ. É importante destacar que embora tenha ocorrido em baixas proporções, a presença de ninhos na base da árvore, apodrecimento do cerne, brotações epicórmicas, inclinação do tronco e exsudação de seiva pelo tronco só foram evidenciadas nas árvores que apresentaram danos.

Embora represente uma característica benéfica do ponto de vista ecológico para as árvores, a ocorrência de nidificação na base do tronco eleva fortemente o seu potencial de falha, uma vez que pode funcionar como indicadora de tecidos mortos e deteriorados (KANE *et al.*, 2015), que diminuem a resistência da madeira às tensões externas. O mesmo ocorre em árvores desviadas de seu eixo vertical, que estão mais expostas a sobrecargas de forças horizontais que criam estresses que excedem a resistência à quebra e influenciam na dinâmica do sistema raiz – solo (HORACEK, 2003; KONTOGIANNI, 2011), constituindo árvores mais frágeis aos estresses urbanos.

Todas as árvores que apresentaram cavidade evidenciada na análise dos cortes também foram diagnosticadas desta forma com a árvore em pé, por meio da análise visual, independente da metodologia aplicada, exceto um indivíduo. De acordo com a análise visual, 71,4% destas árvores apresentaram cavidade no tronco e na base da árvore, enquanto que em 28,6% delas a cavidade foi evidenciada apenas na base. Uma única árvore não teve sua cavidade evidenciada pela análise visual, possivelmente devido ao tamanho do defeito,

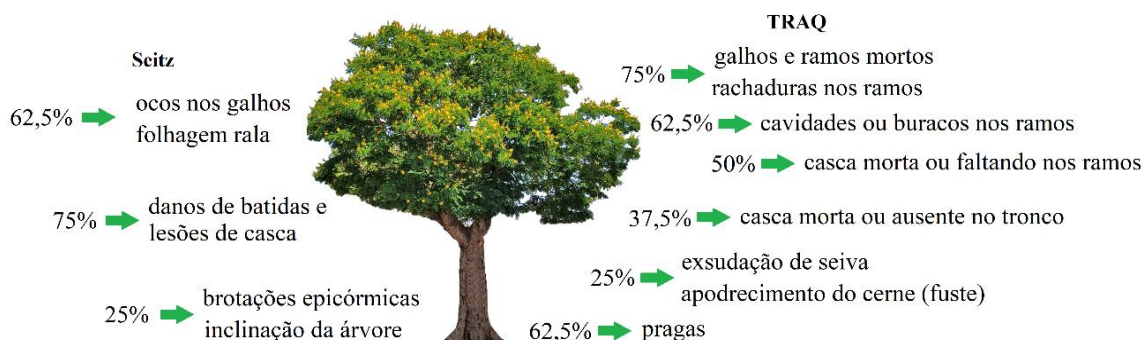
pequeno quando comparado as demais (árvore 40). Além disso, vale destacar que a árvore 28, embora tenha sido apontada com presença de cavidade, tem lesão advinda de uma poda de raiz, podendo não ser o mesmo dano retratado no corte.

Uma vez que o local do corte pode ter sido diferente do local onde se situava a cavidade, é possível que o mesmo não tenha refletido a condição observada na inspeção visual, onde todas as frações da árvore são consideradas. A maioria desse tipo de defeito deriva de podas mal executadas, que leva a lesões que funcionam como entradas potenciais para microrganismos apodrecedores, insetos ou doenças, que podem acometer todo o indivíduo, ao longo do tempo (MILANO, DALCIN, 2000; VOLPE - FILIK *et al.*, 2013), dessa forma, não deve ser considerada apenas a região do corte como indicativo da condição de fitossanidade.

Das árvores com presença de cavidade, foi identificado por meio da metodologia de Seitz que a maioria apresentou danos de batidas e lesões de casca no tronco (75%), sendo que em 83,3% delas os danos estendiam-se também para a base da árvore (Figura 29). Além disso, em 62,5% observaram-se ocos nos galhos e folhagem rala. A presença de brotações epicórmicas no tronco embora tenha ocorrido em baixas proporções, foi um parâmetro importante, uma vez que só aconteceu em árvores com defeitos associados.

Essa condição geralmente ocorre após injúrias mecânicas ou situações de estresse elevado para a árvore (BOBROWSKI, 2010), o que pode explicar a incidência dessa característica nas árvores mais decadentes.

Figura 29 - Parâmetros identificados com as análises visuais nas árvores com presença de cavidade.



Fonte: a autora

Por meio da metodologia TRAQ foi possível constatar ainda, que a maioria das árvores com cavidade apresentaram galhos e ramos mortos, rachaduras nos ramos, cavidades ou buracos nos ramos da copa e presença de pragas (60% formigas e 40% organismos xilófagos). Embora a exsudação de seiva pelo tronco e o apodrecimento do cerne tenham ocorrido em poucas árvores, esses parâmetros só foram evidenciados em árvores com defeitos associados.

Essas cavidades, geralmente, são iniciadas por contaminação de fungos, bactérias ou insetos, que ingressam na planta por meio de injúrias, causadas por podas, quedas de galhos ou retirada da casca (BRAZOLIN, 2009). Desse modo, uma poda equivocada pode influenciar diretamente no risco de queda da árvore (PEREIRA *et al.*, 2011).

A cavidade é um defeito que pode ser evidenciado por meio da análise visual, sendo que a dificuldade para a sua identificação ocorre quando ainda se encontra em pequenas dimensões.

Destaca-se que as metodologias de análise visual utilizadas não preveem o uso de martelo de borracha, uma ferramenta de baixo custo que poderia auxiliar na identificação deste defeito.

A presença de rachadura interna não foi um defeito possível de ser identificado com as análises visuais. Por meio da metodologia de Seitz nenhum parâmetro analisado na copa ou tronco predominou entre as árvores com esse problema, já na base do tronco, verificou-se que 83,6% delas apresentaram lesões. Com a metodologia TRAQ esse padrão se repetiu, destaca-se, no entanto, que essa última metodologia permitiu identificar rachaduras externas em 66,6% das árvores, variando entre copa, tronco e base do tronco.

As rachaduras são importantes indicativos de risco, pois resultam na incapacidade do tronco em suportar cargas excessivas. E geralmente são causadas pela cicatrização inadequada de lesões, pela rachadura de brotações epicórmicas ou devido a podas mal conduzidas (BROBOWSKI, 2010).

A deterioração em parte da madeira também se mostrou difícil de ser detectada pelas análises visuais. Com a metodologia de Seitz foi possível evidenciar que a maioria das árvores com esse defeito apresentaram lesões na base do tronco (100%), cavidades na base (66,6%), lesões de casca e casca solta na copa (66,6%). Além disso, em 66,6% das árvores foram observadas brotações epicórmicas no tronco.

Com a metodologia TRAQ, foi observado em 66,6% o apodrecimento do cerne, presença de casca morta ou ausente no tronco e presença de casca morta nos galhos.

De modo geral, a avaliação visual permitiu identificar os problemas evidenciados com o corte das árvores, no entanto, o grau de risco final estabelecido por ambas as metodologias não pode ser comparado diretamente com as imagens dos mesmos, uma vez que os problemas diagnosticados por estas análises podem estar em outra fração da árvore e não apenas na seção cortada.

Além disso, não foi possível estabelecer qual metodologia de análise visual mostra-se mais adequada. Embora a TRAQ tenha fornecido um número maior de parâmetros identificados com maior frequência nas árvores com presença de danos no lenho, ao analisar os cinco parâmetros que ocorreram exclusivamente nas árvores com danos, metade foi evidenciado apenas pela metodologia do Seitz e a outra metade pela anterior.

CONCLUSÃO

A avaliação da seção do corte dos troncos de *Spathodea campanulata* refletiram 70,0% do resultado apontado pelos tomógrafos, além disso, nenhuma árvore em condições normais evidenciadas no corte foi classificada de forma diferente pelos equipamentos.

Do total de árvores suprimidas (30), 26,7% apresentaram cavidades, 20,0% rachaduras e 10,0% deterioração da madeira.

A dificuldade da detecção de rachaduras em estágio inicial, foi o principal defeito responsável pela divergência na interpretação dos tomogramas.

O uso dos equipamentos em conjunto garante melhores resultados, mas não é imprescindível para a detecção de todos os defeitos. Para a detecção de cavidade o sônico apresenta resultados de mais fácil interpretação que o elétrico, mas para a existência de

deterioração de parte da madeira, o elétrico mostrou-se mais preciso, desde que garantida sua correta interpretação.

A metodologia TRAQ classificou 52,9% das árvores com problemas evidenciados no corte como de grau moderado de risco, seguido pelo risco alto (23,5%), máximo (17,6%) e baixo (5,9%).

A metodologia de Seitz, não permitiu diferenciar as árvores quanto aos problemas encontrados, uma vez que classificou todas as árvores como de alto risco. Destaca-se, no entanto, que o grau de risco estabelecido por ambas as metodologias não reflete diretamente os defeitos verificados nos cortes, uma vez que os problemas diagnosticados por estas análises podem não estar apenas na seção cortada.

Dentre os parâmetros presentes nos protocolos de análise visual, nove foram mais comuns nas árvores com algum tipo de dano no interior do tronco (folhagem rala, ocos nos galhos, pragas, rachaduras (raízes e colo), ninhos e colmeias na base, apodrecimento do cerne, brotação epicórmica no tronco, inclinação do tronco, e exsudação de seiva pelo tronco), entre os quais três foram avaliados por ambos (folhagem rala, ocos nos galhos e inclinação).

O uso dos tomógrafos sônico e de resistência não excluem inspeções visuais e o uso dessas técnicas em conjunto pode tornar o processo de avaliação mais sólido e assertivo.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, O. B. M.; TEIXEIRA, H. M. Espécies florestais da mata atlântica: Usos e ocorrência na bacia hidrográfica do ribeirão São Bartolomeu, Viçosa-MG. **Cadernos de Agroecologia**. v. 10, n. 3, 2015.

ALCANTARA, M. A. DE M., NUNES, S. C.B., RIO, J. F. M. E. Estudo do solo-cimento-autoadensável produzido com solos da região do Porto - PT. Parte II: avaliação da resistência e desempenho mecânico por meio da medição da resistividade elétrica e velocidade de propagação de ondas de ultrassom. **REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 9 – n. 1, 2014.

AMARAL, M. C., REIS, C. H. Suscetibilidade a escorregamentos e inundações: hierarquização dos graus de riscos na área urbana de Viçosa-MG. **Revista da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia (Anpege)**. v. 13, n. 21, p. 199 - 219, 2017.

BLANCHETTE, R. A. Delignification by wood-decay fungi, **Annu. Rev. Phytopathol.**, v. 29, p. 381-398, 1991.

BOBROWSKI, R. A avaliação de árvores e ações de manejo de risco. **In:** Anais do II Seminário de Atualização Florestal e XI Semana de Estudos Florestais, UNICENTRO, 2010.

BRANCHERIAU, L., GHODRATI, A., GALLET, P., THAUNAY, P., LASAYGUES, P. Application of ultrasonic tomography to characterize the mechanical state of standing trees (*Picea abies*). **J. Phys. Conf. Ser.**, v. 353, p. 1–13, 2012.

BRAZEE, N. J., MARRA, R. E., GÖCKE, L., VAN WASSENAER, P. Non-destructive assessment of internal decay in three hardwood species of northeastern North America using sonic and electrical impedance tomography. **Forestry: An International Journal of Forest Research**, v. 84, p. 33–39, 2011.

BRAZOLIN, S. **Biodeterioração, anatomia do lenho e análise de risco de queda de árvores de tipuana, *Tipuana tipu* (Benth.) O. Kuntze, nos passeios públicos da cidade de São Paulo, SP.** Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

CATENA, A. Thermography reveals hidden tree decay. **Arboricultural Journal**, V. 27, pp. 27-42, 2003.

DE LA BARRA, J. R., PONCE – DONOSO, M., VALLEJOS – BARRA, O., MOSQUERA, G. D., DUARTE, A. P. C. Comparación de Cuatro Métodos de Evaluación Visual del Riesgo de Árboles Urbanos. **Colomb. for.** v. 21, n. 2, p. 161-173, 2018 .

DOLWIN, J.A., LONSDALE, D., BARNETT, J. Detection of decay in trees. **Arboricultural Journal**, V. 23, pp. 139-149, 1999.

HICKMAN, G.W., PERRY, E., EVANS, R. Validation of a tree failure evaluation system. **Journal of Arboriculture**, v. 21, n.5, p. 233-234, 1995.

HORACEK, P. Introduction to the tree statics & static assessment. **Presentation Proc. Workshop**, Westonbirt, UK, p. 69, 2003.

KANE, B., WARREN, P. S., LERMAN, S. B. A broad scale analysis of tree risk, mitigation and potential habitat for cavity-nesting birds. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 14, n. 4, p. 1137 – 1146, 2015.

KERSTEN, W., SCHWARZE, F.W.M.R. Development of decay in the sapwood of trees wounded by the use of decay detecting devices. **Arboricultural Journal**, V. 28, pp. 165-181, 2005.

KLEIN, R. W., KOESER, A. K., HAUER, R. J., HANSEN, G., ESCOBEDO, F. J. .Risk Assessment and Risk Perception of Trees: A Review of Literature Relating to Arboriculture and Urban Forestry. **Arboriculture & Urban Forestry**, v. 45, n. 1, p. 23 – 33, 2019.

KOESER, A. K., SMILEY, E. T., HAUER, R. J., KANE, B., KLEIN, R. W., LANDRY, S. M., SHERWOOD, M. Can Professionals Gauge Likelihood of Failure? - Insights from Tropical Storm Matthew. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 52, p. 126701, 2020.

KOESER, A.K., E.T. SMILEY. Impact of tree care industry credentials and training on urban tree risk assessment ratings and prescribed mitigation measures. **Urban Forestry & Urban Greening**, v.4, p.109–115, 2017.

KONTOGIANNI, A. TSITSONI, T., GOUDELIS, G. An index based on silvicultural knowledge for tree stability assessment and improved ecological function in urban ecosystems. **Ecological Engineering**, v. 37, n. 6, p. 914 – 919, 2011.

LI, G., WANG, X., FENG, H., WIEDENBECK, J., ROSS, R. J. Analysis of wave velocity patterns in black cherry trees and its effect on internal decay detection. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 104, p. 32-39, 2014.

LIU, L., LI, G. Acoustic tomography based on hybrid wave propagation model for tree decay detection. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 151, p. 276-285, 2018.

MILANO, M.S. & DALCIN, E.C. **Arborização de vias públicas**. Rio de Janeiro. Light, 226p., 2000.

MILLER, R.W.; HAUER, R.J.; WERNER, L.P. **Urban Forestry: Planning and Managing Urban Greenspaces**. Long Grove, Illinois. Waveland Press, 2015, 560p.

MORAES, D. P., GONÇALVES, R., RUY, M., VICENTE, W. M. Modelagem aplicada a biomecânica de árvores. **Revista dos Trabalhos de Iniciação Científica da UNICAMP**, n. 26, 2018.

NAJAFI, S. K., SHALBAFAN, A., EBRAHIMI, G. Internal decay assessment in standing beech trees using ultrasonic velocity measurement. **Eur J Forest Res.**, v. 128, p. 345–350, 2009.

NICOLOTTI, G., SOCCO, L.V., MARTINIS, R., GODIO, SAMBUELLI, A. L. Application and comparison of three tomographic techniques for detection of decay in trees. **Journal of Arboriculture**, V. 29, pp. 66-78, 2003.

NORRIS, M. Tree Risk Assessments – What Works – What Does Not – Can We Tell? A review of a range of existing tree risk assessment methods. **In: ISAAC Conference Perth 2007**, p.1–31, 2007.

OUIS, D. Non-destructive techniques for detecting decay in standing trees. **Arboricultural Journal**, V. 27, pp. 159-177, 2003.

PEREIRA, P.. Estudo de caso do risco de queda de árvores urbanas em via pública na cidade de Dois Vizinhos- PR. **Synergismus Scyentifica**, v.6, n.1, p.1-10, 2011.

RABE, C., FERNER, D., FINK, S., SCHWARZE, F.W.M.R. Detection of decay in trees with stress waves and interpretation of acoustic tomograms. **Arboricultural Journal**, V. 28, pp. 3-19, 2004.

ROLLO, F. M. A. **Identificação de padrões de resposta à tomograma de impulso em tipuanas (*Tipuana tipu* (Benth.) O. Kuntze)**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2009.

ROQUE, L. A. **Áreas de risco geológico-geotécnico associadas a movimentos de massa no núcleo urbano de Viçosa-MG**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Viçosa, 2013.

TOMAO, A., SECONDI, A., CORONA, P., GIULIARELLI, D., QUANTRINI, V. AGRIMI, M. Can composite indices explain multidimensionality of tree risk assessment? A case study in an historical monumental complex. **Urban Forest & Urban Greening** , v. 14, n. 3, p. 456-465, 2015.

VALVERDE, O. Estudo regional da Zona da Mata de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geografia*, **IBGE**. v. 20, n 1, 1958.

VOLPE – FILIK, A., SILVA, L. F., LIMA, A. M. L. P. Avaliação da arborização de ruas do Bairro São Dimas na cidade de Piracicaba - SP por meio dede parâmetros qualitativos. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v.2, n. 1, 2007.

WANG, X., ALLISON, R. B., WANG, L., ROSS, R. J. Acoustic Tomography for Decay Detection in Red Oak Trees. **Research Paper FPL-RP-642**. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 7 p, 2007.

WANG, X. Acoustic measurements on trees and logs: a review and analysis. **Wood Sci. Technol.**, v. 47, p. 965–975, 2013.

WEBER, K., MATTHECK, C. The effects of excessive drilling diagnosis on decay propagation in trees. **Trees**, V. 20, pp. 224-228, 2006.

CONCLUSÃO GERAL

Dentre os parâmetros utilizados na inspeção visual dos indivíduos de *Spathodea campanulata* estiveram mais relacionados à queda após evento climático extremo: marcas de poda na copa, galhos interferindo na rede, folhagem rala, galhos esguios, danos e lesões de casca no tronco, restrição de espaço e área livre, ausência da forma neiloide, fungos e lesões na base. Estatisticamente, três destes foram mais importantes ao dano: galhos interferindo na rede, folhagem rala e ausência da forma neiloide.

As análises das diferentes metodologias de análise visual caracterizam juntas 41,8% dos indivíduos de espatódea em alto risco de queda, sendo que a metodologia I classificou as árvores em melhores condições e a II em piores, quando comparadas às demais.

Essas análises, no entanto, não permitiram inferir sobre a eficácia das metodologias, mas auxiliam na escolha ao apontarem suas vantagens e desvantagens.

Com relação aos tomogramas realizados, SoT se mostrou ligeiramente mais fácil e assertivo que o ERT, porém, a interpretação correta das leituras se associa diretamente ao nível de conhecimento e experiência do operador. Além disso, o uso dos equipamentos em conjunto torna a interpretação dos resultados mais simples e precisa.

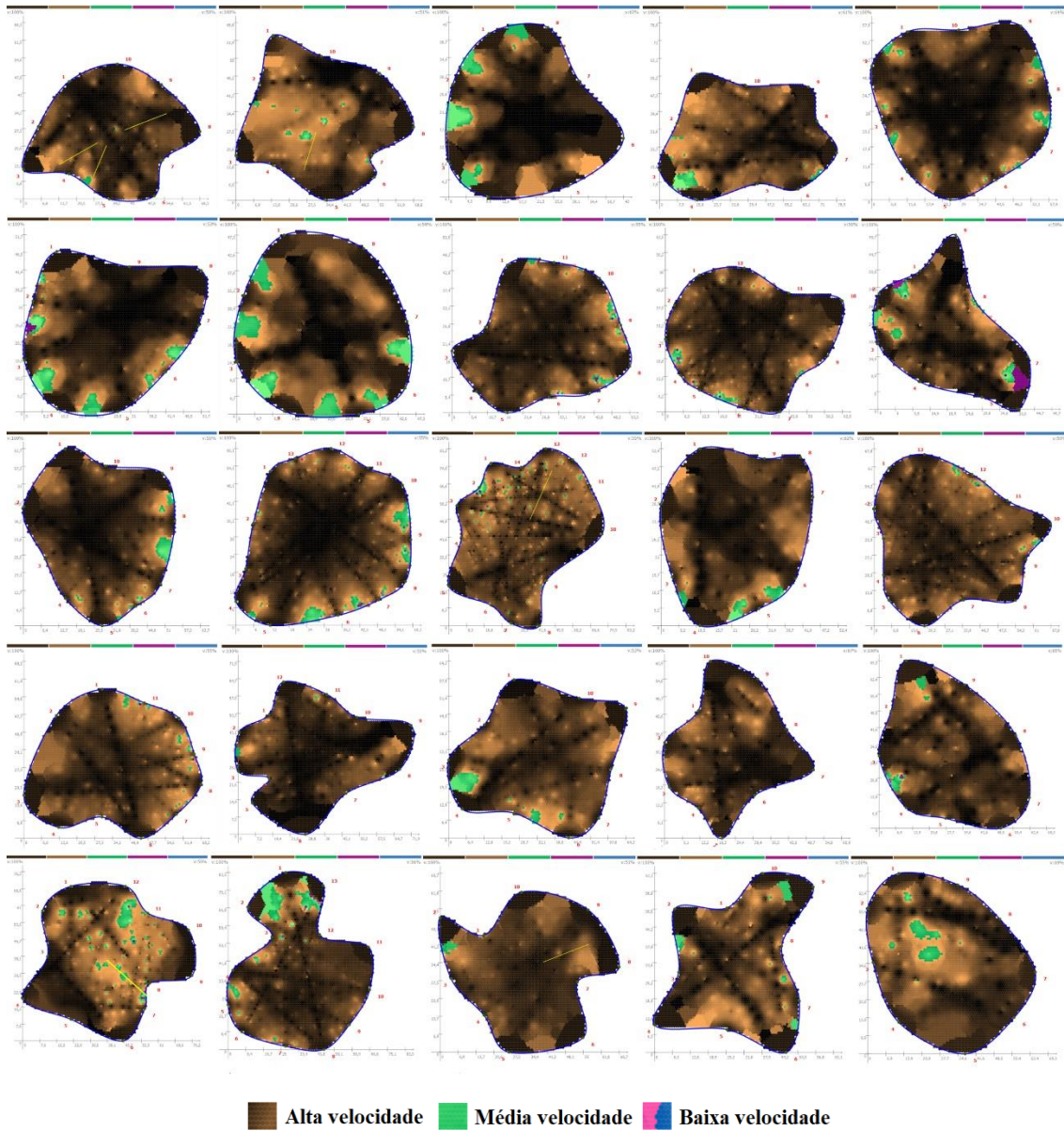
Os cortes dos troncos refletiram 70% do resultado dos tomógrafos, sendo a divergência causada principalmente pela dificuldade na identificação de rachaduras pelos equipamentos.

Foi possível, ainda, identificar que o tomógrafo sônico diagnostica melhor as cavidades e o de resistência elétrica deteriorações no lenho.

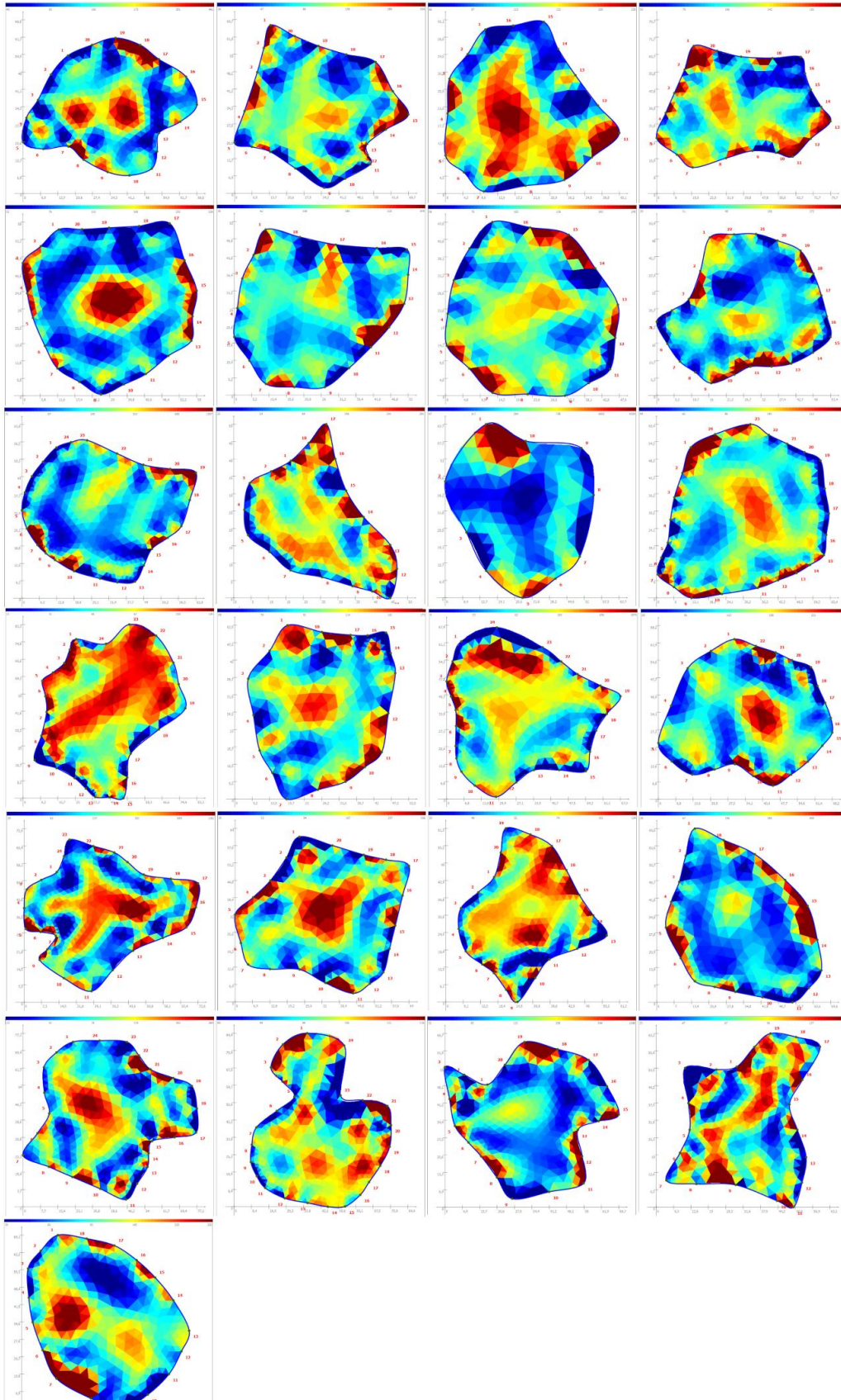
De modo geral, a avaliação visual permitiu identificar os problemas evidenciados com o corte das árvores, no entanto, o grau de risco final estabelecido por ambos os protocolos não pode ser comparado diretamente com as imagens, uma vez que os problemas diagnosticados por estas análises podem estar em outra parte da árvore, não apenas na seção cortada.

O uso dos tomógrafos sônico e de resistência não excluem inspeções visuais e o uso dessas técnicas em conjunto pode tornar o processo de avaliação mais sólido e assertivo.

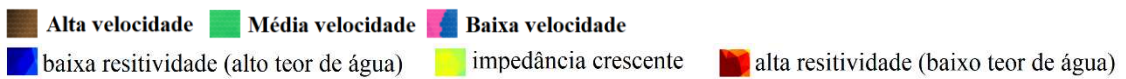
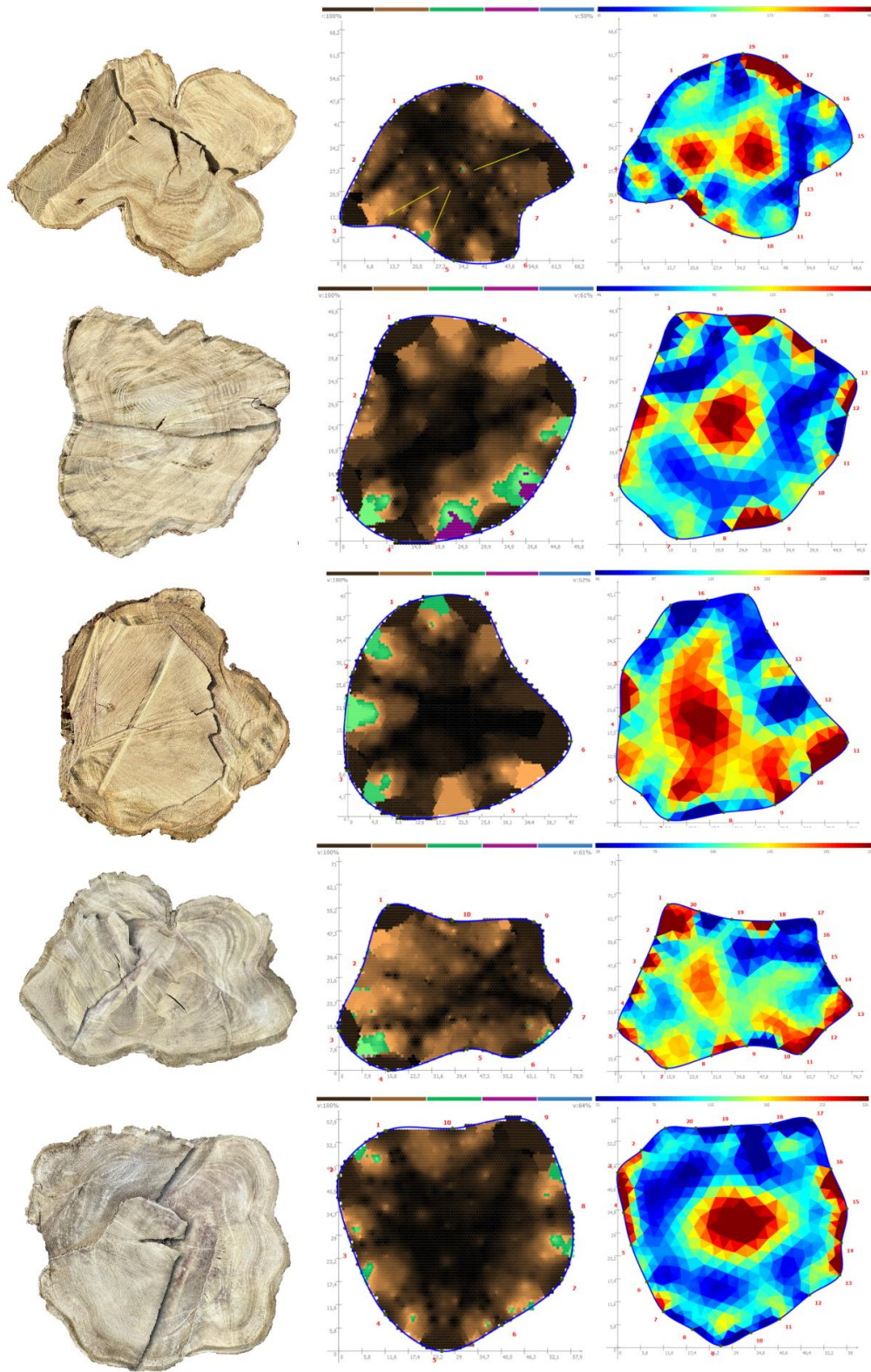
APÊNDICE A – Indivíduos de *Spathodea campanulata* caracterizados com boas condições da madeira interna do tronco pela tomografia sônica (SoT).

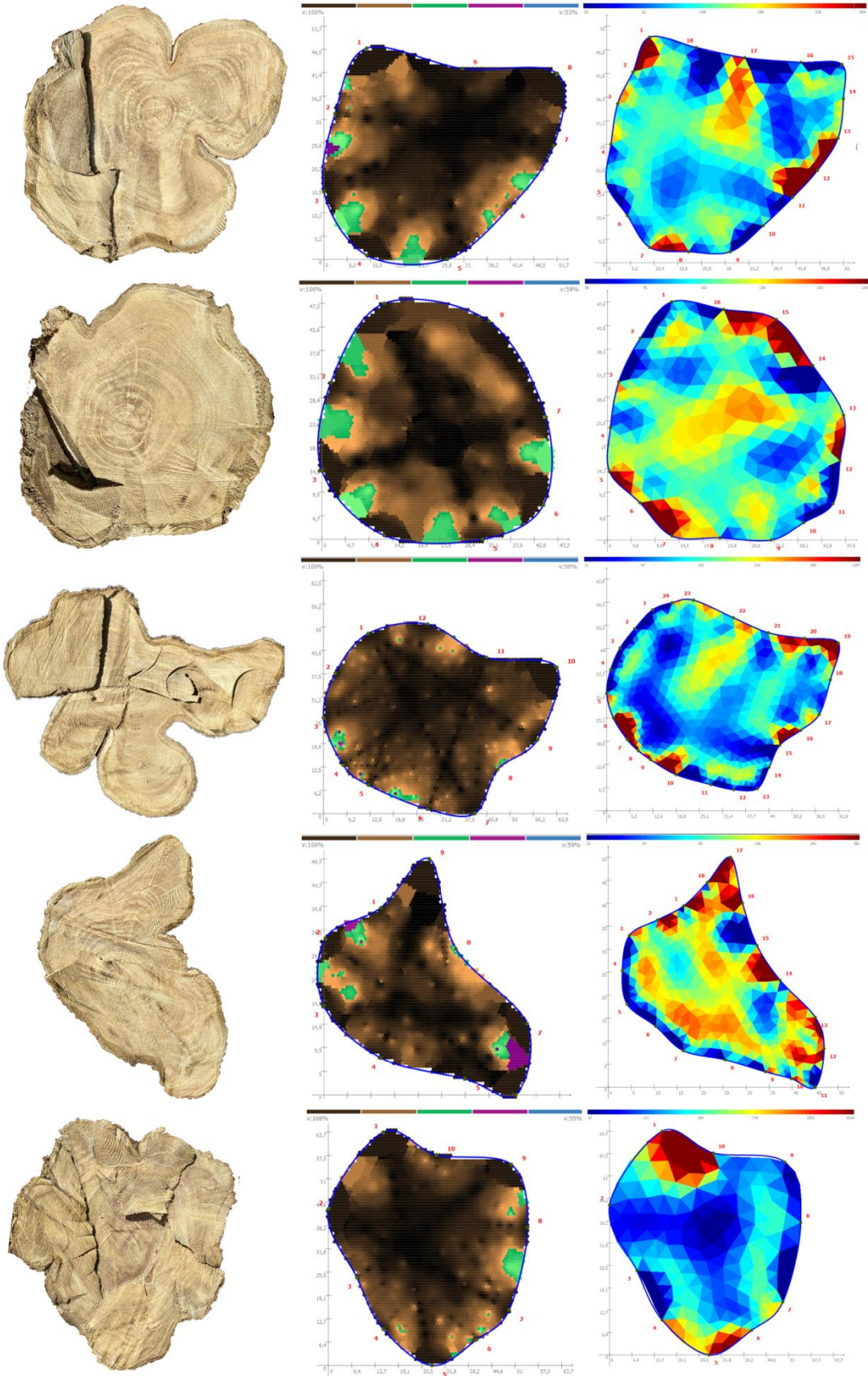


APÊNDICE B – Indivíduos de *Spathodea campanulata* caracterizados com boas condições da madeira interna do tronco pela tomografia de resistência elétrica (ERT).

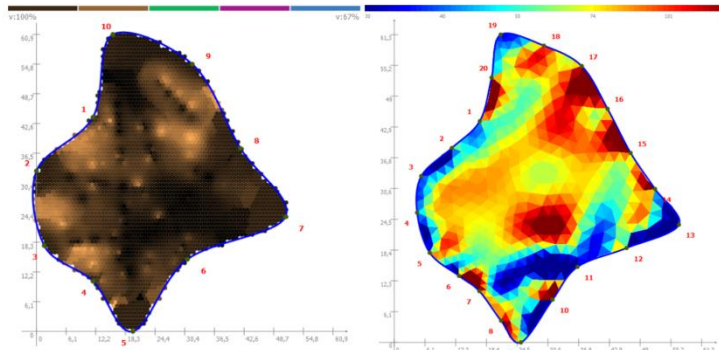
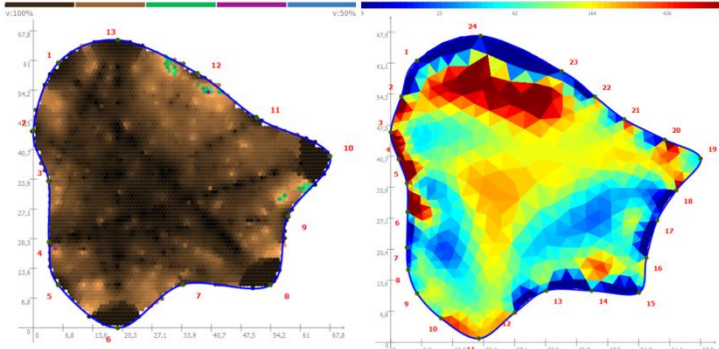
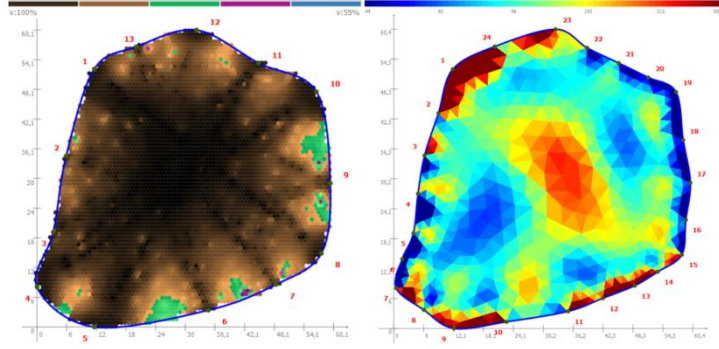


APÊNDICE C – Indivíduos de *Spathodea campanulata* caracterizados em condições normais na análise do corte do tronco.





Alta velocidade
 Média velocidade
 Baixa velocidade
 baixa resistividade (alto teor de água)
 impedância crescente
 alta resistividade (baixo teor de água)



Alta velocidade
 Média velocidade
 Baixa velocidade
 baixa resistividade (alto teor de água)
 impedância crescente
 alta resistividade (baixo teor de água)

ANEXO I – Formulário de avaliação do risco de queda utilizado por Alves e Martini (2020).

Parâmetro	Risco		
	1	3	5
COPA			
Galho invadindo a pista	Diâmetro do galho até 5cm	Entre 5 e 20cm de diâmetro	> 20 cm de diâmetro
Galho interferindo na rede	-	-	Rede de média tensão
Galhos secos acima da rede	Galhos finos (<1cm de diâmetro) ou secos sem apodrecimento	-	Galhos grandes (> 5 cm de diâmetro) ou com sinais de apodrecimento
Ocos nos galhos	Menores que 50% da área transversal	Entre 50 e 70% da área transversal	Maiores que 70% da área transversal
Galhos angulados	Galhos finos (<5cm de diâmetro)	Galhos médios (entre 5 e 20cm de diâmetro)	Galhos grossos (> 20cm de diâmetro)
Galhos esguios (rabo de leão)	Menores que 1 m de comprimento	Entre 1 e 3 m de comprimento	Maiores que 3 m de comprimento
Forquilhas ou bifurcações	Com casca inclusa e angulação entre galhos < 25°	Forquilha rachada com diâmetro dos galhos entre 5 e 20 cm	Forquilha rachada com diâmetro do galho > 20 cm
Lesões na casca	< 25% do perímetro	Entre 25 e 50% do perímetro	> 50% do perímetro
Presença de fungos na casca	Presença de fungos	-	-
Insetos perfuradores	Presença de insetos perfuradores	-	-
Ervas - de - passarinho	Infestação < 25% da copa	Infestação entre 25 e 50% da copa	Infestação > 50% da copa
Marca de poda	Em galhos < 5cm de diâmetro	Em galhos entre 5 e 10 cm de diâmetro	Em galhos > 20 cm de diâmetro
Poda unilateral	Em menos de 25% da copa	Entre 25 e 50% da copa retirada lateralmente	Em mais de 50% da copa
TRONCO			
Invasão da pista ou calçada	Tronco < 10 cm de DAP	Tronco de 10 a 40 cm de DAP	Tronco > 40 cm de DAP
Danos de batidas e lesões de casca	em menos de 25% do perímetro	Entre 25 e 50% do perímetro	Em mais de 50% do perímetro
Cavidades	Ocos < 50% da área transversal	Ocos entre 50 e 70% da área transversal	Ocos >70% da área transversal
Obturações, corpos estranhos no interior do tronco	Presença de corpos estranhos	Obturações de até 25% do perímetro	Obturações > 25% do perímetro
Forma do tronco	Acanelamento	X	x
Orifício de insetos	Presença de orifícios	X	x
Fungos	X	X	Presença de fungos
BASE			
Brotação adventícia	Presença de brotações	X	x
Lesões na base do tronco	< 10% do perímetro	Entre 10 e 50% do perímetro	> 50% do perímetro
Cavidades	Ocos < 50% da área transversal	Ocos entre 50 e 75% da área transversal	Ocos >75% da área transversal
Ninhos e colmeias de insetos	Presença de ninhos/ colmeias	X	x

Fungos	X	X	presença de fungos
Raízes adventícias	X	X	Presença de raízes adventícias
Elevação e fissura do solo	Solo elevado ou fissurado	X	x
Espaço ou área livre	Área do canteiro de 1 a 2m ²	Área do canteiro igual a 1m ² ou menor	Sem área de canteiro/impermeabilização total
Neiloide	X	X	Ausência de neiloide
Raízes cortadas	Menos de 50% das raízes cortadas	Mais de 50% das raízes cortadas	100% das raízes cortadas em volta do tronco

ANEXO II – Formulário TRAQ Tree Risk Assessment (ISA, 2013)

ISA Basic Tree Risk Assessment Form

Client _____ Date _____ Time _____
 Address/Tree location _____ Tree no. _____ Sheet _____ of _____
 Tree species _____ dbh _____ Height _____ Crown spread dia. _____
 Assessor(s) _____ Time frame _____ Tools used _____

Target Assessment						
Target number	Target description	Target zone			Occupancy rate 1 – rare 2 – occasional 3 – frequent 4 – constant	Practical to move target? Restriction practical?
		Target within drip line	Target within 1.5 x Ht.	Target within 1.5 x Ht.		
1						
2						
3						
4						

Site Factors

History of failures _____ Topography Flat Slope _____ % Aspect _____
 Site changes None Grade change Site clearing Changed soil hydrology Root cuts Describe _____
 Soil conditions Limited volume Saturated Shallow Compacted Pavement over roots _____ % Describe _____
 Prevailing wind direction _____ Common weather Strong winds Ice Snow Heavy rain Describe _____

Tree Health and Species Profile

Vigor Low Normal High Foliage None (seasonal) None (dead) Normal _____ % Chlorotic _____ % Necrotic _____ %
 Pests _____ Abiotic _____
 Species failure profile Branches Trunk Roots Describe _____

Load Factors

Wind exposure Protected Partial Full Wind funneling _____ Relative crown size Small Medium Large
 Crown density Sparse Normal Dense Interior branches Few Normal Dense Vines/Mistletoe/Moss _____
 Recent or planned change in load factors _____

Tree Defects and Conditions Affecting the Likelihood of Failure

— Crown and Branches —

Unbalanced crown LCR _____ % Cracks _____ Lightning damage
 Dead twigs/branches _____ % overall Max. dia. _____ Codominant _____ Included bark
 Broken/Hangers Number _____ Max. dia. _____ Weak attachments _____ Cavity/Nest hole _____ % circ.
 Over-extended branches Previous branch failures _____ Similar branches present
Pruning history
 Crown cleaned Thinned Raised Dead/Missing bark Cankers/Galls/Burls Sapwood damage/decay
 Reduced Topped Lion-tailed Conks Heartwood decay
 Flush cuts Other _____ Response growth _____
 Main concern(s) _____

Load on defect N/A Minor Moderate Significant
 Likelihood of failure Improbable Possible Probable Imminent

— Trunk —

Dead/Missing bark Abnormal bark texture/color
 Codominant stems Included bark Cracks
 Sapwood damage/decay Cankers/Galls/Burls Sap ooze
 Lightning damage Heartwood decay Conks/Mushrooms
 Cavity/Nest hole _____ % circ. Depth _____ Poor taper
 Lean _____ Corrected? _____
 Response growth _____
 Main concern(s) _____

Load on defect N/A Minor Moderate Significant
 Likelihood of failure Improbable Possible Probable Imminent

— Roots and Root Collar —

Collar buried/Not visible Depth _____ Stem girdling
 Dead Decay Conks/Mushrooms
 Ooze Cavity _____ % circ.
 Cracks Cut/Damaged roots Distance from trunk _____
 Root plate lifting Soil weakness
 Response growth _____
 Main concern(s) _____

Load on defect N/A Minor Moderate Significant
 Likelihood of failure Improbable Possible Probable Imminent

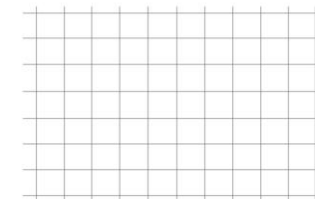
Risk Categorization																							
Condition number	Tree part	Conditions of concern	Part size	Fall distance	Target number	Target protection	Likelihood										Risk rating of part (from Matrix 2)						
							Failure		Impact			Failure & Impact (from Matrix 1)		Consequences									
							Improbable	Possible	Probable	Imminent	Very low	Low	Medium	High	Unlikely	Somewhat likely	Very likely	Negligible	Minor	Significant	Severe		
1																							
2																							
3																							
4																							

Matrix 1. Likelihood matrix.

Likelihood of Failure	Likelihood of Impacting Target			
	Very low	Low	Medium	High
Imminent	Unlikely	Somewhat likely	Likely	Very likely
Probable	Unlikely	Unlikely	Somewhat likely	Likely
Possible	Unlikely	Unlikely	Unlikely	Somewhat likely
Improbable	Unlikely	Unlikely	Unlikely	Unlikely

Matrix 2. Risk rating matrix.

Likelihood of Failure & Impact	Consequences of Failure			
	Negligible	Minor	Significant	Severe
Very likely	Low	Moderate	High	Extreme
Likely	Low	Moderate	High	High
Somewhat likely	Low	Low	Moderate	Moderate
Unlikely	Low	Low	Low	Low



Notes, explanations, descriptions _____

Mitigation options _____ Residual risk _____
 _____ Residual risk _____
 _____ Residual risk _____
 _____ Residual risk _____

Overall tree risk rating Low Moderate High Extreme Work priority 1 2 3 4
 Overall residual risk Low Moderate High Extreme Recommended inspection interval _____

Data Final Preliminary Advanced assessment needed No Yes-Type/Reason _____
 Inspection limitations None Visibility Access Vines Root collar buried Describe _____

ANEXO III – Formulário Avaliação de Risco de Árvores Urbanas (SEITZ, 2005)

Espécie: _____ Situação ()

Avaliador: _____

Rua: _____ N. _____ Bairro: _____

Coordenadas geográficas: _____

Altura total: _____ Dist. da fiação: _____ DAP: _____ Grau de Inclinação do tronco: _____

Domínio: () Público () Privado

Itens de avaliação	Grau de risco					
	0	1	2	3	4	5
Avaliação da copa						
Invasão de galhos acima da via ou pista	0	1	2	3	4	5
Galhos ou folhas grandes interferindo na rede	0	1	2	3	4	5
Galhos secos acima da rede	0	1	2	3	4	5
Ocos nos galhos	0	1	2	3	4	5
Galhos angulados	0	1	2	3	4	5
Galhos esguios (rabo de leão)	0	1	2	3	4	5
Galhos com cabos incluídos	0	1	2	3	4	5
Forquilhas ou bifurcações	0	1	2	3	4	5
Lesões de casca nos galhos	0	1	2	3	4	5
Casca solta	0	1	2	3	4	5
Fungos	0	1	2	3	4	5
Insetos perfuradores	0	1	2	3	4	5
Ervas-de-passarinho	0	1	2	3	4	5
Folhagem rala	0	1	2	3	4	5
Poda de rebaixamento	0	1	2	3	4	5
Poda unilateral	0	1	2	3	4	5
Árvore se inclinando	0	1	2	3	4	5
Maior valor de risco da copa						
Avaliação do tronco						
Invasão da pista ou calçada	0	1	2	3	4	5
Inclinação	0	1	2	3	4	5
Danos de batidas e lesões de casca	0	1	2	3	4	5
Cavidades	0	1	2	3	4	5
Obturações, corpos estranhos no interior do tronco	0	1	2	3	4	5
Aspecto da casca	0	1	2	3	4	5
Forma do tronco	0	1	2	3	4	5
Orifícios de insetos	0	1	2	3	4	5
Fungos	0	1	2	3	4	5
Maior valor de risco do tronco						
Avaliação da base do tronco e do prato das raízes						
Brotação epicórmica	0	1	2	3	4	5
Lesões na base do tronco	0	1	2	3	4	5
Cavidades na base do tronco	0	1	2	3	4	5
Presença de ninhos e colméias de insetos na base do tronco	0	1	2	3	4	5
Fungos	0	1	2	3	4	5
Raízes adventícias	0	1	2	3	4	5
Elevação e fissuras do solo	0	1	2	3	4	5
Canteiro, espaço ou área livre	0	1	2	3	4	5
Neolóide	0	1	2	3	4	5
Tipo do solo (profundidade, qualidade e grau de umidade)	0	1	2	3	4	5
Poda de raízes	0	1	2	3	4	5
Restrição do meio fio	0	1	2	3	4	5
Maior valor de risco da base do tronco e do prato das raízes						

Avaliação dos alvos

Grupo risco 1

- () Rua de bairros residenciais pouco movimentadas
 () Parques amplos e áreas de pouca visitação
 () Estais de fiação elétrica

Grupo risco 3

- () Áreas de recreação (quadras de futebol, basquete e áreas de pique-nique, camping e churrasqueiras, etc)
 () Estacionamentos em horário comercial
 () Redes de baixa tensão (220 V – Rede primária)

Grupo risco 5

- () Play-grounds, escolas, calçadas em áreas comerciais
 () Redes de média tensão (1.300 V – Rede secundária)

Pontuação do alvo: _____

Efeitos colaterais

- () Rua movimentada
 () Rua com linha de ônibus
 () Rua residencial
 () Rua sem casas

Índice de risco

Itens de avaliação	Grau de risco
Maior grau de risco da árvore	
Alvo atingido	
Efeitos colaterais	
Índice de risco	

Recomendação de manejo

- () Poda de levantamento de copa () Poda de limpeza () Poda de segurança

() Supressão () Outras opções: _____

ANEXO IV – Formulário de campo para avaliação de risco de árvores históricas na área urbana de Hong Kong (JIM & ZHANG, 2013).

(A) General information

Date (D)(M)2012

Tree no.

Species

Height (m)

DBH (cm)

Crown diameter (m)

(B) Tree habitats

1. Roadside tree pit or pavement (RPT)

2. Roadside tree strip (RTS)

3. Roadside traffic island (RTI)

4. Public park or garden (PPG)

5. GIC land (GIC)

6. Public housing estate (PH)

7. Roadside planter (RP)

8. Roadside slope (RS)

9. Stone wall (SW)

10. Others (OT)

21. Wound

22. Crack

23. Cavity-decay

24. Pest or disease infection

Crown-foliage

25. Sparse foliage

26. Leaf wilting-yellowing

27. Leaf damage-deformation

28. Unbalanced crown

29. Topped crown

30. Advertisement sign conflict

(C) Defects & disorders

Soil-root

1. Exposed root

2. Girdling root

3. Grade raised

4. Compacted soil

5. Cracked paving

6. Heaved paving

7. Inadequate open soil (width <DBH × 2)

(D) Tree hazard rating

Hazard rating score: Failure potential

1. Low (1)

2. Medium (2)

3. High (3)

4. Severe (4)

Hazard rating score: Size of part that may fail

5. <150 mm diameter (1)

6. 150–450 mm diameter (2)

7. 451–750 mm diameter (3)

8. >750 mm diameter (4)

Hazard rating score: Target use rating

9. Occasional use (1)

10. Intermittent use (2)

11. Frequent use (3)

12. Constant use (4)

Hazard rating class (total hazard rating score)

13. High (10–12)

14. Moderate (7–9)

15. Low (4–6)

16. Insignificant (3)

Branching

16. Heavy horizontal branch

17. Lost limb

18. V-crotch

19. Embedded bark

20. Crossed branches

ANEXO V – Protocolo de risco de falha/queda de árvores (Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro, 2015).



PREFEITURA
DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO
Secretaria Municipal de Conservação e Meio Ambiente
Fundação Parques e Jardins

ANEXO IV

PROTOCOLO DE RISCO DE FALHA/QUEDA DE ÁRVORES

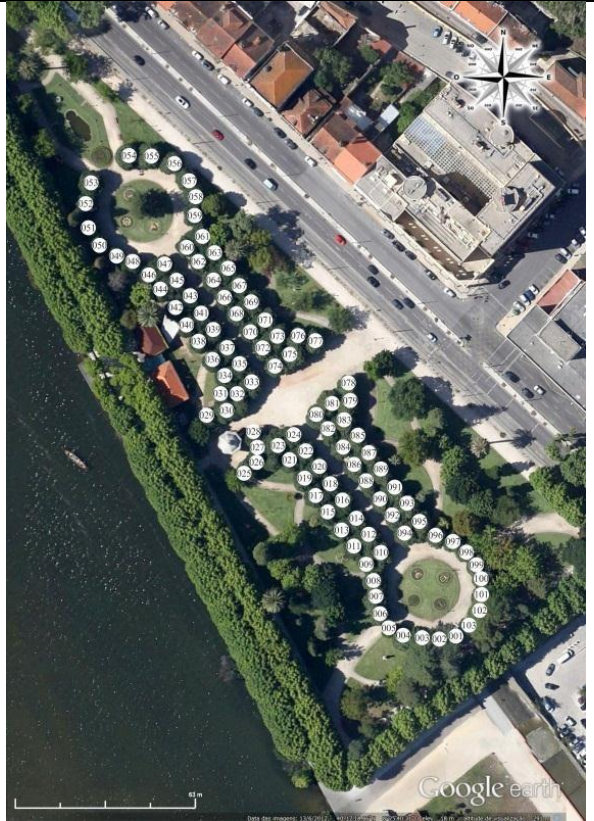
PROTOCOLO PARA AVALIAÇÃO DE RISCO DE FALHA/QUEDA DE ÁRVORES		
Endereço:		
Altura:	Nome científico:	
CAP:	Nome vulgar:	
Diâmetro de copa longitudinal:	Avaliador técnico:	
Diâmetro de copa perpendicular:	Matrícula:	
Data de avaliação:	Órgão/Setor:	
Número do CREA:		
PARÂMETRO	GRAU	NÍVEL DE RISCO
1. Grau de esbeltez	H/DAP ≥ 50	5 ()
	30 ≤ H/DAP < 50	3 ()
	H/DAP < 30	0 ()
Subtotal		
2- Base e raiz		
		NÍVEL DE RISCO
2.1 Corpo de frutificação de fungo apodrecedor	Presente	Remoção imediata
	Ausente	0 ()
2.2 Danos nas raízes (item acumulativo)	Danos graves: cortes verticais em raízes de sustentação próximos à base, ou cortes/degaste horizontal com perda ≥ 60% de tecido da raiz	7 ()
	Danos moderados: cortes/degaste horizontal nas raízes de sustentação com 30% ≤ perda < 60% tecido da raiz	5 ()
	Danos leves: cortes/degaste horizontal nas raízes de sustentação com perda < 30% de tecido da raiz	3 ()
	Danos significativos causados por interferências ou instalações subterâneas	3 ()
	Gola cimentada	3 ()
	Não é possível constatar danos	0 ()
2.3 Rachaduras	Racha dura horizontal ou rachadura vertical extensiva ao longo do fuste	Remoção
	Rachadura inclusa ou vertical menos extensa	3 ()
	Ausente	0 ()
2.4 Carbonização ou Cavidade Aparente		
Comprometimento da circunferência ≥ 30%	Perda de lenho do raio da base ≥ 70%	Remoção
	Perda de lenho do raio da base < 70% ou não mensurável	7 ()
Comprometimento da circunferência < 30%	Perda de lenho do raio da base ≥ 70%	5 ()
	Perda de lenho do raio da base < 70% ou não mensurável	3 ()
Ausente		0 ()
2.5 Cavidade não aparente	Comprometimento ≥ 50% da circunferência do colo da árvore	5 ()
	Comprometimento < 50% da circunferência do colo da árvore	3 ()
	Ausente	0 ()
2.6 Cancro	Circunferência afetada ≥ 50%	3 ()
	30% ≤ Circunferência afetada < 50%	2 ()
	Circunferência afetada < 30%	1 ()
	Ausente	0 ()
Subtotal		
3- Fuste e bifurcações primárias da copa		
		NÍVEL DE RISCO
3.1 Corpo de frutificação de fungo apodrecedor	Presente	Remoção ou 5 ()
	Ausente	0 ()
3.2 Rachaduras	Rachadura horizontal ou rachadura vertical extensiva ao longo do fuste/ramo	Remoção arv () ramo ()
	Rachadura inclusa ou vertical menos extensa	3 ()
	Ausente	0 ()
3.3 Inclinação do fuste	Acidental ou associada à elevação da superfície do terreno pelo conjunto de raízes no lado oposto à inclinação	Remoção imediata
	Adaptativa ≥ 40°	5 ()
	Adaptativa < 40°	3 ()
	Ausente	0 ()



PREFEITURA
DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO
Secretaria Municipal de Conservação e Meio Ambiente
Fundação Parques e Jardins

3.4 Carbonização ou cavidade aparente		
Comprometimento da circunferência ≥ 30%	Perda de lenho do raio da base ≥ 70%	5 ()
	Perda de lenho do raio da base < 70% ou não mensurável	3 ()
Comprometimento da circunferência < 30%	Perda de lenho do raio da base ≥ 70%	3 ()
	Perda de lenho do raio da base < 70% ou não mensurável	1 ()
Ausente		0 ()
3.5 Cavidade não aparente	Comprometimento ≥ 50% da circunferência do fuste ou ramo da árvore	5 ()
	Comprometimento < 50% da circunferência do fuste ou ramo da árvore	3 ()
	Ausente	0 ()
3.6 Cancro	Circunferência afetada ≥ 50%	3 ()
	Circunferência afetada < 50%	1 ()
	Ausente	0 ()
Subtotal		
4- Morfologia de copa		
		NÍVEL DE RISCO
4.1 União dos ramos	União em V	3 ()
	União em L	0 ()
4.2 Equilíbrio da copa	Muito desequilibrada	3 ()
	Medianamente desequilibrada	1 ()
	Equilibrada	0 ()
4.3 Arquitetura de copa	Deformada - irreversível	3 ()
	Deformada - reversível ou natural	0 ()
Subtotal		
5- Fitossanidade		
		NÍVEL DE RISCO
5.1 Organismos: xilófagos e/ou patogênicos, com visualização do agente patogênico	Infestação avançada	3 ()
	Infestação média	1 ()
	Infestação inicial ou ausente	0 ()
5.2 Injúrias mecânicas	Graves	3 ()
	Moderadas	1 ()
	Leves ou ausentes	0 ()
Subtotal		
6- Ambiente		
		NÍVEL DE RISCO
6.1 Incidência do vento	Direta	3 ()
	Indireta	0 ()
6.2 Alvo	Avenidas ou ruas principais com fluxo intenso de veículos ou pessoas	4 ()
	Ruas principais ou secundárias com fluxo intermediário de veículos e pessoas	3 ()
	Ruas secundárias estritamente residenciais com pouca circulação de veículos e pessoas	1 ()
Subtotal		
TOTAL		
Níveis de Risco		Indicação de Manejo
Muito baixo : 1 - 6 pontos		Sem necessidade de manejo
Baixo : 7 - 15 pontos		Quando necessário, manejo, sem monitoramento
Médio: 16 - 21 pontos		Manejo com monitoramento
Alto: acima de 21 pontos		Remoção
Fatores agravantes a serem observados	Terreno em declive/ativo; solo raso, instável, frável ou sujeito a umidade; baixa densidade da madeira.	Presente () Ausente ()
Outros fatores		

ANEXO VI – Guia para avaliação visual de Tílias no Parque Dr. Manuel Braga (FERREIRA, 2017)

<p>FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO VISUAL Tílias NO PARQUE DR. MANUEL BRAGA COIMBRA</p>			
<p>DATA: _____ ÁRVORE Nº: _</p>			
PARÂMETROS PARA ANÁLISE			
TR - Inclinação do Tronco	0	Ao menos uma face reta	
	1	Levemente inclinado	
	2	Direção de queda aparente	
	3	Direção de queda nítida	
CIB - Condição Irregular da Base	0	Ausência de deformação	
	1	Alguma deformação	
	2	Mais de uma deformação	
	3	Muitas deformações	
RP - Ramos com Problema	0	Nenhum	
	1	Um ou poucos	
	2	Vários	
	3	Muitos e/ou ramo principal danificado	
EA - Estado da Árvore	0	$\Sigma = 0$ a 3	BOM ESTADO
	1	$\Sigma = 4$	POTENCIAL DE RISCO
	2	$\Sigma = 5$	POTENCIAL DE RISCO ELEVADO
	3	$\Sigma = 6$ a 9	RISCO IMEDIATO
OBSERVAÇÕES			
IB – Epifitismo		RC - Ramos conectados	
0	Ausência	0	Não
1	Presença	1	Sim