

UFRRJ
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARBORIZAÇÃO
URBANA

MONOGRAFIA

**Avaliação visual de riscos - Metodologia TRAQ (ISA):
Uso do risco residual como estratégia para a gestão de
manejo em árvores com risco médio**

Caroline Rodrigues Santos

2023



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM ARBORIZAÇÃO URBANA**

**AVALIAÇÃO VISUAL DE RISCOS - METODOLOGIA
TRAQ (ISA): USO DO RISCO RESIDUAL COMO
ESTRATÉGIA PARA A GESTÃO DE MANEJO EM
ÁRVORES COM RISCO MÉDIO**

CAROLAINE RODRIGUES SANTOS

Sob a orientação da Professora
Nina Maria Ornelas Cavalcanti Cerávolo

Monografia submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de **Especialista em Arborização Urbana**, no curso de Pós-Graduação em Arborização Urbana (*Latu senso*) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Seropédica, RJ
Abril 2023

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Ra Rodrigues Santos, Carolaine, 1998-
Avaliação visual de riscos - Metodologia TRAQ
(ISA): Uso do risco residual como estratégia para a
gestão de manejo em árvores com risco médio /
Carolaine Rodrigues Santos. - Campinas, 2023.
40 f.

Orientadora: Nina Maria Ornelas Cavalcanti
Cerávolo. Monografia (Especialização). --
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Pós
Graduação, 2023.

1. Arborização Urbana. 2. Avaliação Visual de
Riscos. 3. Riscos Médios. 4. Metodologia TRAQ (ISA).
I. Ornelas Cavalcanti Cerávolo, Nina Maria, 1993-,
orient. II Universidade Federal Rural do Rio de
Janeiro. Pós-Graduação III. Título.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
DEPARTAMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS



TERMO Nº 776/2023 - DeptPF (12.28.01.00.00.00.30)

Nº do Protocolo: 23083.043911/2023-59

Seropédica-RJ, 07 de julho de 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARBORIZAÇÃO URBANA (Lato sensu)

Termo de aprovação da defesa de Monografia de CAROLAINÉ RODRIGUES SANTOS .
Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista em Arborização Urbana, no Curso de Pós-Graduação em Arborização Urbana (Lato sensu) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
MONOGRAFIA APROVADA EM 05/04/2023

Documento não acessível publicamente

(Assinado digitalmente em 07/07/2023 17:06)

ISABELA GUARDIA

CPF: ###.###.588-##

(Assinado digitalmente em 07/07/2023 18:07)

NINA MARIA ORNELAS CAVALCANTI

CPF: ###.###.858-##

(Assinado digitalmente em 07/07/2023 18:55)

GUSTAVO H L GARCIA

CPF: ###.###.838-##

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: 776, ano: 2023, tipo: TERMO, data de emissão: 07/07/2023 e o código de verificação: 41e99924c9

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho:

A minha querida e amada mãe, Valdete, por
sempre acreditar em minhas escolhas e apoiar
minhas decisões;

Ao meu companheiro de todas as horas, Murilo,
por ser meu maior incentivo e o responsável por
despertar minha melhor versão em todos os dias de
minha vida;

Aos meus amigos e família pela cumplicidade,
afeto e amor dedicados à minha pessoa.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Nina, pela indicação deste curso de Pós-Graduação, pela dedicação ímpar prestada a mim no desenvolvimento deste trabalho, pelo amparo na vida pessoal e profissional;

À instituição UFRRJ em conjunto ao Instituto de Florestas, pela oportunidade oferecida para a realização deste curso de Pós-Graduação;

Ao corpo docente e coordenação envolvidos na elaboração e execução do curso de Pós-Graduação em Arborização Urbana da UFRRJ;

A todos os funcionários, colegas e colaboradores da UFRRJ que, de alguma forma, auxiliaram na execução do curso de Pós-Graduação em Arborização Urbana, assim como, na realização do presente estudo;

A todos aqueles que acreditam no papel da ciência na sociedade brasileira;

A todos e todas que compreendem a natureza como parte de nós, seres humanos, respeitando e cuidando das árvores de nosso país.

RESUMO

SANTOS, Carolaine Rodrigues. **Avaliação visual de riscos - Metodologia TRAQ (ISA): Uso do risco residual como estratégia para a gestão de manejo em árvores com risco médio.** 2023. 41 p. Monografia (Especialização em Arborização Urbana). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2023.

A arborização urbana proporciona diversos benefícios às cidades brasileiras. Contudo, quando não são aplicadas estratégias de planejamento e manutenção para essa vegetação, tais benefícios se tornam pequenos comparados aos problemas e consequentes riscos que as árvores podem proporcionar. Buscando avaliar criteriosamente as árvores com o objetivo de categorizar e mitigar os seus riscos, podem ser utilizadas diversas metodologias de avaliação. Dentre estas, cita-se a normativa norte americana TRAQ da “International Society of Arboriculture”, que avalia a probabilidade de falha, impacto e consequência das árvores. Para essa metodologia, os conceitos da pirâmide ALARP são utilizados como estratégia para a gestão de riscos. Apesar desse processo funcionar muito bem à todas as categorias de risco da metodologia americana, quando se trata das decisões sobre os riscos médios, o cenário é diferente. Tendo dito isso, o objetivo do presente estudo foi utilizar o risco residual, através da TRAQ, como estratégia para criar prioridades de manejo dentre os riscos médios. Para isso, considerando as possibilidades de obtenção do risco médio a partir da TRAQ, foram escolhidos quatro cenários. Cada um destes com suas próprias probabilidades de falha, impacto e consequências. A partir de então, foi feita a escolha de quatro árvores de grande porte que se encaixassem nesses cenários. Na sequência, foi realizada a avaliação visual destas, utilizando o formulário básico de avaliação da referida metodologia. Para categorizar as probabilidades de falha, impacto, consequência e risco, foram identificados os defeitos biomecânicos e fitossanitários na área de enraizamento, colo, tronco e copa dos exemplares arbóreos avaliados. Das quatro árvores avaliadas, três são da família Fabaceae. Apenas uma das árvores avaliadas tem origem exótica. Os valores elevados para os dados dendométricos comprovaram que se tratam de árvores consolidadas, as quais proporcionam benefícios expressivos ao local onde estão. A taxa de ocupação obtida para o cenário I foi ocasional, para o cenário II foi frequente, enquanto que para os cenários III e IV a mesma foi considerada constante. Com relação aos fatores do local, metade das árvores avaliadas estavam localizadas em regiões com pavimentação das raízes. Para os defeitos de copa e galhos, a ocorrência de ramos mortos e ramos quebrados foi observada em todas as árvores avaliadas (cenários I, II, III e IV). No tronco, os defeitos mais abundantes foram a codominância de ramos e casca inclusa, observados para todas as árvores. Na área das raízes e colo, os resultados foram diversificados e não homogêneos ao comparar todos os indivíduos arbóreos do estudo. A partir da obtenção dos riscos médios, que foram adquiridos considerando os piores cenários para cada uma das árvores avaliadas, foram atribuídas as respectivas recomendações de manejo. Aos cenários I, II e III foram indicadas podas de limpeza, enquanto que para o cenário IV, além das podas, também foram recomendados sistemas de segurança. Todos os exemplares tiveram redução no risco, com exceção do cenário IV, que se manteve com risco residual médio. Desta forma, confirmou-se que para alcançar uma gestão inteligente dos riscos médios, a análise do risco residual é extremamente eficiente.

Palavras-chave: Análise arbórea, mitigação de risco e administração de riscos arbóreos.

ABSTRACT

SANTOS, Caroline Rodrigues. **Visual risk assessment – TRAQ Methodology (ISA): Use of residual risk as a management strategy for trees with medium risk.** 2023. 41 p. Monography (Specialization in Urban Forestry). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2023.

Urban afforestation provides several benefits to Brazilian cities. However, when planning and maintenance strategies are not applied to this vegetation, such benefits become small compared to the problems and consequent risks that trees can provide. Seeking to carefully evaluate the trees with the objective of categorizing and mitigating their risks, several evaluation methodologies can be used. Among these, the North American TRAQ regulation of the International Society of Arboriculture is cited, which evaluates the probability of failure, impact and consequence of trees. For this methodology, the concepts of the ALARP pyramid are used as a risk management strategy. Although it works very well for all risk categories of the American methodology, when it comes to decisions about average risks, the scenario is different. Having said that, the aim of the present study was to use the residual risk, through the TRAQ, as a strategy to create management priorities among the average risks. For this, considering the possibilities of obtaining the average risk from the TRAQ, four scenarios were chosen. Each of these with their own failure probabilities, impact and consequences. From then on, four large trees were chosen to fit these scenarios. Subsequently, a visual assessment of these was carried out, using the basic assessment form of the aforementioned methodology. To categorize the probabilities of failure, impact, consequence and risk, biomechanical and phytosanitary defects were identified in the rooting area, neck, trunk and crown of the evaluated tree specimens. Of the four evaluated trees, three correspond to species of the Fabaceae family. Only one of the evaluated trees has an exotic origin. The high values for the dendrometric data proved that these are consolidated trees, which provide expressive benefits in the place where they are. The occupancy rate obtained for scenario I was occasional, for scenario II it was frequent, while for scenarios III and IV it was considered constant. With regard to location factors, half of the evaluated trees were located in regions with paved roots. For crown and branch defects, the occurrence of dead branches and broken branches was observed in all evaluated trees (scenarios I, II, III and IV). In the trunk, the most abundant defects were the codominance of branches and included bark, observed for all trees. In the area of roots and collar, the results were diversified and not homogeneous when comparing all tree individuals in the study. From obtaining the average risks, which were attributed to the worst scenarios of each of the evaluated trees, specific management recommendations were assigned. For scenarios I, II and III, cleaning pruning was indicated, while for scenario IV, in addition to pruning, safety systems were also recommended. All specimens had a reduction in risk, with the exception of scenario IV, which remained with medium residual risk. In this way, it was confirmed that to achieve an intelligent management of medium risks, the residual risk analysis is extremely efficient.

Keywords: Tree analysis, risk mitigation and tree risk management.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	2
2.1 Benefícios e problemáticas da arborização urbana	2
2.2 A avaliação de risco de árvores	3
2.3 Os riscos arbóreos da metodologia TRAQ e a pirâmide ALARP	4
2.4 O risco residual como estratégia para o manejo dos riscos médios	5
3 MATERIAL E MÉTODOS	6
3.1 Caracterização e descrição do local de estudo	6
3.2 Metodologia de avaliação de riscos - Formulário ISA	7
3.2.1 Preenchimento do formulário de avaliação	7
3.2.2 Obtenção do risco arbóreo	12
3.3 Seleção dos indivíduos arbóreos	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
4.1 Identificação e caracterização das espécies arbóreas	17
4.2 Avaliação de risco das árvores - Formulário básico de avaliação de risco (ISA)	18
4.2.1 Setor I - Cabeçalho	18
4.2.2 Setor II - Avaliação do alvo	19
4.2.3 Setores III - Fatores do local	20
4.2.4 Setor IV - Perfil de saúde e espécie da árvore e Setor V - Fatores de carga	21
4.2.5 Setor VI - Defeitos que afetam a probabilidade de falha	21
4.2.6 Setor VII - Categorização do risco	25
5 CONCLUSÕES	27
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
7 ANEXOS	31
Anexo A - Formulário básico de avaliação de risco de árvore, traduzido	31

1 INTRODUÇÃO

A busca por ambientes arborizados dentro das cidades tem sido crescente, já que os benefícios proporcionados pelas árvores são notáveis a qualquer um. Dessa forma, ao mesmo passo em que se projeta incluir cada vez mais indivíduos arbóreos nos centros urbanos, é fundamental que a gestão dessa arborização urbana também seja considerada no planejamento. Isso se faz necessário pois, apesar de locais com quantidade expressiva de árvores proporcionarem grandes benefícios, os mesmos podem oferecer riscos caso sua arborização não receba os devidos cuidados.

Dentro desse contexto, utiliza-se da avaliação de risco de árvores como instrumento para compreender os graus de risco da arborização, assim como, indicar manejos que possam solucionar os problemas associados à essa vegetação. Há diversas metodologias que têm a finalidade de delinear se o risco de uma árvore é alto ou baixo. Apesar disso, gestores de áreas urbanas amplamente arborizadas ainda encontram dificuldades no momento de priorizar as ações de manejo a fim de reduzir os riscos arbóreos. Sendo assim, mesmo tendo o conhecimento sobre os riscos, ainda não há clareza de onde o manejo deve começar.

Para a metodologia de avaliação de risco norte americana, denominada TRAQ (“Tree Risk Assessment Qualification”), os riscos arbóreos podem ser classificados como: extremo, alto, médio ou baixo. Nesse caso, por exemplo, a pirâmide ALARP (“As Low As Reasonably Practicable”), criada por Mark e Mike (2017), é utilizada como estratégia para a gestão dos riscos. Segundo a referida pirâmide, riscos extremos são considerados inaceitáveis, enquanto riscos baixos são amplamente toleráveis. Isso significa que, o manejo arbóreo obrigatoriamente deve ser iniciado pelas árvores com riscos mais elevados, enquanto árvores com riscos baixos podem ser manejadas em último caso.

Apesar da pirâmide ALARP de Mark e Mike (2017) facilitar e nortear quais árvores devem receber o manejo inicialmente, quando se trata de longos prazos, a normativa pode trazer dúvidas, principalmente para os riscos médios. Conceitualmente, a porção mediana da pirâmide, que recebe o nome de “Região ALARLP”, coincide com a região onde os riscos altos e médios estão localizados. Sendo assim, o manejo dessas categorias de risco deve obedecer a tradução literal da sigla ALARP, que significa: “Tão Baixo Quanto Razoavelmente Praticável”. Em outras palavras, o manejo dos riscos altos e médios deve ser ponderado caso a caso. O custo a ser aplicado deve ser razoável ao ponto de mitigar o risco significativamente, trazendo um benefício expressivo, o qual faça diferença dentro de uma população arbórea. Caso contrário, não é interessante realizá-lo naquele momento ou instante.

Tendo em vista o cenário exposto anteriormente, quando se trata de riscos altos há maior facilidade de colocar em prática os conceitos da pirâmide ALARP, já que estes estão em menor número. Entretanto, para os riscos médios, a tomada de decisões torna-se mais complexa e, muitas vezes devido à dúvida, é deixada para segundo plano, já que nessa categoria de riscos há uma maior quantidade de árvores do que aquelas com riscos altos. Sendo assim, é possível notar que a gestão dos riscos médios ainda é dificultada, mesmo com a aplicação dos conceitos abordados pela pirâmide ALARP. Buscando facilitar a tomada de decisão nesses casos e, conseqüentemente, tornar a gestão desses riscos exequível, o presente estudo tem o objetivo de utilizar o risco residual, através da TRAQ, como estratégia para criar prioridades de manejo dentre os riscos médios.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Benefícios e problemáticas da arborização urbana

Os processos de urbanização e expansão de grande parte das cidades brasileiras ocorreram de forma rápida, sem que houvesse um planejamento apropriado. Dessa forma, os espaços urbanos que surgiram durante esse período, pouco continham a vegetação arbórea como parte de sua estrutura. No entanto, ao longo do tempo, como uma necessidade de complementar essa paisagem, a implementação dessas plantas foi tomando espaço. Inicialmente, a questão estética foi a principal razão para introdução das árvores nas cidades. Apesar disto, os conhecimentos sobre a arborização urbana nos dias atuais demonstram que essas plantas vão além da estética, já que promovem benefícios variados aos centros urbanos.

De acordo com estudo de Silva *et al.* (2022), que buscou promover consciência sobre a preservação do meio ambiente à alunos da rede pública de ensino através do plantio de árvores, a arborização urbana é caracterizada como um dos elementos de maior relevância para o ecossistema das cidades. Os autores citam que isso ocorre porque as árvores promovem amplos benefícios, já que minimizam os efeitos das ilhas de calor, reduzem a temperatura e carga de poluentes no ar. Além disso, as árvores produzem frutos que podem ser utilizados na alimentação, além de serem ótimos elementos para ornamentação (SILVA, *et al.* 2022). Dessa forma, a responsabilidade do ser humano sob a preservação dessa vegetação se faz estritamente necessária.

Além dos benefícios citados anteriormente, Coelho *et al.* (2021) discutiram sobre o papel da arborização como uma estratégia turística e instrumento para o desenvolvimento sustentável. No referido estudo, foi realizada uma pesquisa que buscou compreender a opinião da população de cidades brasileiras sobre as árvores no município da pesquisa. Dentre as questões levantadas, para todas as cidades avaliadas, foi observado que a população concorda que as árvores proporcionam locais mais saudáveis, além de frescos (COELHO, *et al.* 2021). Isso acontece porque a arborização urbana também está associada ao bem-estar social.

Apesar dos aspectos positivos relacionados às árvores, os quais foram brevemente descritos anteriormente, deve-se compreender que nem sempre o resultado da arborização é benéfico, principalmente quando o planejamento ou monitoramento não são realizados. Ainda considerando a pesquisa feita por Coelho *et al.* (2021), quando a população entrevistada no estudo foi indagada se as árvores deveriam ser plantadas nas cidades, boa parte daqueles que não concordaram com a afirmação, embasaram sua opinião nas interferências das árvores com elementos urbanos. O estudo cita os conflitos com construções, placas de trânsito e até mesmo a proximidade com a rede elétrica como problemas frequentes dentro desse contexto. Além disso, segundo estudo de Jerônimo *et al.* (2021), um dos grandes problemas associados à arborização urbana se dá pelo processo de afloramento das raízes. De acordo com os autores, solos compactos ou mesmo obstruídos, os quais são comuns em cidades, dificultam a oxigenação do sistema radicular. Essa situação, por sua vez, provoca um crescimento das raízes nas faixas mais superficiais do solo, provocando, conseqüentemente, a obstrução de vias, rachaduras, levantamentos de solo em calçadas e outros pavimentos urbanos (JERÔNIMO, *et al.* 2021).

A ocorrência de conflitos entre árvores e equipamentos urbanos promovem situações de risco que podem resultar em graves conseqüências. Isso acontece porque, no meio urbano, há alvos que podem, de alguma forma, serem atingidos caso as árvores não suportem as condições em que estão sobrevivendo. Por essa razão, se faz necessária a implementação de ferramentas e normativas que sejam capazes de delimitar os riscos das árvores, criando

soluções eficazes para mitigação dos mesmos. Esse processo é impreterível para que haja harmonia entre natureza e ser humano.

2.2 A avaliação de risco de árvores

Segundo Dunster *et al.* (2013), risco e perigo são terminologias diferentes que devem ser compreendidas quando aplicadas às árvores. Para os autores, dentro do contexto arbóreo, o risco sempre será uma combinação da possibilidade de um evento acontecer e sua potencial consequência. Em contraste, o perigo pode ser definido como a fonte provável de um determinado dano. No contexto da arborização urbana, o perigo está associado às porções das árvores que, no momento de uma determinada falha, são prováveis fontes de dano.

Para a normativa internacional ISO 31.000 (2018), elaborada pela “International Organization for Standardization” (ISO), o risco tem uma definição similar ao exposto anteriormente. De acordo com a referida norma, o risco também pode ser expresso pela combinação entre a probabilidade de um evento ocorrer e a sua consequência. Sendo assim, aplicando esse conceito para as árvores, entende-se que o risco arbóreo é uma combinação entre as chances de um evento relacionado a árvore acontecer, somado a consequência que pode causar. O evento arbóreo pode ser a queda de um galho, ou mesmo da árvore inteira, por exemplo. Para a consequência, dependendo do caso, pode ser relevante ou não. Caso a árvore não provoque nenhum acidente, o dano é mínimo. No entanto, se uma pessoa ou mesmo algum equipamento urbano for atingido pela árvore ou qualquer parte dela, o cenário muda completamente.

Tendo em vista que o risco arbóreo existe e é necessário compreendê-lo, já que as árvores estão por toda parte em nossas cidades, foi criada uma norma regulamentadora pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) que, apesar de não ser compulsória no Brasil, direciona como deve ser feita a tratativa com as árvores nos municípios brasileiros. Essa normativa é nomeada de “ABNT NBR 16.246: Florestas Urbanas - Manejo de árvores, arbustos e outras plantas lenhosas - Parte 3: Avaliação de Risco de Árvores” e foi implementada no ano de 2019, com base em conhecimentos internacionais sobre os riscos arbóreos.

De acordo com a ABNT NBR 16.246-3 (2019), a avaliação de risco das árvores se dá em três níveis distintos, a depender da forma como a análise é feita e dos instrumentos utilizados. A avaliação de Nível 1, por exemplo, é caracterizada por uma análise abrangente e holística que identifica problemas óbvios das árvores. Por essa razão, pode ser feita de dentro de automóveis, com veículos aéreos não tripulados (VANT's ou *drones*) ou mesmo em caminhada acelerada. Já no Nível 2 de avaliação, é realizada uma diagnose mais detalhada da árvore, em 360°, em busca de defeitos que nem sempre são óbvios. Para esse segundo nível, é feita uma avaliação criteriosa da copa, tronco e colo da árvore. Nesse caso, podem ser utilizadas ferramentas dendrométricas como trenas, por exemplo, e também outros utensílios variáveis a cada caso. Por fim, há também a avaliação de Nível 3, que complementa a análise visual de Nível 2. Para análises de Nível 3, são utilizados equipamentos e técnicas específicas como a escalada técnica, uso de tomógrafos e/ou penetrógrafos, que permitem somar evidências plausíveis para consubstanciar o risco final da árvore avaliada.

Considerando o Nível 2 de avaliação de risco de árvores descrito pela ABNT NBR 16.246-3 (2019), é possível aplicar diversas metodologias de diagnose, as quais podem ser normativas quantitativas ou qualitativas. Dentre as normativas qualitativas, as quais não se restringem a números, a metodologia norte americana “Tree Risk Assessment Qualification” (TRAQ), da “International Society of Arboriculture” (ISA), recebe destaque. De acordo com Duarte (2019), essa metodologia estabelece uma avaliação mútua e completa das árvores

urbanas, pois abrange aspectos qualitativos sobre os problemas e defeitos presentes na árvore, considera o local em que a mesma se encontra e a severidade das consequências que podem ocorrer se a árvore falhar. Dessa forma, por oferecer uma diagnose holística da árvore, de sua localização geográfica e também dos alvos que a permeiam, a TRAQ é uma das metodologias mais eficientes para a avaliação de risco arbórea (DUARTE, 2019).

2.3 Os riscos arbóreos da metodologia TRAQ e a pirâmide ALARP

De acordo com Dunster *et al.* (2013), a metodologia de avaliação visual de riscos TRAQ se baseia em três principais frentes: a probabilidade de falha, probabilidade de impacto e a consequência. Como descrevem os autores, a probabilidade de falha é uma categoria em que se observam os defeitos biomecânicos e fitossanitários da árvore, como a presença de galhos secos, lesões aparentes ou processos biodeteriorativos, por exemplo. Já na probabilidade de impacto, diferente da falha, são observados os alvos que podem ser atingidos caso o pior defeito da árvore avaliada ocorra. Nessas condições, o alvo pode ser um pedestre, automóvel ou construções que estejam próximas ao indivíduo arbóreo em questão. Por fim, para a consequência, diferentemente do que foi dito até o momento, os autores citam que deve ser considerada a junção entre probabilidade de falha e probabilidade de impacto. Isso significa que, para compreender qual será a consequência dentro da TRAQ, é necessário imaginar que falha e impacto são verdadeiros. Somente após a obtenção dos três elementos anteriormente citados, é possível encontrar o risco arbóreo, que pode ser: extremo, alto, médio ou baixo (DUNSTER *et al.*, 2013).

Assim que os itens da TRAQ são conhecidos e o risco arbóreo é obtido, é preciso indicar a ação mitigadora mais apropriada para que este último seja reduzido. Isso se faz necessário majoritariamente porque as árvores das cidades estão próximas de alvos importantes. Somente aplicando o manejo correto para o problema encontrado, é possível manter a segurança daqueles que ocupam o mesmo local que as árvores. Pensando nisso, Mark e Mike (2017), criaram um modelo de gestão para os riscos arbóreos nomeado de ALARP. O modelo, já existente e aplicável para o gerenciamento de risco e segurança operacional de forma generalizada, nesse contexto, é específico para árvores. A sigla ALARP: “As Low As Reasonably Practicable”, quando traduzida para o português, significa “Tão Baixo Quanto Razoavelmente Praticável”. Aplicando esse conceito aos riscos arbóreos, entende-se que a gestão deve ser feita de forma que o risco da árvore seja reduzido ao seu máximo, como for possível, dentro do contexto analisado (MARK; MIKE, 2017).

A pirâmide ALARP descrita por Mark e Mike (2017) se difere dos demais modelos de gerenciamento de risco, pois considera que os riscos arbóreos mais elevados são aqueles em menor proporção, os quais estão no ápice da pirâmide e não na base. Por isso, ao realizar o levantamento arbóreo de uma população de árvores, poucas deverão conter riscos mais altos, enquanto a maioria pertencerá à categoria de risco baixo. Essa organização influencia diretamente na implementação das ações de manejo, já que o ápice da pirâmide, onde os maiores riscos estão localizados, deve ser atendido com prioridade.

Para gerenciar os riscos arbóreos obtidos pela metodologia TRAQ, de acordo com a pirâmide ALARP, Mark e Mike (2017) propuseram uma sequência de entendimento que deve guiar as ações mitigatórias. Para os autores, assim como descrito brevemente por Dunster *et al.* (2013), num primeiro momento, assim que os riscos arbóreos são obtidos, é necessário organizá-los em cada uma das categorias da TRAQ (extremos, altos, médios ou baixos). Posteriormente, o manejo deve ser aplicado inicialmente nos riscos mais elevados, já que estes são considerados inaceitáveis. Em outras palavras, riscos extremos nada mais são do que a combinação dos piores cenários de probabilidade de falha, impacto e consequência. Por

isso, caso o evento ocorra nessas árvores, os problemas gerados serão de grande importância. Somente após atender a esses casos, a gestão deve seguir em ordem decrescente para cada categoria de risco subsequente.

Tendo em vista as demais categorias de risco da TRAQ, ainda dentro do modelo de gestão proposto por Mark e Mike (2017), após atender o ápice da pirâmide para mitigar os riscos mais elevados, deve-se priorizar área intermediária do modelo, onde os riscos são tolerados em troca de benefícios que variam caso a caso. Posteriormente à essa sequência, apenas, é realizada a gestão dos riscos baixos. Isso ocorre porque, os riscos localizados na base da pirâmide são tão baixos que acabam sendo amplamente aceitáveis e toleráveis dentro do contexto urbano.

2.4 Risco residual e a problemática da gestão dos riscos médios

Apesar do modelo proposto por Mark e Mike (2017) ser eficiente e ordenar como a gestão deve ocorrer para cada categoria de risco, é imprescindível considerar que mesmo após a aplicação das ações mitigatórias, o risco ainda permanecerá. Segundo Dunster *et al.* (2013), sempre haverá um risco remanescente após a mitigação, o qual recebe o nome de risco residual dentro da metodologia americana TRAQ. Para os autores, o risco residual deverá ser baixo a ponto de se aproximar do zero. No entanto, considerando que há várias opções de manejo possíveis que podem ser aplicados a cada caso, para o modelo proposto por Mike e Mike (2017), deverá ser escolhida aquela que torne o risco tão baixo quanto razoavelmente praticável.

O processo de obtenção do risco residual através da metodologia TRAQ é realizado exatamente da mesma forma utilizada para o risco inicial da árvore (DUNSTER, *et al.*, 2013). Isso significa que, nessa etapa, são obtidos novamente opções para probabilidade de falha, impacto e consequência. No entanto, nesse novo cenário, são consideradas as condições da árvore posteriormente à ação mitigatória, uma vez que o objetivo é reduzir o risco que foi obtido inicialmente e não o manter.

Para Dunster *et al.* (2013), como a grande maioria das ações de mitigação modificam a estrutura da árvore de alguma forma, seja alterando sua condição biomecânica ou fitossanitária, apenas a probabilidade de falha é alterada. Isso ocorre porque, nesses casos, o ambiente e os alvos a serem atingidos pela árvore, não sofrem qualquer alteração. Nessas circunstâncias, se faz necessário um cuidado redobrado para o processo de gestão dos riscos arbóreos, já que a estrutura da TRAQ permite que o risco se mantenha o mesmo, em alguns dos casos.

Considerando as ideias anteriormente expostas, a problemática dos riscos médios se destaca. Como o manejo para os riscos extremos e altos é imediato e, para os riscos baixos não há preocupações, os riscos médios acabam sendo deixados em segundo plano. Para Dunster *et al.* (2013), as árvores de risco moderado podem ser mitigadas e mantidas. No entanto, diferente da obrigatoriedade que se aplica para os riscos mais elevados, a ação mitigatória dos riscos médios depende de fatores como o orçamento e o cronograma de trabalho, por exemplo. Essa afirmação comprova e reforça a ideia de que quanto menor é risco, maiores são as incertezas. As implicações disso para os riscos médios são ainda mais relevantes, pois, o risco médio não é amplamente aceitável e deve ser mitigado. Por essa razão, se faz necessária a aplicação de estratégias que impeçam a procrastinação sobre a gestão dos riscos arbóreos moderados, à qual é gerada pela dúvida. Consequências severas e irreversíveis podem ser resultado da negligência à essa categoria de risco arbórea.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização e descrição do local de estudo

Foram selecionadas quatro áreas distintas para a realização do presente estudo (Quadro 1). A escolha das mesmas foi norteada de acordo com os cenários de risco médio requeridos, os quais são objeto deste trabalho. Para cada localidade escolhida, foi selecionado um exemplar arbóreo de grande porte, totalizando, portanto, quatro árvores. Ambos os endereços estão situados na zona leste/nordeste do município de Campinas, interior do estado de São Paulo (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS, 2022).

Quando 1. Endereço completo e coordenadas geográficas das áreas e seus respectivos exemplares arbóreos selecionados para o estudo.

Áreas	Endereço completo	Coordenadas geográficas arbóreas	
		Latitude (UTM)	Longitude (UTM)
I	Praça Trinta e Um de Março - Cruzamento entre as Ruas Américo Brancaglione e Rua Dom Idílio José Soares, Vila Trinta e Um de Março, Campinas - SP, CEP: 13091-589 e 13091-580.	7469270.00 m S	292193.00 m E
II	Rua Manuel Bueno de Barros (em frente à residência nº 234), Taquaral, Campinas - SP, CEP: 13023-660.	7467720.00 m S	290136.00 m E
III	Avenida José Bonifácio (em frente à construção nº 623), Jardim Novo Flamboyant, Campinas - SP, CEP: 13091-140.	7467851.00 m S	291539.00 m E
IV	Rua Patrocínio do Sapucaí, (em frente à residência nº 220), Jardim Flamboyant, Campinas - SP, CEP: 13091-105.	7468333.00 m S	291413.00 m E

Fonte: Google Earth®, 2022.

Atualmente, a cidade de Campinas conta com uma área com 801 km² e apresenta, aproximadamente, um milhão de habitantes, os quais se distribuem por centenas de bairros e quatro distritos (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS, 2022). De acordo com Campos e Amorim (2022), a região metropolitana de Campinas (RMC) possui relevo que se insere na zona de contato entre os Cinturões Móveis Neoproterozóicos, Bacias e Coberturas Sedimentares Fanerozóicas. Essa característica confere à região uma alta complexidade, proporcionando diferentes formas e dinâmicas ao seu relevo (CAMPOS; AMORIM, 2022).

Além das características citadas anteriormente, Campinas é uma cidade que apresenta temperaturas mínimas abaixo de 18°C e máximas maiores ou iguais a 21°C, além de precipitação média, no mês mais seco, em torno de 30 milímetros. Segundo Campos e Amorim (2022), o regime úmido domina a Região Metropolitana de Campinas, já que a média pluviométrica predominante é de 1.500 milímetros anuais. Ademais, por sofrer ação dos sistemas tropical e polar atlântico, o clima da cidade é caracterizado como CWA (BLAIN; KAYANO, 2011). Por fim, a Mata Atlântica é o bioma predominante em toda a RMC (CAMPOS; AMORIM, 2022).

3.2 Metodologia de avaliação de riscos - Formulário ISA

Segundo as especificações e descrições contidas na normativa ABNT NBR 16.246-3 (2019), os riscos arbóreos do presente estudo foram adquiridos através da avaliação de nível II, mediante uso da metodologia de diagnose da “International Society of Arboriculture”, denominada “Tree Risk Assessment Qualification” (TRAQ). Foi utilizado o formulário completo de análise da TRAQ, adaptado ao português (Anexo A). A referida ficha, que é dividida em sete setores diferentes, abrange especificações arbóreas que estão intimamente relacionadas com três grandes pilares utilizados pela metodologia norte-americana: probabilidade de falha, probabilidade de impacto e consequência. Os setores existentes no formulário de avaliação estão distribuídos em duas páginas (Figura 1).

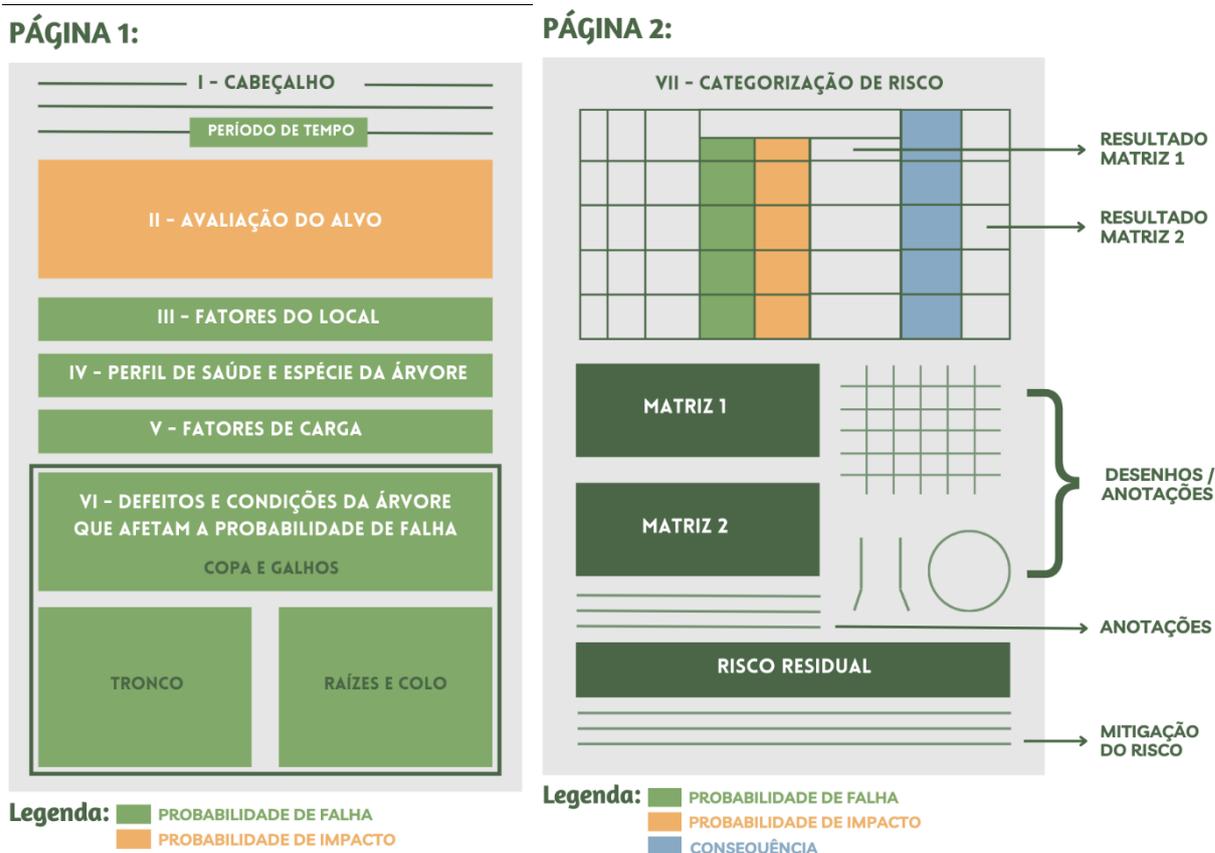


Figura 1. Representação esquemática da primeira e segunda página do formulário de avaliação de risco de árvores da ISA (metodologia TRAQ).

3.2.1 Preenchimento do formulário de avaliação

No primeiro setor da ficha, o qual não se atribui um título específico, são contidas informações gerais de identificação e descrição da avaliação, com a funcionalidade similar à de um cabeçalho (Figura 2). Foram solicitadas as seguintes informações nessa parte da ficha: nome do cliente cuja árvore foi avaliada (item não preenchido no presente estudo, pois é atribuído à casos de prestação de serviços), data e horário da avaliação, endereço e número da árvore (para o segundo item, se houver), espécie, diâmetro na altura do peito (DAP), altura aproximada, diâmetro de copa, avaliador, ferramentas utilizadas e período de tempo.

ISA Formulário Básico de Avaliação de Risco de Árvore

Cliente _____ Data _____ Horário _____
 Endereço / Localização da árvore _____ Número da árvore _____ Folha _____ de _____
 Espécie _____ DAP _____ Altura _____ Diâmetro da copa _____
 Avaliador _____ Ferramentas usadas _____ Período de tempo _____

Figura 2. Primeiro setor do formulário de avaliação de risco de árvores da ISA (metodologia TRAQ), traduzido.

Com relação a coleta dos dados dendrométricos, utilizou-se uma fita diamétrica para mensurar o DAP, enquanto que para o cálculo da altura das árvores, a medição se deu por meio de comparação com equipamentos urbanos de altitude conhecida. De acordo com CPFL Energia (2018), o padrão de altura para os postes de energia da cidade de Campinas é de, aproximadamente, 7,5 metros de altura. Dessa forma, utilizou-se esse parâmetro para aferir a altura dos indivíduos arbóreos selecionados.

Assim como feito para a altura, na obtenção do diâmetro de copa também foi realizada uma medição aproximada. Contudo, nesse caso, utilizou-se da sombra projetada pela copa das árvores ao sol do meio dia. Dessa forma, com o auxílio de uma fita métrica, foi feita a medição do diâmetro da sombra projetada pela copa de cada uma das árvores analisadas.

Para o período de tempo, as avaliações realizadas no presente estudo consideraram um ano. Segundo Dunster *et al.* (2013), o período de tempo ou “time frame” pode ser definido como o prazo recomendado até que uma próxima avaliação possa ser feita na árvore. Sendo assim, geralmente varia de um a três anos. Apesar disso, ainda de acordo com os autores, o período de tempo não funciona como uma garantia para a avaliação de risco. Isso ocorre, pois, a avaliação considera parâmetros e condições arbóreas identificadas durante a inspeção. Dessa forma, o clima ou qualquer outro agente externo que entre em contato com a árvore durante todo esse período, podem certamente modificar as condições do exemplar arbóreo.

No segundo setor, que recebe o nome de “Avaliação do alvo” (Figura 3), foram atribuídas informações relacionadas a todos os alvos considerados durante a avaliação, já que o formulário de avaliação permite que sejam descritos múltiplos alvos para uma mesma árvore. A cada um desses alvos, foram preenchidas informações específicas como: fatores de proteção (qualquer equipamento/elemento urbano que possa ser atingido pela árvore antes que ela toque o alvo), zona do alvo (zona/região aproximada que o alvo está em relação a árvore), taxa de ocupação (quanto tempo o alvo ocupa o espaço próximo a árvore), possibilidade de mover o alvo e restringir o seu acesso à árvore. Para o presente estudo, foi atribuído um único alvo para cada árvore avaliada.

Avaliação do Alvo								
Número do Alvo	Descrição do Alvo	Fatores de Proteção do Alvo	Zona do Alvo			Taxa de Ocupação	É possível mover o alvo?	É possível restringir o acesso a área?
			Alvo dentro da área de projeção da copa	Alvo na área de 1x a altura da árvore	Alvo na área de 1,5x a altura da árvore	1- raro 2- ocasional 3- frequente 4- constante		
1								
2								
3								
4								

Figura 3. Segundo setor do formulário de avaliação de risco de árvores da ISA (metodologia TRAQ), traduzido.

Para o terceiro setor, denominado “Fatores do local” (Figura 4), são dispostas informações relacionadas ao local onde a árvore está localizada. Informações como histórico de falhas (caso haja ocorrência de falhas geológicas), topografia (plano ou declive), condições e alterações do solo, direção do vento e clima predominante, foram solicitadas durante o seu preenchimento.

Fatores do Local	
Histórico de falhas _____	Topografia Plano <input type="checkbox"/> Declive <input type="checkbox"/> _____ % Aspecto _____
Alterações Nenhuma <input type="checkbox"/> Mudança de nível do solo <input type="checkbox"/> Limpeza <input type="checkbox"/> Hidrologia do solo alterada <input type="checkbox"/> Corte de raiz <input type="checkbox"/> Descrição _____	
Condições do solo Volume Limitado <input type="checkbox"/> Saturado <input type="checkbox"/> Raso <input type="checkbox"/> Compactado <input type="checkbox"/> Pavimentação sob raízes <input type="checkbox"/> _____ % Descrição _____	
Direção do vento _____	Clima predominante Ventos Fortes <input type="checkbox"/> Gelo <input type="checkbox"/> Neve <input type="checkbox"/> Chuvas Fortes <input type="checkbox"/> Descrição _____

Figura 4. Terceiro setor do formulário de avaliação de risco de árvores da ISA (metodologia TRAQ), traduzido.

No quarto setor, de nome “Perfil de saúde e espécie da árvore” (Figura 5), o formulário permitiu que fossem atribuídas qualidades gerais ao estado das árvores avaliadas. Foram solicitadas informações como vigor, aspectos sobre a folhagem, perfil de falha da espécie (identificação do principal problema atribuído à árvore), assim como aspectos bióticos (problemas fitossanitários: pragas e/ou doenças) e abióticos (problemas biomecânicos).

Perfil de Saúde e Espécie da Árvore	
Vigor Baixo <input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Alto <input type="checkbox"/> Folhagem Nenhum (sazonal) <input type="checkbox"/> Nenhum (morto) <input type="checkbox"/> Normal _____ % Clorose _____ % Necrose _____ %	
Pragas / Bióticos _____	Abióticos _____
Perfil de falha da espécie Galhos <input type="checkbox"/> Tronco <input type="checkbox"/> Raízes <input type="checkbox"/> Descrição _____	

Figura 5. Quarto setor do formulário de avaliação de risco de árvores da ISA (metodologia TRAQ), traduzido.

O quinto setor, nomeado de “Fatores de carga”, estabeleceu uma série de opções de cargas adicionais que poderiam estar presentes nas árvores avaliadas (Figura 6). Foram eles: exposição ao vento, tamanho relativo e densidade da copa, vegetação interferente ou presença de epífitas.

Fatores de Carga	
Exposição ao vento Protegido <input type="checkbox"/> Parcial <input type="checkbox"/> Cheio <input type="checkbox"/> Afunilamento do vento <input type="checkbox"/> _____	Tamanho relativo da copa Pequeno <input type="checkbox"/> Médio <input type="checkbox"/> Amplo <input type="checkbox"/>
Densidade da copa Rala <input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Densa <input type="checkbox"/> Ramos interiores Poucos <input type="checkbox"/> Normal <input type="checkbox"/> Muitos <input type="checkbox"/> Vegetação interferente/Epífitas <input type="checkbox"/>	
Mudança recente ou esperada nos fatores de carga _____	

Figura 6. Quinto setor do formulário de avaliação de risco de árvores da ISA (metodologia TRAQ), traduzido.

A partir do sexto setor do formulário de avaliação, foram compiladas informações relacionadas à avaliação nível II (ABNT 16.246-3), assim como, a categorização do risco final das árvores. No setor seis: “Defeitos e condições da árvore que afetam a probabilidade de falha” (Figura 7), foram solicitadas informações sobre os aspectos biomecânicos e fitossanitários das árvores em sua extensão completa - copa e galhos, tronco, raízes e colo.

Defeitos e Condições da Árvore que Afetam a Probabilidade de Falha

— Copa e Galhos —

Copa desequilibrada LCR _____ %
 Galhos / Ramos mortos _____ % no geral Diâmetro Máximo _____
 Galhos / Ramos quebrados Quantidade _____ Diâmetro Máximo _____
 Galhos / Ramos estendidos

Histórico de poda
 Copa limpa Copa raleada/afilada Copa elevada/levantada
 Copa reduzida Copa destopada Copa rabo de leão
 Lesões de poda Outra _____

Rachaduras _____ Danos causados por raios
 Codominância _____ Casca inclusa
 Junções frágeis _____ Cavidades / Orifícios de ninho: _____ % circ.
 Falhas ramos inferiores _____ Ramos semelhantes presentes
 Casca morta/ausente Cancro/Galha/Tumor Dano/Deterioração alburno
 Cogumelo/fungo Deterioração do cerne _____
 Madeira de reação _____

_____ Condição(ões) de preocupação _____

Parte da falha _____ Distância de queda _____

Carga no defeito N/A Menor Moderada Significante
Probab. de falha Improvável Possível Provável Iminente

— Tronco —

Casca morta / ausente Textura / cor anormal da casca
 Ramos codominantes Casca inclusa Rachaduras
 Dano / Deterioração alburno Cancro / Galha / Tumor Exsudação de seiva
 Danos causados por raios Deterioração do cerne Cogumelo/fungo
 Cavidades / Orifícios de ninho _____ % circ. Profundidade _____ Conicidade
 Ângulo de inclinação _____ ° Corrigido? _____
 Madeira de reação _____
 Condição(ões) de preocupação _____

Parte da falha _____ Distância de queda _____

Carga no defeito N/A Menor Moderada Significante
Probab. de falha Improvável Possível Provável Iminente

— Raízes e Colo —

Colo soterrado / Não visível Profundidade _____ Anilhamento do caule
 Morta Deterioração Cogumelo/fungo
 Exsudação de seiva Cavidade _____ % circ.
 Rachaduras Raízes cortadas / danificadas Distância do tronco: _____
 Levantamento de raízes Condições de fragilidade do solo
 Madeira de reação _____

_____ Condição(ões) de preocupação _____

Parte da falha _____ Distância de queda _____

Carga no defeito N/A Menor Moderada Significante
Probab. de falha Improvável Possível Provável Iminente

Figura 7. Sexto setor do formulário de avaliação de risco de árvores da ISA (metodologia TRAQ), traduzido.

Já no sétimo e último setor (Figura 8), denominado “Categorização de risco”, além de discriminar os alvos de cada árvore avaliada, também foi necessário qualificar os três principais tópicos da metodologia TRAQ, ambos fundamentais para categorizar o risco. Foram eles: probabilidade de falha, probabilidade de impacto e consequência.

3.2.2 Obtenção do risco arbóreo

Para a obtenção do risco arbóreo através da TRAQ, foi necessário compreender os conceitos básicos da metodologia de avaliação de risco norte-americana, os quais resumem-se à probabilidade de falha, probabilidade de impacto e consequência.

A probabilidade de falha é uma vertente que expressa, em uma palavra, a chance do principal defeito biomecânico ou fitossanitário da árvore de fato ocorrer. Dessa forma, para obter essa probabilidade, é imprescindível estabelecer um período de tempo (“time frame”) para a falha. Isso, pois, é possível que um mesmo defeito corresponda a probabilidades de falha diferentes. A queda de um galho seco em uma semana, por exemplo, pode ser considerada improvável. No entanto, para o período de tempo de 10 anos, a chance de queda do mesmo galho certamente será maior. Para o presente estudo, foi considerado o período de tempo de um ano, como previamente abordado.

Dentre as opções de probabilidade de falha, foi possível escolher um dos itens a seguir: improvável, possível, provável ou iminente. Na obra de Dunster *et al.* (2013), estão contidas as explicações técnicas que fundamentam as opções descritas anteriormente (Quadro 2).

Quadro 2. Descrição técnica das opções de probabilidade de falha contidas na metodologia de Avaliação de Risco de Árvores TRAQ - ISA.

Probabilidade de falha	Descrição técnica (<i>Dunster et al.</i> 2013)
Improvável	A árvore ou parte dela não está sujeita à falha durante condições climáticas normais e não é esperado que venha a falhar em condições climáticas adversas, em um dado período de tempo
Possível	A falha pode ocorrer, mas não é esperado que ocorra em situações climáticas normais em um dado período de tempo
Provável	A falha pode ocorrer em condições climáticas normais em um dado período de tempo
Iminente	A falha já se iniciou ou pode ocorrer em um futuro próximo, mesmo que não haja ocorrência de ventos ou cargas adicionais

Para a probabilidade de impacto, são considerados os alvos que podem ser atingidos em detrimento da falha arbórea. Sendo assim, dependendo da localização da árvore, o alvo pode ser uma pessoa, um veículo ou um elemento urbano específico, como postes de energia e placas de sinalização, por exemplo. Para abranger cenários variados tendo em vista o que foi exposto anteriormente, o presente estudo considerou quatro alvos: poste de energia elétrica, ponto de ônibus, veículos e pedestres.

Após a escolha dos alvos para a obtenção da probabilidade de impacto, obrigatoriamente considerou-se a taxa de ocupação dos mesmos, assim como, eventuais fatores de proteção, ambos já explicados e presentes no segundo setor da ficha de avaliação da metodologia TRAQ. Tais elementos são fundamentais, pois influenciam diretamente o impacto da árvore no alvo determinado. O tempo que o alvo ocupa a zona de projeção da árvore e a existência de qualquer elemento que possa protegê-lo, podem implicar numa probabilidade de impacto maior ou menor. No Quadro 3, estão dispostas as possíveis taxas de ocupação da ficha TRAQ, explicadas por Dunster *et al.* (2013).

Quadro 3. Descrição técnica das taxas de ocupação que influenciam a probabilidade de impacto da metodologia de Avaliação de Risco de Árvores TRAQ - ISA.

Taxa de ocupação	Período ocupado pelo alvo
Constante	24 horas por dia, 7 dias por semana
Frequente	A zona do alvo está ocupada grande parte do dia ou semana
Ocasional	A zona do alvo está ocupada de forma irregular
Rara	Locais que comumente não são usados por pessoas

Todos os aspectos citados anteriormente foram levados em consideração a fim de delinear a probabilidade de impacto como: muito baixa, baixa, média ou alta. Para cada uma dessas categorias, Dunster *et al.* (2013) explicam em quais situações aplicá-las (Quadro 4).

Quadro 4. Descrição técnica das opções de probabilidade de impacto contidas na metodologia de Avaliação de Risco de Árvores TRAQ - ISA.

Probabilidade de impacto	Descrição técnica (Dunster <i>et al.</i> 2013)
Alto	A árvore ou parte dela irá acertar o alvo (mais que 50% de chance)
Médio	A árvore ou parte dela pode acertar o alvo (50% de chance)
Baixo	Não é provável que a árvore ou parte dela acerte o alvo (menos de 50% de chance)
Muito Baixo	É remota a chance do impacto da árvore ou parte dela em um alvo

Para obter a consequência, diferentemente do que foi dito até então, é necessário compreender o cenário onde que a probabilidade de falha e impacto, ambos previamente escolhidos na ficha, sejam verdadeiros. Isso significa que a consequência resume, numa palavra, o desfecho da ocorrência de um problema arbóreo e seu impacto no alvo pré-determinado. Sendo assim, a importância do alvo nesse cenário é crucial. A consequência da queda de uma árvore sobre um carro é muito menor quando comparada com a queda da mesma árvore em uma pessoa, por exemplo. Danos que ocorrem com determinados alvos são severos e nem sempre são reversíveis.

Dentre as opções possíveis para atribuir a consequência, foi possível escolher um dos itens a seguir: insignificante, menor, significativa ou severa. Para essas, Dunster *et al.* (2013) também explicam em quais cenários e circunstâncias devem ser utilizadas (Quadro 5).

Quadro 5. Descrição técnica das opções de consequência contidas na metodologia de Avaliação de Risco de Árvores TRAQ - ISA.

Consequência	Descrição técnica (Dunster et al. 2013)
Insignificante	Não há injúria pessoal, danos em propriedade de baixo valor ou interrupções que podem ser mitigadas ou reparadas com facilidade
Menor	Injúrias pessoais pequenas, danos em propriedade de valor baixo à médio ou interrupção de atividades menores (exemplo: trânsito)
Significante	Injúrias pessoais, danos a propriedade de valor moderado ou interrupção de atividades moderadas
Severa	Grave injúria pessoal ou morte. Danos em propriedade de alto valor ou interrupção de atividades importantes (como interrupção distribuição de energia para um hospital)

O risco arbóreo somente pode ser adquirido posteriormente a obtenção das probabilidades de falha, impacto e consequência na metodologia TRAQ. Para isso, na execução do presente estudo, foi necessário o cruzamento dessas informações através do uso de duas matrizes.

Na matriz I (Quadro 6), as opções para probabilidade de falha e impacto foram cruzadas com o objetivo de obter um dos seguintes tópicos: improvável, pouco provável, provável e muito provável. Posteriormente, a opção resultante na matriz I foi somada à consequência, já vista anteriormente, para então compor a matriz II. Nesta última, os resultados obtidos foram os riscos arbóreos, dentre as opções: baixo, médio, alto ou extremo (Quadro 7).

Quadro 6. Representação da Matriz I da metodologia TRAQ – ISA: Intersecção da probabilidade de falha e probabilidade de impacto.

Probabilidade de Falha	Probabilidade de Impacto			
	Muito Baixa	Baixa	Média	Alta
Iminente	Improvável	Pouco provável	Provável	Muito provável
Provável	Improvável	Improvável	Pouco provável	Provável
Possível	Improvável	Improvável	Improvável	Pouco provável
Improvável	Improvável	Improvável	Improvável	Improvável

Quadro 7. Representação da Matriz II da metodologia TRAQ – ISA: Obtenção do risco arbóreo pela intersecção entre resultado da Matriz I e consequência.

Probabilidade de Falha e Impacto	Consequência			
	Insignificante	Menor	Significante	Severa
Muito provável	Baixo	Médio	Alto	Extremo
Provável	Baixo	Médio	Alto	Alto
Pouco provável	Baixo	Baixo	Médio	Médio
Improvável	Baixo	Baixo	Baixo	Baixo

Para a execução do presente trabalho, foi atribuído o pior cenário para a probabilidade de falha, impacto e consequência, sem desconsiderar o time frame e os outros aspectos obrigatórios e requeridos pela metodologia TRAQ.

3.3 Seleção dos indivíduos arbóreos

A partir da metodologia TRAQ, é possível traçar nove caminhos diferentes para a obtenção do risco médio, os quais se dividem em quatro grupos principais (Quadro 8). Para a realização do presente estudo, foi selecionada uma opção de cada um dos quatro grupos mencionados anteriormente, visando realizar uma amostragem ampla em virtude da totalidade de cenários possíveis.

Quadro 8. Possibilidades para a obtenção do risco médio através da metodologia TRAQ – ISA.

Combinação	Probabilidade de Falha / Impacto / Consequência	Resultado Matriz I	Risco
A	Iminente / Alta / Menor	Muito Provável	Médio
B	Iminente / Média / Menor	Provável	
	Provável / Alta / Menor		
C	Iminente / Baixa / Significante	Pouco Provável	
	Provável / Média / Significante		
	Possível / Alta / Significante		
D	Iminente / Baixa / Severa	Pouco Provável	
	Provável / Média / Severa		
	Provável / Alta / Severa		

No Quadro 9, estão ilustradas as probabilidades de falha, impacto e consequências atribuídas a cada um dos quatro cenários escolhidos para o presente estudo.

Quadro 9. Características atribuídas às árvores do presente estudo, de acordo com os possíveis cenários de obtenção do risco médio pela metodologia TRAQ – ISA.

Cenários	Probabilidade de Falha	Probabilidade de Impacto	Consequência	Resultado Matriz I
I	Iminente	Baixa	Severa	Pouco Provável
II	Provável	Média	Significante	Pouco Provável
III	Provável	Alta	Menor	Provável
IV	Iminente	Alta	Menor	Muito Provável

Em virtude das situações escolhidas e descritas anteriormente, foi realizada uma busca de árvores de grande porte que se enquadrassem nesse contexto. Para isso, a metodologia TRAQ foi aplicada do fim ao início para que essa seleção fosse possível, ou seja, foram escolhidos indivíduos arbóreos com risco médio e com todas as características abordadas na tabela anterior.

Além das diferenças entre probabilidade de falha, impacto e consequência já relatadas, cada uma das quatro árvores selecionadas corresponde a uma espécie diferente e possui um único alvo (probabilidade de impacto) que diverge quando comparadas entre si. Os alvos escolhidos para cada situação foram: pessoas, carros, ponto de ônibus e rede elétrica, do cenário I ao IV, respectivamente.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Identificação e caracterização das espécies arbóreas

Conforme abordado previamente, foram selecionadas quatro árvores de espécies distintas para a execução do presente estudo (Quadro 10 e Figura 9).

Quadro 10. Espécies arbóreas selecionadas para o estudo e suas respectivas características taxonômicas.

Cenários	Família	Nome Popular	Nome Científico	Origem
I	Fabaceae	Aldrago	<i>Pterocarpus violaceus</i>	Nativa
II	Oleaceae	Alfeneiro	<i>Ligustro lucidum</i>	Exótica
III	Fabaceae	Sibipiruna	<i>Cenostigma pluviosum</i>	Nativa
IV	Fabaceae	Pau-ferro	<i>Libidibia ferrea</i>	Nativa



Figura 9. Imagens das árvores selecionadas para a execução do presente estudo, seus nomes populares e respectivos cenários, de I a IV.

Os exemplares arbóreos da espécie *Libidibia ferrea*, *Cenostigma pluviosum* e *Pterocarpus violaceus* são nativos e pertencem a família Fabaceae. A predominância da família Leguminosae, como também é conhecida, já era esperada, visto que se trata de uma das maiores famílias botânicas que existem. De acordo com Branks, Himamen e Lewis (2010), Fabaceae conta com cerca de 740 gêneros e 19.400 espécies. Ademais, Silva *et al.* (2018) que realizaram o inventário arbóreo de plantas arbustivas e arbóreas em praças do Piauí, discutem que grande parte das cidades brasileiras contém indivíduos arbóreos da família Fabaceae na composição de suas respectivas arborizações urbanas.

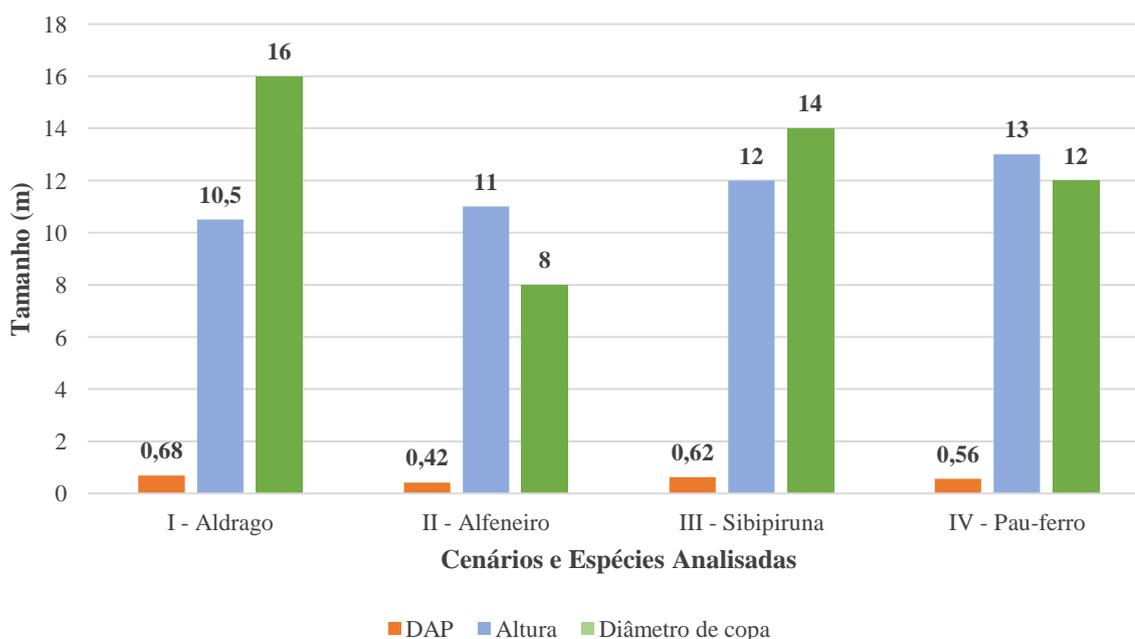
Dentre os indivíduos arbóreos selecionados, o único que se difere com relação a origem e família é o *Ligustro lucidum*, também conhecido popularmente como alfeneiro ou ligustro. De acordo com Lorenzi *et al.* (2003), o alfeneiro, apesar de ser uma árvore originária da Ásia, é a espécie mais cultivada na arborização viária das regiões sul e sudeste do Brasil. Segundo as conclusões do estudo de Stocki (2021), que retrata sobre dinâmica de um fragmento florestal urbano de acordo com os níveis do lençol freático e da população de *L. lucidum*, o alfeneiro é uma espécie considerada invasora. Isso ocorre devido ao seu alto potencial competitivo, baixas taxas de mortalidade e altas taxas de ingresso e incremento, sendo estas duas últimas indicativas de fácil adaptabilidade aos locais em que essa árvore é implementada (STOCKI, 2021). Sendo assim, a execução de metodologias que possam reduzir o seu crescimento e desenvolvimento, são fundamentais para restringir o avanço dessa planta invasora (STOCKI, 2021).

4.2 Avaliação de risco das árvores - Formulário básico de avaliação de risco (ISA)

4.2.1 Setor I - Cabeçalho

Dentre as análises realizadas, o exemplar arbóreo da espécie *Pterocarpus violaceus* foi o que obteve maior diâmetro na altura do peito (DAP), enquanto o indivíduo arbóreo da espécie *Libidibia ferrea* foi que apresentou maior altura (Gráfico 1). Para o diâmetro de copa os resultados obtidos foram muito próximos considerando todos os exemplares analisados. Destacam-se as árvores dos cenários I e II, que alcançaram o maior e menor diâmetro de copa, respectivamente.

Gráfico 1. Espécies arbóreas selecionadas para o estudo e seus respectivos dados dendrométricos (DAP, altura e diâmetro de copa).



Para as quatro árvores analisadas, observou-se que os indivíduos que obtiveram maior diâmetro na altura do peito, não necessariamente foram aqueles com os maiores valores de altura. De acordo com o estudo realizado por Martins *et al.* (2016), no qual foram examinadas

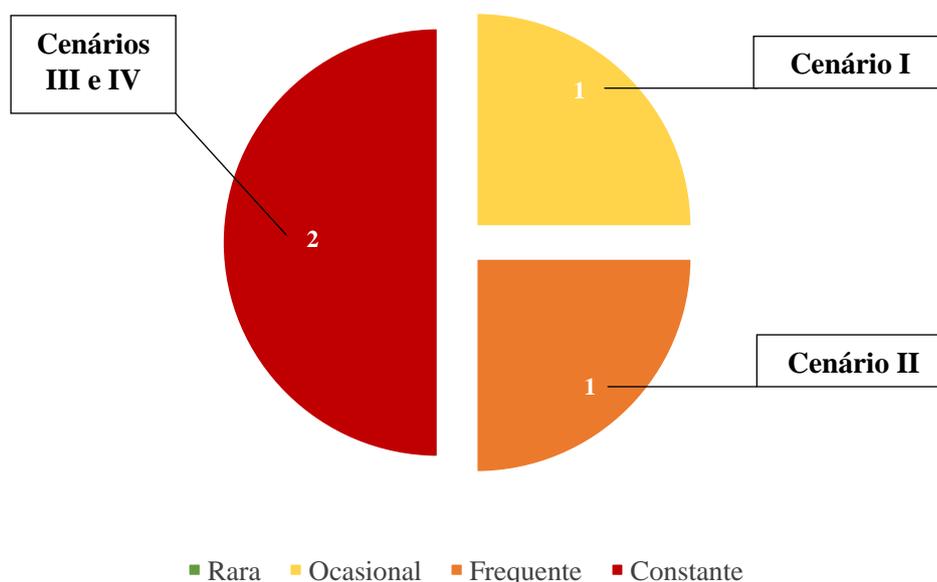
redes neurais artificiais como meio para estimar a altura total de eucaliptos, discutiu-se que a relação entre DAP e altura (relação hipsométrica) não é considerada uma relação forte, já que há uma grande variabilidade de alturas para uma mesma classe de diâmetro às árvores. Isso significa que indivíduos arbóreos com mesmo valor de DAP não necessariamente terão a mesma altura.

Considerando ainda os resultados dendrométricos obtidos no presente estudo, observou-se que as árvores avaliadas possuem no mínimo 10 metros de altura e 40 centímetros de diâmetro na altura do peito (DAP). Para Monteiro *et al.* (2016), que realizaram o diagnóstico da arborização existente em um centro universitário na Paraíba, populações de árvores que contenham altura superior a cinco metros e DAP's que superem 10 centímetros, são considerados indivíduos arbóreos adultos e de grande porte, aqueles que efetivamente contribuem com os benefícios aos quais a arborização urbana é responsável.

4.2.2 Setor II - Avaliação do alvo

Com relação aos alvos de cada uma das árvores avaliadas no presente estudo, para ambos os casos, não se identificou quaisquer fatores de proteção. Além desse aspecto, a zona do alvo também foi a mesma para todas as árvores analisadas, que corresponde à opção: “alvo dentro da área de projeção de copa”. No entanto, apesar destas semelhanças, para a taxa de ocupação no local, o resultado foi divergente entre as árvores (Gráfico 2), principalmente devido à atribuição de diferentes alvos à cada caso. Dessa forma, a taxa de ocupação obtida para o cenário I foi ocasional, para o cenário II foi frequente, enquanto que para os cenários III e IV a mesma foi considerada constante.

Gráfico 2. Taxa de ocupação dos alvos atribuídos aos quatro cenários do estudo.



Para o cenário I, foi atribuída a taxa de ocupação ocasional. Isso pois, o alvo considerado nesse caso, foi qualquer pessoa do local (praça pública). Ressalta-se que a taxa de ocupação obtida foi ocasional, já que alvo poderia ocupar outras regiões da praça e não somente a área de projeção da árvore avaliada. Para o cenário II, foi conferida a taxa de ocupação frequente por se tratar de estacionamento, onde os carros (alvo escolhido) têm

permanência no local em grande parte do dia ou semana. Já nos cenários III e IV, os quais possuem como alvos: ponto de ônibus e rede elétrica, respectivamente, foi atribuída a taxa de ocupação constante, pois tratam-se de alvos que permanecem na zona de projeção da árvore a todo o momento.

Com relação a possibilidade de mover o alvo de lugar e restringir o seu acesso à área de projeção da árvore, somente foi possível a considerar tais circunstâncias nos cenários I e II, já que se tratam de alvos móveis (pessoas e carros, respectivamente). No entanto, para os cenários III e IV, por se tratarem de situações onde os alvos são estáticos e, portanto, não móveis, a possibilidade de deslocá-los no local ou mesmo de restringir o acesso de ambos à área de projeção da árvore, não foram consideradas possíveis.

4.2.3 Setores III - Fatores do local

Para o setor III do formulário básico de avaliação de risco, onde foram observados os fatores do local, os resultados obtidos demonstraram semelhanças entre as quatro árvores analisadas. Para ambas, não foram identificados históricos de falhas, a topografia atribuída para todas foi plana e o clima predominante em todos os casos foi considerado normal.

Sobre as alterações no local e condições do solo (Quadro 11), os resultados demonstraram pequenas divergências. Apenas no entorno da árvore pertencente ao cenário II foram observadas alterações. Nesse caso, identificou-se cortes de raiz com, aproximadamente, 30 cm de distância do colo ou neiloide da árvore. Para as árvores dos cenários I, III e IV não foi identificada nenhuma alteração. Com relação às condições do solo, para as árvores dos cenários I e IV, foi identificada compactação, enquanto que para os exemplares arbóreos pertencentes aos cenários II e III, foi observada pavimentação sob as raízes.

Quadro 11. Alterações e condições do solo obtidas para as árvores avaliadas.

Cenários	Espécie (nome popular e científico)	Alterações	Condições do solo
I	Aldrigo - <i>Pterocarpus violaceus</i>	Sem alterações	Compactação
II	Alfeneiro – <i>Ligustro lucidum</i>	Corte de raiz	Pavimentação sob raízes
III	Sibipiruna - <i>Cenostigma pluviosum</i>	Sem alterações	Pavimentação sob raízes
IV	Pau-ferro - <i>Libidibia ferrea</i>	Sem alterações	Compactação

Segundo a normativa ABNT NBR 16.246-1 (2017), a poda ou corte de raízes é um procedimento não recomendado. Caso este seja imprescindível, a normativa instrui que o mesmo deverá ser feito, apenas, a uma distância e intensidade que não prejudiquem a estabilidade ou mesmo a vitalidade da árvore. Deve-se considerar ainda que, além da função de sustentação, as raízes são imprescindíveis para absorção de água e nutrientes. Portanto, caso sejam cortadas, além da árvore perder estabilidade, o fluxo de seiva é interrompido.

De acordo com o estudo de Novaes, Brun e Brun (2021), que demonstrou os efeitos da compactação de solos argilosos em áreas arborizadas, de fato a compactação do solo reflete negativamente sobre o processo de crescimento e desenvolvimento do sistema radicular arbóreo. Segundo os autores, em casos extremos, árvores inseridas em locais com altos níveis de compactação do solo tendem a direcionar o crescimento de suas raízes para a superfície,

provocando o processo de afloramento. Dentro do ambiente urbano, essa resposta do crescimento radicular pode causar sérios transtornos, pois o afloramento das raízes resulta no desnivelamento de ruas e calçadas, prejudicando, assim, a passagem de pedestres, principalmente aqueles com dificuldades para mobilidade (NOVAES, BRUN E BRUN, 2021).

4.2.4 Setor IV - Perfil de saúde e espécie da árvore e Setor V - Fatores de carga

Para o setor IV do formulário de avaliação, que demonstrou o perfil de saúde e espécie da árvore, os resultados obtidos para todos os exemplares arbóreos avaliados foram similares. Com relação ao vigor, todas as árvores apresentaram vigor baixo. Além disso, também houve semelhança sobre as pragas, agentes bióticos e fatores abióticos. Foram identificados sinais indicativos da presença de cupins e formigas em todos os exemplares. Aos fatores abióticos, a presença de junções ou forquilhas frágeis, cavidades e lesões variadas, também foram observadas de maneira homogênea entre as árvores avaliadas. Ressalta-se que a possível ocorrência e acúmulo dos defeitos biomecânicos e fitossanitários mencionados anteriormente pode estar associado à uma gestão pontual e sob demanda dos órgãos públicos responsáveis. Árvores que recebem manejos e cuidados periódicos, dificilmente encontram-se em condições similares às que foram identificadas nas árvores do presente estudo.

Sobre os fatores de carga, resultantes do setor V do formulário, todas as árvores avaliadas foram categorizadas com exposição parcial ao vento, exceto no exemplar arbóreo do cenário II, que foi atribuída a condição “protegido dos ventos”. O tamanho relativo da copa variou de médio a amplo e a densidade de copa atribuída a todos os casos foi normal. Ressalta-se os exemplares arbóreos dos cenários II e IV, pois as árvores continham as parasitas erva-de-passarinho e figueira-mata-pau, respectivamente.

Com relação à exposição ao vento, é importante considerar que esse fator abiótico possui efeitos variados sobre as espécies lenhosas (ATAÍDE *et al.*, 2015). De acordo com o estudo de Ataíde *et al.* (2015), que tratou sob a interação entre árvores e ventos fortes, a depender de como a força exercida pelos ventos incide nas árvores, gera-se uma combinação de torques por torção e flexão na base que podem causar a queda da árvore por inteiro. Isso ocorre, principalmente, se a resistência do sistema de enraizamento não conseguir suportar a força aplicada sobre ele (ATAÍDE, G. M *et al.*, 2015).

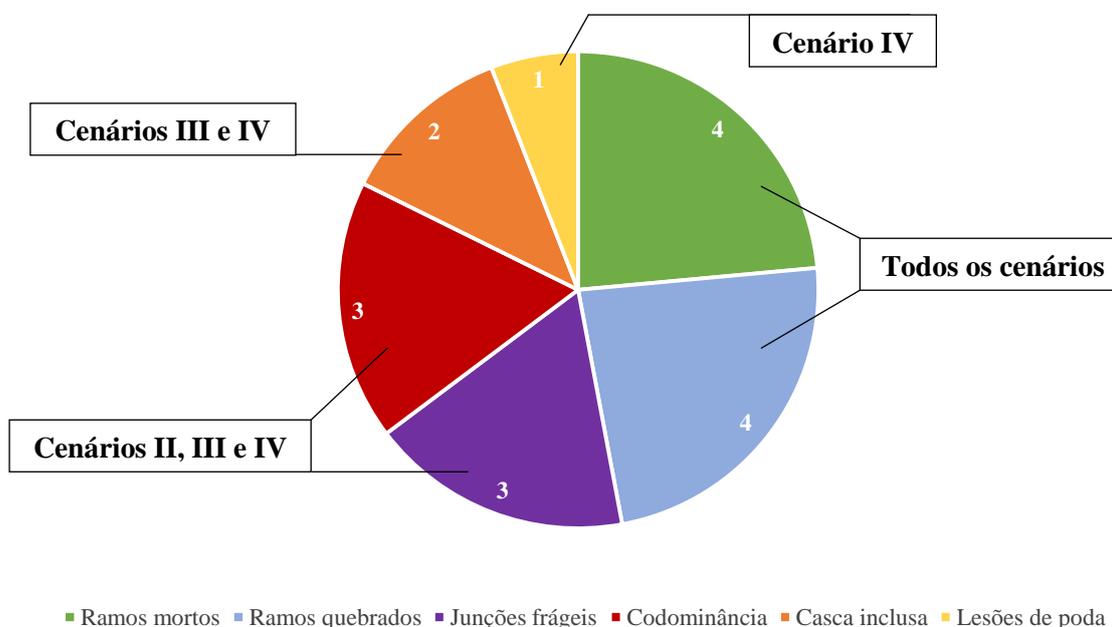
Segundo estudo feito por Leal, Bujokas e Biondi (2006), que analisou a infestação por ervas-de-passarinho na arborização viária de Curitiba, essas parasitas são plantas que atacam árvores ou arbustos, através da emissão de suas raízes especiais denominadas haustórios. De acordo com os autores, a erva-de-passarinho não se utiliza de seus hospedeiros apenas para se fixar, já que promovem também a retirada de água e sais minerais das plantas parasitadas. Da mesma forma que a erva-de-passarinho realiza esse processo, a figueira-mata-pau age de forma similar. Ambas as plantas citadas, além de representarem uma carga excessiva às árvores, afetam diretamente no funcionamento dos processos fisiológicos naturais das mesmas.

4.2.5 Setor VI - Defeitos que afetam a probabilidade de falha

Sobre os defeitos de copa e galhos, foram observados resultados majoritariamente semelhantes para todas as árvores avaliadas (Gráfico 3). Em ambos os cenários, foi evidenciada a presença de ramos mortos e ramos quebrados. A ocorrência de junções frágeis e codominância entre os ramos foi identificada nos cenários II, III e IV. Casca inclusa foi

observada nas árvores pertencentes aos cenários III e IV, enquanto a ocorrência de lesões em decorrência da atividade de podas somente foi identificada no cenário IV.

Gráfico 3. Defeitos e condições de copa e galhos das árvores avaliadas.



A elevada ocorrência de ramos mortos pode ser explicada, principalmente, pela própria fisiologia natural das árvores. A medida que os indivíduos arbóreos crescem e se desenvolvem, é natural que ocorra a troca de ramos mais velhos por brotações novas, justamente para que não haja gasto energético excessivo com galhos mais maduros.

Com relação aos galhos quebrados, que também foram observados nas quatro árvores avaliadas, sua abundante ocorrência pode estar associada ao local em que os exemplares em questão estão localizados. É fato de que árvores são seres vivos e estão em constante troca com o meio ambiente. Dessa forma, em regiões urbanizadas, onde há constante ação do ser humano em diversas esferas ambientais, não é diferente. Esse tipo de ambiente também provocará mudanças nas árvores, as quais podem ser positivas ou negativas. O simples fato de galhos baixos serem atingidos por veículos e, conseqüentemente se desprenderem da árvore, por exemplo, já é suficiente para modificar sua estrutura.

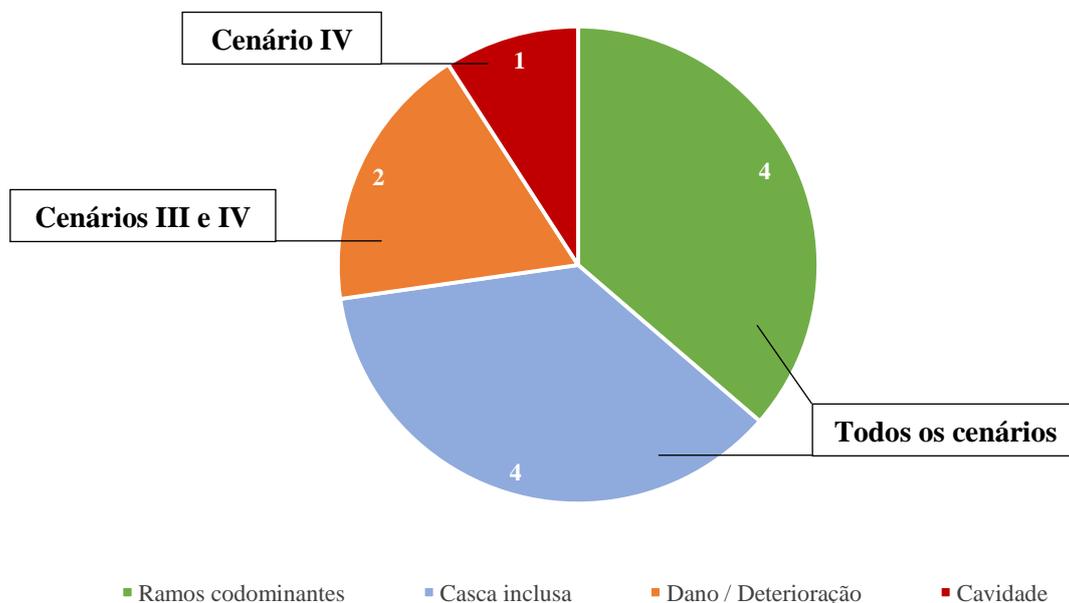
Nos casos onde haja necessidade da retirada de galhos, sejam eles vivos ou inativos fisiologicamente, são recomendadas atividades de podas. De acordo com o estudo de Santos (2021), que discorre sobre o impacto das podas em árvores urbanas, para que os indivíduos arbóreos das cidades possam oferecer funções de cobertura, enriquecimento da estética dos ambientes urbanos e conseqüentemente possam auxiliar na valorização das vias, o manejo de podas sem dúvidas é um assunto central. Portanto, assim como abordado pela normativa ABNT NBR 16.246-1 (2017), dependendo da necessidade de cada árvore, é necessário escolher o tipo de poda que melhor possa revolver o seu problema, juntamente com o uso das ferramentas e técnicas adequadas.

Ainda sobre os defeitos encontrados na copa e galhos das árvores avaliadas, no item histórico de podas, presente no formulário de avaliação, foi possível indicar quaisquer outros danos presentes nessas regiões das árvores que fossem relevantes para catalogar o risco. Dessa forma, para o exemplar arbóreo do cenário III, foram observados ramos epicórmicos.

Gilman (2012) descreve que ramos dessa natureza são considerados como uma resposta das árvores a podas drásticas e inadequadas. Segundo o autor, quando são realizadas podas incorretas, é comum que o material fotossintético da copa induza a quebra de dormência de gemas laterais que estavam inativas, promovendo o crescimento de ramos superficiais. Isso ocorre, pois, a árvore tende a compensar a área que foi perdida durante a poda. Dessa forma, por terem uma ligação fraca com o tecido da planta, os ramos epicórmicos representam riscos, pois se desprendem com maior facilidade.

Na sequência do formulário de avaliação, para os defeitos encontrados no tronco, em todas as árvores avaliadas foi identificada a presença de ramos codominantes e casca inclusa. Para os exemplares arbóreos dos cenários III e IV foi evidenciado, ainda, deterioração da madeira. Por fim, para a árvore do cenário IV, foi observada cavidade com 15 centímetros de abertura e aproximadamente 10 centímetros de profundidade (Gráfico 4).

Gráfico 4. Defeitos e condições de tronco das árvores avaliadas.



Segundo Oliveira *et al.* (2017), que abordaram os riscos das atividades de podas em árvores próximas de regiões energizadas, a presença de ramos cruzados e codominantes com bifurcação em V, que geralmente apresentam impregnação de casca inclusa, caracterizam maior fragilidade, pois formam pontos de ruptura. Dessa forma, quando nenhum manejo é realizado para reforçar essa região da árvore, é comum que ocorram rachaduras exatamente nos pontos de junções entre esses ramos. O estudo de Oliveira *et al.* (2017) indica, ainda, a poda de correção como uma alternativa mitigatória para essa situação. No entanto, conforme cita o trabalho de Nunes (2010), quando são identificadas rachaduras ou mesmo fendas que afetem diretamente na estrutura da árvore, a utilização de cabos de ligação e abraçadeiras são alternativas extremamente eficientes para o suporte físico do exemplar arbóreo afetado.

De acordo com o estudo feito por Dantas (2021), que avaliou o volume de ocos em árvores de floresta ombrófila na Amazônia, o processo de deterioração da madeira de árvores está relacionado a atividades de insetos como cupins, besouros, abelhas e outros. Isso se dá devido ao fato desses organismos realizarem processos de escavação do lenho, os quais podem formar cavidades e ocos (DANTAS, 2021). Considerando que as árvores selecionadas

para o presente estudo estão localizadas em regiões urbanas, é possível atribuir o surgimento e evolução das cavidades ou ocos por outros processos que também ocorrem nesse tipo de local. A dinâmica entre ser humano e árvores nas cidades é intensa e diversificada. Portanto, não deve ser desconsiderada. Contudo, independentemente de qual for a causa associada à evolução dos ocos, cavidades e até mesmo dos processos de deterioração da madeira causados por organismos bióticos, destaca-se a relevância sobre o acompanhamento das árvores com essas condições, já que o lenho ocado ou biodeteriorado interfere negativamente em sua sustentação.

Por fim, sobre o último atributo do setor VI do formulário de avaliação, foram observados resultados diversificados aos defeitos das raízes e colo das árvores analisadas, os quais estão dispostos no Quadro 12.

Quadro 12. Defeitos e condições de raízes e colo das árvores avaliadas.

Cenários	Espécie (nome popular e científico)	Defeitos e condições de raízes e colo
I	Aldrago - <i>Pterocarpus violaceus</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Condições de fragilidade do solo.
II	Alfeneiro - <i>Ligustro lucidum</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Raízes cortadas/danificadas; • Levantamento de raízes.
III	Sibipiruna - <i>Cenostigma pluviosum</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Colo soterrado/não visível; • Deterioração; • Levantamento de raízes.
IV	Pau-ferro - <i>Libidibia ferrea</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Deterioração; • Cavidade.

Segundo o estudo Souza, Bittencourt e Martini (2020), que realizaram o diagnóstico sobre a queda de indivíduos arbóreos em Belo Horizonte, a ruptura de árvores e consequente queda ocorre principalmente na região das raízes. Segundo os autores, os possíveis fatores relacionados a esse resultado são a falta de espaço para o crescimento e desenvolvimento das árvores nos ambientes urbanizados, além da própria dificuldade de penetração das raízes no solo. Essas circunstâncias não oferecem condições de ancoragem adequadas e suficientes para que as árvores possam continuar estáveis à longo prazo. Considerando os resultados obtidos no estudo dos referidos autores, ressalta-se que mesmo que não sejam identificados defeitos visualmente aparentes na região do colo e raízes das árvores, não significa que a queda não possa acontecer.

Ainda de acordo com Souza, Bittencourt e Martini (2020), as fragilidades citadas como principais para queda das árvores do estudo, sem dúvida, são potencializadas quando associadas a condições meteorológicas intensas, como chuvas e ventos fortes. Por essa razão, trata-se de uma região muito delicada que precisa de um monitoramento e avaliações periódicas a fim de que sejam direcionadas alternativas de mitigação eficientes. Nesse âmbito, como complemento à avaliação visual de nível II, segundo a ABNT NBR 16.246-3 (2019), é possível realizar a avaliação técnica (nível III de avaliação), por meio de tomografias e penetrografias, por exemplo.

4.2.6 Setor VII - Categorização do risco

Para a caracterização do risco, foi atribuído o pior cenário considerando os defeitos de cada uma das árvores avaliadas (Quadro 13). De acordo com os resultados obtidos, para a árvore do cenário I, a característica de maior preocupação foi a presença de galhos secos na copa. Para os cenários II e III, a presença de galhos secos na copa, a codominância de ramos com junções frágeis e casca inclusa no tronco foram consideradas as mais relevantes para o risco. Por fim, para o exemplar do cenário IV, a ocorrência de galhos secos somadas à presença de cavidade no tronco, foram as características de maior preocupação.

Quadro 13. Características escolhidas para a avaliação de risco das árvores analisadas.

Cenários	Espécie (nome popular e científico)	Alvo	Parte da árvore	Condições de preocupação
I	Aldrago - <i>Pterocarpus violaceus</i>	Pessoas	Copa	Galhos secos
II	Alfeneiro - <i>Ligustro lucidum</i>	Carros	Copa e tronco	Galhos secos, codominância de ramos com junções frágeis e casca inclusa
III	Sibipiruna - <i>Cenostigma pluviosum</i>	Ponto de ônibus	Copa e tronco	Galhos secos, codominância de ramos com junções frágeis e casca inclusa
IV	Pau-ferro - <i>Libidibia ferrea</i>	Rede elétrica	Copa e tronco	Galhos secos e cavidade

Assim como foram atribuídas características para a avaliação de risco das árvores, de modo que fosse determinado o pior cenário possível, também foram direcionadas as recomendações de manejo necessárias para a redução do risco destas. Conforme ilustra a Quadro 14, para as árvores do cenário I e IV foram recomendadas podas de limpeza, enquanto que para os indivíduos arbóreos dos cenários II e III foram indicadas podas de limpeza e inserção de sistema de segurança (pinos de aço e cabeamento). Nota-se que, apesar das recomendações propostas, nem todos os exemplares tiveram redução no risco residual.

Quadro 14. Recomendações de manejo e risco residual das árvores analisadas.

Cenários	Espécie (nome popular e científico)	Recomendação de manejo	Probabilidade de falha, impacto e consequência	Risco residual
I	Aldrago - <i>Pterocarpus violaceus</i>	Poda de limpeza	Possível, baixa, severa	Baixo
II	Alfeneiro - <i>Ligustro lucidum</i>	Poda de limpeza	Possível, média, significativa	Baixo
III	Sibipiruna - <i>Cenostigma pluviosum</i>	Poda de limpeza e sistema de segurança	Possível, alta, menor	Baixo
IV	Pau-ferro - <i>Libidibia ferrea</i>	Poda de limpeza	Provável, alta, menor	Médio

Considerando a execução das recomendações de manejo propostas, foi possível observar que os riscos das árvores atribuídas aos cenários I, II e III diminuí, pois de médio migrou para baixo. No entanto, o mesmo não aconteceu para o cenário IV, pois o exemplar arbóreo se manteve com risco médio. Conforme destacam os autores Dunster *et al.* (2013), geralmente as recomendações de manejo modificam a probabilidade de falha das árvores, ou seja, a probabilidade que está relacionada com os defeitos biomecânicos e/ou fitossanitários. No entanto, quando se utiliza da metodologia TRAQ para obtenção do risco, também se leva em consideração o local (probabilidade de impacto), assim como, a consequência final e não somente as condições da árvore, isoladamente. Em outras palavras, isso significa que modificando apenas a probabilidade de falha, em determinados casos, não é suficiente para reduzir o risco final da árvore.

É claro que, para alguns casos, a depender do alvo que é atribuído no momento da avaliação, é possível modificar a probabilidade de impacto. Se o alvo é móvel e o seu acesso ao local onde a árvore está pode ser restringido (isolamento da área), realmente o impacto mudará, já que nessas circunstâncias a taxa de ocupação será alterada também. Contudo, sabe-se que isso não é possível para todas as situações, pois há alvos que se mantêm permanentes na área de projeção da árvore a todo momento. No caso da árvore atribuída ao cenário IV do presente estudo, que teve a rede elétrica como alvo escolhido, o isolamento não se aplica. Trata-se de um alvo estático e que não pode ser removido do local.

Considerando o que foi dito anteriormente, observa-se que analisar o risco residual das árvores antes de executar, de fato, o manejo recomendado, é sem dúvidas uma estratégia extremamente rápida e clara para a gestão de riscos das árvores urbanas. Isso ocorre pois, quando extrapolamos esse resultado para situações onde há populações de árvores com risco médio para serem manejadas, é possível analisar dentre essas, quais são aquelas que realmente terão uma redução eficiente do risco, pós manejo. Como consequência, seguindo essa linha de pensamento, economiza-se muito tempo de trabalho e investimento financeiro, pilares extremamente importantes para qualquer gestor de áreas urbanas arborizadas.

5 CONCLUSÕES

Com base nos dados apresentados no presente trabalho, pode-se concluir que a situação das árvores avaliadas, seja pelas condições biomecânicas ou fitossanitárias observadas, ilustra a triste realidade da tratativa que as cidades brasileiras, de modo geral, têm com as árvores. A arborização urbana realmente não é uma prioridade, no entanto, a mesma não deixa de cumprir o seu papel no meio urbano. Portanto, para que haja um equilíbrio entre árvores e ser humano, se faz necessária a aplicação de avaliações e manejos periódicos, além de um monitoramento constante de ambos. Árvores no ambiente urbano configuram situações de risco que não devem ser deixadas de lado.

Ao utilizar a metodologia TRAQ da “International Society of Arboriculture” para alcançar o objetivo exposto anteriormente, é preciso ponderar o risco residual na etapa de planejamento das ações mitigadoras, pós avaliação de riscos. Os resultados do presente trabalho confirmaram que, para realizar a gestão inteligente dos riscos médios, a análise do risco residual é extremamente eficiente. Através dela, é possível garantir que sejam manejadas, num primeiro momento, apenas as árvores de risco médio que realmente terão seu risco final reduzido.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16.246:** Florestas urbanas - Manejo de árvores, arbustos e outras plantas lenhosas - Parte 3: Avaliação de risco de árvores. Estabelece os requisitos para avaliação de risco de árvores, incluindo a integridade estrutural e outros fatores que afetem o nível de risco para pessoas, propriedades ou serviços públicos, com o intuito de prover informações para o manejo adequado. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16.246:** Florestas urbanas - Manejo de árvores, arbustos e outras plantas lenhosas - Parte 1: Podas. Estabelece os procedimentos para a poda de árvores, arbustos e outras plantas lenhosas em áreas urbanas, em conformidade com a legislação aplicável. Rio de Janeiro, 2017.

ATAÍDE, G. M. *et al.* Interação árvores e ventos: aspectos ecofisiológicos e silviculturas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 2, p. 523-236, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/pSXg9Ng5LGVTWsZm9bM5rxr/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 21 fev. 2023.

BANKS, H.; HIMANEN, I.; LEWIS, G.P. Evolution of pollen, stigmas and ovule numbers at the caesalpinoid-mimosoid interface - Fabaceae. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 162, p. 594-615, 2010.

BLAIN, G. C.; KAYANO, M. T. 118 anos de dados mensais do Índice Padronizado de Precipitação: Série meteorológica de Campinas, estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 137-148, 2011. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862011000100012&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 24 ago. 2022.

CAMPINAS (Município). Prefeitura Municipal de Campinas. Janelas da Cidade. *In:* CAMPINAS (Município). Prefeitura Municipal de Campinas. **Conheça Campinas**. Campinas: Prefeitura Municipal, 2022. Disponível em: <https://www.campinas.sp.gov.br/sobre-campinas/campinas.php>. Acesso em 25 ago. 2022.

CAMPOS, M.; AMORIM, R. R. Classificação geoambiental e geossistêmica da região metropolitana de Campinas (SP). Espaço em Revistas, Goiás, v. 24, n. 1, p. 507-531, 2022. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/espaco/article/view/70093/38051>. Acesso em: 24 ago. 2022.

COELHO, C. C. *et al.* Percepção ambiental sobre florestas urbanas como estratégia turística de desenvolvimento econômico/sustentável. **Revista de Geografia**, Recife, v. 38, n. 2, jan. 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/viewFile/249478/38811>. Acesso em: 25 mar. 2022.

CPFL, Energia. CPFL Paulista ressalta a importância da instalação do atual padrão de entrada para a segurança dos clientes. Disponível em: <https://www.cpfl.com.br/releases/Paginas/cpfl-paulista-ressalta-a-importancia-da-instalacao-do-atual-padrao-de-entrada-para-a-seguranca-dos-clientes.aspx>. Acesso em: 12 abr. 2022.

DANTAS, Antônia Geiciane Silva de Oliveira. **Estimativa do volume de oco em árvores de uma floresta ombrófila densa na Amazônia oriental brasileira**. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2021. Disponível em: <http://www.repositorio.ufra.edu.br:8080/jspui/handle/123456789/1286>. Acesso em: 24 fev. 2023.

DUARTE, Priscila Gabriela da Silva. **Comparação de métodos de análises de risco de queda de árvores urbanas: Eficiência técnica, ergonômica e econômica**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2019. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/10916>. Acesso em: 23 abr. 2022.

DUNSTER, J. A., S. *et al.* Tree Risk Assessment Manual. Illinois: International Society of Arboriculture, 2013.

GILMAN, E. F. An illustrated guide to pruning. Nova Iorque: Delmar, 2012, 476 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 31.000: Risk Management - Guidelines**. [s. l.], 2018. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:31000:ed-2:v1:en>. Acesso em: 23 abr. 2022.

JERÔNIMO, F. F., *et al.* Spatial analysis of the conflicts of urban treatment of the City of Rio Tinto - PB. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 10, n. 5, 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/14571>. Acesso em: 25 mar. 2022.

LEAL, L; BUJOKAS, W. M.; BIONDI, D. Análise da infestação de erva-de-passarinho na arborização de ruas de Curitiba, PR. **Revista Floresta**, Rio Negro, v. 36, n. 3, p. 323-330, 2006. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/7512/5373>. Acesso em: 21, fev. 2023.

LORENZI, H. *et al.* Árvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2003. 368p.

MARK, D.; MIKE, P. Tree Risk Management in an Urban Forestry Context. Trabalho apresentado na Parma Annual Conference, 2017, [Monterey, CA].

MARTINS, E. R. *et al.* Configuração de redes neurais artificiais para estimação da altura total de árvores de eucalipto. **Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 11, n. 2, p. 117-123, 2016. Disponível em: <http://www.agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/view/v11i2a5373>. Acesso em: 20 fev. 2023.

MONTEIRO, E. J. C. *et al.* Diagnóstico quali-quantitativo da composição arbórea urbana do Centro Universitário de João Pessoa – Unipê. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 7, 2016, Campina Grande. **Anais [...]**. Paraíba: IBEAS, 2016.

NOVAES, D. S. BRUN, E. J. BRUN, F. G. K. Compactação do solo em uma área livre com árvores urbanas em solos argilosos. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 1-7, 2021. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1132616/1/Compactac807a771o-do-solo-2021.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2023.

NUNES, L. Árvores de risco. *In*: Azevedo, J.C.; Gonçalves, A. **Manual de boas práticas em espaços verdes**. Bragança Paulista: Câmara Municipal, 2012. p. 139-142.

OLIVEIRA, K. A. *et al.* Análise de riscos na atividade de poda de árvores na área urbana próximo a redes energizadas. *In*: XXXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2017, Joinville. **Anais [...]**. Joinville: UTFPR, 2017.

SANTOS, Guilherme Landim. **Impacto da poda de árvores urbanas e sua relação com as redes de fiação elétrica aérea**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2021. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/29332/3/podaarvoresurbanasfiacaoeletrica.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2023.

SILVA, H. R., *et al.* Trees planting with High School students as an incentive to sustainability and social responsibility for the environment. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 11, n. 03, fev. 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/22969>. Acesso em: 24 mar. 2022.

SILVA, L. S. *et al.* Inventário das plantas arbustivo-arbóreas utilizadas na arborização urbana em praças públicas. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, Pernambuco, v. 3, n. 2, p. 241-249, 2018. Disponível em: <http://ead.codai.ufrpe.br/index.php/JEAP/article/view/1834/482482534>. Acesso em: 20 fev. 2023.

SOUZA, M. M.; BITTENCOURT A. R.; MARTINI, A. Diagnóstico sobre a queda de árvores urbanas em Belo Horizonte-MG. **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v. 7, n. 1, p. 867-875, 2020. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/afor/article/view/8134>. Acesso em: 25 fev. 2023.

STOCKI, Aline Cristina. **Efeito do nível freático e da população de *Ligustrum lucidum* W.T.Aiton na dinâmica em fragmento urbano de Floresta Ombrófila Mista Aluvial**. 2021. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Aline-Stocki/publication/355872091_Efeito_do_nivel_freatico_e_da_populacao_de_Ligustrum_lucidum_WTAiton_na_dinamica_em_fragmento_urbano_de_Floresta_Ombrofila_Mista_Aluvial/links/6181f7bc0be8ec17a963917e/Efeito-do-nivel-freatico-e-da-populacao-de-Ligustrum-lucidum-WTAiton-na-dinamica-em-fragmento-urbano-de-Floresta-Ombrofila-Mista-Aluvial.pdf#page=70. Acesso em: 19 fev. 2023.

7 ANEXOS

Anexo A - Formulário básico de avaliação de risco de árvore, traduzido.

ISA Formulário Básico de Avaliação de Risco de Árvore

Cliente _____ Data _____ Horário _____
 Endereço / Localização da árvore _____ Número da árvore _____ Folha _____ de _____
 Espécie _____ DAP _____ Altura _____ Diâmetro da copa _____
 Avaliador _____ Ferramentas usadas _____ Período de tempo _____

Avaliação do Alvo

Número do Alvo	Descrição do Alvo	Fatores de Proteção do Alvo	Zona do Alvo			Taxa de Ocupação 1- raro 2- ocasional 3- frequente 4- constante	É possível mover o alvo?	É possível realizar o acesso a área?
			Alvo dentro da área de projeção de copa	Alvo na área de 1x a altura da árvore	Alvo na área de 1,5x a altura da árvore			
1								
2								
3								
4								

Fatores do Local

Histórico de falhas _____ **Topografia** Plano Declive _____ % **Aspecto** _____
Alterações Nenhuma Mudança de nível do solo Limpeza Hidrologia do solo alterada Corte de raiz Descrição _____
Condições do solo Volume Limitado Saturado Raso Compactado Pavimentação sob raízes _____ % Descrição _____
Direção do vento _____ **Clima predominante** Ventos Fortes Gelo Neve Chuvas Fortes Descrição _____

Perfil de Saúde e Espécie da Árvore

Vigor Baixo Normal Alto **Folhagem** Nenhum (sazonal) Nenhum (morto) Normal _____ % **Clorose** _____ % **Necrose** _____ %
Pragas / Bióticos _____ **Abióticos** _____
Perfil de falha da espécie Galhos Tronco Raízes Descrição _____

Fatores de Carga

Exposição ao vento Protegido Parcial Cheio Afunilamento do vento _____ **Tamanho relativo da copa** Pequeno Médio Amplo
Densidade da copa Rala Normal Densa **Ramos interiores** Poucos Normal Muitos **Vegetação interferente/Epífitas**
Mudança recente ou esperada nos fatores de carga _____

Defeitos e Condições da Árvore que Afetam a Probabilidade de Falha

— Copa e Galhos —

Copa desequilibrada <input type="checkbox"/> LCR _____ % Galhos / Ramos mortos <input type="checkbox"/> _____ % no geral Diâmetro Máximo _____ Galhos / Ramos quebrados Quantidade _____ Diâmetro Máximo _____ Galhos / Ramos estendidos <input type="checkbox"/> Histórico de poda Copa limpa <input type="checkbox"/> Copa raleada/afilada <input type="checkbox"/> Copa elevada/levantada <input type="checkbox"/> Copa reduzida <input type="checkbox"/> Copa destopada <input type="checkbox"/> Copa rabo de leão <input type="checkbox"/> Lesões de poda <input type="checkbox"/> Outra _____ _____ Condição(ões) de preocupação _____ Parte da falha _____ Distância de queda _____ Carga no defeito N/A <input type="checkbox"/> Menor <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Significante <input type="checkbox"/> Probab. de falha Improvável <input type="checkbox"/> Possível <input type="checkbox"/> Provável <input type="checkbox"/> Iminente <input type="checkbox"/>	Rachaduras <input type="checkbox"/> Danos causados por raios <input type="checkbox"/> Codominância <input type="checkbox"/> Casca inclusa <input type="checkbox"/> Junções frágeis <input type="checkbox"/> Cavidades / Orifícios de ninho: _____ % circ. Falhas ramos inferiores <input type="checkbox"/> Ramos semelhantes presentes <input type="checkbox"/> Casca morta/ausente <input type="checkbox"/> Cancro/Galha/Tumor <input type="checkbox"/> Dano/Deterioração alburno <input type="checkbox"/> Cogumelo/fungo <input type="checkbox"/> Deterioração do cerne <input type="checkbox"/> Madeira de reação _____ _____ Condição(ões) de preocupação _____ Parte da falha _____ Distância de queda _____ Carga no defeito N/A <input type="checkbox"/> Menor <input type="checkbox"/> Moderada <input type="checkbox"/> Significante <input type="checkbox"/> Probab. de falha Improvável <input type="checkbox"/> Possível <input type="checkbox"/> Provável <input type="checkbox"/> Iminente <input type="checkbox"/>
--	---

— Tronco —

Casca morta / ausente Textura / cor anormal da casca
 Ramos codominantes Casca inclusa Rachaduras
 Dano / Deterioração alburno Cancro / Galha / Tumor Exsudação de seiva
 Danos causados por raios Deterioração do cerne Cogumelo/fungo
 Cavidades / Orifícios de ninho _____ % circ. Profundidade _____ Conicidade
 Ângulo de inclinação _____ ° Corrigido? _____
 Madeira de reação _____
 Condição(ões) de preocupação _____
 Parte da falha _____ Distância de queda _____
Carga no defeito N/A Menor Moderada Significante
Probab. de falha Improvável Possível Provável Iminente

— Raízes e Colo —

Colo soterrado / Não visível Profundidade _____ Anilhamento do caule
 Morta Deterioração Cogumelo/fungo
 Exsudação de seiva Cavidade _____ % circ.
 Rachaduras Raízes cortadas / danificadas Distância do tronco: _____
 Levantamento de raízes Condições de fragilidade do solo
 Madeira de reação _____
 Condição(ões) de preocupação _____
 Parte da falha _____ Distância de queda _____
Carga no defeito N/A Menor Moderada Significante
Probab. de falha Improvável Possível Provável Iminente

