Artigo Técnico

Gestão de floresta urbana: estudo de caso no campus do Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT, Brasil

Urban Forest Management: case study at the campus of the Institute for Technological Research - IPT, Brazil

Raquel Dias de Aguiar Moraes Amaral[a,b*], Caroline Almeida Souza[c], Mariana Hortelani Carneseca[d], Ana Paula de Souza Silva[e], Ariadne do Nascimento[d]

[a] Pesquisadora Independente, São Paulo - SP, Brasil.
[b] Autora principal e coordenadora do trabalho.
[c] Gerência de Risco Ambiental, Social e Governança, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo - SP, Brasil.
[d] Unidade de Negócios Cidades, Infraestrutura e Meio Ambiente, Laboratório de Avaliação Ambiental e Territorial, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo - SP, Brasil.
[e] Unidade de Negócios em Energia, Laboratório de Bioenergia e Eficiência Energética, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A., São Paulo - SP, Brasil.

* e-mail: rdama4@gmail.com

Palavras-chave: benefício ambiental; infraestrutura verde; manejo; novo plantio; risco de queda.

Keywords: environmental benefit; green infrastructure; management; new planting; risk of falling.

Resumo

O estudo teve como objetivo relatar as atividades e os resultados da gestão da floresta urbana do IPT, visando apoiar seu gerenciamento e ampliar os benefícios ambientais, além de evidenciar o papel de áreas institucionais de acesso controlado e restrito na formação dessas florestas nas cidades. Foram realizados o inventário das árvores, a análise do risco de queda e a caracterização dos maciços arbóreos. Também foi aplicada uma pesquisa de opinião com a comunidade do IPT para avaliar a percepção sobre a floresta urbana. Definiram-se diretrizes para novos plantios, ações de manejo emergencial e intervenções nos maciços arbóreos. No total, foram analisadas 1.890 árvores, sendo 96% vigorosas. Das 532 avaliadas quanto ao risco de queda, 97% apresentaram risco baixo. O manejo resultou na remoção de 25 árvores. As intervenções nos maciços arbóreos incluíram a supressão de espécies exóticas invasoras e a substituição gradual dos eucaliptos. A pesquisa de percepção indicou que 99,5% dos participantes valorizam as árvores.

Abstract

The study aimed to report on the activities and results of IPT´s urban forest management, aiming to support its management and expand environmental benefits, in addition to highlighting the role of controlled and restricted-access institutional areas in the formation of these forests in cities. A tree inventory, a fall risk analysis, and characterization of the tree stands were conducted. An opinion survey was also conducted with the IPT community to assess perceptions of the urban forest. Guidelines were established for new plantings, emergency management actions, and interventions in the tree stands. A total of 1,890 trees were analyzed, 96% of which were vigorous. Of the 532 assessed for fall risk, 97% were at low risk. The management resulted in the removal of 25 trees. Interventions in the tree stands included the suppression of invasive alien species and the gradual replacement of eucalyptus. The perception survey indicated that 99.5% of participants value the trees.

1 Introdução

O planeta enfrenta grandes ameaças devido à interferência direta do ser humano na natureza, com inúmeras consequências, como desmatamento, perda de biodiversidade, superaquecimento global, entre outras, decorrentes da autodesignação do homem como dominador da natureza — a chamada era do Antropoceno (Planetary Health Alliance, 2022). Nas áreas urbanas, o avanço da urbanização exerce crescente pressão sobre os ecossistemas naturais, promovendo a perda e fragmentação de habitats, a redução da biodiversidade e alterações nos processos ecológicos, o que compromete a provisão de serviços ambientais e a qualidade ambiental das cidades (Wang *et al.*, 2024). A cobertura arbórea urbana contribui para a oferta de serviços ambientais relacionados à regulação climática, à melhoria da qualidade ambiental e à promoção da saúde (Woodward *et al.*, 2023); dessa forma, sua redução pode comprometer o bem-estar e a qualidade de vida da população.

Considerando que a maior parte da humanidade vive em cidades, e que essa tendência continuará, com grande parte do crescimento populacional ocorrendo em centros urbanos de economias em desenvolvimento, como São Paulo, torna-se urgente implementar ações que possibilitem uma vida mais saudável nas metrópoles (Universidade de São Paulo, 2021).

Define-se floresta urbana como o conjunto de árvores, formações florestais e demais recursos arbóreos presentes em áreas urbanas e periurbanas, públicas ou privadas, que, em interação com o ambiente construído, as instituições e a comunidade humana, constituem um sistema socioecológico responsável pela provisão de serviços ambientais e pela promoção da sustentabilidade e do bem-estar nas cidades (Vogt, 2024). A floresta urbana manifesta-se por meio de diferentes tipologias de vegetação distribuídas pela paisagem urbana, incluindo arborização viária, parques, praças, jardins, remanescentes florestais, áreas verdes institucionais e elementos de infraestrutura verde, como telhados e paredes verdes, que contribuem para a qualidade ambiental e a resiliência urbana (Vogt, 2024).

Diante dos benefícios oferecidos pela floresta urbana e da necessidade de o ser humano se reconectar com a natureza para enfrentar desafios ecológicos e de sustentabilidade, é evidente a importância de resgatar e garantir a natureza nas cidades. O reconhecimento, a conservação e o desenvolvimento da floresta urbana dependem de estratégias integradas de planejamento, gestão e governança, apoiadas pela atuação coordenada do poder público, instituições de pesquisa, universidades, organizações da sociedade civil e demais atores envolvidos na produção de conhecimento e na tomada de decisão, contribuindo para a conservação da biodiversidade e o fortalecimento da resiliência urbana (Konijnendijk *et al.*, 2021).

Segundo Cities4Forests (2019), algumas cidades desenvolvem planos de manejo florestal urbano para sintetizar visões, políticas e informações de diferentes órgãos governamentais, fornecendo histórico e contexto para as florestas urbanas. Esses planos podem delinear a visão de futuro, conter inventários das árvores urbanas e quantificar seus benefícios. Planos de manejo da floresta urbana devem integrar conhecimento técnico, objetivos estratégicos e mecanismos de governança capazes de orientar a tomada de decisão. Em geral, esses instrumentos são fundamentados em inventários e diagnósticos da vegetação urbana, estabelecem metas e ações prioritárias, definem responsabilidades entre os diferentes atores envolvidos e incorporam sistemas de monitoramento e avaliação contínua para apoiar uma gestão adaptativa e baseada em evidências (Konijnendijk *et al.*, 2021).

Melbourne, na Austrália, elaborou um plano estratégico para a floresta urbana diante das mudanças climáticas, visando aumentar a resiliência a seca, calor e eventos extremos. O plano integra instrumentos municipais e define seis estratégias, como elevar a cobertura do dossel a 40% e manter 90% das árvores em boas condições até 2040, com exames anuais de saúde para cada árvore (Cities4Forests, 2019).

No Brasil, Curitiba é considerada uma das cidades mais verdes da América Latina e, entre 2013 e 2016, plantou 139 mil árvores com base em conhecimento técnico, coordenação interdepartamental e planejamento criterioso (Curitiba City Hall, 2016). Para proteger as existentes, o Departamento de Produção de Plantas só autoriza remoções em casos de risco ou queda, exigindo o plantio de ao menos duas novas. Esse planejamento integrado consolidou as bases de uma floresta urbana saudável e funcional (Curitiba City Hall, 2016).

Entretanto, a maioria dos municípios brasileiros carece de informações básicas sobre sua floresta urbana, como número, espécies e localização das árvores (Hamamura, 2020), o que dificulta o manejo de podas e plantios (Amaral *et al.*, 2021). Nesse cenário, áreas institucionais de acesso controlado e restrito podem ser cruciais para manter e expandir as florestas urbanas e fornecer dados relevantes à gestão municipal.

Este trabalho apresenta os resultados das ações realizadas na floresta urbana do campus do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), com o objetivo de apoiar sua gestão e promover benefícios ambientais e o bem-estar dos funcionários. Busca-se contribuir para o avanço do conhecimento sobre gestão de florestas urbanas e seu impacto positivo na qualidade de vida dos cidadãos, destacando também a relevância das áreas institucionais de acesso controlado e restrito na composição da floresta urbana.

2 Procedimento metodológico

Caracterização da área de estudo

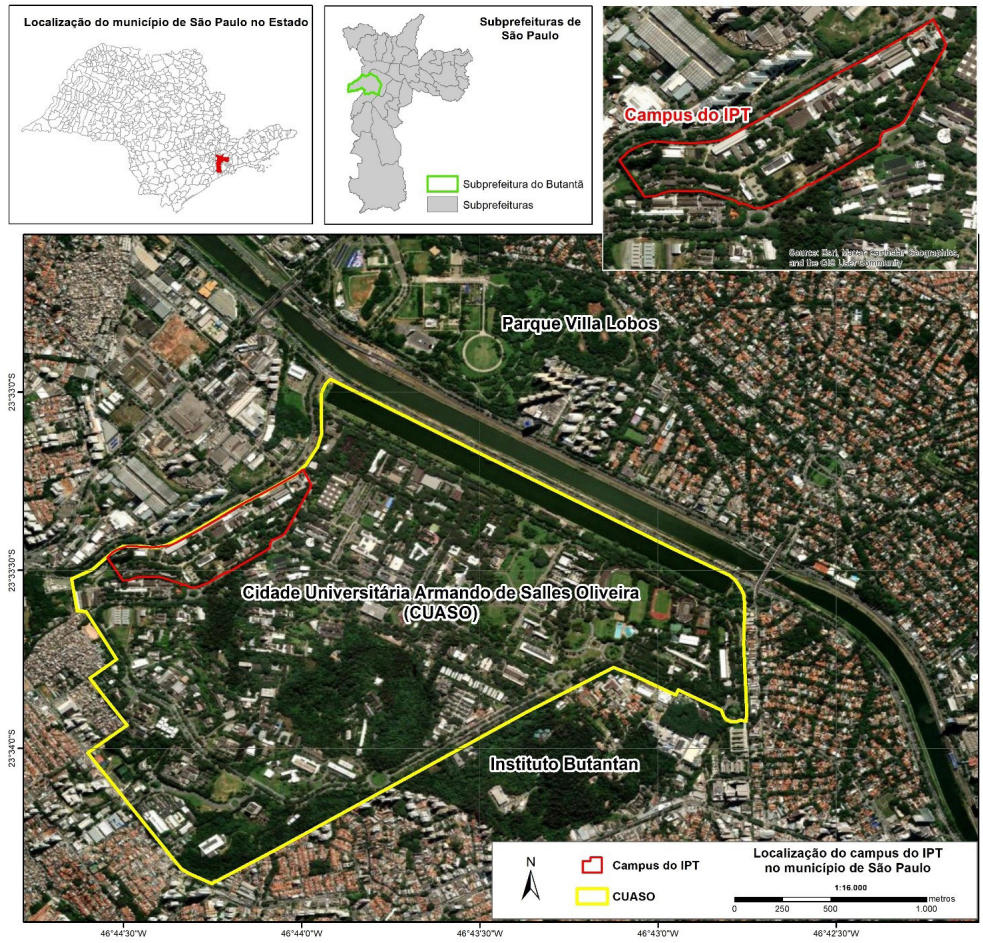
O estudo foi realizado no campus do IPT, localizado na Cidade Universitária Armando de Salles Oliveira, na subprefeitura do Butantã, uma das 32 subprefeituras do município de São Paulo, Brasil (**Figura 1**), que representa 3,7% da área do município. A região é predominantemente residencial, com padrão médio e alto. Abriga importantes equipamentos públicos, institucionais e sociais.

Na **Figura 1**, destaca-se a expressiva área verde do IPT, classificada como vegetação significativa da cidade (Secretaria Estadual do Meio Ambiente, 1988), com 65.760 m , o que corresponde a 31% da área do campus.

A floresta urbana, com mais de 3 mil árvores em calçadas, bosques e entorno dos prédios, é monitorada desde 2018 para levantamento florístico, diagnóstico e análise de risco, visando uma floresta urbana segura e com todo o seu potencial de geração de benefícios ambientais.

Esses objetivos alinham-se às ações de responsabilidade socioambiental e governança do IPT, onde os dados do monitoramento da floresta urbana são utilizados para a elaboração de relatórios de sustentabilidade e atendimento aos indicadores da política institucional de responsabilidade socioambiental e governança, bem como aos princípios ambientais, sociais e de governança (ASG).

Figura 1. Localização do campus do IPT em relação à subprefeitura do Butantã, município de São Paulo, Estado de São Paulo, Brasil.

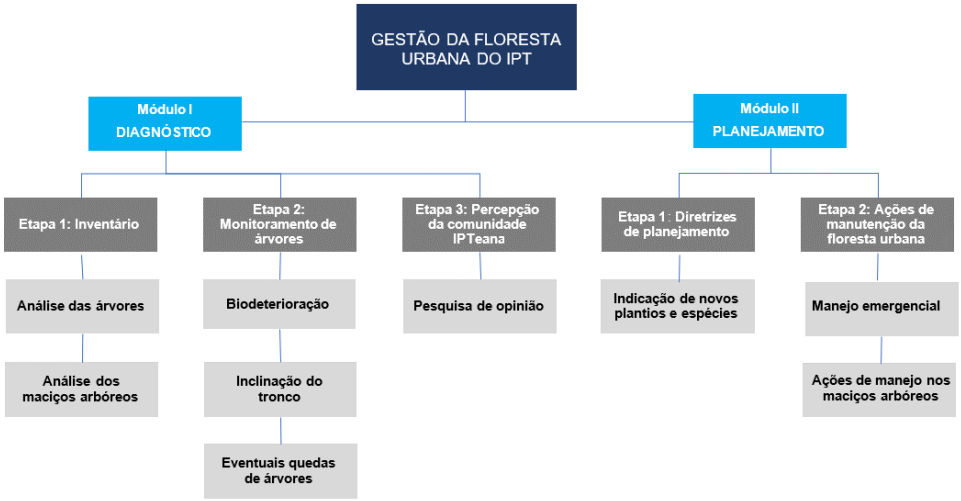


Fonte: Elaborado pelos autores

Etapas do trabalho

O fluxograma (**Figura 2**) indica os Módulos e Etapas que compreenderam as atividades realizadas para a gestão da floresta urbana do IPT, descritos na sequência, conforme adaptado de Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT (2020a) e Amaral *et al.* (2022).

Figura 2. Fluxograma da gestão da floresta urbana do IPT.



Fonte: Adaptado de Amaral *et al.* (2022)

No módulo I, a primeira etapa realizada foi o inventário, dividida em duas frentes principais de trabalho: a análise das árvores e a análise dos maciços arbóreos.

A análise das árvores refere-se ao diagnóstico dos exemplares arbóreos realizado a partir da Tecnologia IPT para inspeção de árvores, método estabelecido em patente (Amaral *et al.*, 2003), do sistema Arbio (Viríssimo *et al.*, 2013) para o cadastro das inspeções de análise externa, interna do fuste, e risco de queda para a ruptura no tronco, conforme Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019), Nível 2 e parte da Nível 3 no que se refere ao emprego de métodos e tecnologias avançadas da extensão ou da severidade das condições internas. A avaliação das árvores foi feita ao nível do solo, não sendo realizado qualquer trabalho em altura, segundo as definições da norma NR 35 - Trabalho em Altura (Ministério do Trabalho e Emprego, 2012). As árvores foram georreferenciadas e chapeadas no tronco para identificação e localização em mapa e as seguintes variáveis foram coletadas:

a. **Identificação botânica**: o levantamento florístico foi realizado ao nível taxonômico. Para alguns espécimes foi coletado material botânico (flor, fruto ou semente) com tesoura de poda manual. Os indivíduos arbóreos foram identificados ao nível de espécie e nome popular, com base na classificação de APG IV (Angiosperm Phylogeny Group IV). A identificação foi realizada por meio de uso de chaves taxonômicas e consultas bibliográficas para obtenção da densidade básica do lenho utilizada na análise de risco de queda de árvores. As espécies foram classificadas quanto à sua procedência em nativas ou exóticas;

b. **Dendrometria**: com auxílio de trena florestal e hipsômetro foram levantadas as seguintes características das árvores: altura total, altura da 1ª bifurcação, excentricidade e ângulo de inclinação do tronco aproximados, diâmetro à altura do peito (DAP) e diâmetro do colo (DC) quando a primeira bifurcação era inferior a 1,30 m;

c. **Estado geral**: para as raízes aparentes foi avaliada a ocorrência de dobra, ferida e barreira física. Na avaliação do tronco, observou-se a existência de múltiplos troncos, inclinação acentuada, casca inclusa, feridas, rachaduras e cavidade aparente, até a altura de dois metros. A avaliação do estado geral da copa consistiu na observação visual de epífitas e parasitas, desequilíbrio de copa, galhos secos ou com deterioração, toco de poda, ramos epicórmicos, podas inadequadas (em "V", drástica, lateral) e 1ª bifurcação com apodrecimento, ataque de insetos ou rachaduras. Foi verificada, ainda, a presença dos aspectos positivos de crescimento adaptado da árvore (biomecânica) para superar defeitos. A ocorrência das ações antrópicas, tais como anelamento;

d. **Condição externa geral**: esta análise visual, classificou os exemplares em árvore morta (sem fluxo de seiva); com declínio (apresentando sinais de doença, como casca solta) ou vigorosa (sem quaisquer sinais de doenças ou pragas).

e. **Condições de entorno**: os atributos analisados foram: interferências com a rede de energia elétrica aérea, caixa de inspeção, espécie arbórea, fachada de edificação, instalação subterrânea, mobiliário urbano e postes. Caso a árvore se encontrasse no sistema viário, informações da calçada e canteiro também foram coletados;

f. **Estado fitossanitário**: foi verificada a ocorrência de fungos apodrecedores, cupins xilófagos e brocas de madeira no sistema radicular, no tronco e copa, até a altura de dois metros. A presença dos fungos apodrecedores foi caracterizada pela observação de corpos de frutificação ou pelo ataque do lenho nas seguintes intensidades: superficial; moderado, quando atingia o alburno; ou intenso, quando progredia para o cerne. No caso dos cupins, sua identificação se baseou no hábito de nidificação, na ocorrência de estrutura de ninho, túneis, no ataque do lenho e na presença de resíduos e insetos vivos. A ocorrência de brocas de madeira foi observada pelo seu ataque no lenho ou pela presença do inseto. Quando presentes, os cupins e as brocas de madeira foram coletados com uma pinça e acondicionados em vidros com álcool a 70% e os corpos de frutificação dos fungos apodrecedores em sacos de papel. A identificação desses organismos foi realizada pela equipe do IPT.

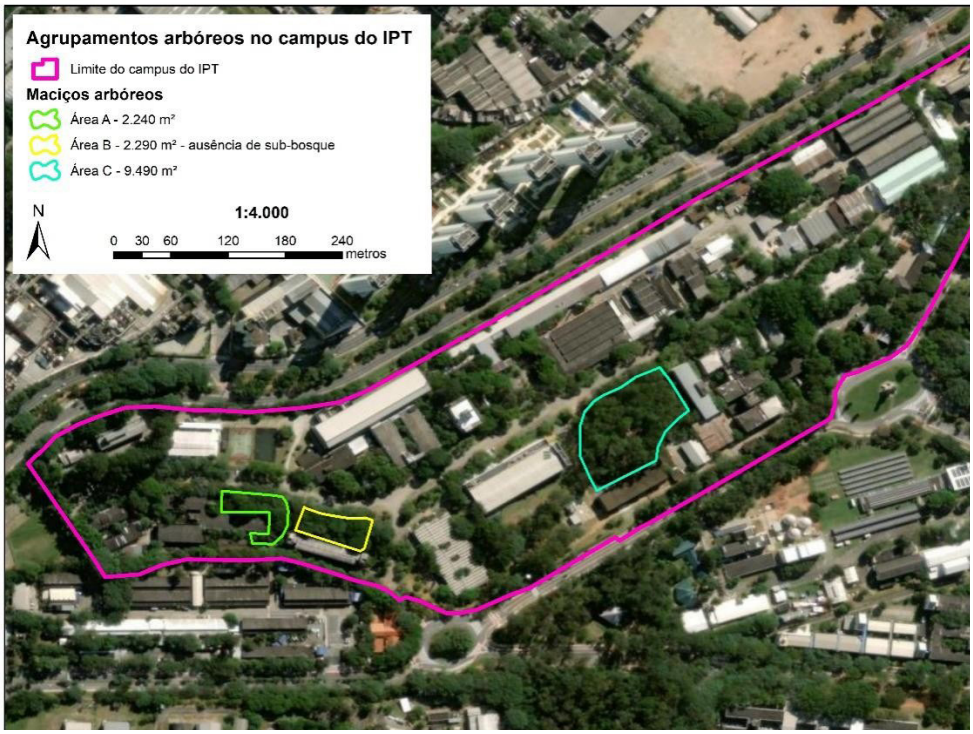
g. **Análise interna**: árvores vivas e com tronco único, foram analisadas internamente quanto à ocorrência de deterioração e quantificação do lenho sadio remanescente.

Esta análise foi feita por meio de prospecção não destrutiva, com auxílio de um aparelho tipo penetrógrafo, com uma broca de 1,5 mm de diâmetro. A análise com este equipamento baseia-se na informação de que, durante o processo de deterioração do lenho, ocorre a dimirea deteriorada aproximada em relação à área transversal do tronco, sendo estabelecidas as seguintes classes de deterioração: pequena, de 1,0 a 11,0%; média, de 11,1% a 44,0%; e grande, acima de 44,1%, conforme classificação proposta por Brazolin (2009).

h. **Análise do risco de queda**: realizada a partir das análises externa e interna do fuste, sendo restrita à possibilidade de ruptura das árvores no tronco, até a altura de dois metros. Para tal análise levaram-se em consideração as informações obtidas nas avaliações externas, relacionadas à condição biológica, estado geral e aspectos da biomecânica, e interna para categorização da árvore quanto ao seu risco de queda em: nível de alerta baixo, sem quaisquer defeitos significativos; ou nível de alerta alto, cujos defeitos representam risco iminente de ruptura no tronco. Para o risco de ruptura no tronco, até dois metros de altura, é utilizada a "regra do 1/3", ou seja, qualquer deterioração interna não pode exceder a 2/3 do raio, permanecendo, no mínimo, 1/3 do lenho sadio, a partir da superfície do tronco. Esse parâmetro é válido desde que não haja outros fatores, como: feridas, ocos, desequilíbrio da copa ou inclinação acentuada do tronco (Mattheck; Breloer, 1997). A relação entre altura total da árvore (H) e diâmetro do tronco (D), também conhecida como modelo de esbeltez, foi considerada, sendo o risco de ruptura indicado quando: H/D > 50, para árvores em locais de baixa incidência de ventos fortes ou protegidas por prédios e outras árvores; ou H/D>30, para árvores expostas aos esforços de ventos significativos. A análise de alvo foi feita considerando a área ao redor das árvores, circunscrita num raio de 1,5 vezes a altura total da árvore, caso ocorra sua queda. Nessa análise foram avaliados possíveis riscos aos bens materiais e à vida humana, pela frequência de circulação de pessoas ou veículos nas proximidades da árvore e tipo de via. A análise de alvo auxilia na priorização de ações de manejo, principalmente quando não há possibilidade de remoção do alvo ou isolamento da área a ser afetada pela possível queda da árvore ou de parte dela.

O campus do IPT apresenta três maciços arbóreos (áreas A, B e C), conforme apresentado na **Figura 3**.

Figura 3. Localização dos maciços arbóreos (bosques).



Fonte: Elaborado pelos autores

Nessas áreas, além da análise das árvores, foi realizada a análise dos maciços arbóreos, que consistiu na caracterização de sua vegetação, contemplando os aspectos de conservação e estágio sucessional a fim de propor ações de manejo para potencializar a geração de benefícios ambientais.

Para tal, nos maciços arbóreos com sub-bosque (Áreas A e C) foram instaladas parcelas de 4 m x 25 m para coleta dos seguintes dados: espécies identificadas; DAP e altura dos indivíduos arbóreos; quantidade de estratos; características da serapilheira; e presença de epífitas e lianas. Duas parcelas foram instaladas no maciço florestal da área A e três parcelas foram instaladas no maciço florestal da área C.

O maciço arbóreo localizado na área B, mesmo apresentando um estrato superior fechado formado por árvores, configurando uma situação de sombreamento constante da camada inferior, não apresenta sub-bosque devido às ações periódicas de roçadas e capinas. Por não apresentar regeneração natural, não foi realizada a caracterização dos aspectos de conservação e estágio sucessional, sendo considerada apenas a análise do maciço quanto a ações de manejo necessárias para potencializar a geração de benefícios ambientais.

Na área C, a análise foi realizada no sub-bosque para verificar o estado de conservação e estágio sucessional da vegetação que se desenvolveu sob o plantio de eucaliptos. A análise dessa área verde foi complementada com a avaliação integrada de oito aspectos: biodiversidade vegetal; uso de agroquímicos; conectividade na paisagem; organismos xilófagos; estoque de carbono; segurança de pessoas, bens e edificações; manutenção e custos envolvidos; e potencial de uso da madeira de eucalipto proveniente de seu manejo (supressão e poda). Para tal, foi utilizado um protocolo para avaliar a presença de eucaliptos em área verde com circulação de pessoas, e sua influência positiva e negativa, nos meios urbano e rural, conforme Spassapan e Souza (2022).

A segunda etapa do trabalho, consistiu no monitoramento de árvores, dividida em três frentes de atuação, a saber:

1. **Biodeterioração**: visando a aquisição de informações técnicas para apoiar a análise de risco de queda relacionada à segurança das pessoas e à recomendação do manejo, foi implantado monitoramento para essas árvores, cujos aspectos físicos foram identificados como críticos. Esse monitoramento consistiu em verificações da biodeterioração (ataque de cupins ou fungos).

2. **Inclinação do tronco**: realizada por práticas de topografia para medidas de deslocamentos horizontais de um ponto instalado no tronco da árvore, conforme Amaral *et al.* (2008). As medidas de deslocamentos horizontais tiveram como propósito buscar prever uma tendência de inclinação das árvores. Para realização dessa atividade foi utilizado um nível modelo Wild N3, régua milimétrica e hastes de aço. A instrumentação consistiu em dois pontos colineares fixos no solo, em região próxima à árvore, e um ponto fixado à meia altura de seu tronco. As leituras foram realizadas de forma direta, por meio da visada do ponto de medição instalado na árvore com a mira do nível. A instrumentação limitou-se à realização de medidas dos deslocamentos horizontais (eixo x), em um plano bidimensional (x; y), com o objetivo de associar as medições realizadas a uma eventual tendência de inclinação da árvore.

3. **Eventuais quedas de árvores**: permitirá o início de uma análise do desempenho das espécies arbóreas. Estas eventuais quedas de árvores foram registradas no Arbio, conforme os seguintes fenômenos meteorológicos: chuva leve, chuva moderada, chuva pesada, chuva violenta, intermitente ou sem informação (World Meteorological Organization, 2018); e/ou velocidade do vento: baixa, moderada, alta ou desconhecida, tendo como base a classificação de vento da Escala de Beaufort (World Meteorological Organization, 2019).

A última etapa do diagnóstico realizado, consistiu na análise da percepção da comunidade do IPT, realizada por meio de pesquisa de opinião. A pesquisa de opinião foi realizada para avaliar o potencial de geração de benefícios ambientais da floresta urbana no ambiente de trabalho do IPT, feita por meio de questionário no Google Forms, conforme descrito por Lima *et al.* (2023). A pesquisa foi realizada por meio de questionário on-line de participação voluntária, adotado por apresentar, entre outras vantagens, a garantia de anonimato aos respondentes (Lima *et al.*, 2023). O Comitê de Privacidade de Dados do IPT avaliou e aprovou a metodologia adotada. A chamada para a pesquisa de opinião teve ampla divulgação em diversos meios de comunicação do IPT. O detalhamento desta pesquisa está apresentado em Lima *et al.* (2023).

No módulo II, que visa ações de planejamento, duas etapas foram realizadas, a elaboração de diretrizes de planejamento e a manutenção da floresta urbana.

Nas diretrizes de planejamento foi elaborada a indicação de novos plantios e espécies, a partir da autorização do órgão responsável na Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de São Paulo para a supressão de algumas árvores com risco, pois foi necessária a realização de plantio compensatório. Para tanto, foram identificados locais em que as mudas pudessem ser plantadas sem que houvesse obras futuras e interferências de elementos urbanos. Para tal, foram solicitadas para a Coordenadoria de Gestão do Campus (CGC) do IPT as plantas da rede elétrica, de águas pluviais, da rede subterrânea de fibra ótica e das áreas verdes. A partir destas informações foi possível elaborar o mapeamento do campus do IPT, destacando os locais propícios para novos plantios, de acordo com as características das árvores. A partir da orientação da equipe do projeto, em conjunto com a CGC, novos plantios tiveram início. Para a definição de quais espécies botânicas seriam adquiridas foi necessário identificar onde as mudas seriam plantadas; se dentro de alguma área verde, neste caso, teria que ser uma espécie umbrófila; se na calçada ou em áreas abertas que se ambientariam em pleno sol. As espécies arbóreas foram definidas com base na lista de espécies nativas regionais do Estado de São Paulo, classificadas por formações florestais, publicada pela Secretaria do Meio Ambiente do Governo do Estado de SP (Pradella *et al.*, 2015). Foram selecionadas espécies da região Sudeste que tivessem características adequadas para os locais, fossem atrativas para fauna e que não tivessem frequência alta no campus do IPT. A partir desta definição, a CGC efetuou a compra de mudas de árvores nativas, no padrão do Departamento de Parques e Áreas Verdes da Prefeitura Municipal de São Paulo.

Para a manutenção da floresta urbana, duas frentes de trabalho foram adotadas:

1. *Manejo emergencial*: após o diagnóstico e a análise de risco de queda das árvores, as seguintes práticas de manejo foram consideradas: adequação de canteiro; faixa permeável; equipamentos urbanos, próximos de árvores; remoção de alvo; avaliação técnica especializada para doenças e outras pragas; instalação de sistemas de sustentação; poda de galhos; tratamento fitossanitário; transplante; monitoramento da árvore e supressão.

2. *Ações de manejo nos maciços arbóreos*: após a análise dos maciços arbóreos foram consideradas ações de manejo para otimizar a geração de benefícios ambientais, principalmente no que se refere à biodiversidade. Dentre essas ações podem ser citadas: a supressão de espécies exóticas invasoras; a suspensão de roçadas e capinas; e o planejamento da substituição gradativa dos eucaliptos por espécies nativas. Dessa forma, objetiva-se tornar a floresta urbana do IPT com características mais naturais, favorecendo a sucessão ecológica, melhorando a interação com os fragmentos do entorno, além de atrair a fauna.

3 Resultados e discussão

3.1 Cadastro, inventário e diagnóstico das árvores

Ao longo de três anos de monitoramento contínuo no campus do IPT, foram inspecionadas e cadastradas no sistema Arbio um total de 1.890 árvores. A avaliação visual das condições externas revelou uma ampla predominância de exemplares sadios: 96% das árvores apresentaram-se vigorosas, com copas bem desenvolvidas e estrutura preservada. Sintomas de declínio fitossanitário foram diagnosticados em apenas 2% da população, enquanto os exemplares mortos (sem fluxo de seiva) responderam por 2%. O cadastro no sistema Arbio permitiu a estruturação de um banco de dados dinâmico, organizado em quatro módulos operacionais: (i) inventário (identificação botânica, dendrometria, condição geral, ocorrência de organismos biodeterioradores, interferências com o entorno e risco de queda); (ii) recomendações de manejo (registro de podas, tratamentos e indicações de remoção); (iii) planejamento (definição de locais e espécies adequadas para novos plantios); e (iv) registro de quedas (anotação detalhada das causas e condições meteorológicas associadas a eventualidades).

A sistematização digital de inventários de florestas urbanas representa um avanço expressivo na sua gestão. Conforme apontado por Amaral *et al.* (2021), a imensa maioria dos municípios brasileiros carece de dados sistematizados sobre suas árvores, recorrendo frequen-

temente a fichas em papel ou registros fragmentados, o que inviabiliza ações preventivas e gera severos conflitos com a infraestrutura construída. Ademais, o inventário realizado neste trabalho, com o registro de dados das árvores que vão além de identificação botânica e do diâmetro, comumente observado globalmente (Bingqian *et al.*, 2021), oferecem mais informações que favorecem uma melhor tomada de decisão quanto ao seu manejo.

Sob a perspectiva conceitual de Vogt (2024), a floresta urbana do IPT opera como um sistema socioecológico, no qual a informação precisa sobre os atributos biofísicos das árvores fundamenta diretamente a tomada de decisão institucional e as práticas de manejo. Adicionalmente, Wang *et al.* (2024) destacam que o manejo adaptativo da infraestrutura verde exige um fluxo iterativo e contínuo de monitoramento e avaliação, permitindo que os gestores antecipem vulnerabilidades ecológicas antes que se convertam em falhas estruturais ou acidentes em áreas de circulação humana. Desse modo, a sistematização digital do inventário da floresta urbana do IPT também favorece a viabilização de seu manejo adaptativo.

3.2 Composição florística, diversidade e conservação ex situ de espécies ameaçadas

A identificação botânica permitiu a caracterização taxonômica de 92% da população arbórea até o nível de família ou espécie. A composição florística do campus é formada por 40 famílias botânicas, 103 gêneros e pelo menos 139 espécies. As famílias de maior representatividade foram Myrtaceae, englobando 28% do total de árvores, e Fabaceae (incluindo as subfamílias Caesalpinioideae, Cercideae, Faboideae e Mimosoideae), com 24%. Observou-se uma forte dominância do gênero Eucalyptus spp., que responde por 19% dos exemplares do campus. Do ponto de vista de origem, 34% dos indivíduos pertencem a espécies nativas regionais. As 20 espécies mais frequentes concentram 67% da população total, sendo que 7 das espécies mais abundantes são nativas. Além disso, 30% das árvores inventariadas são espécies frutíferas que fornecem recursos alimentares à fauna local e à comunidade humana.

A análise da diversidade florística resultou em um Índice de Diversidade de Shannon-Wiener de 3,758 e um Índice de Equitabilidade de Pielou de 0,7616. Esses valores indicam uma elevada riqueza de espécies quando comparada ao panorama da arborização urbana brasileira, onde frequentemente se verifica a concentração de indivíduos em poucas espécies (Esteves; Corrêa, 2018; Alves, 2023), porém refletem uma distribuição heterogênea do número de indivíduos

por espécie. Um dos achados de maior relevância para a conservação da biodiversidade foi o registro de quatro espécies nativas ameaçadas de extinção em âmbito nacional e estadual (Resolução SMA nº 57/2016; Portaria MMA nº 148/2022): Araucaria angustifolia (pinheiro-do-paraná), Cariniana legalis (jequitibá-rosa), Paubrasilia echinata (pau-brasil) e Cedrela fissilis (cedro-rosa). Em contrapartida, diagnosticaram-se 20 espécies exóticas com potencial invasor (totalizando 371 exemplares), destacando-se a alta densidade de Leucaena leucocephala (leucena) e Archontophoenix cunninghamiana (palmeira-seafórtia).

Os dados reforçam o papel estratégico de áreas institucionais de acesso controlado e restrito para a conservação ex situ para a flora ameaçada e para conectividade ecológica na paisagem urbana. Conforme discutido por Wang *et al.* (2024), a infraestrutura verde urbana desempenha papel essencial na manutenção da biodiversidade e na restauração da conectividade de habitats fragmentados pela expansão urbana. A presença de espécies nativas ameaçadas de extinção no campus evidencia o papel estratégico do IPT na conservação da flora regional. Esse achado reforça que áreas institucionais de acesso controlado e restrito podem desempenhar papel crucial na manutenção da biodiversidade e na infraestrutura verde urbana, complementando as unidades de conservação e parques públicos de uso comum (Woodward *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2024). Por outro lado, a presença significativa de exóticas invasoras exige ações imediatas de erradicação e substituição, visto que a bioinvasão compromete a regeneração natural e a conservação da biodiversidade (Ziller, 2005), aumentando a vulnerabilidade do ecossistema e reduzindo a resiliência socioecológica necessária para a oferta continuada de serviços ambientais (Vogt, 2024).

3.3 Dendrometria e conflitos com o ambiente construído

O levantamento dendrométrico revelou um porte maduro para a floresta urbana do campus, indicando predominância de indivíduos adultos, com médias de Diâmetro à Altura do Peito (DAP) de 35 cm, de altura total de 12 m e de altura da primeira bifurcação de 4 m. Constatou-se que 31% dos exemplares possuem a primeira bifurcação a uma altura inferior a 1,30 m do solo e que 10% das árvores apresentaram inclinação acentuada do tronco (superior a 15º). A análise da qualidade das podas realizadas indicou que 12% das árvores exibia indícios de realização de podas inadequadas (incluindo tocos de poda, brotações epicórmicas, podas em 'V', laterais ou drásticas). Parasitas vegetais e epífitas sufocantes, como erva-de-passarinho (Loranthaceae) e figueira-mata-pau (Ficus spp.), foram observados em 11% das copas.

A análise do entorno das árvores da floresta urbana do IPT indicou os seguintes pontos de conflito com a infraestrutura do campus: proximidade ou contato com fachadas de edificações em 16% das árvores; interferência com caixas de inspeção (3%); redes subterrâneas (2%); fiação elétrica aérea primária (2%, sendo 1% em fiação convencional e menos de 1% em rede protegida); e mobiliário urbano (1%). Observou-se que a altura média superior à da rede elétrica aérea primária favoreceu o conflito, sendo corrigida com podas inadequadas. Segundo Hoehne (1944), citado por Velasco (2003), essas podas comprometem a função estética e estrutural da árvore, aumentando o risco de queda. Velasco (2003) defende que as árvores mantenham seu porte natural, o que exige espaço adequado. Verificou-se ainda que 31% das árvores apresentam a primeira bifurcação abaixo de 1,30 m, o que, dependendo da espécie e peso da copa, pode causar rompimentos. Sob a ótica de Woodward *et al.* (2023) e Vogt (2024), o planejamento espacial rigoroso focado na escolha adequada das espécies e nas características do local de plantio constitui uma diretriz essencial para reduzir interferências na infraestrutura e elevados custos de manutenção, além de assegurar a longevidade e resiliência da infraestrutura verde.

3.4 Diagnóstico fitossanitário e avaliação da deterioração interna

A avaliação do estado fitossanitário das 1.851 árvores vivas revelou que 62% dos exemplares apresentavam infestação por fungos apodrecedores e/ou cupins xilófagos na raiz, no tronco ou na copa. Os fungos decompositores de madeira foram diagnosticados em 56% das árvores. Quanto à severidade da degradação fúngica no lenho, 60% manifestaram ataque superficial, 36% moderado (atingindo o alburno) e 16% intenso (progredindo para o cerne). Corpos de frutificação da subdivisão Basidiomycotina foram observados em menos de 1% dos indivíduos, sempre associados a estágios avançados de podridão. A presença de cupins foi registrada em 19% das árvores, dos quais 9% correspondiam a cupins xilófagos de elevada destrutividade (gênero Coptotermes sp.).

Para avaliar a perda de massa e a perda de resistência mecânica interna no fuste, aplicou-se a inspeção instrumental penetrográfica (Tecnologia IPT - Nível 3 da ABNT NBR 16246-3) em uma amostra de 574 árvores (31% dos indivíduos vivos do campus). A prospecção mostrou que 86% das árvores testadas encontravam-se internamente sadias, enquanto 14% apresentavam cavidades ou biodeterioração interna, com porcentagens de área deteriorada variando entre 11% (mínima) e 66% (máxima em relação à área transversal do tronco).

Os resultados reforçam que a avaliação exclusivamente visual é insuficiente para a gestão de riscos em florestas urbanas. Conforme demonstram Sales e Candian (2012) e Carvalho (2019), defeitos internos graves decorrentes do apodrecimento fúngico muitas vezes progridem sem sinais externos evidentes no fuste, podendo provocar rupturas repentinas. O estudo do IPT (2004) e a tese de Brazolin (2009) comprovam que a decomposição fúngica altera profundamente as propriedades físico-mecânicas do lenho, reduzindo a capacidade de suporte da árvore frente às solicitações mecânicas. Adicionalmente, Locosselli *et al.* (2021) documentaram que o apodrecimento interno combinado a podas inadequadas é o principal fator predisponente para quedas de árvores na cidade de São Paulo durante eventos meteorológicos adversos. No âmbito econômico e de manejo, a identificação precoce de cupins do gênero Coptotermes sp. é crucial, pois, como relatam Amaral (2002) e Freytag e Cink (2001), essas pragas xilófagas causam grandes prejuízos na arborização urbana e comprometem a estabilidade estrutural dos espécimes.

3.5 Análise de risco de queda, quedas registradas e governança frente a distúrbios climáticos (pulse disturbances)

A análise detalhada do risco de queda e probabilidade de ruptura no tronco (até 2,0 m de altura) foi realizada em 532 árvores prioritárias, aplicando-se a regra do 1/3 de lenho sadio remanescente, o modelo de esbeltez (relação Altura/DAP H/D > 50 para áreas protegidas e H/D > 30 para áreas expostas ao vento) e a análise de alvo (raio de 1,5 vezes a altura da árvore). Os resultados indicaram que 97% das árvores avaliadas apresentaram nível de alerta baixo, enquanto apenas 3% (16 árvores) foram diagnosticadas com nível de alerta alto (risco iminente de ruptura com presença de alvos valiosos ou circulação de pessoas). Paralelamente, o monitoramento instrumental experimental da inclinação do tronco em quatro árvores críticas não indicou tendências de deslocamento horizontal significativo no eixo x. Durante o período de acompanhamento de três anos, foram registradas apenas 7 quedas de árvores no campus: 3 quedas associadas a ventos fortes e chuvas intensas; 2 quedas sob vento e chuva moderados; e 2 quedas sem ocorrência de intempéries (causadas por pivotamento do sistema radicular e fratura no colo).

A baixa incidência de quedas no IPT (média de apenas 2,3 quedas por ano em um universo de 1.890 árvores) contrasta fortemente com o cenário da cidade de São Paulo, onde caem em média 6 árvores por dia (Locosselli *et al.*, 2021). Esse resultado reflete a efetividade da gestão preventiva, em oposição à atuação emergencial que caracteriza a maioria das políticas públicas municipais (IPT, 2020b).

Sob a perspectiva teórica de Konijnendijk *et al.* (2021) e Vogt (2024), eventos meteorológicos extremos (tempestades, vendavais e rajadas de vento) configuram distúrbios do tipo "pulso" (pulse disturbances), acontecimentos súbitos, de grande magnitude e de difícil previsão que testam a resiliência dos sistemas socioecológicos urbanos. Konijnendijk *et al.* (2021) e Roman *et al.* (2022) demonstram que cidades e instituições dotadas de programas estruturados de silvicultura urbana, planos formais de manejo e sistemas de informação georreferenciados conseguem gerenciar o pós-crise com muito maior eficiência, minimizando danos a vidas e bens materiais. Como enfatizam Carvalho *et al.* (2024) e Cumming *et al.* (2008), o monitoramento preventivo e contínuo da estabilidade biomecânica das árvores e o controle dos alvos reduzem drasticamente os custos operacionais de emergência e promovem a resiliência socioecológica institucional.

3.6 Diagnóstico dos maciços arbóreos

A caracterização da vegetação dos maciços arbóreos é apresentada a seguir:

- Maciço da Área A (2.240 m): Resultante do plantio misto de espécies nativas e exóticas e da regeneração natural via dispersão zoocórica. Apesar de possuir mais de 40 anos desde os primeiros plantios e cerca de 10 anos sem roçadas no sub-bosque, a área encontra-se em estágio inicial de sucessão ecológica, apresentando regeneração natural de espécies provenientes do entorno.

- Maciço da Área B (2.290 m): Embora apresente um dossel superior fechado formado por árvores de grande porte que garantem sombreamento constante, a área não apresenta sub-bosque em função das práticas periódicas de roçada e capina, prejudicando a regeneração natural da vegetação.

- Maciço da Área C - Bosque dos Eucaliptos (9.490 m): A avaliação da composição e estrutura do sub-bosque desenvolvido sob a copa dos eucaliptos, indicou que o sub-bosque encontra-se em estágio pioneiro de sucessão ecológica. A análise integrada pelo protocolo de Spassapan e Souza (2022) mostrou que os principais pontos positivos do eucaliptal incluem o elevado estoque de carbono e o potencial de geração de receita com a comercialização da madeira advinda de podas e supressões. Como pontos negativos, destacam-se: baixa riqueza florística no estrato arbóreo (aproximadamente metade da observada na Área A); dominância monoespecífica restringindo

o espaço para nativas; e alto risco operacional, com 40% das árvores com indicação de poda no Arbio e histórico de queda de galhos sobre vias e edificações.

A análise dos maciços do IPT demonstra a relevância de conservar e manejar pequenos fragmentos urbanos para restabelecer a conectividade ecológica. Conforme salientado por Silva (2012) e no Plano Municipal da Mata Atlântica de Apiaí (IPT, 2020c), os maciços arbóreos urbanos atuam como importantes fontes de propágulos para projetos de restauração e prestam serviços de regulação climática e conservação do solo. A aplicação do protocolo de manejo em eucaliptais (Spassapan; Souza, 2022; IPT, 2024) fundamenta a recomendação de substituição gradual dos eucaliptos por espécies nativas do bioma Mata Atlântica, iniciando pelos indivíduos já indicados para remoção no Arbio, incluindo os dominados ou com risco de queda. Essa transição orientada visa promover a sucessão ecológica sem desproteger o solo, alinhando-se aos princípios da infraestrutura verde adaptativa proposta por Wang *et al.* (2024). Na Área B, recomenda-se a interrupção das roçadas periódicas, a fim de permitir o desenvolvimento do sub-bosque por meio da regeneração natural, ampliando a oferta de serviços ambientais.

3.7 Percepção da comunidade institucional sobre a floresta urbana

A pesquisa de opinião pública voluntária e anônima conduzida com a comunidade do IPT (obtendo 212 respostas válidas) demonstrou uma forte valorização da floresta urbana do IPT, já que 99,5% dos respondentes declararam sentir-se bem com a presença das árvores no campus. Os serviços ambientais de regulação e culturais mais percebidos e valorizados no ambiente de trabalho (para 72% dos respondentes) foram: o provimento de "sombra" e "redução do calor" (conforto térmico), a "beleza cênica" e a oferta de "frutas". Por outro lado, os principais riscos percebidos pelos trabalhadores foram os seguintes: a "queda de galhos" foi citada por 33% dos participantes e a "queda de árvores" por 31%.

Quanto ao uso potencial das áreas verdes, 41% dos respondentes manifestaram o desejo de aproveitar mais os espaços do campus para atividades integradas de lazer, descanso, caminhadas e educação ambiental. O impacto da vegetação na saúde humana foi amplamente reconhecido: 73% acreditam que a ausência de árvores pode desencadear doenças, com destaque para problemas respiratórios, estresse e transtornos psicológicos. Demonstrando forte disposição a se engajar em ações de conservação da floresta urbana do IPT, 79% dos trabalhadores expressaram o desejo de participar pessoalmente do plantio de uma árvore no campus.

Os dados empíricos de percepção corroboram as evidências científicas de Lima *et al.* (2023), Woodward *et al.* (2023) e Wang *et al.* (2024), que demonstram que o contato diário com árvores e áreas verdes urbanas reduz os níveis de cortisol e estresse, diminui a incidência de doenças cardiorrespiratórias e melhora significativamente a saúde mental no ambiente corporativo. A concordância entre a percepção dos funcionários (medo de queda de galhos/árvores) e os laudos técnicos reforça a importância da governança transparente. Segundo Vogt (2024) e Konijnendijk *et al.* (2021), a integração dos atores locais e o envolvimento da comunidade em mutirões de plantio (mosaic governance) fortalecem o sentimento de pertencimento, educam sobre os riscos reais e asseguram o suporte social às intervenções de manejo e substituição arbórea.

3.8 Diretrizes de manejo e ampliação de serviços ambientais

Com base no diagnóstico integrado, definiram-se ações de manejo divididas em três horizontes temporais de planejamento:

- Manejo emergencial (curto prazo): Emissão de laudos técnicos para mais de 100 árvores críticas, culminando na supressão emergencial de 25 árvores com risco alto de queda e na execução de podas de emergência em 93 exemplares para eliminação de risco iminente a pedestres e edificações.

- Ações periódicas (médio e longo prazo): Recomendação de poda de limpeza em 1.076 árvores; monitoramento continuado da biodeterioração em 486 árvores; acompanhamento da inclinação do tronco em 109 árvores e da primeira bifurcação em 64 exemplares; poda de condução em 50 árvores jovens; e poda de adequação em 109 árvores em conflito com a rede elétrica ou com fachadas de edificações.

- Diretrizes para novos plantios e manejo dos maciços: Seleção prioritária de uma lista de 12 espécies nativas regionais atrativas à fauna e com apelo estético de floração. Recomendou-se o controle contínuo de espécies exóticas invasoras nas Áreas A e B, assim como o plantio de enriquecimento; a suspensão das roçagens e capinas na Área B; e o plano de substituição gradual dos eucaliptos na Área C por espécies nativas da Mata Atlântica. Cadastraram-se 8 novos plantios de árvores no sistema Arbio.

As intervenções propostas impactarão positivamente a provisão dos seguintes benefícios ambientais (Wang *et al.*, 2024; Woodward *et al.*, 2023):

- **Manutenção de habitat**: a supressão de árvores de espécies exóticas invasoras e de árvores de eucaliptos com risco de queda ou com menores diâmetros e dominadas, aliada ao plantio de enriquecimento com espécies nos maciços arbóreos do IPT, melhorarão as condições de abrigo, reprodução e alimentação para a fauna e para o desenvolvimento da flora nativa.

- **Manutenção da diversidade genética (fluxo gênico):** a supressão de árvores de espécies exóticas invasoras e de árvores de eucaliptos com risco de queda ou com menores diâmetros e dominadas, aliada ao plantio de enriquecimento com espécies nos maciços arbóreos e ao plantio de novas árvores nas calçadas do campus do IPT, melhorará a interação da floresta urbana do IPT com as áreas verdes do entorno, favorecendo o fluxo gênico na paisagem, por meio, por exemplo, da atração da avifauna dispersora de sementes de espécies vegetais nativas;

- **Manutenção do equilíbrio ecológico**: o manejo e supressão de árvores de espécies exóticas invasoras contribuirá com o controle da disseminação destas espécies na paisagem, favorecendo a conservação do patrimônio genético e biodiversidade local;

- **Recreação, saúde física e mental e provisão de alimentos, recursos medicinais e matéria-prima**: a supressão de árvores de espécies exóticas invasoras e de árvores de eucaliptos com risco de queda ou com menores diâmetros e dominadas, aliada ao plantio de enriquecimento com espécies nos maciços arbóreos do IPT, melhorará a condição de segurança para acesso de pessoas na área e diversificará seus atrativos (ex.: diversidade de flores) e potencial de provisão de produtos para consumo (ex.: diversidade de frutas).

Identificou-se apenas um impacto negativo temporário relacionado ao seguinte serviço ambiental:

- **Melhoria da qualidade do ar**: a supressão dos eucaliptos reduzirá a capacidade da barreira vegetal de atenuar a dispersão de material particulado proveniente das vias com grande trânsito de veículos que circundam o campus do IPT.

O plano de manejo adotado no IPT exemplifica a aplicação prática do Manejo Adaptativo de Infraestrutura Verde preconizado por Wang *et al.* (2024) e Li *et al.* (2022). A combinação de ações preventivas de curto prazo (supressão de risco) com diretrizes de longo prazo (enriquecimento e substituição de exóticas) amplia a segurança dos usuários do campus sem comprometer o valor ecológico e estético da floresta urbana. Como sintetizado por Carvalho *et al.* (2024) e Vogt (2024), a manutenção sistemática e o planejamento preventivo reduzem os custos operacionais de longo prazo, evitam acidentes catastróficos e asseguram que as áreas institucionais continuem desempenhando um papel vital na resiliência e sustentabilidade das cidades.

4 Conclusão

A gestão da floresta urbana do IPT evidencia a relevância de um planejamento sistemático e contínuo para garantir a segurança, sustentabilidade e a ampliação dos serviços ambientais. A metodologia adotada proporcionou um diagnóstico detalhado das árvores e maciços arbóreos, um planejamento estratégico para novos plantios e diretrizes de manutenção, além da implementação de ações emergenciais para mitigação de riscos. Os resultados mostraram que 96% das árvores analisadas estão vigorosas e que a floresta urbana do IPT conta com uma diversidade botânica significativa. Espécies ameaçadas reforçam a importância da área para a conservação, enquanto exóticas invasoras podem comprometer o equilíbrio ecológico.

Além disso, a análise de risco de queda revelou que 97% das árvores apresentaram baixo risco de ruptura, com as quedas registradas nos últimos três anos associadas a fatores climáticos extremos. A pesquisa de percepção dos trabalhadores do IPT mostrou alta valorização da floresta, com 99,5% reconhecendo seus benefícios ao bem-estar e 79% interessados em novos plantios. As diretrizes de manejo buscam fortalecer sua resiliência.

O estudo amplia o conhecimento sobre florestas urbanas de áreas institucionais de acesso controlado e restrito e sua relevância para a qualidade de vida, complementando unidades de conservação e áreas verdes públicas na oferta de serviços ambientais. Para viabilizar o manejo, são necessárias políticas públicas que incentivem a gestão com instrumentos econômicos, parcerias institucionais e acesso a editais de financiamento de ações.

Dessa forma, a experiência do IPT mostra o potencial das áreas institucionais de acesso controlado e restrito para contribuir com a sustentabilidade urbana, complementando áreas verdes públicas e integrando a infraestrutura verde. A gestão eficaz das florestas urbanas requer dados técnicos, monitoramento contínuo e engajamento comunitário, assegurando qualidade de vida e resiliência ambiental frente ao crescimento urbano.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio e financiamento do projeto pela Diretoria do Instituto de Pesquisas Tecnológicas e à Coordenadoria de Gestão do Campus do IPT pelo suporte logístico nas atividades de campo e compartilhamento de informações. Os autores também agradecem aos pesquisadores Aline Ribeiro Machado, Giuliana del Nero Velasco, Maria Lúcia Solera, Reinaldo Araujo de Lima e Sergio Brazolin, pelas valiosas contribuições nas discussões no âmbito do Núcleo Floresta.

6 Referências

Alves, L. P. (2023). **Arborização urbana nas cidades brasileiras e um estudo de caso em Teixeira de Freitas, Bahia**. [Dissertação de Mestrado em Ciências e Tecnologias Ambientais]. Universidade Federal do Sul da Bahia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Porto Seguro.

Amaral, R. D. A. M. (2002). **Diagnóstico da ocorrência de cupins xilófagos em árvores urbanas do bairro de Higienópolis na cidade de São Paulo**. [Dissertação de Mestrado em Recursos Florestais]. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

Amaral, R. D. A. M. *et al.* (2003). **Patente: Metodologia para diagnóstico de cupins**. (BR patente nº PI PI0300643).

Amaral, R. D. A. M., Campos, G. C., Gandolfo, O. C. B., Santos, V. R. N., Lima, R. A., Fonseca, R. (2022, edição especial, novembro). I**nvestigação multidisciplinar do risco de queda de árvore: estudo de caso em pau-ferro, na Cidade de São Paulo, SP**. Rev. Gest. Ambient. e Sust. - GeAS, 11, 1-24, e22949. https://doi.org/10.5585/geas.v11i2.22949

Amaral, R. D. A. M., Moraes, J. T. L., Brazolin, S., Yojo, T., Oliveira, C. T., Neto, M. A. O. (2008). **Biodeterioração de Eucalyptus citriodora (Hook) e monitoramento com o auxílio de instrumentação topográfica**. Resumos do decimo segundo Congresso Brasileiro de Arborização Urbana.

Amaral, R. D. A. M., Morato, R. G., Mariano, R. S., Ferreira, J. M. R. (2021). **Ferramentas para gestão da floresta urbana**. Rev. Gest. Ambient. e Sust. - GeAS., 10(1), 1-10, e18131. https://doi.org/10.5585/geas.v10i1.18131.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019). **Floresta urbana – Manejo de árvores, arbustos e outras plantas lenhosas.** Parte 3: Avaliação de risco de árvores (ABNT NBR 16246-3: 2019).

Bingqian, M., Hauer R. J., R., J. H., Östberg J., Koeser A. K.X. Wei H., Xu C. (2021). **A global basis of urban tree inventories: What comes first the inventory or the program**. Urban Forestry & Urban Greening, 60, e127087. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127087.

Brazolin, S. (2009). **Biodeterioração, anatomia do lenho e análise de risco de queda de árvores de tipuana, Tipuana tipu (Benth.)** O. Kuntze, nos passeios públicos da cidade de São Paulo, SP. [Tese de Doutorado]. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

Carvalho, C. A. (2019). **Tomógrafo de impulso como método não destrutivo para determinação da sanidade de árvores plantadas às margens do rio Carahá no município de Lages, SC**. [Dissertação de Mestrado]. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina.

Carvalho, T. S., Martini, A., Souza, M. M., Silva, A. C. N. (2024). **O efeito de rajadas de vento na inclinação da placa de raízes em árvores urbanas**. J. Environ. Manag. & Sust.,13(1), 1-28, e23715. https://doi.org/10.5585/2024.23715

Cities4Forests (2019). **Urban Forests for Healthier Cities: Policy, Planning, Regulations, and Institutional Arrangements**.

Cumming, A. B., Twardus, D. B., Nowak, D. J. (2008). U**rban forest health monitoring: large--scale assessments in the United States**. Aboriculture & Urban Forestry, 34(6), 341-346.

Curitiba City Hall (2016). **Afforestation plan has placed 139,000 trees in Curitiba since 2013**.

Esteves, M. C.; Corrêa, R. S. (2018). **Natividade da flora usada na arborização de cidades brasileiras**. Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo, Brasília, n. 22, p. 159-171. DOI: http://dx.doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n22.2018.11.

Freytag, E. D., Cink, J. H. (2001). **Field trials with premise (imidacloprid) termiticide for controlling formosan subterranean térmites in trees in New Orleans, Louisiana**. Proceedings the second International Symposium on Coptotermes Formosanus, (pp. 23). Department of Agriculture, New Orleans, Louisiana, United States.

Hamamura, C. (2020). **Sensoriamento remoto para identificação taxonômica e mapeamento de espécies arbóreas em ambiente urbano**. [Tese de Doutorado]. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. doi:10.11606/T.11.2020.tde-12082020-165438.

Hoehne, F. C. (1944). **Arborização urbana**. Secretaria da Agricultura, Indústria e Comércio.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (2004). **Relatório técnico do Diagnóstico e Análise de Risco de Queda das Árvores de Vias Públicas da Cidade de São Paulo – Projeto Operação Árvore Saudável (Vol. 1)**.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (2020a). **Gestão da floresta urbana do campus do IPT.**

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (2020b). **Plano de Desenvolvimento Institucional na Área de Transformação Digital: Manufatura Avançada e Cidades Inteligentes e Sustentáveis.** Fapesp.

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (2020c). **Plano municipal de conservação e recuperação da Mata Atlântica - PMMA Apiaí (1. ed. Vol. 1)**. https://ipt.br/wp-content/uploads/2024/08/PMMA_Apiai.pdf

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (2024). **Plano de manejo refúgio de vida silvestre Anhanguera (Vol. 1)**. https://ipt.br/wp-content/uploads/2024/12/2-Volume-I-–-Introducao-e-Conteudo-metodologico-2.pdf

Konijnendijk, C. C., Nesbitt, L., Wirtz, Z. (2021). **Urban forest governance in the face of pulse disturbances: Canadian experiences**. Arboriculture & Urban Forestry, 47(6), 267–283. https://doi.org/10.48044/jauf.2021.023

Li, H., Zhang, X., Li, Z.; Wen, J., Tan, X. (2022) **A Review of Research on Tree Risk Assessment Methods**. Forests,13, 1556. https://doi.org/10.3390/f13101556

Lima, B. V., Amaral, R. D. A. M., Souza, C. A., Longo, M. H. C. (2023). **Perception about urban forest and its influence on well-being in workplaces**. Ambiente & Sociedade, 26, e02201. https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0220r1vu2023L3OA

Locosselli, G. M., Miyahara, A. A. L., Cerqueira, P., Buckeridge, M. S. (2021). **Climate drivers of tree fall on the streets of São Paulo, Brazil.** Trees, 35, 1807-1815. doi:10.1007/s00468-021-02145-4

Mattheck, C., Breloer, R. C. (1997). **The body language of trees: a handbook for failure analysis**. Stationery Office.

Ministério do Trabalho e Emprego (2012). **NR 35: Trabalho em altura (Portaria SIT nº 313, de 23 de março de 2012 27/03/12)**.

Planetary Health Alliance. (2022, 03 de março). **Saúde Planetária**. https://www.planetaryhealthalliance.org/planetary-health.

Portaria MMA n° 148, de 7 de junho de 2022. (2022, de 07 de junho). **Altera os Anexos da Portaria nº 443, de 17 de dezembro de 2014, da Portaria nº 444, de 17 de dezembro de 2014, e da Portaria nº 445, de 17 de dezembro de 2014, referentes à atualização da Lista Nacional de Espécies Ameaçadas de Extinção**. Presidência da República.

Pradella, D. Z. A., Silva, J. W. F., Nisi, T. C. C. (2015). **Cadernos de educação ambiental 21 - arborização urbana**. Governo do Estado de São Paulo.

Resolução SMA nº 57 de 05 de junho de 2016. (2016, 05 de junho). **Publica a segunda revisão da lista oficial das espécies da flora ameaçadas de extinção no Estado de São Paulo**. Diário Oficial do Estado de São Paulo, 126(120), 55-57.

Roman, L. A. *et al.* (2022). **Construction and proactive management led to tree removals on an urban college campus**. Forests, 13(6), 871.

Sales, A., Candian, M. (2012). **Árvores urbanas: técnicas não-destrutivas para o manejo e planejamento**. Congresso PLURIS2012 – Reabilitar o Urbano – Paranoá 6. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.

Secretaria Estadual do Meio Ambiente de São Paulo (1988). **Vegetação Significativa do Município de São Paulo.**

Silva, J. M. (2012). **Floresta urbana: síndrome de dispersão e grupos ecológicos de espécies do sub-bosque.** Boletim de Geografia, 31, 135-144.

Spassapan, R. P., Souza, C. A. (2022). **Proposta de protocolo para avaliação de eucaliptais em ambientes urbanos para fins de manejo**. Resumo expandido do nono Congresso Florestal Brasileiro (pp. 1-4), Brasília, DF.

Universidade de São Paulo. Planetary Health Alliance (2021, 10 de outubro). **Declaração de São Paulo sobre Saúde Planetária**. https://drive.google.com/file/d/1M__7cuGJu9D7Hg_j3tlgkxPlR9-0428d/view

Velasco, G. D. N. (2003). A**rborização viária x sistemas de distribuição de energia elétrica: avaliação dos custos, estudo das podas e levantamento de problemas fitotécnicos**. [Dissertação de Mestrado]. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

Viríssimo, D. B., Russo, M. C., Machado, M. C., Brazolin, S., Amaral, R. D. A. M., Yojo, T. (2013). **Patente: Arbio - Programa de Computador**. (BR patente nº BR512013001323-2).

Vogt, J. (2024). **A comprehensive framework for understanding urban forests as social-ecological systems**. Arboriculture & Urban Forestry, 50(6), 427-469. https://doi.org/10.48044/jauf.2024.021

Wang D, Xu P-Y, An B-W and Guo Q-P (2024). **Urban green infrastructure: bridging biodiversity conservation and sustainable urban development through adaptive management approach**. Front. Ecol. Evol. 12:1440477. doi: 10.3389/fevo.2024.1440477

Woodward, A.; Hinwood, A.; Bennett, D.; Grear, B.; Vardoulakis, S.; Lalchandani, N.; Lyne, K.; Williams, C. (2023). **Trees, Climate Change, and Health: An Urban Planning, Greening and Implementation Perspective**. Int. J. Environ. Res. Public Health, 20, 6798. https:// doi.org/10.3390/ijerph20186798

World Meteorological Organization. (2019). **Beaufort scale of wind force**. WMO. https://community.wmo.int/en/activity-areas/wmo-beaufort-scale

World Meteorological Organization. (2018). **Guide to Instruments and Methods of Observation**. (pp. 548-57).

Ziller, S. R. (2005). Espécies exóticas da flora invasoras em Unidades de Conservação. In J. B. Campos, M. de G. P. Tossulino, C. R. C. Müller. **Unidades de Conservação: ações para valorização da biodiversidade (pp. 34-52)**. Instituto Ambiental do Paraná.

XXXXXXXXXXXXXXXX