



utad

UNIVERSIDADE
DE TRÁS-OS-MONTES
E ALTO DOURO

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO INTERNACIONAL EM FLORESTAS URBANAS

KENER DE OLIVEIRA ASSIS

**BENEFÍCIOS ECOSISTÊMICOS DAS FLORESTAS URBANAS: VIABILIDADE DE
APLICAÇÃO DO MODELO I-TREE ECO NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO – RJ.**

SEROPÉDICA
2025





KENER DE OLIVEIRA ASSIS

BENEFÍCIOS ECOSSISTÊMICOS DAS FLORESTAS URBANAS: VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DO MODELO I-TREE ECO NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO – RJ.

Monografia apresentada ao programa de Pós-Graduação Internacional em Florestas Urbanas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), como requisito parcial para a obtenção do grau de Especialista em Floresta Urbana.

Orientador: Prof. Dr. João Vicente de Figueiredo Latorraca.

Coorientador: Prof. Dr. Luís Miguel Ferreira Pontes Martins.

SEROPÉDICA
2025

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

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

A848b ASSIS, Kener de Oliveira , 1966-
 BENEFÍCIOS ECOSSISTÊMICOS DAS FLORESTAS URBANAS:
VIABILIDADE DE APLICAÇÃO DO MODELO i-Tree Eco NA
CIDADE DO RIO DE JANEIRO - RJ - BRASIL. / Kener de
Oliveira ASSIS. - Seropédica - RJ, 2025.
57 f.: il.

 Orientador: João Vicente de Figueiredo Latorraca.
 Coorientador: Luís Miguel Ferreira Pontes Martins.
 Monografia(Especialização). -- Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, PÓS-GRADUAÇÃO INTERNACIONAL
EM FLORESTA URBANA (Lato sensu), 2025.

 1. i-Tree Eco. 2. Benefícios ecossistêmicos. 3.
Gestão das florestas urbanas. 4. Planejamento urbano
sustentável. 5. Mudanças climáticas. I. Latorraca,
João Vicente de Figueiredo, 1962-, orient. II.
Martins, Luís Miguel Ferreira Pontes, 1968-, coorient.
III Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. PÓS
GRADUAÇÃO INTERNACIONAL EM FLORESTA URBANA (Lato
sensu). IV. Título.

É permitida a cópia parcial ou total desta TFC/Dissertação/Tese, desde que seja citada a
fonte

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO INTERNACIONAL EM FLORESTAS URBANAS**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO**

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO INTERNACIONAL EM FLORESTA URBANA (*Lato sensu*)

Termo de aprovação da defesa de Monografia de KENER DE OLIVEIRA ASSIS.

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista em Floresta Urbana, no Curso de Pós-Graduação Internacional em Floresta Urbana (*Lato sensu*) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e Universidade Trás-os-Montes e Alto Douro.

MONOGRAFIA APROVADA EM 19/11/2025



Documento assinado digitalmente

JOAO VICENTE DE FIGUEIREDO LATORRACA

Data: 23/11/2025 18:38:00-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

JOAO VICENTE DE FIGUEIREDO LATORRACA

Assinado por: **LUÍS MIGUEL FERREIRA PONTES
MARTINS**

Num. de Identificação: 08121132

Data: 2025.11.24 00:24:15+00'00'

LUIS MIGUEL FERREIRA PONTES MARTINS



Documento assinado digitalmente

GLAYCIANNE CHRISTINE VIEIRA DOS SANTOS A'

Data: 23/11/2025 18:15:41-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

GLAYCIANNE CHRISTINE VIEIRA DOS SANTOS ATAIDE

KENER DE OLIVEIRA ASSIS

**BENEFÍCIOS ECOSSISTÊMICOS DAS FLORESTAS URBANAS: VIABILIDADE DE
APLICAÇÃO DO MODELO I-TREE ECO NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO – RJ.**

Trabalho Final de Curso submetido como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista em Floresta Urbana no Programa de Pós-Graduação Internacional em Florestas Urbanas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD).

Trabalho Final de Curso aprovado em 19 de novembro de 2025.

BANCA EXAMINADORA:

JOÃO VICENTE DE FIGUEIREDO LATORRACA
Orientador – UFRRJ

LUÍS MIGUEL FERREIRA PONTES MARTINS
Membro externo – UTAD

GLAYCIANNE CHRISTINE VIEIRA DOS SANTOS ATAÍDE
Membro externo – UFES

A Deus e seus propósitos, pela força e sabedoria que me sustentam na escassez ou na abundância. “Tudo posso naquEle que me fortalece.” (Filipenses 4:13).

Aos meus pais, Aldejar e Marilúcia, *in memoriam*, por nunca terem medido esforços para me proporcionar um ensino de qualidade e bases que permitiram me tornar a pessoa que sou hoje.

A minha esposa, Christiane Lemos, pelo companheirismo, participação e parceria ao longo do caminho.

Aos meus filhos, Bruna e Ramon, e netos João Guilherme, Miguel e Artur, por me inspirar a demonstrar que a educação é transformadora, e que informação e conhecimento movem o planeta.

Ao meu orientador Prof. João Vicente de Figueiredo Latorraca (UFRRJ) e coorientador Prof. Luís Miguel Ferreira Pontes Martins (UTAD), que conduziram o trabalho com paciência e dedicação, sempre disponíveis a compartilhar seus vastos conhecimentos.

Ao interesse público e ao meio ambiente, maiores motivadores desse estudo na busca de melhorias.

À minha cidade do Rio de Janeiro e seus gestores, que possam ter a oportunidade de receber e ampliar a aplicação desse trabalho.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Aos Prof. João Vicente de Figueiredo Latorraca (UFRRJ), Prof. Luís Miguel Ferreira Pontes Martins (UTAD) e Prof.^a Glaycianne Christine Vieira dos Santos Ataíde (UFES), por suas valorosas orientações, esclarecimentos e contribuições, os meus sinceros agradecimentos.

Ao corpo docente da UFRRJ e da UTAD, que me forneceram todas as bases necessárias para a realização deste trabalho, agradeço com profunda admiração.

Aos colegas de turma, UFRRJ e UTAD, pela valorosa troca de experiências, debates e interação Brasil-Portugal.

À Companhia Municipal de Limpeza Urbana – COMLURB, da cidade do Rio de Janeiro, por intermédio de sua Diretoria de Serviços Urbanos – DSU e seu diretor Renato Rodrigues. À Coordenadoria de Manejo Arbóreo – UCV e seu então Coordenador Luiz Augusto Argollo Affonso Martins Costa. Aos Engenheiros Florestais Marcello Deschamps e Rômulo Giácomo, meus agradecimentos pela interação e disponibilização dos dados que contribuíram para o estudo apresentado.

Ao Engº Florestal Celso Junius, que em momento oportuno (2017) me despertou para o tema “manejo arbóreo”, hoje ampliado no escopo desta pesquisa.

Ao New York City Department of Parks & Recreation (NYC Parks), por ser a origem motivadora do interesse pelo tema e sua aplicação, por disponibilizar dados e informações na aplicação do modelo i-Tree Eco.

*“Em todas as coisas da natureza existe algo
de maravilhoso.”*
(Aristóteles)

RESUMO

ASSIS, Kener de Oliveira **Benefícios ecossistêmicos das florestas urbanas: viabilidade de aplicação do modelo i-tree eco na cidade do Rio de Janeiro – RJ – Brasil 2025. 57p** Trabalho Final de Curso de Especialização em Florestas Urbanas - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Seropédica, 2025, Monografia.

“As árvores cuidam de nós, então cuidemos delas!”

Kener Assis

“As árvores cuidam de nós, então cuidemos delas!” A compreensão e quantificação dos benefícios ecossistêmicos fornecidos pela arborização urbana são essenciais para o planejamento ambiental das cidades, permitindo decisões mais eficazes na gestão dos recursos naturais e na promoção de ambientes urbanos resilientes. Em um cenário marcado pelas mudanças climáticas, essa abordagem torna-se fundamental para a adaptação das cidades e para o fortalecimento da infraestrutura verde. O objetivo deste estudo foi avaliar a composição e estimar os benefícios ecossistêmicos da vegetação urbana no bairro Grajaú, na cidade do Rio de Janeiro, ressaltando a importância e a necessidade de se dispor de um inventário arbóreo completo e atualizado da cidade. A pesquisa analisou o potencial da metodologia i-Tree Eco adaptada, amplamente utilizada e validada na cidade de Nova York (EUA), ao contexto urbano e ambiental da cidade do Rio de Janeiro (Brasil). Como área de referência e estudo foi utilizado o bairro Grajaú, localizado na zona norte da cidade, que apresenta dados inventariados de forma integral, disponibilizados pelo aplicativo ArboRio desenvolvido pela Companhia Municipal de Limpeza Urbana – Comlurb. No total, foram identificados e selecionados 2.647 indivíduos (árvores, arbustos e palmeiras) com atributos válidos e informações quali-quantitativas detalhadas. A partir dos dados dendrométricos desses indivíduos selecionados, foram estimados, entre outros, benefícios ecossistêmicos como os relativos ao sequestro e armazenamento de carbono, produção de oxigênio e escoamento superficial evitado, com base nos cálculos da plataforma i-Tree Eco v6.0.38. A espécie *Terminalia catappa* destacou-se pela elevada representatividade e contribuição ecológica. Os resultados demonstraram que a arborização urbana do Grajaú foi responsável por evitar cerca de 47,6 m³/ano de escoamento superficial, sequestrar 58,84 t/ano de carbono e armazenar 1.907,1 t de carbono, evidenciando o papel estratégico da arborização na mitigação de impactos ambientais. Conclui-se que a metodologia i-Tree Eco é tecnicamente viável para o contexto carioca, desde que adaptada às

variáveis locais. O estudo reforça a urgência em se obter um inventário arbóreo abrangente para toda a cidade do Rio de Janeiro e demonstra o potencial do modelo como ferramenta de suporte à formulação de políticas públicas de arborização, mitigação climática e gestão inteligente da floresta urbana objetivando o interesse público.

Palavras-chave: gestão da floresta urbana; Inventário arbóreo; benefícios ecossistêmicos; mudanças climáticas; políticas públicas.

ABSTRACT

ASSIS, Kener de Oliveira **Ecosystem benefits of urban forests: feasibility of applying the i-tree eco model in the city of Rio de Janeiro. – RJ – Brazil 2025. 57p** Final Project for the Specialization Course in Urban Forests - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Seropédica, 2025, Monograph.

“Trees take care of us, so let’s take care of them!” Understanding and quantifying the ecosystem benefits provided by urban forestry are essential for urban environmental planning, enabling more effective decisions in the management of natural resources and the promotion of resilient urban environments. In a scenario marked by climate change, this approach becomes fundamental for the adaptation of cities and the strengthening of green infrastructure. The objective of this study was to evaluate the composition and estimate the ecosystem benefits of urban vegetation in the Grajaú neighborhood, in the city of Rio de Janeiro, highlighting the importance and need for a complete and up-to-date tree inventory of the city. The research analyzed the potential adaptation of the i-Tree Eco methodology, widely used and validated in New York City (USA), to the urban and environmental context of Rio de Janeiro (Brazil). The Grajaú neighborhood, located in the northern zone of Rio de Janeiro, was used as a reference and study area. This neighborhood has comprehensive inventory data available through the ArboRio application developed by the Municipal Urban Cleaning Company (COMLURB). A total of 2,647 individuals (trees, shrubs, and palms) with valid attributes and detailed qualitative and quantitative information were identified and selected. From this data, ecosystem benefits such as carbon sequestration and storage, oxygen production, and avoided runoff were estimated, based on calculations from the i-Tree Eco v6.0.38 platform. The *Terminalia catappa* species stood out for its high representativeness and ecological contribution. The results showed that the Grajaú urban forest was responsible for preventing approximately 47.6 m³/year of runoff, sequestering 58.84 t/year of carbon, and storing 1,907.1 t of carbon, highlighting the strategic role of urban afforestation in mitigating environmental impacts. The conclusion is that the i-Tree Eco methodology is technically feasible for the Rio de Janeiro context, provided it is adapted to local variables. The study reinforces the urgency of obtaining a comprehensive tree inventory for the entire city of Rio de Janeiro and demonstrates the model's potential as a tool to support the formulation of public policies on afforestation, climate mitigation, and smart urban forest management, aiming at the public interest.

Keywords: urban forest management; tree inventory; ecosystem benefits; climate change, public policies.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Comparativo de inventário realizado por censo ou amostragem, elaborado pelo autor.	5
Figura 2 – Número de ondas de calor nas principais cidades das 5 regiões do Brasil.	9
Figura 3 - Ausência de arborização no entorno do Estádio Olímpico Newton Santos (Engenhão).	12
Figura 4 - Exposição dos fãs ao sol por longas horas.	12
Figura 5 - O casal Lindaci da Silva Vieira, 68 anos, e Valter Vieira, 73, no ponto de ônibus sem nenhuma cobertura na Av. Vinte e Quatro de Maio, junto a Estação do Méier.	13
Figura 6 - Idosa busca sombra de poste para fugir do sol em ponto de ônibus na Av. Vinte e Quatro de Maio, junto a Estação do Méier.	13
Figura 7 - Arlete Freitas, 81 anos, sofre de calor com a falta de ar condicionado na linha de ônibus 679.	14
Figura 8 - O casal Lindaci da Silva Vieira, 68 anos, e Valter Vieira, 73, no ponto de ônibus sem nenhuma cobertura na Av. Vinte e Quatro de Maio, junto a Estação do Méier.	14
Figura 9 - Mapa de estimativa de densidade, com localizações geográficas dos roubos (A) e das árvores (B) da cidade de Lavras – MG	17
Figura 10 – Página do mapa de localização das árvores da floresta urbana New York City Tree Map.	22
Figura 11 – Estatística do total de árvores e quantidade de espécies da floresta urbana da cidade de Nova York.	23
Figura 12 – Benefícios ecossistêmicos da floresta urbana da cidade de Nova York.	23
Figura 13 – Veículo de varredura LiDAR (Light Detection and Ranging).	23
Figura 14 – Imagem 3D após varredura LiDAR (Light Detection and Ranging).	23

Figura 15 – O i-Tree Tools.	24
Figura 16 – Fluxo de entrada e saída de dados do modelo i-Tree Eco .	25
Figura 17 – Número de usuários em países que utilizam o modelo i-Tree Eco.	26
Figura 18 – Censo arbóreo do bairro Grajaú – Rio de Janeiro.	28
Figuras 19 e 20 – Estação meteorológica Santos Dumont.	29
Figura 21 – Configuração “Project Settings” (configurações do projeto).	30
Figura 22 – “Location” (localização do projeto).	30
Figura 23 – “Weather & Pollution” – dados de clima e poluição da estação meteorológica utilizada.	30
Figura 24 - “Data Collections Options” – opções de dados de coleta para o resultado.	30
Figura 25 - Plataforma i-Tree Eco v6.0.38	31
Figura 26 - Inserção de dados na plataforma i-Tree Eco v6.0.38.	31
Figura 27 - Inserção de dados na plataforma i-Tree Eco v6.0.38.	32
Figura 28 - Confirmação de recebimento do projeto na plataforma i-Tree Eco v6.0.38.	32
Figura 29 – E-mail de confirmação para acesso aos resultados, após processamento pela plataforma i-Tree Eco v6.0.38.	33
Figura 30 - Localização espacial das árvores do Censo arbóreo do bairro Grajaú, Rio de Janeiro (Comlurb 2016). Mapa OpenStreetMap elaborado pelo autor.	34
Figuras 31, 32, 33 e 34 - Dados dendrométricos e de benefícios ecossistêmicos da árvore ID 19697.	35
Figura 35 – Composição de DAP da floresta urbana do bairro Grajau.	37

Figura 36 - Remoção de poluentes pelas árvores do bairro Grajaú – Rio de Janeiro – RJ.	39
Figura 37 – Espécies com maiores volumes de carbono estocado no bairro Grajaú.	41
Figura 38 – Espécies que mais sequestraram carbono no bairro Grajaú.	42
Figura 39 – Espécies que mais contribuíram na interceptação das águas das chuvas e na diminuição do escoamento superficial do bairro Grajaú – Rio de Janeiro – RJ.	45

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Espécies de maior incidência na floresta urbana do bairro Grajaú, Rio de Janeiro.	36
Tabela 2 - Espécies de maior área foliar na floresta urbana do bairro Grajaú .	38
Tabela 3 - Remoção de poluentes pelas árvores do bairro Grajaú – Rio de Janeiro – RJ.	40
Tabela 4 - Espécies com maior produção de oxigênio no bairro Grajaú – Rio de Janeiro – RJ.	43
Tabela 5 - Volumes estimados de água das chuvas interceptada e de escoamento superficial evitado pelas árvores do bairro Grajaú – Rio de Janeiro – RJ.	44
Tabela 6 - Espécies que mais contribuíram por área foliar, e volumes de interceptação das águas das chuvas e da diminuição do escoamento superficial do bairro Grajaú – Rio de Janeiro – RJ.	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 - Objetivo geral	2
1.2 - Objetivos específicos	2
2 REVISÃO DA LITERATURA	3
2.1 Arborização Urbana	3
2.2 Floresta Urbana	4
2.3 Inventário da Floresta Urbana	4
2.4 Arborização na Cidade do Rio de Janeiro	5
2.4.1 Breve história	5
2.4.2 Legislação	7
2.4.3 Regulamentações – tombamento e imunidade ao corte	7
2.5 Benefícios ecológicos	8
2.5.1 Impactos da floresta urbana na saúde – clima e poluentes	9
2.5.2 "Projeto PIPA" – A Importância da Arborização Urbana na Saúde Infantil	10
2.5.3 Exaustão térmica	11
2.5.4 A Vulnerabilidade dos Idosos ao Calor na Zona Norte do Rio de Janeiro	13
2.5.5 Ansiedade Climática, ou Ecoansiedade, e Solastalgia no Contexto Urbano do Rio de Janeiro	15
2.5.6 Impactos socioeconômicos	15
2.5.7 Comparativos socioambientais: bairros Grajaú, Irajá e Bangu	17
2.6 - Os Planos que norteiam a Cidade do Rio de Janeiro e os compromissos assumidos	19

2.6.1 Os Planos	19
2.6.2 Os compromissos assumidos	29
2.7 O exemplo da cidade de Nova York	22
2.7.1 A Tecnologia i-Tree Tools	24
2.7.2 O i-Tree Eco	24
2.7.3 Utilização Global	26
3 METODOLOGIA	26
3.1 Área de estudo	26
3.1.1 O bairro Grajaú na cidade do Rio de Janeiro	26
3.1.2 Perfil arbóreo do bairro Grajaú	27
3.1.3 Submissão dos dados no i-Tree Eco	28
3.1.4 Localização espacial das árvores do bairro Grajaú	33
3.1.5 Os benefícios ecossistêmicos	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1 Relatórios	36
4.1.1 Composição e estrutura dos vegetais do bairro Grajaú conforme o modelo i-Tree Eco	36
4.1.2 Área foliar e área de copa (m ²)	38
4.1.3 Remoção de Poluentes	39
4.1.4 Estoque de Carbono (C)	40
4.1.5 Sequestro de Dióxido de Carbono (CO ₂)	41
4.1.6 Produção de Oxigênio	42
4.1.7 Escoamento Superficial evitado	43

5 CONCLUSÕES	46
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES DA PESQUISA	46
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
8 ANEXOS	54
Anexo 8.1 - Avaliações e atributos dos vegetais do censo arbóreo realizado no bairro Grajaú, pela Cia. Municipal de Limpeza Urbana - COMLURB (<u>colunas 1 a 17</u>).	54
Anexo 8.2 - Avaliações e atributos dos vegetais do censo arbóreo realizado no bairro Grajaú, pela Cia. Municipal de Limpeza Urbana - COMLURB (<u>colunas 18 a 31</u>).	55
Anexo 8.3 - Avaliações e atributos dos vegetais do censo arbóreo realizado no bairro Grajaú, pela Cia. Municipal de Limpeza Urbana - COMLURB (<u>colunas 32 a 44</u>).	56
Anexo 8.4 - Legendas das avaliações e dos atributos dos vegetais do censo arbóreo realizado pela Cia. Municipal de Limpeza Urbana – COMLURB.	57

1 – INTRODUÇÃO

As florestas urbanas têm se consolidado como elementos fundamentais para o equilíbrio ambiental e social das cidades contemporâneas. Elas exercem funções que vão muito além da dimensão estética, atuando na regulação climática, na melhoria da qualidade do ar, no sequestro de carbono, na drenagem urbana e na promoção do bem-estar humano (NOWAK; DWYER, 2007). Com o crescimento acelerado dos centros urbanos e a intensificação dos efeitos das mudanças climáticas, torna-se cada vez mais urgente reconhecer, quantificar e planejar esses benefícios ecossistêmicos de forma estratégica (GÓMEZ-BAGGETHUN et al., 2013).

Historicamente, a arborização urbana no Brasil foi tratada de maneira mais ornamental do que funcional, com foco principal na estética das cidades e na valorização de espaços públicos (LOBODA; ANGELIS, 2005). No entanto, nas últimas décadas, tem havido um avanço significativo no entendimento do papel ecológico das árvores urbanas, impulsionando novas abordagens de planejamento ambiental urbano. Nos Estados Unidos, um dos marcos importantes nesse processo foi o desenvolvimento da plataforma i-Tree Eco, criada pelo Serviço Florestal dos Estados Unidos (USDA Forest Service) no final dos anos 1990, inicialmente para apoiar inventários urbanos e estimativas de serviços ambientais (NOWAK; CRANE; STEVENS, 2001). Cidades como Nova York adotaram a ferramenta como parte de suas políticas públicas, integrando-a a programas de manejo da floresta urbana e de mitigação climática, o que permitiu gerar dados consistentes para orientar investimentos e estratégias de conservação (MCPHERSON et al., 2016).

No Brasil, embora existam avanços no campo da arborização urbana, ainda há lacunas significativas no uso de metodologias padronizadas e ferramentas tecnológicas avançadas para apoiar decisões de gestão. A cidade do Rio de Janeiro, por sua diversidade socioambiental e desafios específicos relacionados à densidade urbana como ilhas de calor e desigualdade territorial, representa um campo promissor para a aplicação do modelo i-Tree Eco. A possibilidade de adaptar uma metodologia consolidada internacionalmente para um contexto tropical carioca urbano é não apenas um desafio técnico, mas também uma oportunidade para fortalecer políticas públicas e práticas de gestão baseadas em evidências.

A justificativa deste estudo se baseia, portanto, na necessidade de avaliar a viabilidade de aplicação do modelo i-Tree Eco no bairro do Grajaú, área de estudo localizada na zona norte da Cidade do Rio de Janeiro, tomando como referência a experiência bem-sucedida da cidade de Nova York. A utilização da ferramenta i-Tree Eco pode contribuir para gerar diagnósticos mais precisos sobre os benefícios ecossistêmicos obtidos pela arborização urbana carioca,

fornecendo subsídios técnicos para ações de planejamento, manejo e conservação que dialoguem com os desafios locais.

A pesquisa parte de três hipóteses principais: 1 – de que o modelo i-Tree Eco é aplicável à realidade carioca, com os devidos ajustes metodológicos; 2 – que quantificar os benefícios ecossistêmicos pode fortalecer políticas públicas e estratégias de arborização urbana na cidade do Rio de Janeiro; e 3 – que os dados obtidos com a ferramenta i-Tree Eco podem evidenciar e contribuir para a valorização da floresta urbana como infraestrutura verde essencial às cidades.

Assim, busca-se neste estudo evidenciar e analisar os benefícios ecossistêmicos gerados pela floresta urbana do bairro Grajaú, na zona norte da Cidade do Rio de Janeiro, por meio da aplicação do modelo i-Tree Eco, tomando como referência o caso da cidade de Nova York.

Ao final, espera-se que os resultados desta pesquisa contribuam para fortalecer o planejamento da arborização urbana da cidade, destacando metas da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro em seus planos diretores e compromissos nacionais e internacionais assumidos, integrando ciência, tecnologia e gestão pública, com foco no atendimento ao interesse público, promovendo ações para que a cidade seja mais resilientes, saudável e ambientalmente equilibrada.

1.1 – Objetivo geral

Analisar a viabilidade de aplicação do modelo i-Tree Eco de avaliação de benefícios ecossistêmicos utilizado em Nova York - EUA, na cidade do Rio de Janeiro, com foco nos benefícios ambientais, sociais e econômicos da floresta urbana da cidade.

1.2 – Objetivos específicos

1.2.1 – Avaliar os métodos e resultados obtidos com o modelo i-Tree Eco em Nova York;

1.2.2 – Levantar e analisar dados utilizando como referência o inventário disponível no bairro Grajaú, na zona norte da cidade com o propósito de servir de base para o i-Tree Eco;

1.2.3 – Identificar, através dos dados obtidos com o modelo i-Tree Eco, os principais benefícios ecossistêmicos da floresta urbana do bairro Grajaú, da cidade do Rio de Janeiro;

1.2.4 - Propor aprofundamento da análise, evidenciando a necessidade e importância de se elaborar um inventário arbóreo completo da cidade como ferramenta de gestão, tornando

possível adaptar e ampliar o modelo i-Tree Eco de Nova York na avaliação dos benefícios ecossistêmicos da floresta urbana da Cidade do Rio de Janeiro, alinhados aos objetivos de políticas públicas da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro – PCRJ, e nos compromissos nacionais e internacionais assumidos;

1.2.5 – Evidenciar oportunidades do modelo i-Tree Eco, objetivando ampliar a resiliência da Cidade do Rio de Janeiro frente a redução de poluentes no ar, a diminuição dos efeitos “ilhas de calor”, a redução do escoamento superficial das águas das chuvas e as mudanças climáticas.

2 – REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Arborização Urbana

No Brasil o termo “Arborização Urbana” foi originado do conceito norte americano de “Urban Forest” (Floresta Urbana), porém os conceitos Arborização urbana e Floresta urbana dividem opiniões a respeito de sua aplicação (MAGALHAES, 2017). Assim, o termo foi adotado como sinônimo de arboricultura, ou seja, para indicar a ação de plantar árvores em vias públicas e ambientes urbanos (MAGALHÃES, 2006 apud DUARTE et al., 2018), desvinculando-se do conceito original norte-americano de “Urban Forest”, mais amplo e abrangente.

Para alguns autores, o conceito de “Urban Forest” pode ser compreendido como qualquer forma de vegetação, dentro das cidades, seja ela em grupos ou isoladas, o que abrangeria, ruas, avenidas, unidades de conservação e qualquer outro espaço com a presença de um indivíduo arbóreo (MILLER, 1997). Entretanto essa visão foi vista com pessimismo por alguns, por não concordarem com a ideia de que árvores isoladas poderiam ser consideradas como florestas, o que acarretaria problemas em relação a gestão desses espaços. A verdade é que o termo “Arborização urbana” passou a ser distinto do termo “Florestas urbanas” e ficou mais relacionado com o termo “Arboricultura” (MAGALHÃES, 2017), ciência que envolve o estudo, cultivo, e manejo das árvores.

2.2 Floresta Urbana

O processo de conceituação e padronização internacional da terminologia “floresta urbana” foi observada pela primeira vez nos Estados Unidos em 1894, e ressurgiu na década de 1960 ganhando nova relevância e um sentido mais abrangente, como uma resposta a desafios ambientais e sociais mais complexos, adotando uma visão mais interdisciplinar a partir da metade do século XX (LIMA et al, 2022).

Segundo a definição de Moll (1995), o conceito de “floresta urbana” não se limita apenas à presença de árvores em cidades, mas abrange toda a cobertura arbóreo-arbustiva dentro do perímetro urbano e nas suas proximidades.

Conforme o Departamento de Parques de Nova Iorque – NYC Parks (NYC PARKS, s.d.), floresta urbana é um ecossistema distinto e integrado, composto por árvores, vegetação e outros elementos naturais, dentro de uma área urbana ou metropolitana, em terras públicas e privadas, como parques, ruas, quintais, praças e jardins. Em outras palavras, é o conjunto de árvores e outros elementos naturais que compõem a paisagem verde de uma cidade (NYC PARKS, s.d., seção “Trees”).

Para a plataforma i-Tree Eco, floresta urbana é o conjunto de árvores e vegetação presente no ambiente urbano, incluindo parques, praças, ruas arborizadas, áreas privadas e até mesmo remanescentes florestais urbanos. O conceito vai além de uma simples coleção de árvores, abrangendo a interação entre a vegetação, o solo, a água e a influência humana, considerando seus benefícios e importância para a qualidade de vida nas cidades.

Assim, e considerando a evolução e abrangência do entendimento, o termo “floresta urbana” faz prevalecer o todo, onde a arborização urbana está inserida.

2.3 Inventário da Floresta Urbana

Hush et al. (1993) definem inventário florestal como um procedimento para obter informações sobre quantidade e qualidade dos recursos florestais e de muitas características sobre as quais as árvores estão crescendo.

O Inventário Florestal pode ser realizado por meio do [censo \(inventário 100%\)](#) ou por amostragem. Em síntese, o censo consiste na mensuração de todos os indivíduos de um povoamento florestal e, recomenda-se o seu uso para pequenas áreas florestadas ou com poucos indivíduos.

Assim, para obtenção de um inventário da arborização da cidade do Rio de Janeiro não é indicada a opção por amostragem, uma vez que se deseja ter o conhecimento detalhado de cada árvore (Figura 1). Define-se então como ideal a execução de censos arbóreos contínuos, por área/região/bairro, até que se tenha cobertura total da área do município, por fornecer um panorama completo e preciso da população de árvores, incluindo a localização exata de cada indivíduo, permitindo uma gestão eficiente com o planejamento de manejo imediato, por risco envolvido, ou a longo prazo.

Como exemplo, durante o censo arbóreo em 1995, na cidade de Nova York, foram identificadas mais de 10.000 árvores mortas ou com estado fitossanitário deficitário, sendo possível implementar um planejamento emergencial de poda e remoção rápida em um prazo de até 30 dias, fato que sem o censo realizado não seria possível ser verificado, o que demonstra a extrema importância e relevância de o inventário por censo arbóreo (NYC Parks, 2024).

INVENTÁRIO ARBÓREO		
Comparativo entre censo e amostragem		
Característica	Censo	Amostragem
Principal objetivo	Conhecimento detalhado e localização de cada árvore	Obtenção de estimativas representativas para toda a área
Escopo	100% da população	Fração representativa da população
Custo	Maior	Menor
Tempo	Maior	Menor
Precisão	Total (parâmetros populacionais)	Estatística (estimativas com margem de erro)
Área ideal	Pequenas e com baixo número de indivíduos	Grandes e/ou heterogêneas

Figura 1 – Comparativo de inventário realizado por censo ou amostragem, elaborado pelo autor.

2.4 Arborização na Cidade do Rio de Janeiro

2.4.1 Breve história

A história da arborização urbana iniciou seu desenvolvimento e evolução por volta do século XV na Europa, onde tornou-se comum em meados do século XVII. Nesta época foram criados na Europa passeios com muitas flores, conhecidas como “passeio ajardinado” (SEGAWA, 1996). No Brasil no início do século XVII, no período da ocupação holandesa, o estado de Pernambuco foi o primeiro que dispôs de manifestações paisagísticas e de arborização

no país, a partir da obra do príncipe Maurício de Nassau (LOBODA; DE ANGELIS, 2005).

Um dos primeiros fatos significativos relativos à arborização ocorreu no fim do período colonial, em 1783, quando o Rio ainda era a capital do vice-reino, a criação do Jardim do Passeio Público. Um dos primeiros jardins públicos construídos no Brasil, vinha atender a demanda de melhorias da cidade em expansão e suprir a inexistência de espaços de lazer para a população. O espaço foi implantado a mando do vice-rei Dom Luís de Vasconcelos, sobre o aterro da Lagoa do Boqueirão da Ajuda. Neste projeto de autoria de Valentim da Fonseca e Silva, o Mestre Valentim, foi realizado o plantio das árvores e palmeiras de maneira simétrica e formal, e utilizou muitas espécies exóticas, principalmente frutíferas, como mangueira (*Mangifera indica* L.), jaqueira (*Artocarpus heterophyllus* Lam.), fruta-pão (*Artocarpus altilis* (Parkinson ex F. A. Zorn) Fosberg), jambo-rosa (*Suzygium malaccense* (L.) Merr. E L. M. Penny), tamarindeiro (*Tamarindus indica* L.), alguns pinheiros (*Pinus* sp), dentre outras (PDAU 2015).

Com a vinda de D. João VI para o Brasil, que tinha interesse pessoal no cultivo de plantas e especialmente na difusão de especiarias no país, foi criado o Real Horto em 1808. O atual Jardim Botânico do Rio de Janeiro tinha como finalidade a aclimação e cultivo das plantas e sementes trazidas por naturalistas, navegantes e militares. De acordo com os costumes da época, a formação de coleções constituídas por plantas estrangeiras era muito valorizada. Muitas dessas espécies provenientes do Real Horto passaram, então, a compor os quintais e jardins por todo o Brasil (PDAU2015).

Em 1860, chegou ao Brasil o arquiteto francês Auguste Marie Glaziou, contratado por D. Pedro II, na condição de Diretor dos Parques e Jardins da Casa Imperial. Sua principal atribuição foi a reforma do Passeio Público do Rio de Janeiro, seguida pelos projetos dos jardins do Campo de Santana e da Quinta da Boa Vista e a quase totalidade das ruas e praças abertas na época. Em 1882, a Diretoria de Obras Municipais da Corte normatizou a arborização das ruas Bambina e D. Carlota em Botafogo, São Cristóvão e Figueira de Mello em São Cristóvão e Haddock Lobo na Tijuca (MILANO & DALCIN, 2000).

A partir do século XX, no Rio de Janeiro, capital da República, é iniciada uma grande transformação urbana com a intenção de transformar a cidade colonial em cidade moderna.

Em 1903 o prefeito engenheiro Francisco Pereira Passos inicia a implantação de grandes avenidas, largas e arejadas, com áreas de praças, jardins públicos, chafarizes e monumentos com abundante arborização (Ainbinder & Várzea 2005 apud PDAU 2015).

2.4.2 Legislação

Através da Lei nº 1419 de 11.07.1989, o extinto Departamento de Parques da Secretaria Municipal de Obras, que tinha como atribuições a implantação e conservação de parques e praças, monumentos, chafarizes, entre outras, transformou-se em Fundação Parques e Jardins.

Com a criação da Secretaria Municipal de Meio Ambiente em 1993, a Fundação Parques e Jardins passa a integrá-la, assumindo novas responsabilidades relacionadas à conservação do patrimônio ambiental urbano do Rio de Janeiro, sendo responsável pela administração dos parques, planejamento, paisagismo, projetos, arborização, reflorestamento, além dos Atos Normativos referentes a estas questões. Responsabilidades que hoje permanecem sob tutela deste órgão, com exceção da prestação do serviço de manejo arbóreo que, dentre outros serviços, estão sob responsabilidade da Coordenadoria de Manejo Arbóreo – UCV, da Cia. Municipal de Limpeza Urbana - COMLURB (Decreto nº 28.981 de 31.01.2008).

2.4.3 Regulamentações – tombamento e imunidade ao corte

O tombamento das árvores em logradouros públicos consiste em um instrumento legal de preservação de espécies vegetais de porte arbóreo, fundamentado pelo art. 70 inciso II da Lei Federal nº 12.651/maio de 12 – que vigora com alterações dadas pela Lei 7.727/outubro de 2012 - Novo Código Florestal. Segundo essa lei, qualquer árvore poderá ser declarada imune de corte, mediante Ato do Poder Público, por motivo de localização, beleza, raridade e condição de porta sementes.

Importante destacar a diferença entre tombamento e de imunidade ao corte. O tombamento é um ato administrativo realizado pelo poder público, nos níveis federal, estadual ou municipal. Tem por objetivo preservar bens de valor histórico, cultural, arquitetônico, ambiental e de valor afetivo para a população, impedindo a destruição e/ou descaracterização de tais bens. Os tombamentos federais são de responsabilidade do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional – IPHAN. No nível do Estado do Rio de Janeiro, são efetuados pelo Instituto Estadual do Patrimônio Cultural – INEPAC. Os tombamentos no município do Rio de Janeiro são de competência do Instituto Rio Patrimônio da Humanidade - IRPH e começam por iniciativa de qualquer cidadão ou instituição pública (PDAU, 2015).

A Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, por meio da Secretaria Municipal de Meio Ambiente (SMAC) e da Fundação Parques e Jardins (FPJ) determina por meio de Decretos

Municipais os exemplares arbóreos protegidos por lei. Como exemplo o Decreto nº 19.146, de 14 de novembro de 2000, que dispõe sobre os procedimentos para declarar espécimes vegetais imunes ao corte. Estes exemplares, em casos altos de potencial de risco, somente podem ser removidos com autorização especial do órgão fiscalizador.

Outras duas Leis que incidem diretamente no manejo arbóreo da cidade são:

- RESOLUÇÃO SMAC Nº 613 DE 15 DE JUNHO DE 2016. Regulamenta a aplicação da NBR 16246-1: “Florestas urbanas — Manejo de árvores, arbustos e outras plantas lenhosas – Parte 1: Poda” no âmbito do Município do Rio de Janeiro e dá outras providências. - Regulamenta no Rio de Janeiro a Norma Brasileira de Poda, ou seja, todo manejo de poda realizado no Rio de Janeiro deve estar em acordo com a norma.

- PORTARIA FPJ Nº DE 136 DE 17 DE JULHO DE 2018 Estabelece procedimentos para Análise Técnica Visual de Espécimes Arbóreos, situados em áreas públicas e privadas, nas solicitações de remoção, poda e transplante e dá outras providências.

2.5 Benefícios ecológicos

Entre os benefícios ecológicos mais significativos das florestas urbanas destacam-se a regulação climática, a melhoria da qualidade do ar, o controle de águas pluviais e o sequestro de carbono.

As árvores atuam como importantes mitigadoras dos efeitos das ilhas de calor urbanas, reduzindo a temperatura do ar por meio do sombreamento e da evapotranspiração (BOWLER et al., 2010). Também filtram poluentes atmosféricos como ozônio (O₃), dióxido de enxofre (SO₂) e material particulado (PM_{2,5} e PM₁₀), contribuindo diretamente para a melhoria da saúde pública (NOWAK; CRANE; STEVENS, 2006).

Outro papel ecológico relevante é o da regulação hidrológica, uma vez que as copas das árvores e seus sistemas radiculares ajudam a interceptar e infiltrar águas pluviais, reduzindo o escoamento superficial e prevenindo enchentes (XIAO; MCPHERSON, 2002). Além disso, árvores urbanas funcionam como sumidouros de carbono, armazenando biomassa e contribuindo para a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (NOWAK et al., 2013).

Portanto, tais benefícios tornam-se ainda mais estratégicos em cidades tropicais densamente urbanizadas, como o Rio de Janeiro, onde a pressão sobre o ambiente urbano é intensa e a cobertura verde exerce papel essencial na resiliência ecológica.

2.5.1 Impactos da floresta urbana na saúde – clima e poluentes

É possível afirmar que regiões com menor número de árvores sofrem muito mais com os impactos das elevadas temperaturas e, por consequência, na saúde dos mais vulneráveis (crianças/idosos/doentes crônicos/pessoas com comorbidades).

Segundo o Observatório do Calor da UFRJ, na Cidade do Rio de Janeiro a diferença de temperatura entre os bairros mais bem arborizados e os menos arborizados pode chegar a 11° C (G1, 21/09/2023).

Um recente estudo conduzido por um time de 12 cientistas brasileiros e portugueses (Monteiro dos Santos et al., 2024), vinculados a instituições como a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), a Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) e a Universidade de Lisboa, revelou dados alarmantes onde ondas de calor levaram a óbito mais de 48 mil pessoas no Brasil entre 2000 e 2018. A pesquisa analisou as 14 regiões metropolitanas mais populosas do Brasil, de acordo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), nas cinco regiões do país. Foram consideradas as regiões metropolitanas de Manaus e Belém (região Norte), Fortaleza, Salvador e Recife (Nordeste), São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte (Sudeste), Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre (Sul) e Goiânia, Cuiabá e Brasília (Centro-Oeste), cujas áreas somadas concentram cerca de 35% da população brasileira.

A ocorrência dos eventos de calor extremo foi mapeada (Figura 2) através da aplicação do Fator de Excesso de Calor (EHF, na sigla em inglês). O índice permite identificar e classificar as ondas de calor de acordo com sua frequência, duração e intensidade, além de estipular os níveis de calor que podem representar riscos à saúde humana (Observatório do Clima, 2024).

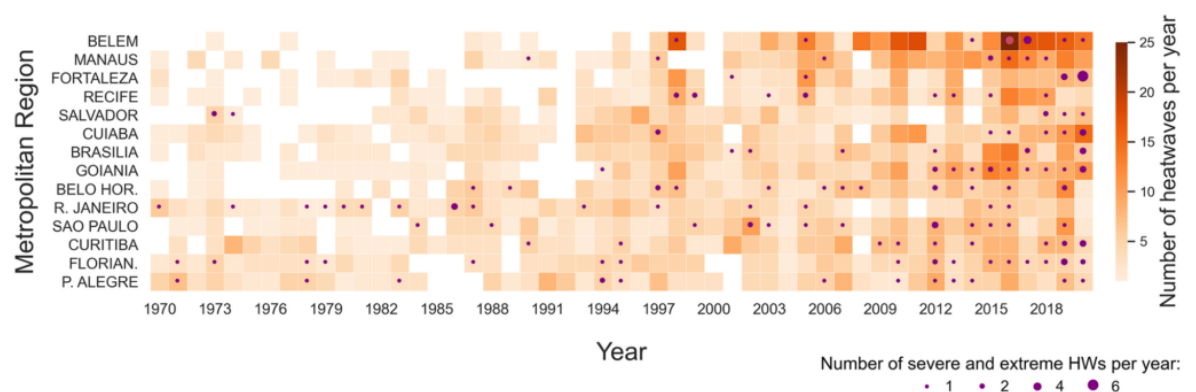


Figura 2 – Número de ondas de calor nas principais cidades das 5 regiões do Brasil.

Fonte: Observatório do Clima, 2024.

2.5.2 "Projeto PIPA" – A Importância da Arborização Urbana na Saúde Infantil

O Projeto Infância e Poluentes Ambientais (PIPA), liderado pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), com apoio de instituições como a Fiocruz e o Instituto Evandro Chagas, constitui o maior estudo brasileiro longitudinal sobre a exposição de gestantes e crianças a poluentes ambientais. Longitudinal significa um tipo de pesquisa científica que acompanha um mesmo grupo de participantes ao longo do tempo, com o objetivo de observar mudanças, relações de causa e efeito e impactos cumulativos de determinados fatores.

Nesse sentido a pesquisa acompanha 844 mães e seus bebês residentes em diferentes bairros do município do Rio de Janeiro, nascidos na Maternidade Escola da UFRJ, desde a gestação até os quatro anos de idade, com o objetivo de investigar os impactos da poluição urbana sobre a saúde infantil.

Os primeiros resultados, baseados na análise de metais como chumbo, mercúrio e arsênio presentes no sangue do cordão umbilical, indicam que bebês oriundos de regiões menos arborizadas da cidade (principalmente Centro e Zona Norte) apresentaram concentrações significativamente maiores desses elementos tóxicos. Esses bairros coincidem com áreas de maior tráfego de veículos, alta densidade de atividades comerciais e baixo índice de áreas verdes, fatores que contribuem para maior exposição ambiental.

Embora os níveis detectados estejam abaixo dos limites máximos estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS), os pesquisadores alertam para a presença desses metais no organismo ainda na fase intrauterina, o que pode comprometer o desenvolvimento neurológico e motor a longo prazo.

Cerca de 81% dos bebês avaliados apresentaram níveis acima da mediana de ao menos um metal, e 238 bebês apresentaram simultaneamente concentrações elevadas de dois metais (chumbo e mercúrio).

O estudo reforça que a arborização urbana é um importante indicador de justiça ambiental e equidade em saúde, uma vez que bairros com menor renda e infraestrutura tendem também a dispor de menos cobertura vegetal e, consequentemente, maior exposição a poluentes.

Do ponto de vista ambiental, a pesquisa destaca as múltiplas funções das árvores urbanas como redução da temperatura ambiente, absorção de poluentes atmosféricos e da água da chuva, melhoria da qualidade do ar, e promoção do bem-estar físico e mental.

Como comparativo, na cidade de Nova York - USA estima-se que árvores urbanas removam anualmente 662 mil toneladas cúbicas de poluentes do ar (NY City Tree Map

<https://tree-map.nycgovparks.org/tree-map>), e estudos internacionais demonstram seus benefícios na redução da pressão arterial e melhoria cardiovascular, entre outros.

Portanto, o estudo PIPA busca compreender os efeitos cumulativos e de longo prazo desses agentes na saúde infantil, contribuindo com dados científicos essenciais para a formulação de políticas públicas de saúde e planejamento urbano sustentável.

2.5.3 Exaustão térmica

Em 17 de novembro de 2023, a cidade do Rio de Janeiro foi palco de um episódio de exaustão térmica coletiva extrema, ocorrido durante a realização do show da artista norte-americana Taylor Swift no Estádio Olímpico Nilton Santos, no bairro engenho de Dentro, zona norte da cidade. O evento coincidiu com uma severa onda de calor, previamente alertada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que emitiu, dois dias antes, comunicado de “grande perigo” para quinze estados brasileiros, incluindo o Rio de Janeiro, diante da previsão de “fenômenos meteorológicos de intensidade excepcional” e “risco à integridade física ou mesmo à vida humana” (INMET, 2023).

Na manhã do evento, às 10h20, foi registrada uma sensação térmica de 59,3 °C, com temperatura oficial de 39,1 °C — o maior valor da série histórica da cidade até então (Climatempo, 2023; G1, 2023).

Estima-se que aproximadamente mil pessoas tenham desmaiado ao longo do primeiro dia do evento, e uma fã de 23 anos faleceu após parada cardiorrespiratória decorrente de exaustão térmica (Folha de S.Paulo, 2023; O Globo, 2023).

A tragédia foi agravada por múltiplos fatores urbanos e organizacionais, entre eles:

- Ausência de arborização no entorno do estádio, que foi projetado para os Jogos Pan-Americanos de 2007, com predominância de superfícies impermeáveis, como concreto e asfalto (Figura 3);
- A proibição da entrada de garrafas de água no evento, forçando o consumo somente por compra na área interna demonstrando atitude de interesse econômico-financeiro da organização e dificultando a hidratação do público;
- A exposição direta dos fãs ao sol por longas horas antes da abertura dos portões (Figura 4);
- A baixa ventilação natural no interior da arena esportiva.



Figura 3 - Ausência de arborização no entorno do Estádio Olímpico Newton Santos (Engenhão) – Foto: Fabio Motta/Prefeitura do Rio.



Figura 4 - Exposição dos fãs ao sol por longas horas. Foto: © Reuters/PILAR OLIVARES

Os fatores citados, principalmente relacionado as árvores, somam com estudos científicos por comprovarem que áreas arborizadas podem reduzir a temperatura do ambiente urbano em até 9 °C, devido à sombra proporcionada e à evapotranspiração das plantas (EPA, 2022). Além disso a cobertura vegetal urbana também desempenha papel fundamental na mitigação de ilhas de calor, filtragem de poluentes e promoção do conforto térmico (Nowak et al., 2006; Oliveira et al., 2020).

Em resposta as ocorrências no show, o Ministério da Justiça e Segurança Pública, por meio da Secretaria Nacional do Consumidor (Senacon), emitiu determinação autorizando a entrada de garrafas de água em espetáculos públicos. A organização do show foi intimada a implementar medidas emergenciais, como a instalação de ilhas de hidratação, ampliação da equipe de brigadistas e socorristas, além da antecipação do horário de entrada do público (MJSP, 2023).

Paralelamente, o Centro de Operações Rio (COR), junto à Secretaria Municipal de Saúde (SMS), passou a aplicar o protocolo de **Níveis de Calor (NC1 a NC5)** para orientar a população e os serviços públicos diante de extremos térmicos. No entanto, o referido protocolo baseia-se exclusivamente na temperatura do ar, sem considerar a sensação térmica, que se mostrou fator decisivo no caso analisado (COR-Rio, 2023).

Esse episódio evidencia a vulnerabilidade da população urbana frente às mudanças climáticas, sobretudo em áreas com deficiente infraestrutura verde. Ressalta-se, assim, a importância da arborização urbana como estratégia de adaptação climática e promoção da saúde pública, especialmente em locais de grande circulação e eventos de massa.

2.5.4 A Vulnerabilidade dos Idosos ao Calor na Zona Norte do Rio de Janeiro

A reportagem “*Fotografando o não palpável*” (O Globo, 12/02/25), apresenta imagens impactantes da fotojornalista Márcia Foletto, que documenta idosos expostos a calor extremo na Zona Norte do Rio de Janeiro, sem acesso a sombra, ventilação ou refrigeração, o que evidencia fragilidades na infraestrutura urbana e agravamento do sofrimento térmico de populações vulneráveis (Foletto, 2025).

Na série fotográfica, Foletto retrata idosos tentando se refrescar com baldes de água, em varandas e calçadas expostas ao sol, muitas vezes sem acesso a ventiladores, ar-condicionado ou sombra. Tais imagens simbolizam o que a autora chama de “o calor que adoecer”, referindo-se não apenas ao desconforto térmico, mas também aos riscos reais à saúde e à vida da população idosa (Figuras 5, 6, 7 e 8).



Figura 5 - O casal Lindaci da Silva Vieira, 68 anos, e Valter Vieira, 73, no ponto de ônibus sem nenhuma cobertura na Av. Vinte e Quatro de Maio, junto a Estação do Méier — Foto: Márcia Foletto – O Globo.



Figura 6 - Idosa busca sombra de poste para fugir do sol em ponto de ônibus na Av. Vinte e Quatro de Maio, junto a Estação do Méier — Foto: Márcia Foletto – O Globo.



Figura 7 - Arlete Freitas, 81 anos, sofre de calor com a falta de ar condicionado na linha 679 — Foto: Márcia Foletto – O Globo.



Figura 8 - O casal Lindaci da Silva Vieira, 68 anos, e Valter Vieira, 73, no ponto de ônibus sem nenhuma cobertura na Av. Vinte e Quatro de Maio, junto a Estação do Méier — Foto: Márcia Foletto – O Globo.

A cidade do Rio de Janeiro é particularmente suscetível aos efeitos das ondas de calor, com impactos desiguais entre suas regiões. A Zona Norte, onde predominam maior densidade populacional, infraestrutura urbana precária e baixa arborização, é a região da cidade onde os idosos enfrentam maior risco devido à menor infraestrutura urbana de resfriamento e ao isolamento social, sendo uma das regiões mais afetadas por ilhas de calor urbano, fenômeno que eleva significativamente a temperatura em áreas com pouca vegetação e alta presença de concreto e asfalto (Oliveira et al., 2020).

Uma pesquisa da Secretaria Municipal de Saúde do Rio de Janeiro (SMS, 2024), conduzida pelo Centro de Inteligência Epidemiológica, analisou 466 mil óbitos naturais entre 2012 e 2024, dos quais 390 mil correspondem a 17 causas selecionadas (como diabetes, hipertensão, Alzheimer, insuficiência renal, entre outras). O estudo mostra que nos dias classificados como NC4 (nível de calor $\geq 40^{\circ}\text{C}$ por 4h ou mais) ou NC5 (nível de calor $\geq 44^{\circ}\text{C}$ por $\geq 2\text{h}$), a mortalidade entre idosos aumenta em até 50 %.

No dia 18 de novembro de 2023, dia seguinte da morte de Ana Clara Benevides no show da Taylor Swift, citado nesta monografia, foram registradas 151 mortes de idosos por causas relacionadas ao Índice de Calor extremo registrado ($\text{IC} \geq 44^{\circ}\text{C}$ por oito horas), o maior número da série histórica, resultando em uma AEC de $117,78^{\circ}\text{C}\cdot\text{h}$. Isso significa que, somando o excesso de calor (isto é, o quanto a sensação térmica excedeu o limiar de 44°C em determinado tempo) hora a hora, chegou-se a esse valor acumulado.

2.5.5 Ansiedade Climática, ou Ecoansiedade, e Solastalgia no Contexto Urbano do Rio de Janeiro

As mudanças climáticas deixaram de ser uma ameaça distante e passaram a impactar direta e cotidianamente o bem-estar físico e psicológico da população urbana, especialmente em cidades tropicais como o Rio de Janeiro.

Em fevereiro de 2025 a cidade do Rio de Janeiro registrou 41,3 °C de temperatura oficial e sensação térmica de 42 °C, atingindo o nível 4 (NC4) do Protocolo de Níveis de Calor da prefeitura, um dos mais altos da escala municipal (DIÁRIO DO RIO, 2025). Tais condições extremas contribuem não apenas para o agravamento de doenças físicas, mas também desencadeiam transtornos emocionais, como ansiedade, depressão e distúrbios do sono.

Conceitos como ansiedade climática, ecoansiedade e solastalgia, apesar de pouco destaque, merecem ganhar relevância nesse cenário. A ansiedade climática, ou ecoansiedade, refere-se ao sofrimento emocional ligado às previsões e impactos da crise ambiental. Refere-se à preocupação crônica com as consequências da degradação ambiental, acompanhada de sentimento de impotência diante da inércia política (OMS, 2022). Já a solastalgia, termo cunhado por Glenn Albrecht (2005), expressa a dor existencial provocada pela degradação ambiental do lugar onde se vive, ou seja, o sofrimento de estar "em casa", mas inserido em um ambiente que se transforma negativamente diante dos próprios olhos.

2.5.6 Impactos socioeconômicos

Impactos socioeconômicos são ações que geram resultados negativos e desafiadores relacionados a desigualdade social, violência, elevados níveis de criminalidade, falta de infraestrutura principalmente em áreas carentes e problemas ambientais, impactando diretamente na qualidade de vida da população.

São poucos os estudos sobre a relação dos espaços verdes com a violência, onde inúmeros fatores influenciam essa dinâmica. Justificativas como falta de padronização de metodologia dos trabalhos e diferenças nas definições de espaços verdes e violência em si, são complexas e dependem de muitas variáveis (BOGAR; BEYER, 2016).

Contudo, e apesar de poucos, há estudos demonstrando uma relação direta entre o verde, incluindo a arborização e outros espaços livres, e a violência (THOMPSON; ROE; ASPINALL, 2013). Como exemplo dessa afirmativa há o caso de estudo na cidade de New York – EUA,

onde os resultados indicaram uma correlação positiva dos espaços verdes, com evidências suficientes para concluir que a percepção de segurança é sustentada pela qualidade, acessibilidade e dimensões estéticas dos espaços verdes nos bairros (MANCUS; CAMPBELL, 2018).

Em um trabalho recente, que teve por objetivo verificar se há correlação da arborização das vias urbanas com dados de homicídios, resultados obtidos indicaram que quanto maior a taxa de homicídio, menor a arborização das vias (SILVA, Amanda Brito da, 2020).

Com o objetivo de compreender a relação entre arborização viária e criminalidade, para elaboração de estudo sobre o tema no ano de 2022 (SOUZA, Kelly Iapuque Rodrigues de, 2022), após pesquisa sobre o tema foram encontrados 198 trabalhos publicados. As filiações dos autores de maior destaque e as agências financiadoras de pesquisa eram dos Estados Unidos da América, sendo também, o país com maior número de publicações, 46,9%.

Uma pesquisa do programa de pós-graduação da Escola de Ciências Agrárias de Lavras da Universidade Federal de Lavras (ESAL/UFLA) evidenciou que na cidade de Lavras – MG, nas áreas onde ocorreram maior quantidade de crimes de roubo havia menos árvores (SOUSA, K. I. R. de., 2022).

O estudo se baseou em dados dos crimes de roubo fornecidos pela Polícia Militar, no inventário de árvores plantadas no município e em informações sociodemográficas da cidade, relacionadas aos problemas sociais da população e o local onde ela vive, para prever o número de roubos em função das características da arborização e das variáveis socioeconômicas e demográficas.

Os resultados mostraram que áreas com altas taxas de crimes continham baixa arborização viária, tendo o modelo preditivo obtido associação inversa com os roubos. (Figura 9).

Os pesquisadores da UFLA esperam que a pesquisa possa contribuir para desmistificar a associação da vegetação urbana ao crime de roubo no contexto brasileiro, e que os resultados possam ser úteis para a formulação de políticas públicas que priorizem as árvores inseridas no planejamento do ambiente urbano.

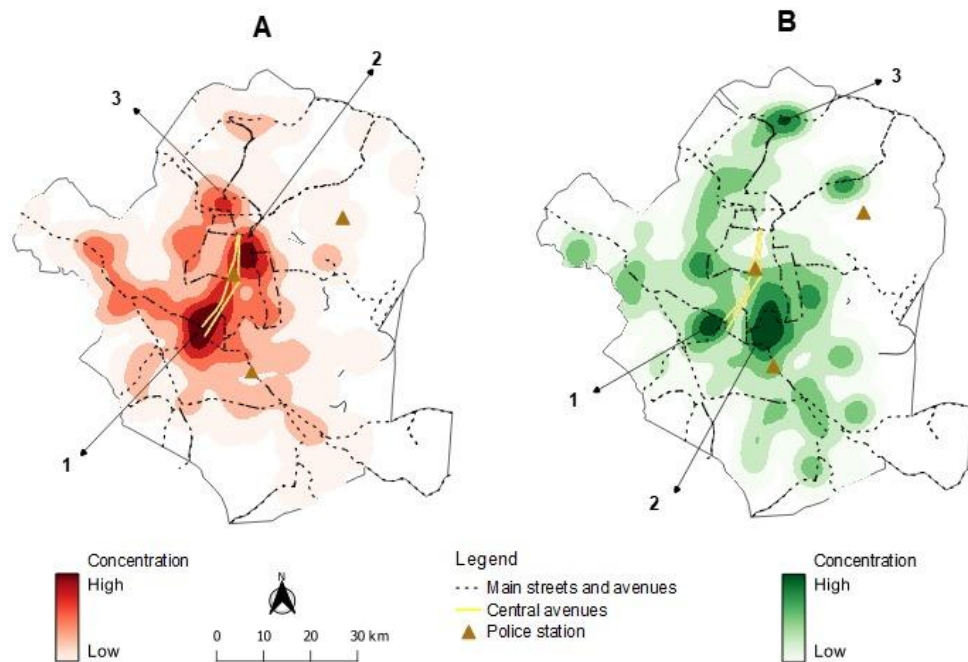


Figura 9 - Mapa de estimativa de densidade, com localizações geográficas dos roubos (A) e das árvores (B) da cidade de Lavras – MG. Fonte: Lavras (2020), PMMG (2019) e IBGE (2020)

2.5.7 Comparativos socioambientais: bairros Grajaú, Irajá e Bangu

O bairro Grajaú, na Zona Norte do Rio de Janeiro, constitui um exemplo relevante de como a arborização urbana influencia positivamente na qualidade de vida, inclusive no aspecto emocional. Com aproximadamente 38 mil habitantes, Grajaú apresenta elevado índice de cobertura vegetal, especialmente nas proximidades da Floresta da Tijuca e do Parque Estadual do Grajaú, regiões não mapeadas no estudo.

A presença de praças sombreadas, ruas arborizadas e menor densidade populacional, somada a uma infraestrutura urbana mais consolidada, favorece um microclima mais ameno e condições mais saudáveis para a vida urbana.

Em contraste, bairros como Irajá e Bangu enfrentam condições ambientais e climáticas adversas. Irajá, com mais de 100 mil habitantes, apresenta índices baixos de arborização (PDAU 2015), predominância de concreto e asfalto, alta densidade populacional e carência de áreas verdes. O bairro chegou a registrar 41,8 °C em fevereiro de 2023, com relatos frequentes de

ansiedade, insônia e mal-estar em moradores sem acesso a climatização (DIÁRIO DO RIO, 2025). Bangu, por sua vez, é frequentemente citado como o bairro mais quente do Rio de Janeiro, com sensação térmica superior a 55 °C em dias de calor extremo, agravada por um dos piores índices de cobertura arbórea da cidade (INSTITUTO PEREIRA PASSOS, 2023). Estudos da UFRJ e da Fiocruz apontam que a diferença de temperatura entre bairros arborizados (como Grajaú) e não arborizados (como Irajá e Bangu) pode chegar a 9 °C, o que impacta diretamente na saúde física e mental da população.

Essas desigualdades evidenciam um cenário de injustiça climática, no qual a população residente em áreas com menor infraestrutura ambiental sofre de forma desproporcional os efeitos das mudanças climáticas. Moradores de Irajá e Bangu são mais expostos ao calor, menos protegidos por vegetação urbana, têm menos recursos financeiros para mitigação individual (como ventiladores ou ar-condicionado) e sofrem mais frequentemente de problemas como a ansiedade climática, ou ecoansiedade, e angústia existencial (solastalgia) pelo calor.

Diante dessa realidade, o prefeito Eduardo Paes, por meio dos Plano de Desenvolvimento Sustentável e Ação Climática do Rio de Janeiro e Plano Estratégico da Cidade do Rio de Janeiro 2025 - 2028, formalizou e assumiu compromissos que visam reduzir essas desigualdades. Em 2025, o município implementou medidas emergenciais como a criação de 58 pontos de resfriamento, paradas para hidratação de trabalhadores e reforço da rede de saúde pública para atender a casos relacionados ao calor extremo (PREFEITURA DO RIO, 2025). A médio e longo prazos, o plano prevê o plantio de 100 mil árvores até 2030, priorizando bairros com baixo índice de arborização, além da ampliação de áreas verdes urbanas e da criação de um mapa de vulnerabilidade térmica para orientar ações de infraestrutura verde e justiça climática. Nesse ponto vale ressaltar que não bastam o plantio de 100 mil mudas, mas também adotar critérios de seleção crítica de fornecedores, com mudas de qualidade, tamanhos satisfatórios e adequação do solo, seguido de manutenções como tutoramentos e uso de hidrogel ou regas frequentes. Com isso busca-se maior sucesso do plantio com o menor índice de perda possível.

A Organização Mundial da Saúde (OMS 2023) reforça que planos de adaptação climática devem incluir estratégias voltadas à promoção da saúde mental, diante do crescimento das condições psicológicas associadas ao estresse ambiental. No caso do Rio de Janeiro, ao integrar arborização urbana, saúde pública e redução de desigualdades ambientais, ficaria demonstrado não só um avanço, mas também um alerta sobre a urgência de ações estruturantes nas áreas mais vulneráveis da cidade.

2.6 - Os Planos que norteiam a Cidade do Rio de Janeiro e os compromissos assumidos

2.6.1 Os Planos

Os Planos de Governo desempenham um papel fundamental ao estabelecer as diretrizes e metas que guiarão a administração de uma gestão pública.

Segundo a Frente Nacional de Prefeitos e Prefeitas – FNP, em seu 11º Webinar Tendências para as Cidades (2024), negligenciar a elaboração cuidadosa deste plano pode comprometer não apenas a eficácia das políticas públicas, mas também a competitividade eleitoral.

Diagnósticos realistas, metas claras e mensuráveis, estratégias concretas, participação cidadã e viabilidade financeira, são elementos-chave para evolução de um bom plano que atenda ao interesse público.

Assim, os temas “arborização”, “clima”, “meio ambiente”, “resiliência”, “emissão de gases”, entre outros, norteiam a Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro e estão inseridos nos Planos citados a seguir, na esfera executiva: Plano Estratégico da Cidade do Rio de Janeiro 2025 – 2028 (2025), Plano Diretor da Cidade do Rio de Janeiro (2024), Plano de Desenvolvimento Sustentável e Ação Climática da Cidade do Rio de Janeiro (2021), Plano Diretor de Arborização Urbana da Cidade do Rio de Janeiro (PDAU 2015) e, Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Sustentável do Município do Rio de Janeiro (2011).

Elaborado por um grupo de trabalho interinstitucional com participação de técnicos do governo, universidades, organizações da sociedade civil e representantes de estados e municípios, o recém-lançado (2025) Plano Nacional de Arborização Urbana PlaNAU contou com amplo processo participativo, incluindo oficinas e consulta pública. O diagnóstico apresentado revela um cenário de grande desigualdade: 33,7% dos brasileiros vivem em ruas sem nenhuma árvore, e apenas 29,6% dos municípios possuem plano de arborização urbana. Também há diferenças regionais significativas, com maior cobertura vegetal no Norte (39,6%) e menor no Sudeste (22,6%), refletindo padrões históricos de urbanização intensa e impermeabilização do solo.

Para enfrentar esse quadro, o plano estabelece metas nacionais até 2045, inspiradas na Regra 3-30-300, entre elas: garantir que 65% da população viva em ruas com pelo menos três árvores; ampliar em 360 mil hectares a vegetação urbana; e assegurar que 100% dos municípios possuam instrumentos de planejamento da arborização. O PlaNAU organiza suas ações em seis

eixos estratégicos e define 20 diretrizes e 93 ações, incluindo a elaboração de planos municipais, sistemas de monitoramento, fortalecimento de viveiros, uso prioritário de espécies nativas e priorização de áreas vulneráveis.

O plano atribui papel central às prefeituras, responsáveis pela implementação das políticas de arborização, elaboração de planos, manutenção de viveiros, monitoramento ambiental e integração da arborização ao planejamento urbano. Com isso, busca substituir práticas isoladas por uma política estruturada, baseada em metas e planejamento técnico.

O PlaNAU representa uma mudança de paradigma ao reconhecer a arborização como infraestrutura essencial para a adaptação climática e a promoção da saúde urbana. Sua implementação pode reduzir temperaturas, melhorar a qualidade do ar, diminuir enchentes e reduzir desigualdades socioambientais. Por outro lado, o não cumprimento de suas metas tende a agravar ilhas de calor, aumentar doenças relacionadas ao calor, intensificar enchentes e elevar custos públicos, comprometendo a qualidade de vida nas cidades.

Dessa forma o PlaNAU configura-se como instrumento estratégico para o desenvolvimento urbano sustentável, integrando infraestrutura verde, saúde pública e justiça socioambiental no planejamento das cidades brasileiras.

2.6.2 Os compromissos assumidos

Assim como os Planos, encontros participativos firmam compromissos assumidos internacionalmente pela Cidade do Rio de Janeiro, evidenciando interesse na resolução de problemas locais.

Entre os principais destacam-se o Acordo de Paris (2015), tratado internacional que busca ações para limitar o aquecimento global em no máximo +1,5°C até 2030, em relação a era pré-industrial (1850-1900); Cúpula G20 e Prefeitos do U20 (Rio 2025) promovendo debates, objetivando, entre outros, esforços para reduzir as desigualdades no Sul Global e enfrentamento das mudanças climáticas, e; World Economic Forum (Davos – Suíça, 2025) com assinatura de acordo com a intenção de criar uma sede do Centro da Quarta Revolução Industrial da instituição no Rio de Janeiro, com foco em inteligência artificial para aplicação em áreas como inclusão digital, inovações climáticas e desenvolvimento sustentável.

Outro compromisso que merece destaque é a COP30. Realizada em novembro de 2025 em Belém, estado do Pará, a 30ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações

Unidas sobre Mudança do Clima (COP30) reuniu representantes de quase 200 países para discutir ações globais de enfrentamento às mudanças climáticas.

O evento teve como objetivo central avaliar o cumprimento do Acordo de Paris e acelerar medidas de mitigação e adaptação, com atenção especial aos países em desenvolvimento. A realização da conferência na Amazônia conferiu destaque à importância das florestas tropicais na regulação do clima e na redução das emissões de gases de efeito estufa. As negociações enfatizaram o aumento do financiamento climático para nações mais vulneráveis e a necessidade de fortalecer políticas de conservação ambiental.

A COP30 também ampliou o espaço de participação da sociedade civil, de povos indígenas e de organizações ambientais, reforçando o debate sobre justiça climática. O encontro consolidou o papel do Brasil como ator relevante nas negociações climáticas internacionais e reforçou a centralidade da Amazônia nas estratégias globais de combate ao aquecimento do planeta.

Paralelamente, o município sediou encontros internacionais ligados à agenda climática, como a Cúpula Mundial de Prefeitos do C40 e eventos preparatórios da COP30, reunindo líderes de quase 100 cidades e especialistas para discutir soluções urbanas para a crise climática global.

Nesse contexto, o Rio de Janeiro foi reconhecido internacionalmente por políticas de adaptação climática. A cidade recebeu o prêmio **Local Leaders Awards 2025**, da Bloomberg Philanthropies, na categoria “Infraestrutura mais segura para um mundo em mudança”, com o **Protocolo de Enfrentamento ao Calor Extremo**, um sistema integrado de alerta e resposta que utiliza dados meteorológicos e de saúde para antecipar riscos e acionar medidas preventivas durante ondas de calor.

O reconhecimento foi anunciado durante atividades vinculadas ao calendário da COP30, reforçando o papel das cidades na implementação de medidas concretas de adaptação climática e proteção da população, especialmente frente ao aumento de eventos extremos.

Além disso, o prefeito do Rio de Janeiro defendeu a inclusão efetiva das prefeituras nas negociações climáticas globais, argumentando que os governos locais são responsáveis pela execução direta das políticas urbanas de mitigação e adaptação, como mobilidade sustentável, arborização, saneamento e protocolos de resposta a eventos climáticos extremos.

Portanto, buscar cumprir os Planos de Governo e compromissos assumidos, transformando tais conteúdos em ações concretas torna-se primordial para o interesse público, seja com orçamento próprio ou buscando financiamento externo que viabilize os projetos.

2.7 – O exemplo da cidade de Nova York.

A experiência de Nova York na realização de inventários periódicos da arborização urbana com a utilização do modelo i-Tree Eco demonstra a importância de dados precisos e de longo prazo para uma gestão arbórea eficiente.

Com atribuição do New York City Department of Parks & Recreation (NYC Parks), desde 1995 a cidade conduz censos decenais, com edições realizadas em 1995-1996, 2005-2006, 2015-2016, e já iniciado 2025, sempre combinando métodos de levantamento de campo, tecnologia e participação comunitária.

O Censo de 1995-1996 introduziu um diagnóstico detalhado do número, porte, espécies e estado fitossanitário das árvores nos logradouros, permitindo identificar mais de 10.000 árvores mortas e implementar um programa de poda e remoção rápida, em prazo de até 30 dias.

No Censo de 2005-2006, além do crescimento de 19% no número de árvores, houve a valoração econômica dos benefícios ecossistêmicos, estimados em US\$ 117 milhões anuais, e o lançamento do *MillionTreesNYC*, programa estratégico de amplo plantio com engajamento da sociedade.

Já o Censo de 2015-2016 incorporou geotecnologias e criou o primeiro inventário digital e espacialmente preciso das árvores nas ruas, identificando a oportunidade para 240.000 novos plantios.

Em 2017-2018, a metodologia foi expandida para as áreas paisagísticas de parques, integrando dados de um volume total estimado de 882 mil árvores ao *NYC Tree Map*, com valor estimado de US\$ 122 milhões anuais. (Figuras 10, 11 e 12).

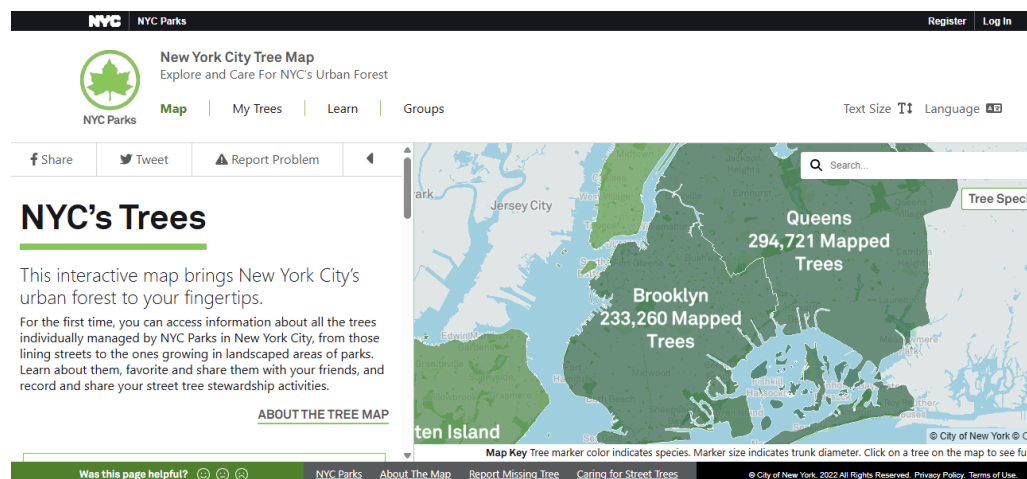


Figura 10 – Página do mapa de localização das árvores da floresta urbana New York City Tree Map – <https://tree-map.nycgovparks.org/>

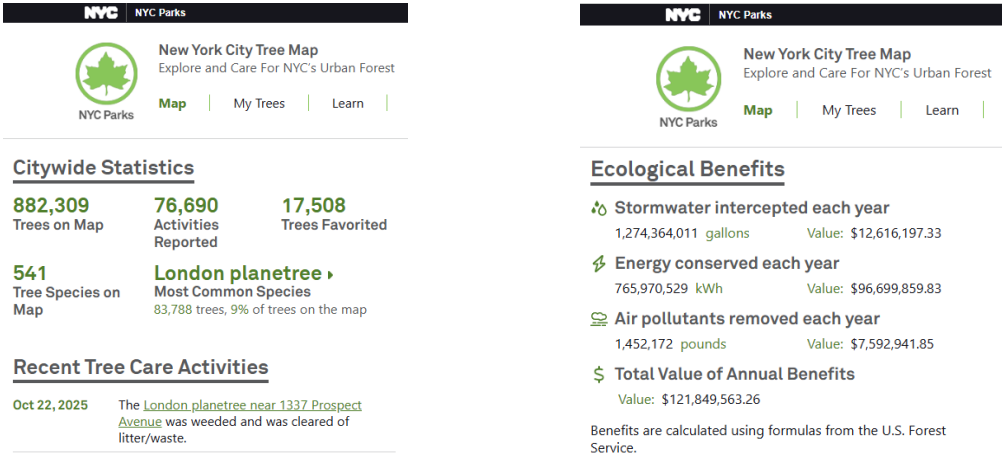


Figura 11 – Estatística do total de árvores e quantidade de espécies da floresta urbana da cidade de Nova York – <https://tree-map.nycgovparks.org/>

Figura 12 – Benefícios ecossistêmicos da floresta urbana da cidade de Nova York – <https://tree-map.nycgovparks.org/>

O Trees Count 2025, em curso (<https://www.nycgovparks.org/reg/trees-count>), representa a etapa mais tecnológica do processo, com uso de varreduras LiDAR (Light Detection and Ranging), método de sensoriamento remoto ativo que usa pulsos de laser para medir distâncias com alta precisão, criando mapas 3D de superfícies (Figuras 13 e 14), e algoritmos de aprendizado de máquina (machine learning) para inventariar árvores nas ruas, enquanto as árvores de parques serão medidas e identificadas por voluntários capacitados.

How the 2025 Census Works

Street Tree Census

To count all of the street trees in New York City, Parks will be utilizing ground-based light detection and ranging (LiDAR) scans, captured on devices mounted on cars, to create three dimensional "digital twins" for each tree. These scans will be processed with machine learning algorithms to derive all sorts of important and cool metrics about our NYC street trees, including their size, species, condition, and location.



Figura 13 – veículo de varredura LiDAR (Light Detection and Ranging). Fonte: [Trees Count Registration : NYC Parks](https://www.nycgovparks.org/reg/trees-count)

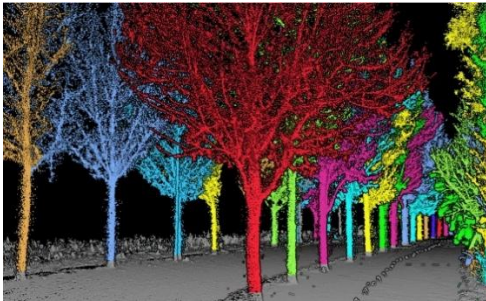


Figura 14 – imagem 3D após varredura LiDAR (Light Detection and Ranging). Fonte: LiDAR Solutions.

2.7.1 - A Tecnologia i-Tree Tools

Desenvolvido pelo Serviço Florestal dos Estados Unidos (USDA Forest Service) o i-Tree Tools (Figura 15) (<https://www.itreetools.org/tools>) é um pacote de softwares gratuitos de última geração que fornece análise florestal urbana e rural por intermédio de ferramentas de avaliação de benefícios, auxiliando a gestão, quantificando a estrutura, os benefícios ambientais e econômicos que as árvores proporcionam.

Desde o lançamento inicial das ferramentas, o [Serviço Florestal dos EUA](#), a [Davey Tree Expert Company](#), a [Arbor Day Foundation](#), a [Urban and Community Forestry Society](#), a [International Society of Arboriculture](#) e a [Casey Trees](#) firmaram parceria cooperativa para desenvolver, disseminar e fornecer suporte técnico para o conjunto de ferramentas.

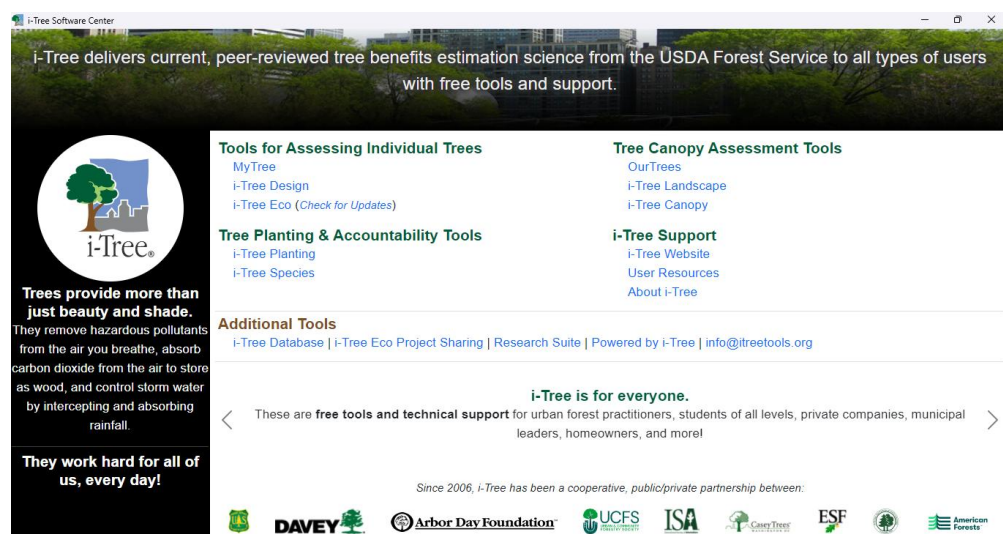


Figura 15 – i-Tree Tools. Fonte: <https://www.itreetools.org/tools>

2.7.2 - O i-Tree Eco

O modelo **i-Tree Eco**, parte do pacote i-Tree Tools, foi originalmente desenvolvido em meados da década de 1990 como modelo de “Efeitos da Floresta Urbana” (também conhecido como modelo UFORE - Urban Forest Effects), para avaliar os impactos da floresta urbana na qualidade do ar. Esse modelo baseia-se em um sistema computacional desenvolvido para

quantificar a estrutura e as funções das florestas urbanas, utilizando dados de campo, informações meteorológicas e de poluição do ar para cálculos.

O modelo **i-Tree Eco**, ferramenta utilizada no estudo, permite avaliar os benefícios ecossistêmicos fornecidos pelas árvores urbanas sendo amplamente empregado em pesquisas relacionadas à gestão arbórea (MOSYAFTIANI et al., 2022; PARSA et al., 2019; RAUM et al., 2019).

Tendo como base dados de inventário coletados em campo, juntamente com informações sobre poluição atmosférica local e dados meteorológicos, o modelo estima as funções desempenhadas pelas árvores. Essas funções são convertidas em benefícios, como sequestro e armazenamento de carbono, efeitos energéticos, remoção da poluição atmosférica, escoamento superficial evitado, entre outros, sendo, posteriormente, atribuídos valores monetários (NOWAK, 2021) (Figura 16).

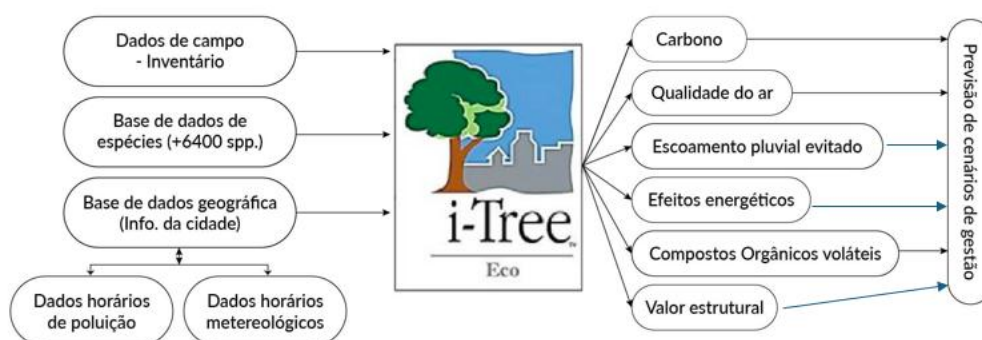


Figura 16 – Fluxo de entrada e saída de dados do modelo i-Tree Eco (adaptado de https://www.itreetools.org/documents/171/Eco_factsheet.pdf).

Usando um sistema de modelagem que converte os benefícios ecossistêmicos em valores econômicos, o i-Tree Eco atribui valores monetários a esses benefícios onde cada ferramenta dentro da plataforma se concentra em diferentes aspectos dos benefícios das árvores e usa diferentes métodos de entrada e geração de relatórios.

A metodologia pode variar dependendo da ferramenta e da região do estudo, comparando o custo que seria necessário para remover uma mesma quantidade de poluentes do ar usando métodos tecnológicos. Por exemplo, o custo que seria aplicado para tratar a mesma quantidade de água da chuva que as árvores evitam que chegue aos sistemas de drenagem, ou

O bairro Grajaú, localizado na Zona Norte do Rio de Janeiro e integrante da Grande Tijuca, foi oficialmente reconhecido em 1914. Seu traçado de configuração em quadriculado, planejado pelo engenheiro Antônio Eugênio Richard Júnior, priorizou ruas largas, praças e arborização intensa, formando um bairro de caráter residencial e aspecto de “cidade-jardim”. O clima é tropical úmido de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, com verões quentes e chuvosos e invernos amenos. Segundo o CLIMATEMPO, as médias mensais indicam máximas entre 29 e 34 °C nos meses quentes e mínimas de 21 a 23 °C nos meses mais frios, tendo nos meses do verão (jan/mar) período de maior precipitação.

O Grajaú é historicamente reconhecido como um dos bairros mais arborizados da cidade do Rio de Janeiro, tendo ruas com árvores de grande porte, jardins residenciais e canteiros em vias públicas. Entretanto estudos e levantamentos locais apontam conflitos urbanos com infraestrutura, mas também alta densidade arbórea em áreas residenciais (Guimarães, M. G. e Cardoso Júnior, R. A. F. - 2019).

Segundo o Censo 2010, o bairro tinha 38.671 habitantes e 15.612 domicílios, com distribuição etária de cerca de 15% idosos, 70% adultos e 15% crianças/adolescentes. Estimativas de 2022 apontam queda para cerca de 32 mil moradores, com aumento relativo da população idosa, o que reforça o perfil de envelhecimento. É considerado um bairro residencial valorizado, com imóveis variando entre R\$ 4 mil e R\$ 7 mil/m², mantendo tradição de qualidade de vida, boa arborização e menor verticalização.

Entre os pontos positivos, destacam-se a qualidade ambiental, a identidade cultural e a oferta de lazer ao ar livre, permanecendo como uma das áreas mais arborizadas da cidade, tradicionalmente com forte valorização imobiliária da zona norte carioca.

3.1.2 – Perfil arbóreo do bairro Grajaú

Em 2016 a Cia. Municipal de Limpeza Urbana – Comlurb, elaborou um censo arbóreo quali-quantitativo no bairro Grajaú, em função da alta demanda de manejo solicitadas pela população.

Os dados foram coletados utilizando ferramentas como o Sistema de Informações Geográficas (SIG) através do aplicativo on-line Collector for ArcGis, e software Microsoft Excel (tabelas dinâmicas, gráficos, etc.) para tabulação dos dados, e como resultado foram catalogados 3.002 vegetais (Figura 18).

Após análise dos dados, e seguindo o protocolo i-Tree Eco, o estudo catalogou 2.647

vegetais com atributos válidos para submissão na plataforma. As informações de 355 árvores descartadas e não consideradas, por inconsistências em informações de unidades de medidas de DAP/altura/diâmetro de copa, e duplicidade de dados de vegetais, evidenciam a necessidade de atualização, orientação e maiores precauções na coleta das informações de campo.



Figura 18 – Censo arbóreo do bairro Grajaú – Rio de Janeiro. Fonte: Comlurb, ArboRio e SIURB Rio

3.1.3 Submissão dos dados no i-Tree Eco

Para a realização do estudo e obtenção dos benefícios ecossistêmicos das árvores do bairro Grajaú, duas bases de informações foram utilizadas: 1 - dados dendrométricos das árvores do bairro Grajaú contidas no ArboRio e, 2 - base de dados meteorológicos, precipitação e de poluentes, gerados pela estação do Aeroporto Santos Dummont - SBRJ (ID NCEI – 837550-99999), já cadastrada no i-Tree Database e com resultados capturados pelo United States NCEI - National Center for Environmental Information (Centro Nacional de Informações Ambientais), agência do governo dos EUA que gerencia um dos maiores arquivos de dados atmosféricos, costeiros, geofísicos e oceânicos do mundo (Figuras 19 e 20).

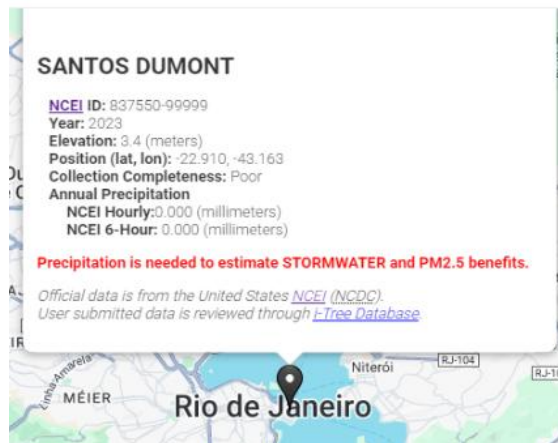


Figura 19 – Estação meteorológica Santos Dumont. Fonte: <https://www.itreetools.org/tools>

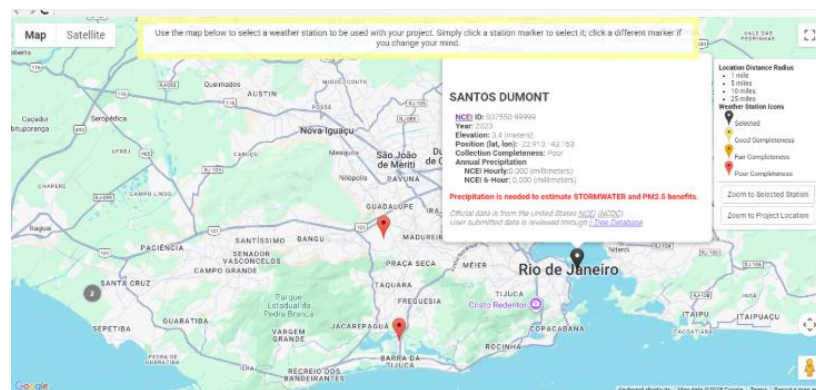


Figura 20 – Estação meteorológica Santos Dumont. Fonte: <https://www.itreetools.org/tools>

Na sequência, e seguindo os protocolos, 4 definições iniciais foram estabelecidas no “Project Definition” da plataforma conforme o objetivo do estudo, sendo: “Project Settings” (configurações do projeto), “Location” (localização do projeto), “Weather & Pollution” (dados de clima e poluição da estação meteorológica utilizada) e “Data Collections Options” (opções de dados de coleta para o resultado) (Figuras 21, 22, 23 e 24).

Project Configuration > Project Definition

Enter project overview information and click OK to save it or Cancel to quit this page

1) Project Settings 2) Location 3) Weather & Pollution 4) Data Collection Options

What name would you like to give your new project?

Project Name:

What name would you like to give your series?

Series Name:

Please specify the series year for your project:

Series Year:

Please specify the following inventory information:

Inventory Type:

Figura 21 – Configuração “Project Settings” (configurações do projeto)

Project Configuration > Project Definition

Enter project overview information and click OK to save it or Cancel to quit this page

1) Project Settings 2) Location 3) Weather & Pollution 4) Data Collection Options

Please select a location to use for your project:
Hint: Use the Delete key to clear a selection.

Not all cities for international locations are available due to limitations of information, please see <https://database.itreetools.org/#/viableLocation>

Nation:

State:

Municipality:

Municipality:

Is the study area Urban? ☒

Population:

Use Tropical Equations? ☒

Figura 22 – “Location” (localização do projeto)

Project Configuration > Project Definition

Enter project overview information and click OK to save it or Cancel to quit this page

1) Project Settings 2) Location 3) Weather & Pollution 4) Data Collection Options

Please specify the following years for your project:

Note: Precipitation values outside the US may be less accurate and affect pollution estimates. Mixing of years is not permitted. Recent years are preferred.

Weather & Pollution Year:

The closest weather station to Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil is 34 kilometers.

The closest pollution station to Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil is 90 kilometers.

Please select a weather station to use for your project:

Weather Station:

Please select a precipitation source to use for your project:

Precipitation Source:

Please assign pollution stations to use for your project:

Note: Please review the Help text at the left for a better understanding of how to use the pollution stations.

Location	Station ID	CO	NO2	O3	SO2
Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil	0001	☒	☒	☒	☒

Figura 23 – “Weather & Pollution” – dados de clima e poluição da estação meteorológica utilizada.

Project Configuration > Project Definition

Enter project overview information and click OK to save it or Cancel to quit this page

1) Project Settings 2) Location 3) Weather & Pollution 4) Data Collection Options

What units will you be using during your data collection?

☐ English ☒ Metric

Note: This option cannot be changed once a project has been created.

TREE INFORMATION

Minimum Requirements

☒ Species

☒ DBH

Measured

General Site Fields

☐ Tree address

☐ Land Use

☐ Strata/Area

Check this box if you know your project area.

See Project & Strata Area to configure description and area.

☐ Status

☐ Street tree/non-street tree

Default non-street tree

☐ Map (GPS) coordinates

☐ Public/private

Default Public

Tree Detail

☐ Total

☐ Crown

☐ Trunk

☐ Branch

☐ Leaf

☐ Flower

☐ Fruit

☐ Bark

☐ Wood

☐ Root

☐ Soil

☐ Air

☐ Water

☐ Sun

☐ Wind

☐ Noise

☐ Temperature

☐ Humidity

☐ Pressure

☐ Light

☐ Sound

☐ Vibration

☐ Magnetic

☐ Electric

☐ Radio

☐ Television

☐ Internet

☐ Mobile

☐ Other

Figura 24 - “Data Collections Options” – opções de dados de coleta para o resultado.

Os dados dendrométricos iniciais foram extraídos do ArboRio em planilha Microsoft Excel, revisados e adequados aos protocolos da plataforma i-Tree Eco v6.0.38 (Figuras 25, 26 e 27). Em seguida o arquivo foi inserido e carregado na base de dados da plataforma para submissão, e em poucos segundos houve confirmação de que o projeto estava em conformidade com as exigências técnicas da plataforma, sendo recebido nos computadores servidores para processamento (Figura 28)

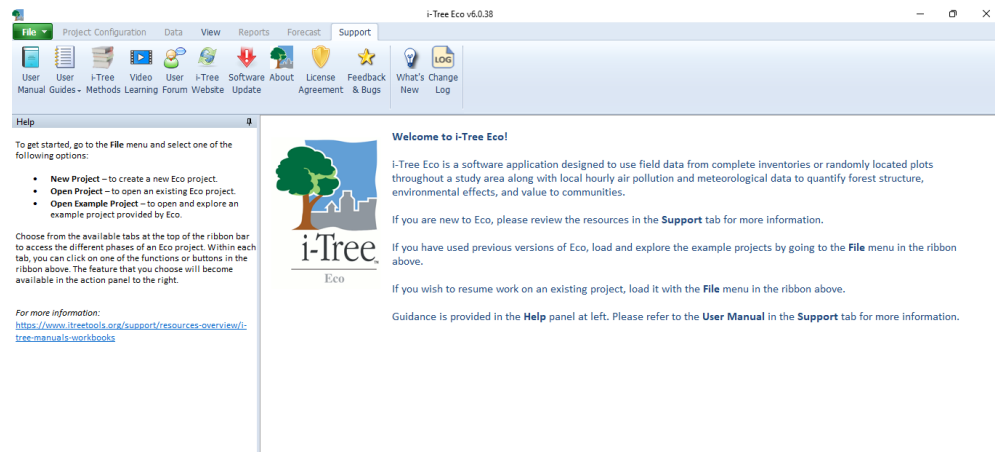


Figura 25 - Plataforma i-Tree Eco v6.0.38.

[Project: Projeto i-Tree_Grajuau_Rio_RJ_AGO 2025] [Series: Grajuau_Rio_RJ_2016_2025] [Year: 2025] - i-Tree Eco v6.0.38

File Project Configuration Data View Reports Forecast Support

Submit to Mobile Retrieve from Mobile Paper Form Import Trees Check Data Benefits Annual Costs DBH Crown Health CSV KML Editing Mode: Off

Help Data > Inventory Data > Trees

The Eco species list has been updated to remove synonyms and cultivars

If there are species in this project that are no longer on the Eco species list there will be exclamation symbols indicating those cells. To correct the unmatched species, click on the Check Data button at the top of the window.

For more information concerning this change go here: <https://forums.itreetools.org/viewtopic.php?f=19&t=6486>

The **Trees** table seen in the action panel to the right displays the tree data that you collected in the field (see Notes below). This is where you will enter your tree data manually or edit your previously added or imported data. While working in this table, you may use the tools in the **Actions** group to help manually enter new data or edit data that has already been added.

Steps to Manually Add/Edit Data:

1. Click in the box where you would like to enter data and begin typing.
2. Use the Tab key on your keyboard or the left and right arrows to move from side to side within a record.
3. Use the up and down arrows on the keyboard to move from top to bottom between records.
4. For boxes that contain drop-down lists, you can choose your data from the list or begin typing and the matching label will be automatically filled in.
5. For boxes where dates are entered, a calendar pop-up will appear if you click on the calendar icon in

ID	Crew	Survey Date	Species	Photo ID	DBH 1 (cm)	DBH 1: Height (m)	DBH 1: Measured?	DBH 2 (cm)
18509		11/09/2018 00:00:00	India tamarind (Tamarindus indica)		70.0		✓	
18542		05/07/2021 00:00:00	Oiti (Moquelea tomentosa)		40.0		✓	
18546		05/07/2021 00:00:00	Oiti (Moquelea tomentosa)		50.0		✓	
18549		23/08/2024 00:00:00	Oiti (Moquelea tomentosa)		50.0		✓	
18553		23/08/2024 00:00:00	guiana chestnut (Fachira aquatica)		50.0		✓	
18556		05/07/2021 00:00:00	Oiti (Moquelea tomentosa)		45.0		✓	
18562		05/07/2021 00:00:00	Oiti (Moquelea tomentosa)		50.0		✓	
18565		03/08/2016 00:00:00	Oiti (Moquelea tomentosa)		40.0		✓	
18568		03/08/2016 00:00:00	Oiti (Moquelea tomentosa)		40.0		✓	
18570		03/08/2016 00:00:00	Oiti (Moquelea tomentosa)		35.0		✓	
18571		28/03/2024 00:00:00	Rubber plant (Ficus elastica)		100.0		✓	
18572		03/08/2016 00:00:00	Oiti (Moquelea tomentosa)		70.0		✓	
18573		28/03/2024 00:00:00	Rubber plant (Ficus elastica)		200.0		✓	
18574		03/08/2016 00:00:00	Oiti (Moquelea tomentosa)		70.0		✓	
18576		03/08/2016 00:00:00	Oiti (Moquelea tomentosa)		70.0		✓	
18577		03/08/2016 00:00:00	Oiti (Moquelea tomentosa)		45.0		✓	
18579		03/08/2016 00:00:00	Oiti (Moquelea tomentosa)		55.0		✓	
18580		03/08/2016 00:00:00	Oiti (Moquelea tomentosa)		55.0		✓	
18586		25/08/2016 00:00:00	Fiddle leaf fig (Ficus lyrata)		56.0		✓	
18588		30/08/2023 00:00:00	Oiti (Moquelea tomentosa)		65.0		✓	
18591		30/08/2023 00:00:00	Oiti (Moquelea tomentosa)		65.0		✓	

Figura 26 - Inserção de dados na plataforma i-Tree Eco v6.0.38

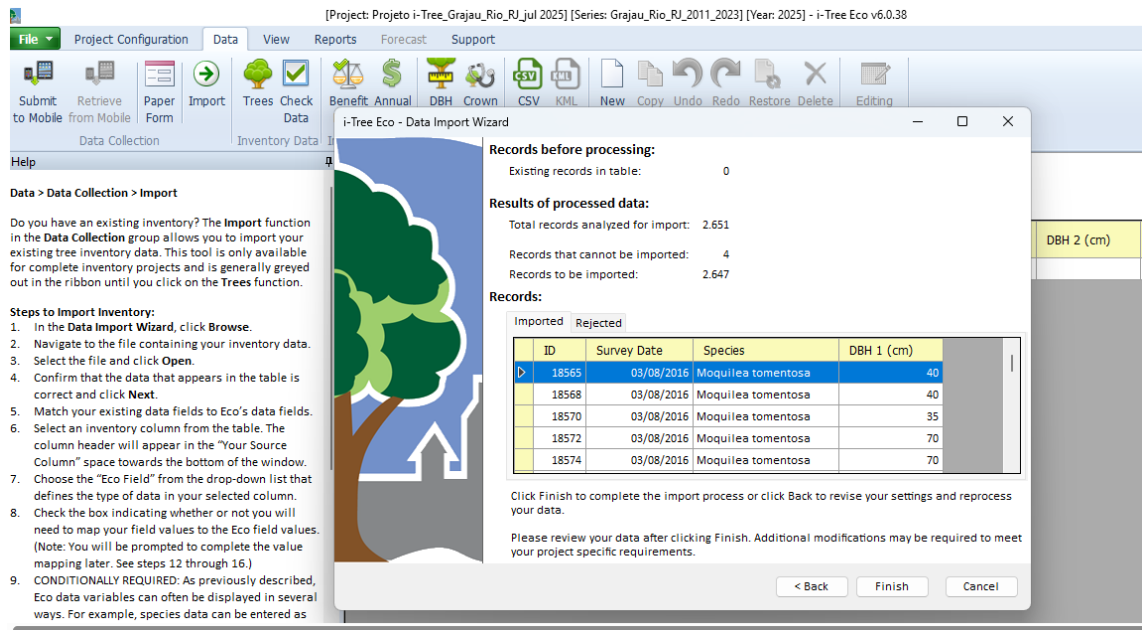


Figura 27 - Inserção de dados na plataforma i-Tree Eco v6.0.38

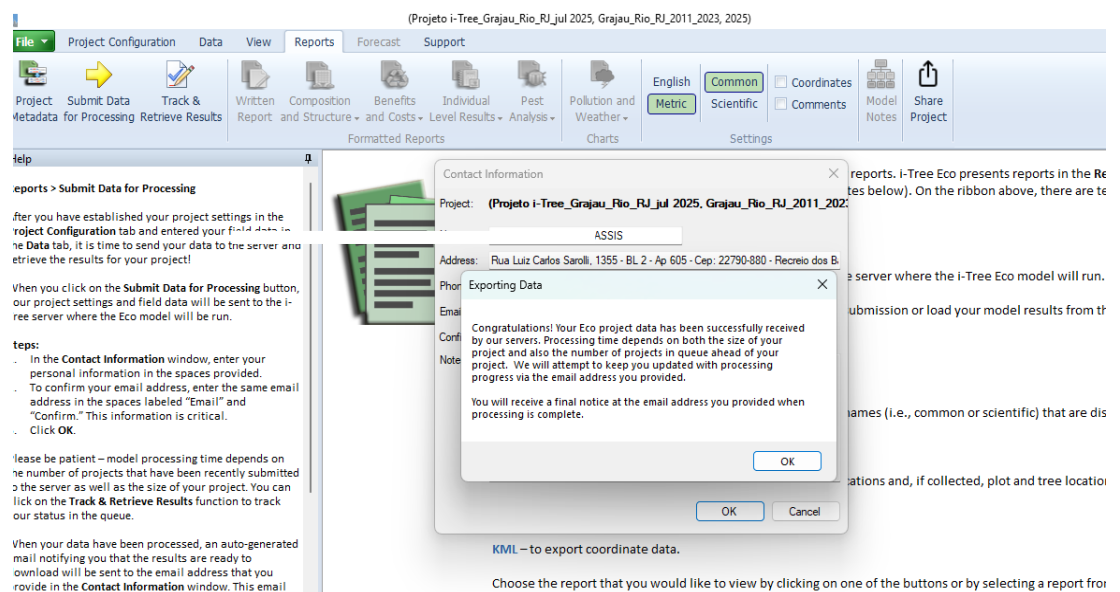


Figura 28 - Confirmação de recebimento do projeto na plataforma i-Tree Eco v6.0.38

Após a confirmação de recebimento o projeto passa a ser processado na base de dados da plataforma, e após algumas horas as orientações de acesso aos resultados são informadas por e-mail (Figura 29).

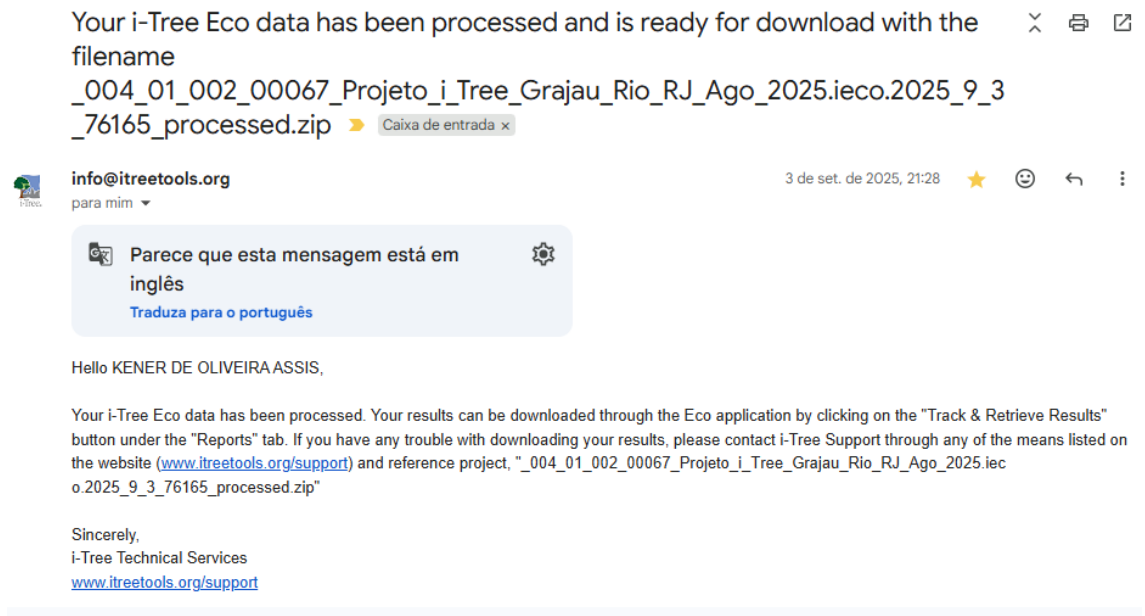


Figura 29 – E-mail de confirmação para acesso aos resultados, após processamento pela plataforma i-Tree Eco v6.0.38.

3.1.4 Localização espacial das árvores do bairro Grajaú

A Figura 30 apresenta a localização espacial dos 2.647 vegetais do censo arbóreo realizado pela Comlurb, utilizado na elaboração do estudo, contendo os dados disponíveis dos benefícios ecossistêmicos, sendo os resultados obtidos após a submissão do projeto na plataforma i-Tree Eco.

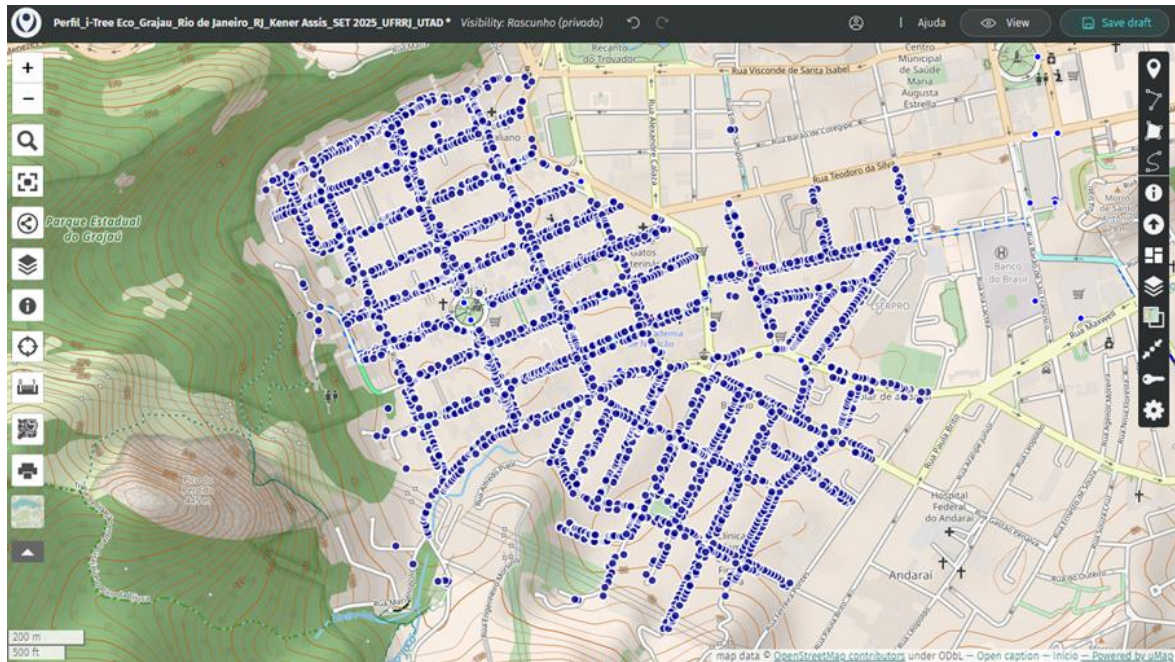


Figura 30 - Localização espacial das árvores do bairro Grajaú, Rio de Janeiro, elaborado pelo autor utilizando a plataforma de dados geoespacial OpenStreetMap, tendo como base o censo arbóreo Comlurb 2016. (Link: <https://umap.openstreetmap.fr/pt-br/map/anonymouseedit/1262444:AGO7BnrXdk8vvhWynNSh5hw2wsDkc3-WYuLDKAZQHRk>)

3.1.5 Os Benefícios Ecológicos

As Figuras 31, 32, 33 e 34 apresentam os resultados dos dados dendrométricos e de benefícios ecológicos da árvore ID 19697 obtidos conforme os modelos da plataforma i-Tree Eco.

ID	19697
NOME CIENTIFICO	Tamarindus indica
NOME COMUM	Tamarindeiro
ALTURA TOTAL (m)	18
DAP (cm)	140
DIAMETRO DA COPA (m)	17,3

Figura 31 - Dados dendrométricos e de benefícios ecossistêmicos da árvore ID 19697

AREA DE COBERTURA DO DOSSEL (m2)	233,8
AREA FOLIAR (m2)	673,9
BIOMASSA FOLIAR (kg)	58,2
CO2 ARMAZENADO (kg)	7500,00
CO2 ARMAZENADO (R\$)	19.430,83
CO2 SEQUESTRADO (kg/ano)	8,1

Figura 32 - Dados dendrométricos e de benefícios ecossistêmicos da árvore ID 19697

CO2 SEQUESTRADO (R\$/ano)	21,06
AGUA DE CHUVA INTERCEPTADA (l/ano)	171,3
ESCOAMENTO SUPERFICIAL EVITADO (l/ano)	42,2
ESCOAMENTO SUPERFICIAL EVITADO (R\$/ano)	0,54
TOTAL DE POLUENTES REMOVIDOS - CO/O3/NO2/SO2 (g/ano)	802,4
TOTAL DE POLUENTES REMOVIDOS - CO/O3/NO2/SO2 (R\$/ano)	43,98

Figura 33 - Dados dendrométricos e de benefícios ecossistêmicos da árvore ID 19697

OXIGENIO PRODUZIDO (kg/ano)	21,7
VALOR TOTAL DOS BENEFICIOS ECOSSITEMICOS (R\$/ano)	19.496,41
BAIRRO	GRAJAU
+ Add a new field	
▶ Propriedades de formas geométricas	
▶ Propriedades avançadas	
▶ Opções de interação	
▶ Coordenadas	
▶ Ações avançadas	

Figura 34 - Dados dendrométricos e de benefícios ecossistêmicos da árvore ID 19697

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Relatórios

4.1.1 Composição e estrutura dos vegetais do bairro Grajaú conforme o modelo i-Tree Eco

Ao todo foram identificadas 81 espécies vegetais, incluindo árvores, arbustos e palmeiras, sendo as de maior incidência *Terminalia catappa* (Amendoeira), com 432 espécimes (16,32%); *Moquilea tomentosa* (Oiti), 291 espécimes (10,99%); *Delonix regia* (Flamboyant), 255 espécimes (9,63%); *Tamarindus indica* (Tamarindeiro), 249 espécimes (9,41%); *Handroanthus impetiginosus* (Ipê), 178 espécimes (6,72%); *Senna siamea* (Senna Siamea), 174 espécimes (6,57%); *Pachira aquática* (Munguba), 161 espécimes (6,08%); *Ficus benjamina* (Ficus benjamina), 114 espécimes (4,31%) e *Caesalpinia pluviosa* v. *peltophoroides* (Sibipiruna), 90 espécimes (3,40%). Destaco, ainda, por sua importância histórica, *Paubrasilia echinata* (Pau-brasil), com 42 espécimes (1,59%). (Tabela 1)

Espécies	Número de árvores	Percentual da população
<i>Terminalia catappa</i> (Amendoeira)	432	16,3%
<i>Moquilea tomentosa</i> (Oiti)	291	11,0%
<i>Delonix regia</i> (Flamboyant)	255	9,6%
<i>Tamarindus indica</i> (Tamarindeiro)	249	9,4%
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Ipê)	178	6,7%
<i>Senna siamea</i> (Senna siamea)	174	6,6%
<i>Pachira aquatica</i> (Munguba)	161	6,1%
<i>Ficus benjamina</i> (Ficus benjamina)	114	4,3%
<i>Caesalpinia pluviosa</i> v. <i>peltophoroides</i> (Sibipiruna)	90	3,4%
<i>Paubrasilia echinata</i> (Pau-brasil)	42	1,6%

Tabela 1 - Espécies de maior incidência na floresta urbana do bairro Grajaú, Rio de Janeiro. Fonte: Tabela elaborada pelo autor.

No que se refere a composição e estrutura das 2.647 árvores somadas foram estimados pelo i-Tree Eco uma cobertura de dossel de 161.659 m², área de relevância para captação da água das chuvas; 760.107 m² de área foliar, relacionada a interceptação da luz solar e fotossíntese; 77.804 kg de biomassa foliar, que avalia a saúde e o estado nutricional das árvores; e 505,4 m² de área basal, que permite estimar o volume, a biomassa e a capacidade produtiva da árvore. Área basal de uma árvore corresponde a área da seção transversal do seu tronco na altura do peito (cerca de 1,30m acima do solo).

No contexto amplo houve incidência de indivíduos com DAP (diâmetro na altura do peito) variando entre 2 e 200 cm (Figura 35), destacando-se 90 vegetais com diâmetros menores (DAP 2cm), e 17 vegetais de maiores diâmetros (DAP entre 150 e 300cm).

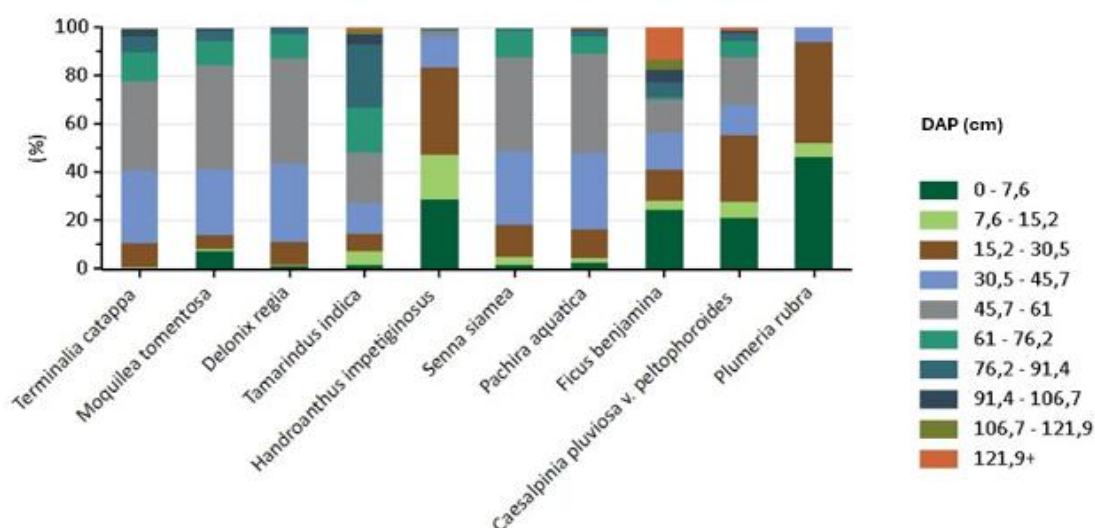


Figura 35 – Composição de DAP da floresta urbana do bairro Grajau. Fonte: Resultado gerado pela plataforma i-Tree Eco v6.0.38.

Um aspecto de extrema relevância, e que justifica a importância de investimento na elaboração de um inventário arbóreo completo e atualizado, é que entre as quinze espécies de maior ocorrência no bairro, 5 são listadas entre as dez piores para a arborização urbana (Amendoeira, Flamboyant, Senna Siamea, Munguba e Ficus), segundo o Plano Diretor de Arborização Urbana do Rio de Janeiro – PDAU (2015). Há uma relação direta entre fortes chuvas e rajadas de vento e potencial queda dessas espécies, considerando, ainda, que outros

fatores que contribuem para a falência do vegetal são as características da espécie, condição do sistema radicular, sanidade da árvore e manejo (PDAU, 2015).

4.1.2 Área foliar e área de copa (m²)

Na área de estudo foi evidenciada a significativa área foliar (*leaf area*) total de 76,01 ha (760.100 m²), para os 2.647 vegetais, sendo os de maior destaque foram *Terminalia catappa* (Amendoeira), com 21,027 ha; *Moquilea tomentosa* (Oiti), 10,118 ha; *Delonix regia* (Flamboyant), 5,875 ha; *Tamarindus indica* (Tamarindeiro), 9,813 ha; *Handroanthus impetiginosus* (Ipê), 1,311 ha; *Senna siamea* (Senna Siamea), 5,886 ha; e *Pachira aquática* (Munguba), 7,497 ha. (Tabela 2).

Espécies	Quantidade de árvores	Área foliar (ha)	Biomassa foliar (ton)
<i>Terminalia catappa</i>	432	21,027	27,219
<i>Moquilea tomentosa</i>	291	10,118	7,612
<i>Delonix regia</i>	255	5,875	5,078
<i>Tamarindus indica</i>	249	9,813	8,482
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	178	1,311	0,798
<i>Senna siamea</i>	174	5,886	10,951
<i>Pachira aquatica</i>	161	7,497	4,268

Tabela 2 – Espécies de maior área foliar na floresta urbana do bairro Grajaú. Fonte: Tabela elaborada pelo autor.

No que se refere a área de copa foi evidenciado o total de 16,1 ha (161.658 m²), tendo como espécies de maior área *Terminalia catappa* (Amendoeira), *Tamarindus indica* (Tamarindeiro), *Ficus elastica* (Ficus Elástica), *Caesalpina pluviosa* v. *peltophoroides* (Sibipiruna) e *Mangifera indica* (Mangueira).

4.1.3 Remoção de Poluentes

O sistema de análise i-Tree Eco envolve complexas informações de cálculos e base de dados, não sendo o seu aprofundamento alvo do estudo proposto. Entretanto, há o entendimento de que é razoável e necessário abordar, mesmo que de maneira superficial, a forma de cálculo e de obtenção dos resultados.

A remoção de poluição dos vegetais das árvores do bairro Grajaú foi estimada utilizando dados de campo, dados meteorológicos e de poluição recentes disponíveis, sendo que a maior remoção foi para o poluente o ozônio (Figura 36).

As árvores do bairro Grajaú removem do ar anualmente um volume total estimado de 905 kg de poluentes, sendo 649,65 kg de ozônio (O₃), 54,82 kg de monóxido de carbono (CO), 111,35 kg de dióxido de nitrogênio (NO₂) e 89,20 kg de dióxido de enxofre (SO₂), com um valor total equivalente de R\$ 49,6 mil.

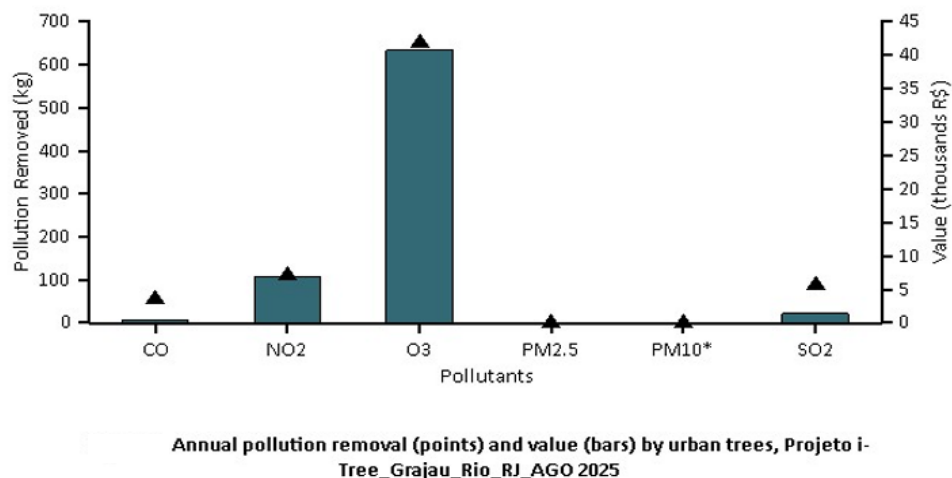


Figura 36 - Remoção de poluentes pelas árvores do bairro Grajaú – Rio de Janeiro – RJ. Fonte: Resultado gerado pela plataforma i-Tree Eco v6.0.38.

Poluentes removidos (kg/ano)				Valor dos poluentes removidos (R\$/ano)			
CO	O3	NO2	SO2	CO	O3	NO2	SO2
54,82	649,65	111,35	89,20	R\$ 488,48	R\$ 40.756,64	R\$ 6.985,50	R\$ 1.369,94
905,01				R\$ 49.600,56			

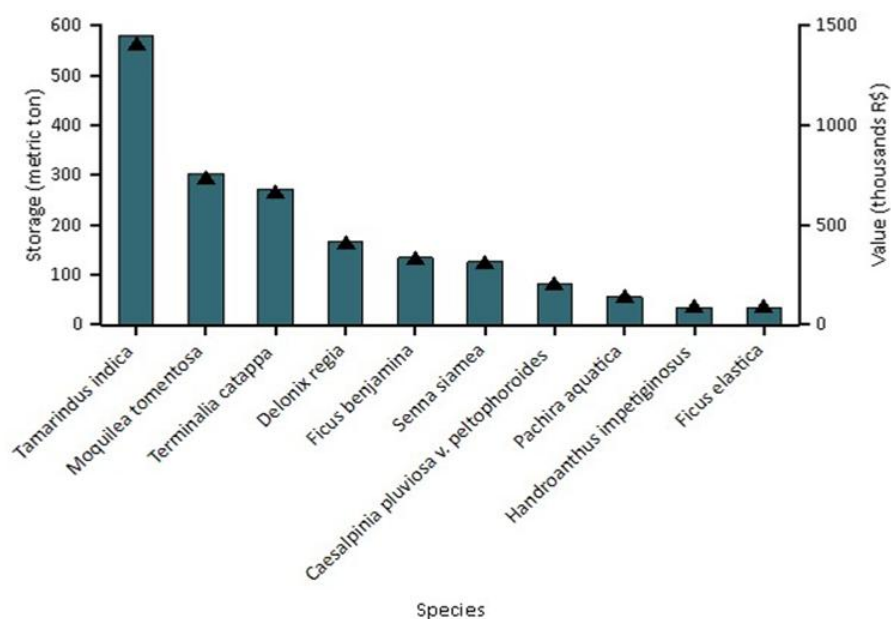
Tabela 3 - Remoção de poluentes pelas árvores do bairro Grajaú – Rio de Janeiro – RJ. Fonte: Tabela elaborada pelo autor.

4.1.4 Estoque de Carbono (C)

O armazenamento de carbono é a quantidade retida nas partes acima e abaixo do solo da vegetação lenhosa. Para obter o valor armazenado estimado de carbono, a biomassa de cada árvore foi calculada usando equações da literatura e dados de medição dos vegetais. Árvores cultivadas em áreas urbanas tendem a ter menos biomassa do que o previsto pelas equações de biomassa derivadas da floresta nativa (Nowak, 1994). Para ajustar essa diferença, os resultados de biomassa para árvores urbanas foram multiplicados por 0,8. A biomassa seca das árvores foi convertida em carbono armazenado multiplicando-se por 0,5.

O resultado de estoque de carbono nas árvores do bairro Grajaú foi estimado em 1.907,1 t, equivalentes a 6.992,5 t de CO₂ - dióxido de carbono. Esse volume estocado equivale a emissão anual de carbono de 1.490 veículos, somado as emissões de 610 residências do tipo unifamiliar.

Quanto aos benefícios relacionados ao estoque de carbono, as cinco espécies que mais contribuíram no Grajaú foram *Tamarindus indica* (561 t/ano), *Moquilea tomentosa* (292,9 t/ano), *Terminalia catappa* (262,8 t/ano), *Denolix regia* (161,1 t/ano), e *Ficus benjamina* (129,8 t/ano) (Figura 37).



Estimated carbon storage (points) and values (bars) for urban tree species with the greatest storage, Projeto i-Tree_Grajaú_Rio_RJ_AGO 2025

Figura 37 – Espécies com maiores volumes de carbono estocado no bairro Grajaú.

Fonte: Resultado gerado pela plataforma i-Tree Eco v6.0.38.

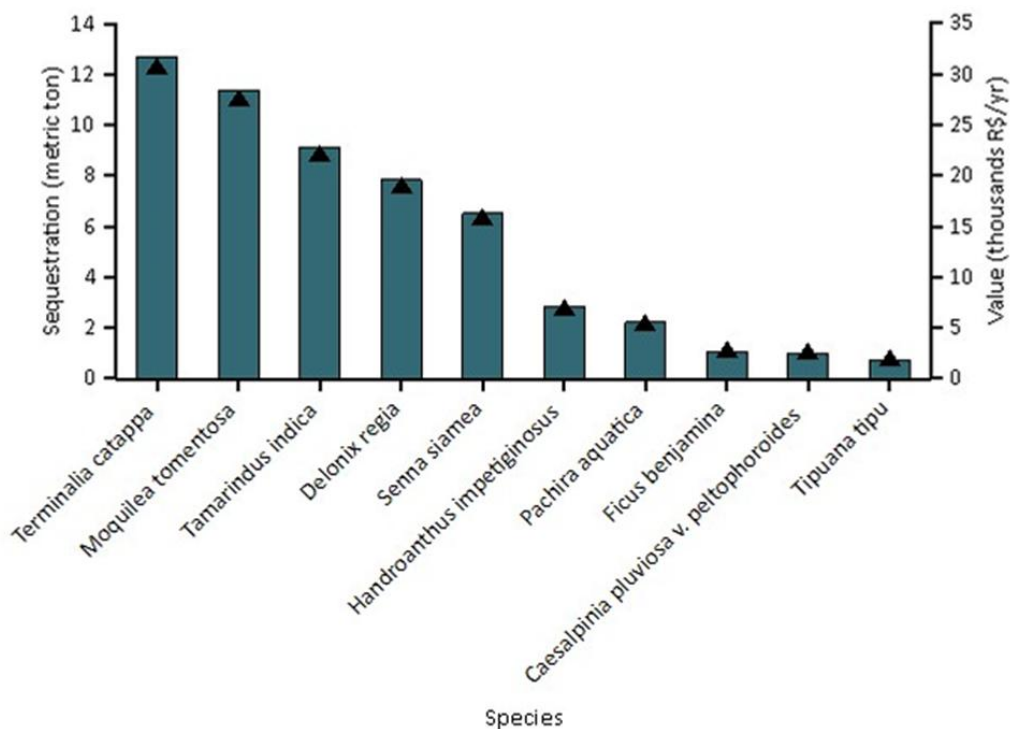
4.1.5 Sequestro de Dióxido de Carbono (CO₂)

Um dos grandes benefícios das árvores é a sua capacidade de sequestrar dióxido de carbono (CO₂), e armazenar carbono (C). O processo de sequestro de CO₂ da atmosfera ocorre pela fotossíntese, sendo armazenado na biomassa da árvore (carbono acumulado ou estoque de carbono). O carbono sequestrado, usado para o crescimento da árvore, se acumula nos troncos, galhos e folhas, e outra parte é transferido para as raízes e solo. Espécies distintas conseguem sequestrar diferentes quantidades de carbono, dependendo das suas características.

Para estimar o sequestro bruto anual de carbono, o diâmetro das árvores foi gradativamente aumentado no modelo i-Tree, com base em uma taxa de crescimento anual estimada, sendo 0,58 centímetros/ano para espécies de crescimento lento; 0,83 centímetros/ano para espécies de crescimento moderado; e 1,09 centímetros/ano para espécies de crescimento rápido. O armazenamento de carbono no ano corrente (ano 0) foi então comparado com o armazenamento de carbono no ano seguinte (ano 1) para estimar o sequestro anual.

As árvores reduzem a quantidade de carbono na atmosfera sequestrando carbono em novos crescimentos a cada ano, criando um ciclo contínuo relacionado ao seu crescimento e aumento de capacidade de captura. O sequestro bruto de carbono das árvores do bairro Grajaú é estimado em 58,84 t/ano, equivalente a emissão anual de carbono de 46 veículos, somado as emissões de 19 residências do tipo unifamiliar, com um valor associado de R\$ 152 mil.

Quanto aos benefícios relacionados ao sequestro de carbono, as cinco espécies que mais contribuíram foram *Terminalia catappa* 12,24 t/ano (20% de todo o carbono sequestrado), *Moquilea tomentosa* 10,98 t/ano (18%), *Tamarindus indica* 8,81 t/ano (15%), *Delonix regia* 7,56 t/ano (12%) e *Senna siamea* 6,29 t/ano (11%) (Figura 38).



Estimated annual gross carbon sequestration (points) and value (bars) for urban tree species with the greatest sequestration, Projeto i-Tree_Grajaú_Rio_RJ_AGO 2025

Figura 38 – Espécies que mais sequestraram carbono no bairro Grajaú. Fonte: Resultado gerado pela plataforma i-Tree Eco v6.0.38.

4.1.6 Produção de Oxigênio

A produção de oxigênio é um dos benefícios mais comumente citados das árvores urbanas. A produção anual de oxigênio de uma árvore está diretamente relacionada à quantidade

de carbono sequestrado por ela, que está ligada ao acúmulo de biomassa arbórea.

Estima-se que as árvores do Grajaú produzam 156,9 t/ano de oxigênio, e as cinco espécies que mais contribuíram foram *Terminalia catappa* 32,63 t/ano (21% do total), *Moquilea tomentosa* 29,29 t/ano (18%), *Tamarindus indica* 23,48 t/ano (14%), *Delonix regia* 20,16 t/ano (13%) e *Senna siamea* 16,76 t/ano (10%) (Tabela 4).

Espécies	Oxigênio (ton)	Carbono sequestrado (ton/ano)	Quantidade de árvores	Área foliar (ha)
<i>Terminalia catappa</i>	32,63	12,24	432	21,03
<i>Moquilea tomentosa</i>	29,29	10,98	291	10,12
<i>Tamarindus indica</i>	23,48	8,81	249	9,81
<i>Delonix regia</i>	20,16	7,56	255	5,87
<i>Senna siamea</i>	16,76	6,29	174	5,89
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	7,28	2,73	178	1,31
<i>Pachira aquatica</i>	5,72	2,15	161	7,50
<i>Ficus benjamina</i>	2,74	1,03	114	3,38
<i>Caesalpinia pluviosa</i> v. <i>peltophoroides</i>	2,59	0,97	90	2,06
<i>Tipuana tipu</i>	1,91	0,72	20	0,82
<i>Bauhinia variegata</i>	1,74	0,65	52	0,62
<i>Albizia niopoides</i>	1,49	0,56	23	0,74
<i>Cassia fistula</i>	1,32	0,49	28	0,58
<i>Mangifera indica</i>	1,16	0,44	32	0,53
<i>Roystonea oleracea</i>	0,63	0,23	19	0,07
<i>Paubrasilia echinata</i>	0,61	0,23	42	0,25
<i>Clitoria fairchildiana</i>	0,60	0,22	20	0,51
<i>Ficus religiosa</i>	0,58	0,22	7	0,41
<i>Libidibia ferrea</i>	0,58	0,22	14	0,15
<i>Leucaena leucocephala</i>	0,43	0,16	17	0,27

Tabela 4 – Espécies com maior produção de oxigênio no bairro Grajaú. Fonte: Tabela elaborada pelo autor.

4.1.7 Escoamento Superficial evitado

O escoamento superficial evitado foi estimado com a interceptação da chuva pela vegetação, utilizando dados de área de copa e dados meteorológicos locais por hora, sendo geradas considerando a diferença entre um cenário com e sem a vegetação urbana.

Embora folhas, ramos e cascas das árvores possam interceptar a precipitação e, assim, reduzir o escoamento superficial, apenas a precipitação interceptada pelas folhas é contabilizada nesta análise, conforme a metodologia completa e detalhada descrita em Nowak (2021), Nowak et al. (2008) e Hirabayashi (2013).

Durante eventos de precipitação parte é interceptada pela vegetação (árvores e arbustos), enquanto a outra parte atinge o solo. A parte que atinge o solo e não se infiltra torna-se escoamento superficial (Hirabayashi 2012). Em áreas urbanas, a grande extensão de superfícies impermeáveis aumenta a quantidade de escoamento superficial, sendo motivo de preocupação pois impactam em alagamentos e poluição de córregos, rios, lagos e oceanos.

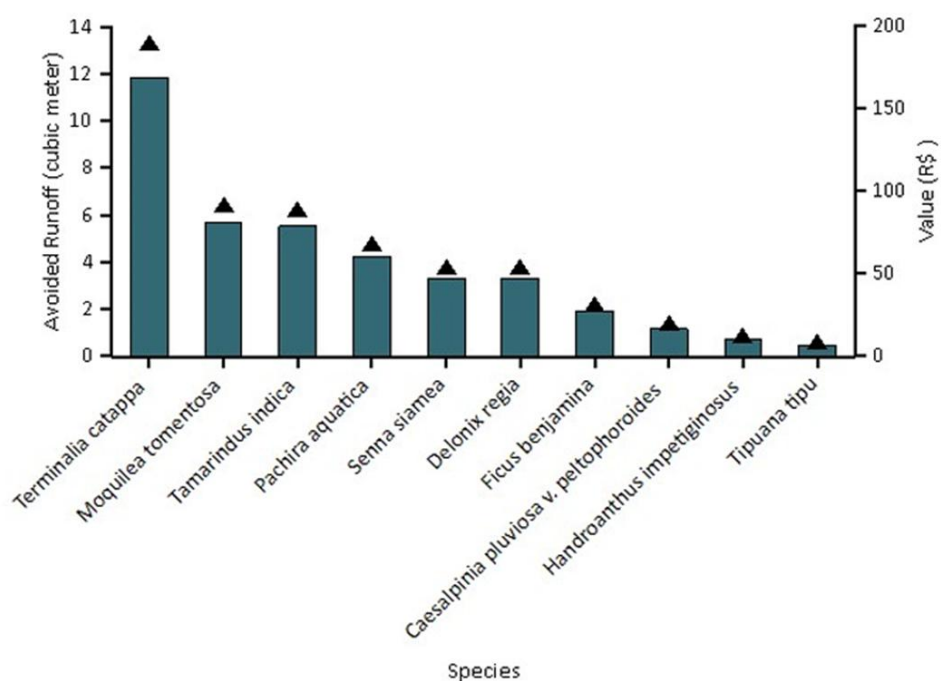
Árvores e arbustos urbanos, no entanto, são benéficos na redução do escoamento superficial pois interceptam grandes volumes da precipitação, enquanto seus sistemas radiculares promovem infiltração e armazenamento no solo.

Assim, estima-se que as árvores do Grajaú interceptem anualmente 193,19 m³ de água das chuvas, e ajudem a reduzir o escoamento superficial em cerca de 47,6 m³ (Tabela 5).

Número de árvores	Área foliar (ha)	Interceptação de água das chuvas (m ³ /ano)	Escoamento superficial evitado (m ³ /ano)
2.647	76,01	193,19	47,64

Tabela 5 - volumes estimados de água das chuvas interceptada e de escoamento superficial evitado pelas árvores do bairro Grajaú – Rio de Janeiro – RJ. Fonte: Tabela elaborada pelo autor.

Nesse contexto as cinco espécies que mais contribuíram na interceptação das águas das chuvas por possuírem maiores área foliar, diminuindo o escoamento superficial no Grajaú, foram *Terminalia catappa* 13,18 m³/ano (27% do total), *Moquilea tomentosa* 6,34 m³/ano (13%), *Tamarindus indica* 6,15 m³/ano (12%), *Pachira aquatica* 4,70 m³/ano (9%) e *Senna siamea* 3,69 m³/ano (7%). (Figura 39 e Tabela 6)



Avoided runoff (points) and value (bars) for species with greatest overall impact on runoff,
Projeto i-Tree_Grajaú_Rio_RJ_AGO 2025

Figura 39 – Espécies que mais contribuíram na interceptação das águas das chuvas e na diminuição do escoamento superficial, em m³, no bairro Grajaú – Rio de Janeiro – RJ.

Fonte: Resultado gerado pela plataforma i-Tree Eco v6.0.38.

Espécie	Número de árvores	Área foliar (ha)	Interceptação de água das chuvas (m ³ /ano)	Escoamento superficial evitado (m ³ /ano)
<i>Terminalia catappa</i>	432	21,03	53,44	13,18
<i>Moquilea tomentosa</i>	291	10,12	25,72	6,34
<i>Tamarindus indica</i>	249	9,81	24,94	6,15
<i>Pachira aquatica</i>	161	7,50	19,05	4,70
<i>Senna siamea</i>	174	5,89	14,96	3,69
<i>Delonix regia</i>	255	5,87	14,93	3,68
<i>Ficus benjamina</i>	114	3,38	8,59	2,12
<i>Caesalpinia pluviosa v. peltophoroides</i>	90	2,06	5,22	1,29
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	178	1,31	3,33	0,82

Tabela 6 – Espécies que mais contribuíram por área foliar, e volumes de interceptação das águas das chuvas e da diminuição do escoamento superficial do bairro Grajaú – Rio de Janeiro – RJ. Fonte: Tabela elaborada pelo autor.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam e confirmam a viabilidade de aplicação do modelo i-Tree Eco na cidade do Rio de Janeiro, demonstrando que a metodologia pode ser adaptada às condições tropicais mediante ajustes nos parâmetros de entrada e dos dados locais.

As hipóteses formuladas na introdução foram corroboradas, mostrando que a quantificação dos benefícios ecossistêmicos, como sequestro de carbono, melhoria da qualidade do ar, redução da temperatura e interceptação de águas pluviais, oferece informações valiosas para o planejamento e gestão da arborização urbana.

O estudo evidenciou que as árvores que compõem a floresta urbana do bairro Grajaú exercem papel crucial na mitigação das ilhas de calor, na regulação microclimática e na promoção da saúde da sociedade e do ambiente, sobretudo em áreas de maior adensamento populacional.

O uso do i-Tree Eco permite quantificar e valorar economicamente esses benefícios, fortalecendo o argumento de que a arborização deve ser reconhecida como infraestrutura verde essencial.

A principal contribuição desta pesquisa consiste em demonstrar a aplicabilidade de uma reconhecida ferramenta internacional de mensuração ecossistêmica ao contexto carioca, destacando-se como um modelo de referência para futuras iniciativas de gestão inteligente da arborização urbana. Além disso, o estudo contribui para a integração entre ciência, tecnologia e políticas públicas, fornecendo subsídios técnicos para decisões baseadas em evidências.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES DE PESQUISA

Com a experiência adquirida durante a aplicação do modelo i-Tree Eco no bairro Grajaú, recomenda-se fortemente maiores condições técnica, operacional e tecnológica para ampliar o alcance do ArboRio, e o investimento necessário na elaboração de um inventário arbóreo georreferenciado na cidade do Rio de Janeiro, em bases de dados locais que aprimorem a precisão dos resultados.

Sugere-se o aprofundamento de pesquisas voltadas à calibração do modelo para condições climáticas tropicais e espécies nativas brasileiras, bem como estudos comparativos entre bairros da cidade com diferentes índices de cobertura vegetal, correlacionando-os com indicadores de saúde, temperatura e qualidade do ar.

Em um sentido mais amplo, a expansão do uso do i-Tree Eco em outras cidades brasileiras pode contribuir significativamente para a formulação de estratégias nacionais de adaptação urbana e sustentabilidade ambiental.

Recomenda-se, ainda, que o executivo da cidade do Rio de Janeiro elabore programas de monitoramento contínuo dos benefícios ecossistêmicos prestados pelas florestas urbanas, associando-os a políticas públicas de planejamento territorial e mitigação climática.

Por fim, a aplicação do modelo i-Tree Eco na cidade do Rio de Janeiro configura iniciativa inédita e projeta o município como protagonista na quantificação científica dos benefícios ecossistêmicos da arborização urbana, destacando que a consolidação de uma cultura de gestão baseada em evidências depende da articulação entre universidades, órgãos públicos e sociedade civil, garantindo que o conhecimento científico se traduza em ações concretas para a valorização das florestas urbanas e o fortalecimento da resiliência das cidades brasileiras frente as mudanças climáticas, sempre objetivando o interesse público.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACORDO DE PARIS (2015) - <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>

AKBARI, H.; POMERANTZ, M.; TAHA, H. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy*, v. 70, p. 295–310, 2001.

ALBRECHT, G. et al. (2005). *Solastalgia: the distress caused by environmental change*. Australasian Psychiatry.

ALMEIDA, D. N.; VIEIRA, I. C. G. Cobertura arbórea e desigualdade socioambiental nas cidades brasileiras. *Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais*, v. 16, n. 2, p. 59–75, 2014.

ALVES, P. L.; FORMIGA, K. T. M. Efeitos da arborização urbana na redução do escoamento pluvial superficial e no atraso do pico de vazão. *Ciência Florestal*, v. 29, n. 1, p. 193–207, 2019.

ATAÍDE, Glaycianne Christine Vieira dos Santos, Árvores urbanas: padrões espaciais de cobertura arbórea, serviços ecossistêmicos e integridade do fuste / Glaycianne Christine Vieira dos Santos Ataíde – 2024. 150f.: il.

AZEVEDO, A. L. (2023). Seu bairro tem muitas árvores? Bebês que vivem em áreas arborizadas têm menor exposição a poluentes. *O Globo*. Reportagem sobre o Projeto PIPA, conduzido pela UFRJ e instituições parceiras. Publicado em 30/11/2023.

BERLAND, A. et al. The role of trees in urban stormwater management. *Landscape and Urban Planning*, v. 162, p. 167–177, 2017.

BOGAR S, Beyer KM. Green Space, Violence, and Crime: A Systematic Review. *Trauma Violence Abuse*. 2016 Apr;17(2):160-71. doi: 10.1177/1524838015576412. Epub 2015 Mar 29. PMID: 25824659.

BOWLER, D. E. et al. Urban greening to cool towns and cities: A systematic review. *Landscape and Urban Planning*, v. 97, p. 147–155, 2010.

CARLYLE-MOSES, D. E. et al. Urban Trees as Green Infrastructure for Stormwater Mitigation and Use. In: LEVIA, D. F. (Ed.). *Forest-Water Interactions*. Ecological Studies. 240. ed. Springer, Cham, 2020. p. 628.

COSTA, Marcello Deschamps Cavalcanti: revisão e discussão dos procedimentos de manejo de poda da arborização viária realizado pela Comlurb na cidade do Rio de Janeiro – RJ – Brasil / Marcello Deschamps Cavalcanti Costa – 2023. 39 f.

CÚPULA G20 e PREFEITOS do U20 (Rio 2025) <https://www.g20.rio/release-pt/prefeitos-do-u20-entregam-ao-presidente-lula-comunicado-do-grupo-com-pedido-de-financiamento-de-us-800-bilhoes-anuais-para-investimentos-climaticos>

DIÁRIO DO RIO. (2025). *Calor extremo provoca problemas de saúde mental em moradores do Rio de Janeiro*. <https://diariodorio.com/calor-extremo-provoca-problemas-de-saude-mental-em-moradores-do-rio-de-janeiro/>

FILARDI, R.A.E, Análise quali-quantitativa do plantio de mudas em vias públicas no município do Rio de Janeiro <https://rima.ufrjr.br/jspui/bitstream/20.500.14407/6108/1/Rodrigo%20Filardi.pdf>

FIOCRUZ. (2025). *Estudo sobre impactos do calor extremo na mortalidade e saúde mental*.
FREEMAN, M. (2022), The World Mental Health Report: transforming mental health for all. World Psychiatry, 21: 391-392. <https://doi.org/10.1002/wps.21018>

FRÓES-Asmus CI, Damasceno N, Prata-Barbosa A, Luiz RR, Damacena GN, Meyer A, Rezende J, Amim J, Carvalho D, Medronho R, da Cunha AJLA, Câmara VdM. Urban Green Spaces and Newborns Metal Concentrations in Rio de Janeiro, Brazil. Annals of Global Health. 2024; 90(1): 56, 1 16. DOI: <https://doi.org/10.5334/aogh.4512>

G1, 21/09/2023 - [Rio tem déficit de 1 milhão de árvores, diz levantamento; saiba quais são os bairros mais arborizados](#)

GIFFINGER, R.; GUDRUN, H. Smart cities ranking: An effective instrument for the positioning of cities? ACE: Architecture, City and Environment, v. 4, n. 12, p. 7–25, 2010.
GILLNER, S. et al. Role of street trees in mitigating effects of heat and drought at highly sealed urban sites. Landscape and Urban Planning, v. 143, p. 33–42, 2015.

HIRABAYASHI, S. i-Tree Eco Precipitation Interception Model Descriptions. 2013. Disponível em: https://www.itreetools.org/documents/61/iTree_Eco_Precipitation_Interception_Model_Descriptions.pdf >. Acesso em: 03 set. 2025.

HORN, J. et al. The Role of Composition, Invasives, and Maintenance Emissions on Urban Forest Carbon Stocks. Environmental Management, v. 55, p. 431–442, 2014.

HYE-MI, P.; HYUN-KIL, J.; KIM, J.-Y. Rainfall Interception by and Quantitative Models for Urban Landscape Trees - For Seven Native Species. Journal of the Korean Institute of Landscape Architecture, v. 49, n. 4, p. 30–40, 2021.

IMPORTÂNCIA DO PLANO DE GOVERNO NA GESTÃO MUNICIPAL - <https://fnp.org.br/noticias/item/3321-importancia-do-plano-de-governo-na-gestao-municipal-um-guia-para-pre-candidatos>

INSTITUTO PEREIRA PASSOS. (2023). *Relatório de cobertura vegetal e desigualdades ambientais no Rio de Janeiro*.

INTERNATIONAL REPORTS - PAÍSES USUÁRIOS DO i-Tree Eco <https://www.itreetools.org/support/resources-overview/i-tree-international/reports-nation>

I-TREE. i-Tree Database – Precipitation Data Templates. Disponível em: <https://www.itreetools.org/support/resources-overview/i-tree-methods-and-files>>. Acesso em: 03 set. 2025.

JORNAL DA RECORD. *Prefeitos de várias cidades do mundo se reúnem em evento preparatório da COP30*. YouTube, 2025.

<https://www.youtube.com/watch?v=svvRNkDaQBA>

KONIJNENDIJK, C. C. et al. Defining urban forestry — A comparative perspective of North America and Europe. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 4, p. 93–103, 2006.

KUEHLER, E.; HATHAWAY, J.; TIRPAK, A. Quantifying the benefits of urban forest systems as a component of the green infrastructure stormwater treatment network. *Ecohydrology*, v. 10, n. 3, p. e1813, 2016.

LEI Nº 12.727, DE 17 DE OUTUBRO DE 2012 - Proteção da vegetação nativa <https://abccam.com.br/wp-content/uploads/2018/09/lei-codigo-florestal-n.-12727-junto-com-a-12.651-1.pdf>)

LIVESLEY, S. J.; MCPHERSON, E. G.; CALFAPIETRA, C. The Urban Forest and Ecosystem Services: Impacts on Urban Water, Heat, and Pollution Cycles at the Tree, Street, and City Scale. *Journal of Environmental Quality*, v. 124, p. 119–124, 2016.

LOBODA, C. R.; ANGELIS, B. L. D. Arborização urbana: planejamento e manejo das árvores de rua. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, v. 1, n. 1, p. 59–78, 2005.

MAAS, J. et al. Green space, urbanity, and health: How strong is the relation? *Journal of Epidemiology & Community Health*, v. 60, p. 587–592, 2006.

MANCUS GC, Campbell J. Integrative Review of the Intersection of Green Space and Neighborhood Violence. *J Nurs Scholarsh*. 2018 Mar;50(2):117-125. doi: 10.1111/jnu.12365. Epub 2018 Jan 4. PMID: 29314746.

MCPHERSON, E. G. et al. Urban tree database and allometric equations. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 17, p. 135–147, 2016.

MEINEKE, E. et al. Urban warming reduces aboveground carbon storage. *Proceedings of the Royal Society B - Biological Sciences*, v. 283, p. 20161574, 2016.

MELO, M. S.; SOARES, V. P. A arborização urbana no Brasil: desafios e perspectivas. *Revista Árvore*, v. 38, n. 2, p. 221–233, 2014.

MONTEIRO dos Santos D, Libonati R, Garcia BN, Geirinhas JL, Salvi BB, Lima e Silva E, et al. (2024) Twenty-first-century demographic and social inequalities of heat-related deaths in Brazilian urban areas. *PLoS ONE* 19(1): e0295766. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0295766>

MORAIS, João Henrique de Araujo; CRUZ, Débora Medeiros de Oliveira e; SARACENI, Valeria; FERREIRA, Caroline Dias; AGUILAR, Gislani Mateus Oliveira; CRUZ, Oswaldo Gonçalves. *Quantificação da exposição ao calor e sua mortalidade relacionada na cidade do Rio de Janeiro: evidências que apoiam o recente protocolo de calor do Rio*. medRxiv, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1101/2025.01.17.25320740>. Disponível em: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2025.01.17.25320740v1>. Acesso em: 5 out. 2025.

MORGAN, H.; HAMILTON, K. The economic benefits of urban trees. *Urban Forestry Journal*, v. 12, p. 34–41, 2011.

MOSYAFTIANI, A. et al. Monitoring and analyzing tree diversity using i-Tree eco to strengthen urban forest management. *Biodiversitas: Journal of Biological Diversity*, v. 23, n. 8, p. 4033–4039, 2022.

NOWAK, D. J. et al. A Ground-Based Method of Assessing Urban Forest Structure and Ecosystem Services. *Arboriculture & Urban Forestry*, v. 34, n. 6, p. 347–358, 2008.

NOWAK, D. J. et al. Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Environmental Pollution*, v. 178, p. 229–236, 2013.

NOWAK, D. J. et al. Effects of urban tree management and species selection on atmospheric carbon dioxide. *Journal of Arboriculture*, v. 28, n. 3, p. 113–122, 2002.

NOWAK, D. J. Understanding i-Tree: 2021 Summary of Programs and Methods. Madison: USDA Forest Service, 2021.

NOWAK, D. J.; CRANE, D. E.; STEVENS, J. C. Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 4, n. 3–4, p. 115–123, 2006.

NOWAK, D. J.; DWYER, J. F. Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems. In: KUSER, J. E. (ed.). *Urban and Community Forestry in the Northeast*. Springer, p. 25–46, 2007.

NYC Parks. Past Trees Count Censuses - <https://www.nycgovparks.org/trees/treescount/past-censuses>

NYC Parks. *Street Tree Census History*. New York City Department of Parks & Recreation, 2024. Disponível em: <https://www.nyc.gov/assets/parks/>

NYC TREE MAP - <https://tree-map.nycgovparks.org/tree-map>

NYTCH, C. J. et al. Rainfall interception by six urban trees in San Juan, Puerto Rico. *Urban Ecosystems*, v. 22, p. 103–115, 2019.

O GLOBO, 12/02/2025 – Fotografando o não palpável - <https://oglobo.globo.com/blogs/voce-viu-essa-foto/coluna/2025/02/fotografando-o-nao-palpavel.ghtml>

O GLOBO, 30/11/2023 - <https://oglobo.globo.com/saude/noticia/2023/11/30/bebes-de-maes-que-vivem-em-bairros-com-poucas-arvores-tem-chumbo-e-mercúrio-no-cordao-umbilical-revela-novo-estudo.ghtml>

OBSERVATÓRIO DO CLIMA - 48 mil morreram por ondas de calor no Brasil entre 2000 e 2018 - [Observatório do Clima 48 mil morreram por ondas de calor no Brasil entre 2000 e 2018](#) - OC | Observatório do Clima

OMS – Organização Mundial da Saúde. (2022). *Mental health and climate change: policy brief*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240045125>

PARSA, V. A. et al. Analyzing temporal changes in urban forest structure and the effect on air

quality improvement. *Sustainable Cities and Society*, v. 48, p. 101548, 2019.

PLANO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E AÇÃO CLIMÁTICA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO
https://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/12937849/4327050/PDS_COMPLETO_0406.pdf

PLANO DIRETOR DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO - <https://planodiretor-pcrj.hub.arcgis.com/>

PLANO DIRETOR DE ARBORIZAÇÃO URBANA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO (PDAU 2015) - [Plano Diretor de Arborização Urbana – Portal Carioca Digital](#)

PLANO DIRETOR DE DESENVOLVIMENTO URBANO SUSTENTÁVEL DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO
<https://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/10402268/4259279/EstruturaeconteudodoPlanoDiretor.pdf>

PLANO ESTRATÉGICO DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO 2025 – 2028 - <https://transparencia.prefeitura.rio/plano-estrategico/>

PLANAU 2025: O BRASIL LANÇA O PRIMEIRO PLANO NACIONAL DE ARBORIZAÇÃO URBANA — E AGORA, O QUE MUDA PARA AS CIDADES?
<https://florestalbrasil.com/planau-2025-o-brasil-lanca-o-primeiro-plano-nacional-de-arborizacao-urbana-e-agora-o-que-muda-para-as-cidades/>

Plano Nacional de Arborização Urbana - PlaNAU <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/meio-ambiente-urbano-recursos-hidricos-qualidade-ambiental/cidades-verdes-resilientes/areas-verdes-e-arborizacao-urbana/planau>

PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. (2025). *Plano de Desenvolvimento Sustentável e Ação Climática 2020–2030*. Disponível em: <https://www.prefeitura.rio>

PREFEITURA RIO - <https://prefeitura.rio/saude/estudo-da-secretaria-de-saude-mede-impacto-do-calor-extremo-na-mortalidade/>

PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. *Rio wins Bloomberg Philanthropies climate award with protocol against extreme heat*. 2025. <https://en.prefeitura.rio/cidade/rio-conquista-premio-climatico-da-bloomberg-philanthropies-com-protocolo-contr-o-calor-extremo/>

RÁDIO BANDNEWS FM. *Prefeito do Rio diz que prefeituras devem ser incluídas nos diálogos da COP30*. YouTube, 2025. <https://www.youtube.com/watch?v=Teggdkr8KNU>

RAUM, S. et al. Achieving impact from ecosystem assessment and valuation of urban greenspace: The case of i-Tree Eco in Great Britain. *Landscape and Urban Planning*, v. 190, p. 103590, 2019.

SCHARENBRUCH, B. C. Urban Trees for Carbon Sequestration. In: LAL, R.; AUGUSTIN, B. (Eds.). *Carbon Sequestration in Urban Ecosystems*. Dordrecht: Springer, 2012. p. 121–138.

SILVA, Amanda Brito da. *Florestas urbanas: impactos socioeconômicos da arborização urbana e métodos de quantificação* / Amanda Brito da Silva. - 2020. 66f.: il.

SILVA, L. F. et al. Interceptação da chuva por duas espécies arbóreas em áreas verdes urbanas. *Cerne*, v. 16, n. 4, p. 547–555, 2010.

SKELHORN, C. P.; LEVERMORE, G.; LINDLEY, S. J. Impacts on cooling energy consumption due to the UHI and vegetation changes in Manchester, UK. *Energy and Buildings*, v. 122, p. 150–159, 2016.

SOUSA, K. I. R. de. Arborização viária e criminalidade: um estudo na cidade de Lavras/MG. 2022. 65 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2022.

TSOKA, S.; LEDUC, T.; RODLER, A. Assessing the effects of urban street trees on building cooling energy needs: The role of foliage density and planting pattern. *Sustainable Cities and Society*, v. 65, p. 102633, 2021.

TYRVÄINEN, L. et al. Benefits and uses of urban forests and trees. In: KONIJNENDIJK, C. C. et al. (eds.) *Urban Forests and Trees*. Springer, p. 81–114, 2005.

ULRICH, R. S. View through a window may influence recovery from surgery. *Science*, v. 224, n. 4647, p. 420–421, 1984.

VEJA RIO. *Protocolo de calor do Rio de Janeiro é premiado em evento pré-COP30*. 2025. <https://vejario.abril.com.br/cidade/protocolo-de-calor-rio-premio-local-leaders-awards/>

WANG, H. et al. Water, heat, and airborne pollutants effects on transpiration of urban trees. *Environmental Pollution*, v. 159, n. 8–9, p. 2127–2137, 2011.

WORLD ECONOMIC FORUM (Davos – Suíça, 2025) <https://www.band.com.br/bandnews-fm/rio-de-janeiro/noticias/eduardo-paes-assina-acordo-com-representantes-do-forum-economico-mundial-202501211413>

XIAO, Q.; MCPHERSON, E. G. Rainfall interception by Santa Monica's municipal urban forest. *Urban Ecosystems*, v. 6, p. 291–302, 2002.

YANG, J.; Yuan, W.; Lu, H.; Liu, Y.; Wang, Y.; Sun, L.; Li, S.; Li, H. Assessing the Performance of Handheld Laser Scanning for Individual Tree Mapping in an Urban Area. *Forests* 2024, 15, 575. <https://doi.org/10.3390/f15040575>

ZÖLCH, T. et al. Regulating urban surface runoff through nature-based solutions – An assessment at the micro-scale. *Environmental Research*, v. 157, p. 135–144, 2017.

8 - ANEXOS

Anexo 8.1 – Avaliações e atributos dos vegetais do censo arbóreo realizado no bairro Grajaú, pela Cia. Municipal de Limpeza Urbana - COMLURB (colunas 1 a 17).

ANEXO 8.1 - ATRIBUTOS E AVALIAÇÕES DE 50 DOS 2.647 VEGETAIS DO CENSO ARBOREO REALIZADO NO BAIRRO GRAJAÚ PELA CIA. MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA - COMLURB (COLUNAS 1 A 17)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Id. I.C.254	origem.C.254	lote_metroI tipo.C.254	logradouro.C.254	numeroI n.º 0	bairro.C.254	estacaom.C.254	rede_avena.C.254	apoiar_mec.C.254	protegeda.C.254	dec_m.C.254	nome_vegeta.C.254	especie.C.254	altura_estacomaI n.º 11	disp_metroI n.º 11	di_metrovegetaI n.º 11	
1850	CENSO ARBOREO	110014	AVENIDA	JULIO HENRIQUE	249	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	NAO NECESSITA APOIO	NAO	27,380	TAMARICUS	TAMARICUS INDICA	14,00	0,70	12,00
1852	CENSO ARBOREO	050721	GRAJAU	GRAJAU	2	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO	NAO		LCMNA TOIENTOSA	12,00	0,49	6,00	
1854	CENSO ARBOREO	050721	GRAJAU	GRAJAU	11	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO	NAO		LCMNA TOIENTOSA	13,50	0,50	10,00	
18549	CENSO ARBOREO	230024	GRAJAU	GRAJAU	2	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO	NAO		LCMNA TOIENTOSA	18,00	0,50	10,00	
1855	CENSO ARBOREO	050721	GRAJAU	GRAJAU	11	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO	NAO		LCMNA TOIENTOSA	11,00	0,50	10,00	
18562	CENSO ARBOREO	050721	GRAJAU	GRAJAU	21	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO	NAO		LCMNA TOIENTOSA	11,00	0,50	9,00	
18565	CENSO ARBOREO	030016	GRAJAU	GRAJAU	28	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO	NAO		LCMNA TOIENTOSA	13,00	0,40	11,00	
18566	CENSO ARBOREO	030016	GRAJAU	GRAJAU	27	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO E LIGHT	NAO		LCMNA TOIENTOSA	13,00	0,49	11,00	
18570	CENSO ARBOREO	230024	GRAJAU	GRAJAU	28	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO E LIGHT	NAO		LCMNA TOIENTOSA	17,00	1,35	16,00	
18571	CENSO ARBOREO	230024	GRAJAU	GRAJAU	36	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO E LIGHT	NAO		LCMNA TOIENTOSA	13,00	0,70	11,00	
18572	CENSO ARBOREO	030016	GRAJAU	GRAJAU	33	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO E LIGHT	NAO		LCMNA TOIENTOSA	20,00	2,00	19,00	
18573	CENSO ARBOREO	230024	GRAJAU	GRAJAU	36	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO E LIGHT	NAO		LCMNA TOIENTOSA	12,00	0,70	10,00	
18574	CENSO ARBOREO	030016	GRAJAU	GRAJAU	36	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO	NAO		LCMNA TOIENTOSA	12,00	0,70	10,00	
18575	CENSO ARBOREO	030016	GRAJAU	GRAJAU	40	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO	NAO		LCMNA TOIENTOSA	12,00	0,45	8,00	
18579	CENSO ARBOREO	030016	GRAJAU	GRAJAU	41	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO E LIGHT	NAO		LCMNA TOIENTOSA	12,00	0,55	18,00	
18580	CENSO ARBOREO	030016	GRAJAU	GRAJAU	45	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO E LIGHT	NAO		LCMNA TOIENTOSA	12,00	0,55	18,00	
18586	CENSO ARBOREO	230016	GRAJAU	GRAJAU	8	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO	NAO		LCMNA TOIENTOSA	11,00	0,56	10,00	
18591	CENSO ARBOREO	230022	GRAJAU	GRAJAU	57	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO	NAO		LCMNA TOIENTOSA	16,00	0,65	10,00	
18592	CENSO ARBOREO	150016	GRAJAU	GRAJAU	8	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO	NAO		LCMNA TOIENTOSA	10,00	0,62	12,00	
18594	CENSO ARBOREO	230023	GRAJAU	GRAJAU	56	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO	NAO		LCMNA TOIENTOSA	16,00	0,45	12,00	
18595	CENSO ARBOREO	230023	GRAJAU	GRAJAU	8	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO	NAO		LCMNA TOIENTOSA	16,00	0,46	12,00	
18597	CENSO ARBOREO	230023	GRAJAU	GRAJAU	17	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO	NAO		LCMNA TOIENTOSA	16,00	0,46	12,00	
18598	CENSO ARBOREO	230016	GRAJAU	GRAJAU	17	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO	NAO		LCMNA TOIENTOSA	7,00	0,15	5,00	
18603	CENSO ARBOREO	030016	GRAJAU	GRAJAU	17	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO	NAO		LCMNA TOIENTOSA	12,00	0,48	12,00	
18604	CENSO ARBOREO	230023	GRAJAU	GRAJAU	61	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO	NAO		LCMNA TOIENTOSA	16,00	0,70	12,00	
18605	CENSO ARBOREO	230023	GRAJAU	GRAJAU	64	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO	NAO		LCMNA TOIENTOSA	16,00	0,50	9,00	
18610	CENSO ARBOREO	230023	GRAJAU	GRAJAU	67	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO E LIGHT	NAO		LCMNA TOIENTOSA	16,00	0,70	12,00	
18612	CENSO ARBOREO	230023	GRAJAU	GRAJAU	37	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO E LIGHT	NAO		LCMNA TOIENTOSA	12,00	0,50	11,00	
18614	CENSO ARBOREO	030016	GRAJAU	GRAJAU	44	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO	NAO		LCMNA TOIENTOSA	12,00	0,13	3,00	
18615	CENSO ARBOREO	030016	GRAJAU	GRAJAU	44	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO	NAO		LCMNA TOIENTOSA	12,00	0,13	3,00	
18616	CENSO ARBOREO	030016	GRAJAU	GRAJAU	44	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO	NAO		LCMNA TOIENTOSA	12,00	0,15	3,00	
18617	CENSO ARBOREO	030016	GRAJAU	GRAJAU	43	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO	NAO		LCMNA TOIENTOSA	16,00	1,00	15,00	
18619	CENSO ARBOREO	030016	GRAJAU	GRAJAU	48	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO	NAO		LCMNA TOIENTOSA	3,00	0,15	3,00	
18620	CENSO ARBOREO	230022	GRAJAU	GRAJAU	53	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO	NAO		LCMNA TOIENTOSA	9,00	0,35	10,00	
18621	CENSO ARBOREO	030016	GRAJAU	GRAJAU	59	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO	NAO		LCMNA TOIENTOSA	13,00	0,66	13,00	
18623	CENSO ARBOREO	030016	GRAJAU	GRAJAU	60	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO	NAO		LCMNA TOIENTOSA	13,00	0,35	8,00	
18624	CENSO ARBOREO	030016	GRAJAU	GRAJAU	61	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO	NAO		LCMNA TOIENTOSA	3,00	0,07	4,00	
18625	CENSO ARBOREO	030016	GRAJAU	GRAJAU	61	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO	NAO		LCMNA TOIENTOSA	3,00	0,07	4,00	
18626	CENSO ARBOREO	030016	GRAJAU	GRAJAU	61	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO	NAO		LCMNA TOIENTOSA	3,00	0,07	4,00	
18627	CENSO ARBOREO	030016	GRAJAU	GRAJAU	61	GRAJAU	PROIBIDO	DBAT	OPERACAO DE TRANSITO	NAO		LCMNA TOIENTOSA	12,00	0,30	10,00	

Anexo 8.2 – Avaliações e atributos dos vegetais do censo arbóreo realizado no bairro Grajaú, pela Cia. Municipal de Limpeza Urbana - COMLURB (colunas 18 a 31).

ANEXO 8.2 - ATRIBUTOS E AVALIAÇÕES DE 50 DOS 2.647 VEGETAIS DO CENSO ARBÓREO REALIZADO NO BAIRRO GRAJAU PELA CIA. MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA - COMLURB. [COLUNAS 18 A 31]

[illegible]

Anexo 8.4 – Legendas das avaliações e dos atributos dos vegetais do censo arbóreo realizado pela Cia. Municipal de Limpeza Urbana – COMLURB.

ANEXO 8.4 - LEGENDA DAS AVALIAÇÕES E DOS ATRIBUTOS DOS VEGETAIS DO CENSO ARBÓREO REALIZADO NO BAIRRO GRAJAUÍ PELA CIA. MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA - COMLURB.

COLUMNA	IDENTIFICADOR	DESCRIÇÃO	TIPO DE REDE AÉREA	SIGNIFICADO
1	ID	Identificação numérica sequencial de vegetais		
2	Origem	Motivo da visitação		
3	Data visito	Data de realização da visitação		
4	Tipo	Tipo de logradouro		
5	Logradouro	Nome do logradouro		
6	Número	Número do logradouro		
7	Bairro	Bairro referente ao logradouro		
8	Estacionamento	Características do estacionamento no local		
		BMT	Baixa e Média Tensão	Refere-se a estruturas que compartilham ou comportam ambos os níveis de tensão no mesmo poste (rede de distribuição aérea).
		BT	Baixa Tensão	Rede de distribuição secundária, com tensão entre bases inferior a 1 kV (geralmente 220/127V ou 380/220V). É a rede que atende diretamente o consumidor final (residência, comércio).
		DBMT	Distribuição Baixa e Média Tensão	Designa o sistema geral de distribuição que abrange ambos os níveis de tensão aéreos.
		DBT	Distribuição Baixa Tensão	Geralmente, sigla para redes aéreas de baixa tensão, muitas vezes referindo-se a redes multiplexadas (isoladas) para maior segurança contra raios e toques acidentais.
9	Rede aérea	MT	Média Tensão	Rede de distribuição primária, geralmente operando entre 1 kV e 36,2 kV. Utilizada para transportar energia da subestação até os transformadores de distribuição. Pode ser rua ou compacta.
		NÃO REFORMADO	NÃO REFORMADO	Não informado na coleta de dados
		NE	Não Existe	Não existência de rede aérea elétrica
		RD	Rede de Distribuição	Termo genérico para a infraestrutura aérea de distribuição, que pode ser convencional (fios nus) ou compactada (cabos para + fases isoladas).
10	Apoios necessários	Apoio necessário para manejo		
11	Proteção	Se o vegetal é protegido por Lei		
12	Dec Lei	Nº da legislação		
13	Nome vulgar	Nome vulgar do vegetal		
14	Espécie	Espécie do vegetal		
15	Altura estimada	Altura estimada do vegetal (m)		
16	DAP	Diâmetro do vegetal na Altura do Ponto (1,30m do solo)		
17	DC impedio	Diâmetro médio da copa		
18	Equil. copa	Condição de equilíbrio da copa		
19	Gola	Características e condições da gola		
20	Danos de raiz	Características e condições da raiz		
21	Inclinação do fuste	Características de inclinação do fuste		
22	Resistência	Presença ou não de rachaduras		
23	Cavidade	Presença ou não de cavidades		
24	Pragas rasteiras	Presença ou não de rasteiras		
25	Fungo	Presença ou não de fungos		
26	Cancro	Presença ou não de cancro		
27	Pragas vegetais	Presença ou não de pragas vegetais		
28	Ramos secos	Presença ou não de ramos secos		
29	Frontes secas	Presença ou não de fronteiras secas		
30	Remoção de frutos	Presença ou não de frutos a remover		
31	Remoção de esbóides	Presença ou não de esbóides a remover		
32	Pedestres	Conflito ou não com pedestres		
33	Via	Conflito ou não com a via		
34	Sinalização	Conflito ou não com a sinalização viária vertical		
35	Iluminação	Conflito ou não com a iluminação pública		
36	Fachada	Conflito ou não com fachada predial		
37	Telhado	Conflito ou não com telhado predial		
38	Rede	Conflito ou não com rede telefônica/cabo		
39	Status	Tipo de manejo indicado		
40	Data manejo	Data de realização do manejo		
41	Status serviço	Status do serviço indicado		
42	Streetview	Link de localização do vegetal		
43 e 44	Point x, Point y	Coordenadas geográficas do vegetal		

Fonte: Light (concessionária de energia elétrica); Cia. Municipal de Limpeza Urbana - Comlurb.