Artigo

Floresta da Tijuca: Uma Floresta Urbana no Antropoceno

Arbilla, G.;* Silva, C. M.

Rev. Virtual Quim., 2018, 10 (6), 1758-1791. Data de publicação na Web: 4 de dezembro de 2018

<http://rvq.sbq.org.br>

Tijuca Forest: An Urban Forest in the Anthropocene

Abstract: The oldest records of the human impact on the Atlantic Forest are the so-called sambaqui culture dating from a period of 8 to 5 thousand years ago. However, the history of the massive deforestation of this biome began in 1500 with the arrival of Portuguese colonizers. The Tijuca Forest, a protected area in the Tijuca National Park, which is a reminiscent of Atlantic Forest, is located in the heart of Rio de Janeiro and is considered one of the largest urban forest of the world. Tijuca Forest was the first enterprise in Atlantic Forest reforestation, promoted by Dom Pedro II to protect freshwater sources. In this review the history of the Atlantic Forest and of Tijuca Forest is revisited from the point of view of Anthropocene Epoch. Then the air quality studies developed in Tijuca Forest are discussed and the importance of the vegetation in the mitigation of pollutants and CO₂ concentrations is shown. Also other initiatives, as the Reforestation Join Effort and the projects to reintroduce native fauna, are discussed. The pioneering effort to re-establish the native rainforest and the present projects, show to the world how degraded areas could be rehabilitated and are a hope for the future of the Earth System.

Keywords: Anthropocene; sustainable development goals; environmental history; urban forest; climate change; biodiversity.

Resumo

O registro mais antigo do impacto humano na Mata Atlântica é a chamada cultura sambaqui que se remonta a 5 a 8 mil anos. Contudo, a deflorestação massiva deste bioma começou no ano de 1500 com a chegada dos colonizadores portugueses. A Floresta da Tijuca, uma área protegida dentro do Parque Nacional da Tijuca, que é um remanescente da Mata Atlântica, está localizada no coração da cidade do Rio de Janeiro e é considerada uma das maiores florestas urbanas do mundo. A Floresta da Tijuca foi o primeiro empreendimento de reflorestamento da Mata Atlântica e foi encomendado por Dom Pedro II para proteger as nascentes de água doce. Nesta revisão é abordada a história da Mata Atlântica e da Floresta da Tijuca desde o ponto de vista da Época do Antropoceno. Posteriormente são discutidos os estudos de qualidade do ar realizados dentro da Floresta da Tijuca e a importância da vegetação na mitigação dos poluentes e das concentrações de CO₂. Também são discutidas outras iniciativas como o Mutirão Reflorestamento e os projetos de reintrodução de fauna nativa. O esforço pioneiro para restabelecer a floresta nativa e os atuais projetos, mostram ao mundo como áreas degradadas podem ser recuperadas e são uma esperança para o futuro do Sistema Terra.

Palavras-chave: Antropoceno; objetivos de desenvolvimento sustentável; história ambiental; floresta urbana; mudança climática; biodiversidade.

* Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Química, Departamento de Físico-Química, CEP 21941-909, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

gracielaig@gmail.com

DOI: [10.21577/1984-6835.20180117](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20180117)

Floresta da Tijuca: Uma Floresta Urbana no Antropoceno

Graciela Arbilla,^{a,*} Cleyton M. da Silva^{a,b}

^a Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Química, Departamento de Físico-Química, CEP 21941-909, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

^b Universidade Veiga de Almeida, Campus Maracanã, CEP 20271-020, Rio de Janeiro-RJ, Brasil

* gracielaiq@gmail.com

Recebido em 30 de outubro de 2018. Aceito para publicação em 30 de outubro de 2018

1. Introdução

2. A Mata Atlântica

2.1. “A ferro e fogo”: A trágica história da Mata Atlântica

2.2. A Mata Atlântica através do olhar do Antropoceno

3. Rio de Janeiro: a Metrópole e a Mata Atlântica

4. A Floresta da Tijuca

4.1. História da Floresta da Tijuca

4.2. A Floresta da Tijuca e qualidade do ar

4.3. A primeira luz de esperança: Unidades de conservação e reflorestamento

4.4. A segunda luz de esperança: Os projetos de refaunação

4.5. O futuro dos estudos de qualidade do ar na Floresta da Tijuca

5. Conclusões

1. Introdução

A partir de 1950 se iniciou um processo acelerado de aumento da população mundial, urbanização, desenvolvimento econômico e uso dos recursos naturais que levou à grandes mudanças no uso da terra, na disponibilidade de água e à perturbação do equilíbrio nos processos biogeoquímicos, como os ciclos do carbono, fósforo e nitrogênio.^{1,2}

Surgiu assim o conceito de Antropoceno,^{3,4} como um novo tempo desde o ponto de vista geológico, ambiental, social, histórico e

político, e o conceito dos Limites Planetários (LP) como um espaço seguro para a manutenção da vida sobre a Terra na forma atual.^{5,6}

Atualmente, aproximadamente 46 % da superfície do planeta não foi ocupada ou modificada pelo homem, seja para a construção de cidades ou para atividades como mineração, agricultura e pecuária, polos industriais, depósito ou tratamento de sedimentos e lixo e construção de rodovias.⁷ Se estima que até 2030, 60 % da população mundial ocupará ambientes urbanos.⁸ No Brasil, de acordo com dados do Censo Demográfico 2010 realizado pelo Instituto

Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a maior parte da população brasileira (84 %) vive em áreas urbanas.⁸ A região com maior percentual de população urbana é o Sudeste, com 93 % de seus habitantes morando nas cidades.⁸ Esse processo de urbanização gerou o fenômeno chamado metropolização, ou seja, a ocupação urbana que ultrapassa os limites das cidades, gerando grandes centros metropolitanos como os de São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte. O desenvolvimento sustentável das cidades requer suprir as necessidades presentes da população sem comprometer o bem-estar das gerações futuras e, principalmente, sem comprometer o equilíbrio biogeoquímico do planeta.⁹

Nesse contexto, a conservação dos espaços verdes e a criação de áreas de conservação e preservação ambiental é fundamental na manutenção de três LP interligados: as mudanças climáticas, a disponibilidade de recursos hídricos e a conservação da biodiversidade.

Em 2016, um relatório da FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) discutiu a situação das florestas no mundo e listou alguns pontos fundamentais: (1) o constante aumento da necessidade de alimentos e outros produtos do solo no mundo, requer o manejo sustentável dos espaços; (2) as florestas desempenham um papel fundamental no ciclo da água, na conservação do solo, no sequestro de carbono e na proteção do *habitat* natural de muitas espécies; (3) a nível global a maior causa de desflorestamento é a conversão dos solos para áreas agrícolas sendo necessário estabelecer uma relação positiva entre agricultura e florestas; (4) é necessário um esforço conjunto e coordenado das esferas públicas e privadas assim como o estabelecimento de soluções adequadas para casos diversos como a exploração das florestas para a agricultura ou comércio em grande escala e o uso dos recursos naturais por populações marginalizadas.¹⁰ Como destacado na Declaração de Durban, no XIV Congresso Mundial sobre Florestas (2015),¹⁰ “as florestas são muito mais que árvores”.

De uma forma geral, é reconhecido que o efeito benéfico dos cinturões florestais resulta tanto de processos ativos quanto passivos. No primeiro caso, o efeito da vegetação resulta dos processos de troca gasosas e absorção dos poluentes que são metabolizados pelas plantas, e da filtragem do material particulado que é depositado em folhas, troncos e galhos, sendo posteriormente eliminados pela água de chuva. No segundo caso, cortinas florestais e grupos densos de árvores atuam como obstáculos físicos à circulação das massas de ar.¹¹ Contudo, a poluição do ar afeta à vegetação de diversas formas, como lesões necróticas nas folhas, destruição da clorofila e de carotenoides, desorganização celular, crescimento lento, fechamento do estômato, desfolhamento prematuro e redução na absorção de água. Esse tipo de efeito tem sido observado especialmente com dióxido de enxofre (SO₂), ozônio (O₃), ácido fluorídrico (HF) e material particulado.¹¹

O efeito das florestas urbanas na qualidade do ar depende da distribuição espacial da cobertura vegetal. Segundo Luz e Rodrigues,¹² as formas mais comuns encontradas para vegetação urbana são isolada, linear e conectada. A forma isolada é dominante em locais edificados com ruas e superfícies impermeáveis onde as árvores estão em nichos nas calçadas, pequenos jardins e quintais urbanos ou praças. Já a forma linear é comum em ruas e avenidas onde as árvores apresentam uma justaposição em uma direção dominante. Já a forma conectada apresenta uma ampla cobertura vegetal reticulada ou curvilínea com até 75 % da superfície coberta por árvores. Quando a cobertura representa mais de 75 % da superfície são consideradas florestas contínuas e, geralmente, são florestas na periferia com um mínimo de intrusão e urbanização.¹²

A superfície verde total da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ) chega a 36,27 % (2.444 km²), das quais 1.110 são áreas protegidas como parques, reservas e estações ecológicas, com destaque para a Floresta da Tijuca, que é uma floresta urbana contínua, rodeada pela área urbanizada, o

Parque Estadual da Pedra Branca e a Área de Proteção Ambiental de Gericinó-Mendanha. Essas áreas cumprem um papel importante no clima, conservação dos recursos hídricos, contenção de encostas e conservação da biodiversidade.¹³

O objetivo desta revisão é apresentar um histórico dos processos de ocupação da Mata Atlântica e da Floresta da Tijuca, discutir os estudos da qualidade do ar realizados na Floresta da Tijuca, o impacto da floresta nas concentrações de CO₂, a mitigação de poluentes e a qualidade do ar da RMRJ e, finalmente, apresentar algumas propostas para a conservação das áreas verdes.

2. A Mata Atlântica

2.1. “A ferro e fogo”: A trágica história da Mata Atlântica

A Mata Atlântica já se estendeu quase que continuamente, por grande parte da costa do Brasil, desde o Rio Grande do Norte e Ceará até o Rio Grande do Sul. Originalmente ocupava aproximadamente 1.290.000 km² em 17 estados do território brasileiro.^{14,15} No entanto, foi a primeira região do Brasil a ser

colonizada e atualmente tem duas das três maiores cidades de América do Sul (São Paulo e Rio de Janeiro) e 60 % da população do país, sendo o centro agroindustrial do Brasil.¹⁶ Esta região tem um papel importante na regulação e fluxo dos mananciais hídricos, na fertilidade do solo, no controle do clima, na proteção das encostas das serras e preserva um patrimônio natural e cultural imenso.¹⁵

Segundo o Ministério do Meio Ambiente, após séculos de exploração, os remanescentes de vegetação nativa estão reduzidos a aproximadamente 22 % de sua cobertura original,¹⁷ mas apenas 7 a 8 % da Mata Atlântica estão ainda intactos, em bom estado de conservação ou são áreas protegidas por Unidades de Conservação (UC).^{16,17}

Da cobertura natural mapeada pelo Ministério de Meio Ambiente em 2009, só 24 % é composta por formações florestais nativas (Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista, também denominada de Mata de Araucárias, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Estacional Decidual), e o restante corresponde a ecossistemas associados (savana, estepe, manguezais, vegetações de restingas, campos de altitude, brejos interioranos e encaves florestais do Nordeste).¹⁷ Essa riqueza de ecossistemas dentro do domínio da Mata Atlântica é ilustrada nas Figuras 1-5.

Figura 1. Cataratas no Parque Nacional do Iguaçu (Paraná)
Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Ombrófila Mista

Figura 2. Parque Nacional Serra dos Órgãos (Teresópolis, Rio de Janeiro)
Floresta Ombrófila Densa

Figura 3. Vegetação de restinga, nas proximidades da cidade de Natal
(Rio Grande do Norte)

Figura 4. Manguezal do Rio Estrela, Baía de Guanabara (Rio de Janeiro). Fotografia cedida pelo
Professor Wilson Machado (UFF)

Figura 5. Vegetação típica do Costão do Pão de Açúcar (Rio de Janeiro), onde existem espécies endêmicas de bromélias

Estima-se que existam na Mata Atlântica cerca de 20 mil espécies vegetais (35 % das espécies existentes no Brasil, aproximadamente), incluindo diversas espécies endêmicas e ameaçadas de extinção. Em relação à fauna, o bioma abriga, aproximadamente 850 espécies de aves, 370 de anfíbios, 200 de répteis, 270 de mamíferos e 350 de peixes.¹⁴ Segundo o relatório de Conservação Internacional,¹⁶ a Mata Atlântica possui 12 gêneros endêmicos, incluindo dois gêneros de primatas ameaçados que simbolizam a região e são as chamadas “espécies-bandeira”. Tratam-se dos micos-leões, dos quais existem quatro espécies, e dos muriquis, com duas espécies.

A Mata Atlântica figura entre os cinco primeiros biomas no ranking dos *Hotspots* da biodiversidade.¹⁶ Um estudo elaborado pelo Ministério de Meio Ambiente com a colaboração de pesquisadores de várias universidades, analisou diversos indicadores como percentual da microbacia com

declividade acima de 15 %, distância média dos fragmentos, percentual de pastagens e agricultura, vegetação remanescente e fitofisionomia predominante e concluiu que apenas 9 % das áreas antropizadas da Mata Atlântica estão localizadas em microbacias com alto potencial de regeneração natural e 60 % estão em áreas com baixo potencial, ameaçadas pela grande fragmentação dos espaços verde e expressiva ocupação pela agricultura tecnificada e áreas de pastagens.¹⁸

Como relatado no documentário *O Poema Imperfeito*,^{19,20} existiam na América do Sul espécies da megafauna, como preguiças gigantes, toxodontes e gliptodontes (Figura 6), que se extinguíram após a chegada do homem, inicialmente pelo oeste da Cordilheira dos Andes e posteriormente através da Amazônia até a região leste. No livro “A Ferro e Fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira”, pioneiro na história ambiental,²¹ Warren Dean narra 13.000 anos de história da interação do

homem com a Mata Atlântica. Os primeiros homens que chegaram a América do Sul eram caçadores-coletores, vivendo da coleta de frutos selvagens e da caça de espécimes da fauna local. Com o início da agricultura e a prática da coivara, ou seja o corte e queima da vegetação natural para o plantio de pequenas culturas até o esgotamento dos solos após dois ou três anos, se inicia então, o desaparecimento das florestas primárias para o aparecimento na chamada mata de capoeira e a formação de uma floresta secundária regenerada. O fogo era uma ferramenta fundamental para o controle do território e o uso dos recursos naturais.²¹ Os sítios sambaquis, berbigueiros ou sernanbis foram

áreas costeiras, ocupadas há 5.000 a 8.000 anos que demonstram uma efetiva utilização dos recursos ambientais.²² Por exemplo, no sítio de Morro Grande, na região costeira de Araruama no Estado de Rio de Janeiro, foram encontradas evidências de populações agrícolas e ceramistas proto-tupinambás, de florestas maduras e, também, de florestas secundárias de aproximadamente 3.220-1.320 anos atrás. Essas florestas secundárias associadas à queima para o cultivo de pequenas áreas mostram a influência humana na floresta, mas, segundo os autores, não resultaram em danos irreversíveis para a biodiversidade.²³

Figura 6. Reconstituição do esqueleto de uma preguiça (*Nothrotherium maquinanense*) encontrada apenas no Brasil (Minas Gerais, São Paulo, Bahia e Rio Grande do Norte). Coleção do Museu da Geodiversidade de Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro

Warren Dean menciona em seu livro que a história da Mata Atlântica é, como na maioria dos casos, uma história de devastação porque, de um modo geral as florestas de boa parte do planeta estiveram sujeitas à exploração e destruição pela incapacidade do homem de interagir com as outras espécies de uma forma harmônica e de viver em um ambiente hostil à suas necessidades. O homem, assim, modificaria o ambiente para adaptá-lo e

dependendo das condições essas transformações seriam irreversíveis.^{21,24} Mesmo que nem todos os críticos concordem totalmente com as ideias de Dean,^{25,26} não há dúvidas do impacto do homem na Mata Atlântica e não existem dúvidas que, mesmo que a interação destrutiva do homem com a natureza se inicia muito antes do século XVI, é a partir de 1500 que esse processo ganha velocidade e chega à situação atual.

Em 1500, quando os portugueses chegaram ao Brasil, estima-se que aproximadamente 3 a 5 milhões de indígenas ocupassem o território e, que nos primeiros cem anos de contato, aproximadamente 90 % foram dizimados por violência e por epidemias.²² Como resenhado por Scarano,²² nos dois séculos seguintes algumas plantas começaram a ser cultivadas em larga escala, especialmente a cana, voltada para a produção de açúcar para exportação e as florestas da Mata Atlântica no Nordeste foram as primeiras a desaparecer. No fim do século XVII e no século XVIII, o ciclo da mineração, principalmente do ouro, teve grande impacto nas florestas, principalmente de Minas Gerais, porque as técnicas utilizadas demandavam o uso de madeira, lenha e o estabelecimento de novas cidades. Nos inícios do século XIX começou a expansão do cultivo de café e, entre o fim do século XIX e o início do século XX, começou o ciclo do cacau e, também, o corte e queima de vastas áreas para a pastagem de animais, o que teve efeito sobre as matas e os corpos hídricos.

A destruição do pau-brasil (Figura 7) é uma das consequências da exploração da Mata Atlântica. Chamada de ibirapitanga (árvore

vermelha, pelos tupis), segundo dados arqueológicos, os povos nativos utilizavam a madeira para a produção de uma tintura vermelha, a partir do cerne do tronco, e para a confecção dos arcos e flechas. A exploração do pau-brasil pelos portugueses se iniciou logo após sua chegada e nos séculos XVI e XVII alcançou seu auge, sendo praticada ao longo do litoral brasileiro, desde o Rio Grande do Norte até o Rio de Janeiro. Estima-se que aproximadamente 2 milhões de exemplares tenham sido cortados no primeiro século de colonização.²¹ Atualmente, se encontra na lista oficial de espécies ameaçadas de extinção.²⁷ No filme “A árvore da música” é mostrada parte dessa história, a importância atual do pau-brasil para a produção de arcos de violino e outros instrumentos musicais e seu valor histórico, econômico, cultural e ambiental.²⁸ A partir dos compromissos assumidos pelo Brasil na Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB) e na Convenção sobre Comércio Internacional das Espécies da Flora e Fauna Selvagens em Perigo de Extinção (Cites), o corte do pau-brasil é proibido por lei e a comercialização de sua madeira atualmente só é legal quando extraída de plantios autorizados.²⁹

Figura 7. Pau-brasil no Centro de Visitantes do Parque Nacional da Tijuca

2.2. A Mata Atlântica através do olhar do Antropoceno

É possível achar semelhanças entre a história da Mata Atlântica e da Floresta da Tijuca e os episódios que marcam a origem e as possíveis fases do Antropoceno.^{2,30} Alguns autores propõem um Antropoceno “precoce” (*Early Anthropocene hypothesis*) que se inicia com o desenvolvimento da agricultura e a irrigação dos cultivos principalmente de arroz, há 5000-8000 anos. Essa proposta formalizada por Ruddiman,³¹ está fundamentada no aumento das concentrações de CO₂ (aproximadamente a partir de 8.000 anos atrás) e de CH₄ (a partir de 5.000 anos atrás) e a modificação da paisagem, especialmente por desflorestamento. Mesmo tendo sido contestada por outros autores, porque em uma escala global sincrônica, a influência do homem na litosfera, hidrosfera, atmosfera e criosfera, foi pequena no início e meio do Holoceno,³⁰ essa hipótese encontra paralelo com as primeiras intervenções humanas na Mata Atlântica, “a primeira leva de invasores humanos”, como escrito por Warren Dean.²¹ Como destacado pelo autor, “a adoção da agricultura transformou radicalmente a relação do homem com a floresta” e pode ter levado à redução da complexidade da biomassa mil anos antes da chegada dos europeus. A divisão do Holoceno em três Estágios ou Idades, ratificada pelo Comitê Executivo da União Internacional de Ciências Geológicas em julho de 2018, torna muito difícil a formalização do início do Antropoceno considerando a hipótese de um “Antropoceno precoce”, mas, desde o ponto de vista histórico ambiental, é uma referência importante.³²

Outros autores propõem o início do Antropoceno entre 1492 e 1800 com a chegada dos europeus à América (a chamada “colisão entre o Velho e o Novo Mundo”) ou com a Revolução Industrial, a partir de 1760.^{3,4,30} Esses eventos seriam considerados a “primeira fase do Antropoceno” para muitos autores e marcariam o início da intervenção humana no planeta em determinados locais,

com um impacto global, porém diacrônico.^{2,30,32} Na Mata Atlântica, a chegada dos europeus, “a segunda leva de invasores humanos”,²¹ marca o início da aceleração da destruição. Simbolicamente, no dia 22 de abril de 1500, ao chegar à costa no continente sul-americano, um dos primeiros atos dos marinheiros portugueses foi derrubar uma árvore. Nas palavras de Warren Dean,²¹ os portugueses foram ‘incapazes de compreender intelectualmente a magnitude de sua descoberta’ e levados pela cobiça produziram tal devastação que em um século praticamente toda a população local tinha sido dizimada, iniciando a colonização e o império de uma sociedade transferida e imposta. Estima-se que aproximadamente 6.000 km² de Mata Atlântica próxima à costa foi afetada com o comércio do pau-brasil nos primeiros cem anos, fora a captura de animais vivos e a caça para a obtenção de peles.²¹ A partir de 1600, com o desaparecimento da população nativa e a pequena quantidade de residentes europeus, a população do Brasil sob controle português era de aproximadamente 65.000 pessoas e a floresta, que ou estava afastada dos portos ou carecia de pau-brasil, teve um período de recuperação. Como já mencionado, se inicia o cultivo principalmente de cana-de-açúcar e a criação de gado.

A chegada dos europeus teve como consequência, também, a globalização das espécies, com o intercâmbio de plantas, animais e inclusive doenças entre ambos continentes, evento chamado de “Intercâmbio Colombiano”.³⁰ O declínio da população local coincide com uma diminuição das concentrações de CO₂ aproximadamente no ano de 1600, que foi proposto alternativamente com um marcador do início do Antropoceno, evento conhecido na literatura como “*Orbis Spike*”.³⁰

Em 1690, com a descoberta do ouro, a Mata Atlântica começa sofrer uma invasão ampla e permanente, o Brasil se torna mais importante para Portugal desde o ponto de vista econômico, cresce a imigração de europeus (estima-se que nos século XVIII

chegaram aproximadamente 450.000 pessoas ao Brasil), o comércio de escravos e o fluxo de população para as áreas auríferas, que se situavam no sertão ao longo da fronteira interna da Mata Atlântica.^{21,22} Com o posterior declínio da produção de ouro e diamante, a pressão sobre a Mata Atlântica não diminuiu, principalmente porque a redução da atividade mineradora levou ao aumento da pecuária que se estendeu mais ainda dentro da floresta. Ao final do século XVIII houve, durante certo tempo, o renascimento da exportação de açúcar, mas em 1850 o cultivo da cana-de-açúcar no sudeste da Mata Atlântica foi substituído pelo café.

O século XIX seria o século do café e, para a Mata Atlântica, a introdução desta planta exótica significou uma ameaça ainda maior: o Vale do Paraíba “se tornou uma colcha de retalhos de cafezais e floresta primária”,²¹ os locais eram queimados e plantados e, após o esgotamento da terra, eram abandonados, invadidos pelo mato e posteriormente pelo gado.

Contudo, essa não foi a única causa do desflorestamento durante o século XIX. O comércio do café levou ao crescimento da população, a urbanização, industrialização e construção de ferrovias. Por exemplo, na virada do século XIX a população de Rio de Janeiro era de 50.000 habitantes, dobrou até 1850 e, em 1890, já era de 500.000 pessoas. Entre 1900 e 1950 continuou a destruição

florestal, só na região do Sudeste a população aumentou de 7 para 22 milhões.²¹ No início do século XX ainda restavam aproximadamente 390 km² de Mata Atlântica. O uso da madeira para os fornos industriais do setor metalúrgico, para motores a vapor e para os motores das máquinas ferroviárias, representava mais do 50 % do uso da energia e era proveniente das florestas nativas. A partir dos anos 1950, o desenvolvimento econômico, principalmente no entorno de São Paulo, Belo Horizonte e Rio de Janeiro, a migração do Norte para o Sul e a melhoria das condições de saúde, aceleraram ainda mais o crescimento populacional e o extermínio da Mata Atlântica para atender a demanda urbana.²¹

Estas últimas fases da destruição da floresta, mesmo não coincidindo no tempo com a Grande Aceleração, foram originadas no mesmo fenômeno: o crescimento de população, especialmente a população urbana, o aumento do consumo, o uso descontrolado dos recursos e a expansão econômica em forma exponencial. Nesse sentido este período da história da Mata Atlântica se assemelha à segunda etapa do Antropoceno, caracterizada por mudanças irreversíveis que a afetaram em toda sua extensão.² Na Figura 8 é mostrado o impacto das atividades humanas em uma área de Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro.

Figura 8. Extração mineral licenciada de areia e argila em área de Mata Atlântica. A lagoa foi formada após a extração de areia com posterior levantamento do lençol freático. Fotografia cedida pelo Professor Ricardo Soares (INEA)

3. Rio de Janeiro: a Metrópole e a Mata Atlântica

O Estado do Rio de Janeiro, com uma área total de 43.781,6 km² e 636 km de costa no Oceano Atlântico, situa-se na Região Sudeste de Brasil e está dividido em 92 municípios com uma população de 15.989.929 habitantes, sendo o mais urbanizado do país, com 96,7 % de seus habitantes vivendo nas cidades de acordo com os resultados do Censo Demográfico de 2010 e informações do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas.³³ A população é concentrada na RMRJ, que é a mais populosa e a mais povoada do estado, com 11.973.505 habitantes, que representam 74 % e 5,9 % do total do estado e do país, respectivamente. Já a cidade de Rio de Janeiro é o município pertencente a esta região metropolitana mais populoso, com mais de 6 milhões de habitantes.³⁴ A RMRJ é composta, desde 2013, por 21 municípios.³⁵

A RMRJ ocupa uma planície, rodeada pela Serra do Mar, com uma altitude média de 900 metros, onde também se encontram alguns maciços litorâneos, sendo os três mais

importantes Tijuca, Pedra Branca e Gericinó-Serra do Mendanha, com altitudes máximas de 1022, 1024 e 964 m, respectivamente, e que fazem parte do Parque Nacional da Tijuca (39,52 km²), do Parque Estadual da Pedra Branca (124,92 km²) e do Parque Estadual de Mendanha (79 km²).³⁶⁻³⁸ Estes remanescentes florestais estão incluídos na Reserva da Biosfera da Mata Atlântica e possuem similaridades biológicas (faunísticas e florísticas acentuadas) pela sua proximidade geográfica e por terem sido áreas contínuas no passado.³⁹

A cobertura vegetal da cidade do Rio de Janeiro vegetal foi levantada pela Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro.⁴⁰ Segundo esse levantamento, 28,9 % da área do município são ocupados por vegetação da Mata Atlântica (Floresta Ombrófila Montana, Floresta Ombrófila Densa Submontana, vegetação secundária, restinga, mangue, apicum e brejo), sendo 13,5 % vegetação secundária em estado avançado. A área urbana antropizada ocupa 66,4 %, sendo 7,1 % e 11,1 % vegetação arbóreo-arbustiva e gramíneo-lenhosa, respectivamente. As principais áreas de Mata Atlântica são as florestas de Gericinó-Mendanha, Tijuca, da

Pedra Branca, Campos de Sernambetiba, Restinga de Marambaia, Parques Naturais Municipais de Grumari e da Prainha, Reserva Biológica e Arqueológica de Guaratiba, e as Áreas de Proteção Ambiental das Brisas e das Tabebuias.

Em 2016, o Rio de Janeiro recebeu da Organização das Nações Unidas para a

Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) o certificado de Patrimônio Mundial pela sua paisagem cultural, um título anteriormente dado apenas a áreas rurais, sistemas agrícolas tradicionais, jardins históricos e outros locais de cunho simbólico.⁴¹ Na Figura 9 são mostradas algumas paisagens que certamente mostram a beleza da cidade, reconhecida internacionalmente.

Figura 9. Vista da cidade de Rio de Janeiro desde a garganta do Céu na Pedra da Gávea (a), desde o Pico da Tijuca (b) e desde o Corcovado (c), áreas dentro do Parque Nacional da Tijuca

O Jardim Botânico do Rio de Janeiro (JBRJ) é uma das áreas verdes mais preservadas da cidade, nele podem ser observadas cerca de 6.500 espécies vegetais (algumas ameaçadas de extinção), distribuídas por uma área de 0,54 km², ao ar livre e em estufas (Figura 10). Encontra-se tombado pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) desde 1937. Em 1991, a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) considerou-o como Reserva da Biosfera. Como reconhecimento

pela sua importância científica, foi rebatizado como Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, em 1998, ficando afeto ao Ministério do Meio Ambiente. Em 2001, foi criada a Escola Nacional de Botânica Tropical e, em 2002, tornou-se uma autarquia federal. Em 2008 foi criado o Centro Nacional de Conservação da Flora, formalizado nos eventos de comemoração dos 200 anos, em um esforço para integrar a pesquisa à tomada de decisão ambiental.⁴²

Figura 10. Vegetação e fauna no Jardim Botânico do Rio de Janeiro

As Palmeiras Imperiais são um símbolo do JBRJ (Figura 11). Os primeiros espécimes, plantados em 1809, foram trazidos do Jardim *La Pamplemousse* e oferecidos ao príncipe

regente D. João. As duas mais antigas aleias do JBRJ (aleia Cândido Baptista e aleia Barbosa Rodrigues) são formadas por exemplares desta palmeira.⁴³

Figura 11. Palmeiras Imperiais no Jardim Botânico do Rio de Janeiro

4. A Floresta da Tijuca

As áreas do Maciço da Tijuca constituem o Parque Nacional da Tijuca (PARNA Tijuca, indicado em diante como PNT) criado em 1961.³⁹ Adjacente ao PNT encontra-se a Reserva Florestal Grajaú, que é atualmente

um Parque Estadual, e contribui para aumentar o cinturão protetor da floresta.^{39,44} O PNT se estende entre os paralelos 22°55'S e 23°00'S e os meridianos 43°11'O e 43°19'O, no “coração” metropolitano de Rio de Janeiro.³⁹ O parque está dividido em quatro setores: Floresta da Tijuca, Serra da Carioca, Pedra Bonita/Pedra da Gávea e Pretos Forros/Covanca (Figura 12).

Figura 12. Mapa do Parque Nacional da Tijuca. Adaptado do folheto de divulgação distribuído pelo Parque. O parque está dividido em quatro setores: Floresta da Tijuca (A), Serra da Carioca (B), Pedra Bonita/Pedra da Gávea (C) e Pretos Forros/Covanca (D)

O Setor Floresta da Tijuca (Figura 13) é provavelmente o que apresenta maior estrutura para passeios, com trilhas demarcadas, recantos, restaurantes, centro de visitação e áreas para piquenique, lazer e *playground*. Esse setor tem entrada pelo Alto

da Boa Vista e nele se encontra o ponto culminante (Pico da Tijuca) e outros lugares de visitação clássicos como a Capela Mayrink, o Largo do Bom Retiro, o Bico do Papagaio (975 m), o Mirante Excelsior e a Cascatinha Taunay.³⁹

Figura 13. Setor Floresta da Tijuca no Parque Nacional da Tijuca

4.1. História da Floresta da Tijuca

A palavra Tijuca é de origem indígena e significa, em tupi, “brejal, lamaçal, charco, pântano ou caminho lamacento que leva ao mar”.³⁹ Após a fundação da cidade de Rio de Janeiro, se iniciou a ocupação da Floresta da Tijuca, assim como da Serra da Carioca e da Pedra Bonita, com a distribuição de sesmarias que posteriormente foram divididas em fazendas e engenhos para uso agrícola e criação de gado.⁴⁵ As primeiras culturas foram, principalmente de mandioca, milho, cana-de-açúcar, cacau e capim-angola. Mas a verdadeira ocupação humana na área do Parque Nacional da Tijuca aconteceu a partir do século XVII, com a expansão da indústria canavieira, quando começou a derrubada de árvores para serem transformados em lenha e carvão. Assim os primeiros ocupantes da área foram lenhadores e carvoeiros e, posteriormente, se desenvolveram as atividades agrícolas na região.^{39,46} Como as áreas montanhosas da Floresta da Tijuca não eram adequadas para o plantio de cana de açúcar, este foi substituído, a partir de 1760, pela monocultura do café principalmente em morros da Gávea, ao redor da Lagoa, na Gávea Pequena e no Maciço da Tijuca. Neste último existiram mais de cem fazendas e sítios de café, aproveitando o solo florestal rico em nutrientes. Se iniciou, também, a introdução de espécies exóticas, trazidas e aclimatadas pelos estrangeiros e outras espécies nativas, porém estranhas a esse *habitat*.

Junto à Cascatinha se estabeleceram os Taunay e construíram um rancho e mais tarde uma residência de estilo colonial que foi demolida a inícios do século XX. Em 1810 Aymar Marie Jacques Gestas estabeleceu-se na Fazenda Boa Vista, que corresponde ao local atualmente ocupado pela Capela Mayrink. Da mesma forma outros locais, como a área do Corcovado, Gávea e, possivelmente, a Pedra da Gávea e a Pedra Bonita, foram ocupados para plantações de café e cultivo de maçãs, uvas, morangos, cana e baunilha. Alguns locais mais elevados como a Serra da Carioca, entre as Paineiras e o Sumaré, permaneceram relativamente mais

conservados, embora não tenham mantido todas suas características.³⁹ Na primeira metade do século XIX, o café tornou-se a base da economia exportadora da Corte e levou à prosperidade econômica do Império.^{45,46}

Ao mesmo tempo se iniciaram os problemas de abastecimento de água potável já que no início do século XIX a população urbana excedia 130.000 habitantes e Rio de Janeiro sofreu uma série de secas que diminuíram o potencial das nascentes. Em 1817, Dom João VI mandou cercar todos os terrenos altos da serra onde se localizavam as nascentes do rio Carioca e, em 1818, os terrenos das cabeceiras de rios que abasteciam o aqueduto do Maracanã.³⁹ Posteriormente foram captados cursos d’água com nascentes nas Paineiras e Serra da Carioca, construídos vários reservatórios de água e desapropriadas áreas em torno às nascentes. Em 1861, as Florestas da Tijuca e das Paineiras foram declaradas por D. Pedro II como Florestas Protetoras e teve início um processo de desapropriação de chácaras e fazendas com o objetivo de iniciar o reflorestamento e regeneração da vegetação.⁴⁷ Assim, as Florestas da Tijuca e das Paineiras passaram a ser protegidas através da Portaria Imperial de 18 de dezembro de 1861, sendo proibida a exploração e tornando-se terrenos inalienáveis.⁴⁵

O reflorestamento da Floresta da Tijuca foi confiado ao Major da Polícia Militar Manoel Gomes Archer que, com ajuda de seis escravos e vinte e dois trabalhadores assalariados, realizou o plantio. Durante 13 anos foram plantadas 100 mil mudas de espécies, a maioria nativas da Mata Atlântica.⁴⁵ As primeiras mudas foram trazidas das Paineiras e outras da fazenda do Major Archer em Guaratiba.³⁹ O substituto do Major Archer, o Barão d’Escragnolle, manteve os esforços de reflorestamento e iniciou, também, um esforço paisagístico com a participação do paisagista francês Auguste Glaziou. Foram abertas picadas na mata, construídas pontes, mirantes e lagos, como o Lago das Fadas, aproveitando os recursos naturais. A partir desse processo se iniciou a regeneração natural da mata associado ao replantio de

mudas. Na Figura 14 é mostrada a escultura “O Escravo”, no Centro de Visitantes do PNT, realizada em homenagem aos escravos que trabalharam no replantio.

Figura 14. Centro de Visitantes no Parque Nacional da Tijuca. Escultura “O Escravo” da artista Mazaredo (2001). Escultura em cimento com revestimento em tinta preta. Homenagem aos escravos do Major Archer e de Nogueira da Gama que reflorestaram a Floresta da Tijuca e as Paineiras. Placa com os dizeres: “A Constantino, Eleuthério, Leopoldo, Manoel, Matheus e Maria. Os seis escravos auxiliares do Major Archer, no reflorestamento de 100.000 árvores, na Floresta da Tijuca; o agradecimento da Cidade do Rio de Janeiro e a homenagem dos que amam esta floresta”

Após alguns anos de relativo abandono, a Floresta da Tijuca teve um período de revitalização na gestão de Raymundo Ottoni de Castro Maya (década de 1940) com os projetos paisagísticos de Burle Marx, como Meu Recanto e o Açude da Solidão.⁴⁷

Em 6 de julho de 1961 foi criado o Parque Nacional do Rio de Janeiro, incorporando as florestas da Tijuca, Paineiras, Corcovado, Gávea Pequena, Trapicheiro, Andaraí, Três Rios e Covanca, e cinco anos depois foi tombado pelo Patrimônio Artístico Nacional. Em 1967 o nome do Parque foi alterado para Parque Nacional da Tijuca, algumas áreas foram incorporadas e outras retiradas da nova demarcação por serem consideradas irrecuperáveis devido à ocupação urbana. Finalmente em 2004 o Parque passou a ter a área atual de 39,52 km².³⁹

4.2. A Floresta da Tijuca e qualidade do ar

Apesar da importância da Floresta da Tijuca para a qualidade do ar da cidade de Rio de Janeiro, existem poucos trabalhos dedicados ao seu estudo, provavelmente pelas grandes dificuldades para a coleta de amostras: falta de energia elétrica (exceto nas proximidades da Casa do Pesquisador, do Centro de Visitantes, do Barracão, da entrada do Parque e de outros pontos isolados, de pouco interesse por serem afetados pelas atividades antrópicas), e a necessidade de transportar equipamentos para o interior da floresta. Além disso as concentrações dos compostos são muito baixas, sendo necessário a utilização de métodos específicos, geralmente caros para serem implementados.

O primeiro trabalho foi publicado em 1999 por Azevedo et al.,⁴⁸ Os autores coletaram material particulado total, usando um amostrador de grande volume, em quatro áreas da cidade de Rio de Janeiro: Túnel Rebouças (com um alto fluxo, principalmente de veículos leves), Cinelândia (centro da cidade), Quinta da Boa Vista (parque urbano no bairro de São Cristóvão) e a Cascatinha Taunay, nas proximidades da entrada do PNT. O lugar de coleta é altamente impactado pelo trânsito no Alto da Boa Vista e dentro do PNT já que fica a aproximadamente 100 m do portão principal de entrada, conta com um estacionamento e é uma área tradicional de visitação. Foram analisados os compostos orgânicos semivoláteis, hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos. Mesmo considerando a proximidade da via de trânsito Alto de Boa Vista, os níveis de poluição na Cascatinha Taunay foram muito menores que os achados nos outros pontos de coleta: os hopanos e compostos policíclicos aromáticos foram observados em níveis de traços e não foram

observados esteranos, todos eles marcadores de fontes antropogênicas.

Segundo nosso conhecimento e uma pesquisa realizada através do *Science Direct*, todos os outros trabalhos desenvolvidos dentro do PNT para determinação da qualidade do ar foram realizados pelo grupo de pesquisa do Laboratório de Cinética Aplicada à Química Atmosférica e Poluição (Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro). Esses trabalhos foram realizados com a colaboração de pesquisadores e funcionários do PNT e são parte de um projeto cadastrado no SISBio (do ICMBio, Instituto Chico Mendes de Conservação e Biodiversidade). A fim de avaliação, os resultados foram comparados com dados obtidos nas áreas urbanas próximas dos bairros de Tijuca (Praça Saens Peña) ou Maracanã (campus da Universidade do Estado de Rio de Janeiro), como mostrado no mapa da Figura 15.

Figura 15. Floresta da Tijuca e áreas urbanas próximas nos bairros de Tijuca (Praça Saens Peña) e Maracanã (campus da Universidade do Estado de Rio de Janeiro)

O primeiro trabalho do grupo foi realizado em 2008 e foi parte da Dissertação de Mestrado de Danilo Custódio.⁴⁹⁻⁵¹ Entre janeiro e agosto de 2008 foram coletadas e

analisadas amostras de compostos carbonílicos e de compostos aromáticos usando os Métodos TO-11A e TO-01 da Agência Ambiental dos Estados Unidos (US

EPA) na Praça Saens Peña do bairro da Tijuca (local tipicamente urbano), na entrada do PNT, nas proximidades da Capela Mayrink (lugar de visitação do parque muito frequentado) e no Alto da Bandeira (600 m acima do nível do mar), um lugar ermo, de difícil acesso através de uma trilha, com vegetação densa.^{49,50,52}

As concentrações de formaldeído e acetaldeído são apresentadas na Tabela 1 (valores médios $\pm$ desvio padrão), para 20 amostras coletadas em cada local no horário de 9:00 as 11:00. As concentrações dos aldeídos superiores ($\geq C_3$) dentro do PNT foram menores que $1 \mu\text{g m}^{-3}$ e, na maioria dos casos foram menores que o limite de detecção, LD ($0,01 \mu\text{g m}^{-3}$). Os autores encontram que no Alto da Bandeira as concentrações de formaldeído tinham correlação com a temperatura e radiação solar, indicando a provável formação a partir

da decomposição de isopreno e outros terpenos (de origem biogênica). Deve ser mencionado que o local estudado no Alto da Bandeira é caracterizado como muito ensolarado, o que promove a emissão de terpenos pela vegetação e a posterior decomposição dos mesmos a aldeídos. A correlação foi fraca nos outros lugares da floresta e totalmente ausente no bairro da Tijuca, indicando que na área urbana este composto é de origem antropogênica (principalmente a queima de combustíveis fósseis) e que a entrada e a área de visitação estão fortemente impactadas pelo trânsito veicular. Contudo, as concentrações de ambos os compostos nas proximidades da Capela Mayrink (situada a aproximadamente 1 km da entrada do parque) foram 7 a 9 vezes menores que na área urbana (Praça Saens Peña), mostrando o importante papel da floresta na adsorção dos poluentes.

Tabela 1. Concentrações de formaldeído e acetaldeído obtidas no bairro da Tijuca e no PNT entre janeiro e agosto de 2008. Foram coletadas 20 amostras em cada local no horário de 9:00 as 11:00 h⁴⁹

Local	Concentração (valor médio $\pm$ desvio padrão) em $\mu\text{g m}^{-3}$	
	formaldeído	acetaldeído
Praça Saens Peña (Tijuca, área urbana)	$12,6 \pm 4,9$	$12,9 \pm 6,9$
Entrada do PNT (Alto da Boa Vista)	$6,2 \pm 3,2$	$5,1 \pm 3,2$
Capela Mayrink (PNT)	$1,7 \pm 1,4$	$1,4 \pm 1,0$
Alto da Bandeira (PNT)	$2,6 \pm 2,0$	$2,8 \pm 1,8$

Os compostos aromáticos, BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos) são de origem antropogênica. As concentrações de benzeno e tolueno na Praça Saens Peña se encontraram nos intervalos 3,39-7,64 e 3,33-10,3 $\mu\text{g m}^{-3}$, respectivamente. Na entrada do parque, na Capela Mayrink e no Alto da Bandeira as concentrações de benzeno se encontraram nos intervalos 2,19 a 3,00; $< \text{LD}$ a 3,50 e $< \text{LD}$ a 2,57, respectivamente (onde o limite de detecção, LD, foi 16,1 ng m^{-3} e 8,80 ng m^{-3} para benzeno e tolueno

respectivamente). Já para o tolueno, as concentrações se encontraram nos intervalos $< \text{LD}$ a 3,61; $< \text{LD}$ a 1,85 e $< \text{LD}$ a 1,69 $\mu\text{g m}^{-3}$, na entrada do parque, na Capela Mayrink e no Alto da Bandeira, respectivamente.^{49,50} Foi observado que na área urbana as concentrações de tolueno foram superiores às de benzeno, enquanto que no interior da floresta as concentrações de benzeno foram maiores. Isso pode ser atribuído ao fato de que a reatividade do tolueno é muito maior que a do benzeno, de forma que sua meia-vida

é aproximadamente cinco vezes menor (11 horas) o que provoca sua decomposição por reação com os oxidantes atmosféricos durante seu transporte. Os xilenos e o etilbenzeno que têm meias-vidas ainda menores não foram observados no interior da floresta (os LD foram de 1 e 11 ng m⁻³, respectivamente).^{49,50}

A principal conclusão dessa primeira determinação de compostos orgânicos voláteis dentro do PNT foi que a floresta é

impactada pelas emissões urbanas, mas tem um potencial elevado de adsorção dos poluentes.

Em 2013 o Laboratório de Cinética Aplicada à Química Atmosférica e Poluição iniciou novas campanhas de coleta dentro do PNT, inicialmente de material particulado menor que 2,5 µm (PM_{2,5}), e posteriormente de compostos orgânicos voláteis utilizando cartuchos adsorvedores e *canisters* (botijões de aço inox), como ilustrado na Figura 16.⁵²⁻⁵⁶

Figura 16. Coleta de amostras de ar atmosférico utilizando *canisters* (Figura 16a e Figura 16b) na trilha do Pico da Tijuca e de material particulado (Figura 16c) na Casa do Pesquisador, Parque Nacional da Tijuca

Oliveira *et al.* coletaram amostras de material particulado (PM_{2,5}) entre os meses de novembro de 2015 e abril de 2016, no campus da Universidade do Estado de Rio de Janeiro (Maracanã) e dentro do PNT, no local conhecido como Casa do Pesquisador (Figura 16c).⁵⁴ Esse local é próximo das áreas de visitação mais frequentadas e de um restaurante e tem trânsito veicular moderado de visitantes, especialmente durante os finais de semana. Após as coletas, os compostos orgânicos foram extraídos e separados e analisados por cromatografia a gás com detecção por espectrometria de massas (CG-EM). A concentração total de hidrocarbonetos

policíclicos aromáticos (HPA), exceto naftaleno, acetanaftaleno e acenaftileno, foi de $0,46 \pm 0,61$ ng m⁻³ e $1,12 \pm 0,71$ ng m⁻³ na floresta e na área urbana, respectivamente. O estudo das relações características entre os compostos mostrou que a única fonte de emissão era, como esperado, veicular e não evidenciou diferenças significativas entre os dois locais, indicando que esses poluentes eram transportados da cidade para a floresta.^{53,54}

Entre os meses de julho e outubro de 2017, nos horários de 9:30 às 11:30 e de 11:30 às 13:30 horas foram coletadas 24 amostras de ar atmosférico para a determinação de

compostos carbonílicos,^{9,55} usando o mesmo método empregado em 2018 por Custódio et al.^{49,50,52} As amostras foram coletadas em três locais ao longo da trilha que sobe ao Pico da Tijuca: 1) Largo de Bom Retiro; 2) aproximadamente a 1000 m do início da trilha, no local conhecido como Paredão Paraíso Perdido e 3) na divisão das trilhas entre os Picos Tijuca e Tijuca Mirim. Os locais de coleta e os valores médios de concentração de formaldeído e acetaldeído são apresentados na Figura 17. Ao considerar todas as amostras coletadas no período, foram determinados valores médios de $1,02 \pm 1,00 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ para formaldeído, e valores médios de $0,93 \pm 1,05 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ para acetaldeído. Na mesma época, em outro trabalho realizado por nosso grupo de pesquisa na Praça Saens Peña, bairro da Tijuca, a aproximadamente 10 km do local de entrada do PNT, os valores médios obtidos, para 16 amostras, foram: $3,09 \pm 1,60 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ para formaldeído, e $2,78 \pm 0,91 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$ para acetaldeído. Assim, as médias das concentrações na Praça Saens Peña foram aproximadamente três vezes maiores que as médias no Parque Nacional da Tijuca.^{9,55,57}

Os resultados deste último trabalho mostraram que não foi encontrada uma correlação clara entre as concentrações individuais de formaldeído e os níveis de radiação solar. Esse fato é uma indicação de que a contribuição biogênica à formação de formaldeído é provavelmente pequena e que os poluentes determinados na área estudada na floresta são devidos principalmente ao transporte desde a área urbana. Já as concentrações de formaldeído e acetaldeído foram maiores no local 2 (Paredão Paraíso Perdido), de floresta mais densa, que nos outros dois locais. Esse resultado pode ser atribuído à menor decomposição dos compostos na área sombria e à menor circulação de ar no local. Um resultado similar foi obtido no ano de 2008 em dois locais da Floresta da Tijuca: a área recreativa próxima à Capela Mayrink, ensolarada e com circulação de ar, e o Pico da Bandeira, a 600 m de altitude, um local pouco visitado e com densa vegetação. O valor obtido em 2017 é menor que o valor médio para as duas áreas internas no parque em 2008 (2,2 e $2,1 \text{ } \mu\text{g m}^{-3}$, para formaldeído e acetaldeído, respectivamente) e as evidências indicam que principal fonte desses compostos é antropogênica.

Figura 17. Determinação de compostos carbonílicos no interior do PNT entre julho e outubro de 2017.^{9,55} Os pontos de coleta foram: 1) Largo de Bom Retiro, 2) Paredão Paraíso Perdido e 3) Divisão das trilhas Tijuca e Tijuca Mirim. Na figura são indicados, também, com pontos vermelhos outros locais de visitação do Parque. As concentrações médias e desvios padrão são mostradas em unidades de $\mu\text{g m}^{-3}$

Recentemente foram iniciadas coletas de ar atmosférico para determinação de hidrocarbonetos na faixa C_4 a C_{12} na trilha do Pico da Tijuca, usando *canisters* (Figura 16a e Figura 16b). Os resultados preliminares mostram que as concentrações destes compostos são menores que $2 \mu\text{g m}^{-3}$ e, para a maioria deles são menores que o LD ($0,2 \mu\text{g m}^{-3}$).⁵⁶ Os resultados obtidos em todos estes trabalhos mostram que, na maioria dos casos, os poluentes encontrados na floresta são provenientes do transporte desde a área urbana mas que, apesar da curta distância, a capacidade de adsorção da vegetação é muito grande e as concentrações dentro da floresta são maiores nos dias em que o ar que chega tem passado previamente pelas áreas no norte da cidade com maior atividade industrial e trânsito veicular.^{53,54}

As concentrações de gases de efeito estufa (GEE) foram determinadas em 2016 e 2017 usando o método desenvolvido por Silva et al. na entrada da Floresta da Tijuca (Praça Afonso Viseu), em Bom Retiro, ao longo da trilha que sobe o Pico da Tijuca, e em um área próxima ao parque Lage, assim como em vários locais da cidade de Rio de Janeiro, altamente impactados pelo trânsito veicular (Tijuca, Maracanã, Deodoro, Ilha do Fundão, Del Castilho e Jardim Botânico).⁵⁸ Na Figura 18 são mostrados os locais de coleta e as concentrações médias de CO_2 , o principal GEE, no período seco (agosto de 2016) e úmido (fevereiro e março de 2017) determinadas após a coleta e análise de 81 amostras.⁵⁹

Figura 18. Determinação de CO₂ na Floresta da Tijuca e na área urbanizada de Rio de Janeiro nos períodos seco (agosto de 2016) e úmido (fevereiro e março de 2017).⁵⁹

Os valores determinados na área de floresta e nos locais como ocupação antrópica não são estatisticamente diferentes, mostrando a rápida mistura das massas de ar. As concentrações médias são aproximadamente 10 % menores que as determinadas em outras capitais de Brasil (Curitiba, São Paulo, Brasília e Natal) em 2016, tanto no inverno quanto no verão.⁶⁰ Esse fato foi atribuído pelos autores à grande extensão de cobertura vegetal, tanto na superfície do município como na Região Metropolitana, com amplas áreas de cobertura secundária, reservas ecológicas, áreas protegidas e de reflorestamento recente, e à menor fragmentação das áreas florestadas quando comparado com as outras cidades. Existem evidências na literatura de que o potencial das plantas de remover CO₂ está relacionado à sua idade, e é maior na fase de crescimento da planta.⁶¹

Todos esses estudos, mesmo que limitados espacialmente e realizados por curtos períodos, mostram a importância da Floresta da Tijuca no processo de sequestro de carbono e a adsorção de material particulado e outros poluentes.

De uma forma geral, as áreas verdes assumem um papel de equilíbrio entre o espaço natural e o espaço modificado pelo homem, contribuem na conservação da biodiversidade, na regulação do clima, e cumprem funções estéticas e na saúde e recreação dos cidadãos. Mas, em particular no referido à qualidade do ar, os trabalhos realizados na floresta, mostram que o PNT tem um papel importante na absorção de CO₂ e, também de outros poluentes como compostos orgânicos voláteis e semivoláteis, tendo sido determinadas concentrações com no mínimo três vezes menores que no Bairro da Tijuca, situado a poucos quilômetros do Parque.

Assim, a conservação dos fragmentos remanescentes da Mata Atlântica, e do reflorestamento, mesmo que constituam uma pequena fração dentro da superfície do território nacional e uma pequena contribuição ao sequestro de carbono global, parecem importantes na mitigação das concentrações de CO₂ nas regiões urbanas próximas, especialmente quando as áreas são conectadas e compactas como é o caso das áreas de floresta da Região Metropolitana do

Rio de Janeiro. Nesse sentido as Unidades de Conservação (UC) são de extrema importância tanto na preservação das áreas verdes já existentes, na regulação do uso dos recursos naturais e dos espaços protegidos, como nas atividades de reflorestamento e conservação das espécies. O fato de terem sido observadas concentrações de CO₂ semelhantes no Parque Nacional da Tijuca e na área com ocupação urbana sugere a rápida mistura das massas de ar e o efeito global das áreas verdes compactas como sumidouro de carbono e, provavelmente, outros poluentes.

4.3. A primeira luz de esperança: Unidades de conservação e reflorestamento

As UC são espaços territoriais e seus recursos ambientais passíveis de proteção por suas características naturais relevantes, instituídos pelo Poder Público com os objetivos de proteção e conservação, salvaguardar *habitats* e ecossistemas e preservar o patrimônio biológico existente.⁶² O Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) foi criado e regulado pela Lei nº 9.985 de 18 de junho de 2000 e pelo Decreto nº 4.340 de 22 de agosto de 2000, respectivamente.^{63,64} As unidades de conservação da esfera federal do governo são administradas pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Nas esferas estadual e municipal, por meio dos Sistemas Estaduais e Municipais de Unidades de Conservação.⁶²

As UC podem ser agrupadas em Unidades de Proteção Integral e Unidades de Uso Sustentável. As Unidades de Proteção Integral (Estações Ecológicas, Reservas Biológicas e Parques Nacionais) têm como objetivo preservar a natureza, sendo apenas permitido o uso indireto de seus recursos naturais, de forma que não envolva consumo, coleta ou danos a esses recursos. Assim as Unidades de Proteção Integral podem ser usadas para turismo ecológico, recreação em contato com a natureza, pesquisa científica e programas de educação. As Unidades de Uso Sustentável (Áreas de Relevante Interesse Ecológico, Reservas Particulares do Patrimônio Natural, Áreas de Proteção Ambiental, Florestas Nacionais, Reservas de Desenvolvimento Sustentável, Reservas de Fauna e Reservas Extrativistas) têm como objetivo compatibilizar a conservação e o uso dos recursos naturais, de forma que atividades de coleta e uso desses recursos são permitidas desde que sejam mantidos os recursos ambientais.⁶²

Conforme informações da Prefeitura da cidade de Rio de Janeiro aproximadamente 30 % do território municipal está sob proteção na forma de UC: Parque Nacional da Tijuca, Parque Estadual da Pedra Branca, Parque Estadual de Grajaú, Parque Estadual da Chacrinha, Reserva Biológica de Guratiba, Área de Proteção Ambiental de Gericinó-Mendanha e Área de Proteção Ambiental de Sepetiba.⁶⁵ Na Figura 19 é mostrado trabalho de remanejamento e conservação realizado pelo ICMBio no Parque Nacional da Tijuca.

Figura 19. Trabalho de manutenção e proteção das áreas mais frequentadas realizado dentro do Parque Nacional da Tijuca pelo ICMBio

Em 11 de julho de 2011, através da Portaria nº 245 do Ministério do Meio Ambiente foi reconhecido o Mosaico Carioca, composto por dois UC federais, quatro UC estaduais e 17 municipais, que tem como objetivo compatibilizar, integrar e otimizar as atividades desenvolvidas nas UC.^{65,66}

De acordo com informações do Instituto Estadual do Ambiente (INEA), há 55 UC Estaduais e Nacionais no Estado de Rio de Janeiro, correspondentes a aproximadamente 4.625 km², listadas na Tabela 2.⁶⁷

Tabela 2. Unidades de Conservação no Estado do Rio de Janeiro

Proteção Integral Estadual	Uso Sustentável Estadual	Proteção Integrada Federal	Uso Sustentável Federal
EEE de Guaxindiba	APA de Mangaratiba	EEN de Tamoios	RESEX Marinha do Arraial do Cabo
REE Juatinga	APA de Gericinó-Mendanha	PARNA da Restinga de Jurubatiba	APA de Guapi-mirim
REBIO da Praia do Sul	APA de Guandu	PARNA da Serra da Bocaina	APA da Serra da Mantiqueira
REBIO de Guaratiba	APA da Bacia do Rio Macacu	PARNA da Tijuca	APA de Cairuçu
REBIO Araras	APA do Pau-Brasil	PARNA de Itatiaia	APA Petrópolis
PE da Ilha Grande	APA da Serra da Sapiatiba	REBIO do Tinguá	APA da Bacia do Rio São João/Mico-leão-dourado
PE de Cunhambebe	APA de Macae de Cima	REBIO do Poço das Antas	FLONA Mário Xavier

PE da Pedra Branca	APA dos Frades	REBIO União	ARIE Floresta da Cicuta
PE da Serra da Concórdia	APA de Massambaba	ESECN da Guanabara	
PE dos Três Picos	APA de Maricá	PARNA da Serra dos Órgãos	
PE Serra da Tiririca	APA Sepetiba II	MONA do Arquipélago das Ilhas Cagarras	
PE de Grajaú	APA Tamoios		
PE da Chacrinha	APA do Alto Iguaçu		
PE do Desengano	RDS do Aventureiro		
PE da Costa do Sol	FLOE José Zago		
PE da Pedra Selada			
PE Lagoa do Açú			
PE do Mendanha			
REVIS da Turfeira			
REVISMEP			

Nota: PE: Parque Estadual; PARNA: Parque Nacional; EEE: Estação Ecológica Estadual; REBIO: Reserva Biológica; REVIS: Refúgio de Vida Silvestre; REE: Reserva Ecológica Estadual; MONA: Monumento Estadual; APA: Área de Proteção Ambiental; FLOE: Floresta Estadual; FLONA: Floresta nacional; ARIE: Área de Relevante Interesse Ecológico; RESEX: Reserva Extractivista. Fonte: Instituto Estadual do Ambiente.⁶⁷

As UC têm inestimável valor para a proteção da biodiversidade e para a integração de corredores ecológicos. A Mata Atlântica tem, como já mencionado, uma grande variedade de ecossistemas, espécies e variedade genética. Esse mosaico de ecossistemas já foi interligado, mas a expansão da agricultura e pecuária e a urbanização separaram ecossistemas conectados e fragmentaram o interior deles. As florestas originais se transformaram em “ilhas” de mata, cada vez menores e mais isoladas, cercadas por áreas modificadas pela intervenção humana.^{20,22} O efeito da fragmentação vem sendo estudado pela biologia da conservação e foi discutido por Fernandez no capítulo “A floresta em pedaços e a floresta vazia”.²⁰ A floresta começa ser reduzida pelo “efeito de borda”, que envolve alterações microclimáticas como a

quantidade de luz solar, ventos e umidade que afetam as árvores da borda, e consequentemente vão desencadeando mudanças em toda a estrutura e composição da mata e nas espécies animais, vítimas das mudanças de clima e impossibilitados de se movimentar de um fragmento para outro. Além da perda da diversidade por destruição do *habitat*, populações muito pequenas correm riscos de extinção mesmo que o ambiente não seja mais alterado e, em outros casos, porque algumas espécies precisam de áreas muito grandes para se alimentar e sobreviver.²⁰ Assim a preocupação com a criação de UC e com a criação de corredores ecológicos, parece fundamental para a conservação das espécies.

Outro programa de importância para a conservação da Mata Atlântica é o reflorestamento. Na Floresta da Tijuca, o

programa de reflorestamento foi iniciado em 1867, tendo sido replantadas em 13 anos aproximadamente 100 mil mudas.⁴⁵ Programas como o Mutirão de Reflorestamento da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, iniciado há 20 anos e que tem recebido prêmios internacionais, tem levado ao plantio de mais de 4 milhões de árvores, na sua maioria, espécies nativas da Mata Atlântica, nas encostas e morros da cidade.⁶⁸ O programa conta com a participação das comunidades locais e, assim, tem importância desde o ponto de vista ambiental, social e econômico ao gerar empregos diretos e indiretos reduzindo a pobreza, ampliar a cobertura verde da cidade, controlar a expansão em áreas de risco, contribuir com a contenção de encostas, proporcionar áreas verdes para a população e gerar consciência ambiental entre a população.

4.4. A segunda luz de esperança: Os projetos de refaunação

No livro “O Poema Imperfeito” são rediscutidas as ideias da “floresta vazia” e das “extinções ecológicas” apresentadas por Kent Redford em 1992.²⁰ A floresta vazia é uma floresta sem animais seja porque eles foram caçados ou mortos pelo homem de alguma forma, ou seja, porque seu *habitat* foi destruído. Uma extinção ecológica acontece quando uma espécie, mesmo ainda sobrevivendo na região, tem densidades

populacionais tão baixas que já não consegue cumprir o papel ecológico que antes desempenhava, como, por exemplo, a dispersão das sementes. Uma floresta vazia é uma floresta sem futuro, sem esperança.

Uma alternativa é a refaunação, que tem como objetivo repor extinções locais e recentes reintroduzindo espécies nativas.⁶⁹ Esse é um processo difícil e demorado que envolve garantir que os animais introduzidos tenham um mínimo de variabilidade genética, sejam acostumados aos poucos ao ambiente, sejam monitorados, tenham saúde e consigam se alimentar e reproduzir.

Como exemplo de projetos bem-sucedidos neste sentido podem ser citados os trabalhos do Laboratório de Ecologia e Conservação de Populações (LECP) da Universidade Federal do Rio de Janeiro,^{70,71} que ganharam notoriedade inclusive com uma publicação na revista *Science*.⁷² Através do Projeto Refauna, o LECP em parceria com outras instituições iniciou em 2010 a refaunação do PNT. Inicialmente foram reintroduzidas cutias (*Dasyprocta leporina*) que são excelentes dispersoras de sementes (Figura 20). Entre 2010 e 2014 foram reintroduzidos 31 indivíduos e o programa teve grande sucesso: os animais se adaptaram rapidamente, conseguindo se alimentar e reproduzir em liberdade.^{46,71} Em 2015, foi estimado um crescimento populacional de 100 % e foi avaliado que a população conseguia se sustentar sem ajuda ou novas reintroduções.⁷³

Figura 20. Cutia reintroduzida no Parque Nacional da Tijuca pelo Laboratório de Ecologia e Conservação de Populações/UFRJ e o primeiro filhote nascido na natureza

Foto cedida pelo Professor Fernando Fernandes e o fotógrafo Marcos Terranova

Em 2015 foram introduzidos quatro bugios ruivos (*Alouatta guariba*) e posteriormente o jabuti *Chelonoidis denticulatus*. No site do LECP é mostrado em um vídeo com o processo de soltura dos bugios Haunuman, Kala, Chico e Maia.^{70,74} Os animais permaneceram durante algumas semanas em um cercado para adaptação e depois foram soltos. Em 2016, outros dois bugios foram levados à floresta, uma fêmea e um macho, Juvenal, que formou par com Kala e tiveram uma cria. Em 2017 foi levado outro bugio. Os animais foram monitorados em um esforço que consumiu centenas de horas e foi constatado que o processo de adaptação foi mais complicado, dois deles tiveram que ser retirados, um morreu e foi perdido contato com outro.

No mês de dezembro de 2017 começou a reintrodução de antas na Reserva Ecológica de Guapiaçu, no município de Cachoeiras de Macacu. Inicialmente foram levadas três antas (um casal e um filhote) e em junho de 2018 outras três.^{70,75} As antas são animais de grande porte e compõem uma população muito reduzida na Mata Atlântica, estando extintas no Rio de Janeiro há pelo menos um século.

Apesar das dificuldades do processo de refaunação,⁷¹ foi observado que aumentaram as interações ecológicas após a reintrodução das espécies com a dispersão de sementes que terá um efeito positivo na regeneração

das espécies vegetais. O Projeto Refauna é desenvolvido por uma equipe de professores, pesquisadores e estudantes do LECP (UFRJ), o Laboratório de Estudo e Conservação de Florestas (LECF, UFRJ) e Laboratório de Ecologia e Manejo de Animais Silvestres (LEMAS, IFRJ),⁷⁶ e é um exemplo das iniciativas bem-sucedidas para a conservação e restauração da Mata Atlântica.

4.5. O futuro dos estudos de qualidade do ar na Floresta da Tijuca

As concentrações relativamente baixas de poluentes no interior da Floresta da Tijuca tornam necessário a implementação de outros métodos de coleta e análise, como o Método TO-17 da US EPA com cartuchos adsorvedores e dessorção térmica que permitirão coletar quantidades muito maiores de compostos (através de um sistema de trapeamento e pré-concentração) e, assim, diminuir os LD.⁵² Trabalhos futuros envolvem o estudo detalhado dos processos de transporte das massas de ar desde as áreas urbanas até a floresta, usando modelos de trajetórias, e da reatividade dos compostos antropogênicos e biogênicos com oxidantes fotoquímicos (radical hidroxila e ozônio). Finalmente determinações de GEE,

principalmente CO₂, por períodos mais prolongados e em diversas áreas urbanizadas e de floresta são importantes para compreender o efeito da vegetação no sequestro de carbono.

Finalmente, é importante mencionar que a proteção e conservação da Mata Atlântica e da Floresta da Tijuca, estão diretamente relacionadas aos Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS), baseados nos Objetivos para o Desenvolvimento do Milênio (ODM), adotados na cúpula da Organização das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável em 2015.⁷⁷ Em particular, o objetivo “proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda da biodiversidade (Objetivo 15) está diretamente relacionado aos esforços para estudo e conservação da floresta, criação de áreas protegidas, replantio e refaunação citados neste trabalho. De uma forma mais geral, a conservação da floresta poderá contribuir para atingir outros ODS, como assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos (Objetivo 3), assegurar a disponibilidade de água (Objetivo 6) e combater as mudanças climáticas (Objetivo 13).⁷⁷

Nesse contexto, também, a conservação das florestas está inserida na abordagem da economista e pesquisadora Kate Raworth que vincula os ODM e o conceito de LP, mostrando que a manutenção do equilíbrio do Sistema Terra abrange o bem-estar de todos, a proteção do meio ambiente e do clima.^{30,78}

5. Conclusões

A história da devastação da Mata Atlântica encontra de alguma forma um paralelo com a história do Sistema Terra e o processo através do qual o homem se converte em uma força geológica capaz de modificar os equilíbrios biogeoquímicos. Após milhares de anos de

ocupação, a Mata Atlântica se vê reduzida a aproximadamente 8 % de sua superfície original e a fragmentação e redução dos espaços remanescentes a tornam uma colcha de retalhos com um futuro incerto.

A Floresta da Tijuca passou pelo mesmo processo de destruição como consequência da agricultura, criação de gado, mineração e ocupação urbana. A partir de 1867 se inicia um processo de lenta recuperação com o trabalho de reflorestamento.

Hoje é reconhecida a importância da Floresta da Tijuca na regulação do clima, na conservação dos mananciais de água, na melhoria da qualidade do ar e na conservação das espécies. O homem do século XXI é consciente de seu papel e precisa assumir sua responsabilidade na recuperação e conservação das espécies e na manutenção do equilíbrio do Planeta. Os trabalhos compilados nesta revisão, nas diferentes áreas, reflorestamento, refaunação e qualidade do ar, entre os muitos outros que podem ser realizados, mostram que o compromisso das diferentes esferas de governo, da sociedade e da comunidade científica e acadêmica é fundamental para abrir uma esperança nesta história trágica. Além disso, o trabalho de reflorestamento e refaunação mostra ao mundo que é possível recuperar, pelo menos parcialmente, áreas de floresta degradada e abre uma esperança para a manutenção do equilíbrio do Sistema Terra.

Agradecimentos

GA agradece ao Professor Fernando Fernandes (Laboratório de Ecologia e Conservação de Populações/UFRJ) pelo exemplar do livro “O Poema Imperfeito”, fonte de inspiração para parte deste artigo; ao advogado Gabriel Klachquin por informações e discussões esclarecedoras e aos funcionários do Parque Nacional da Tijuca, especialmente a Katyucha Von Kossel de Andrade Silva, pelo apoio durante os trabalhos de campo e as muitas horas de trilhas dentro do Parque. Os

autores agradecem ao Professor Fernando Fernandes (UFRJ), ao fotógrafo Marcos Terranova e aos Professores Wilson Machado (UFF) e Ricardo Soares (INEA) por cederem fotografias de seus acervos pessoais. Agradecem, também, financiamento parcial do CNPq, FAPERJ e CENPES/Petrobras.

Referências Bibliográficas

¹ Steffen, W.; Broadgate, W.; Deutsch, L.; Gaffney, O.; Ludwig, C. The trajectory of the Anthropocene: The great acceleration. *The Anthropocene Review* **2015**, 2, 81. [CrossRef]

² Silva, C. M.; Arbilla, G. Antropoceno: os Desafios de um Novo Mundo. *Revista Virtual de Química*. No prelo. [Link]

³ Crutzen, P. J.; Stoermer, E. F. The Anthropocene. *Global Change Newsletter* **2000**, 41, 17. [Link]

⁴ Crutzen, P. J. Geology of mankind. *Nature* **2002**, 415, 23. [CrossRef]

⁵ Rockström, J.; Steffen, W.; Noone, K.; Persson, A.; Chapin III, F. S.; Lambin, E. F.; Lenton, T. M.; Scheffer, M.; Folke, C.; Schellnhuber, H. J.; Nykvist, B.; de Wit, C. A.; Hughes, T.; van der Leeuw, S.; Rodhe, H.; Sörlin, S.; Snyder, P. K.; Costanza, R.; Svedin, U.; Falkenmark, M.; Karlberg, L.; Corell, R. W.; Fabry, V. J.; Hansen, J.; Walker, B.; Liverman, D.; Richardson, K.; Crutzen, P.; Foley, J. A. A safe operating space for humanity. *Nature* **2009**, 461, 472. [CrossRef]

⁶ Rockström, J.; Steffen, W.; Noone, K.; Persson, Å.; Chapin, III, F. S.; Lambin, E.; Lenton, T. M.; Scheffer, M.; Folke, C.; Schellnhuber, H.; Nykvist, B.; De Wit, C. A.; Hughes, T.; van der Leeuw, S.; Rodhe, H.; Sörlin, S.; Snyder, P. K.; Costanza, R.; Svedin, U.; Falkenmark, M.; Karlberg, L.; Corell, R. W.; Fabry, V. J.; Hansen, J.; Walker, B.; Liverman, D.; Richardson, K.; Crutzen, P.; Foley, J. Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecology and Society* **2009**, 14, 32. [Link]

⁷ Hooke, R. LeB.; Martín-Duque, J. F.; Pedraza, J. Land transformation by humans: A review. *GSA Today* 2012, 22, 4. [Link]

⁸ IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/noticias-censo.html?busca=1&id=3&idnoticia=1766&censo=2010-populacao-brasil-190-732-694-pessoas&view=noticia>. Acesso em: 27 janeiro 2018.

⁹ Braga, A. L.; Arbilla, G.; Silva, C. M. Planejamento urbano e qualidade do ar. Um estudo de caso: o papel da Floresta da Tijuca na cidade do Rio de Janeiro. *Aquila* **2018**, 19, 8. [Link]

¹⁰ Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2016 State of the World's forests. Forests and Agriculture: Land-use Challenges and Opportunities. [Link]

¹¹ Lima, W. de P., As Florestas e a Poluição do Ar (1980). Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/stecnica/nr01/cap01.pdf>. Acesso em: 25 maio 2018.

¹² Luz, L. M. de; Rodrigues, J. E. C. Análise do índice de cobertura vegetal em áreas urbanas: estudo de caso na cidade de Belém-PA, *Boletim Amazônico de Geografia, UFPA, Belém* **2014**, 1, 43. [CrossRef]

¹³ Câmara Metropolitana de Integração Governamental. Governo do Estado do Rio de Janeiro. Caderno Metropolitano número 3. Cartografia e Informação. Disponível em: <http://www.modelarametropole.com.br/wp-content/uploads/2017/08/Caderno03-Cartografia-Camara.pdf>. Acesso em: 15 agosto 2018.

¹⁴ Ministério do Meio Ambiente. Mata Atlântica. Disponível em: http://www.mma.gov.br/biomas/mata-atl%C3%A2ntica_emdesenvolvimento. Acesso em: 15 agosto 2018.

¹⁵ Varjabedian, R. Lei da Mata Atlântica: retrocesso ambiental. *Estudos Avançados* **2010**, 24, 147. [CrossRef]

¹⁶ Hotspots revisitados. As regiões biologicamente mais ricas e ameaçadas do Planeta. Conservação internacional. Disponível em: <https://www.conservation.org/global/brasil/publicacoes/Documents/HotspotsRevisitados.pdf>. Acesso em: 15 agosto 2018.

- ¹⁷ Mapa de vegetação nativa na área de aplicação da Lei nº 11428/2006. Lei da Mata Atlântica (Ano base 2009). Disponível em: http://www.mma.gov.br/images/arquivos/biomas/mata_atlantica/Relatorio%20Final%20Atualizacao%20do%20Mapa%20de%20cobertura%20vegetal%20nativa%20da%20Mata%20Atlantica%201.pdf. Acesso em: 20 agosto 2018.
- ¹⁸ Potencial de regeneração natural da vegetação na Mata Atlântica. Ministério de Meio Ambiente. Disponível em: http://www.mma.gov.br/images/arquivos/biomas/mata_atlantica/Potencial%20de%20regeneracao%20natural%20mata%20atlantica.pdf. Acesso em: 20 agosto 2018.
- ¹⁹ Coimbra, Z. *Documentário O Poema Imperfeito*. Baseado no livro homônimo de Fernando Fernandez. [Link]
- ²⁰ Fernandez, F. *O Poema Imperfeito. Crônicas de Biologia, conservação da natureza e seus heróis*. 3ª. Ed., Editora UFPR: Curitiba, 2011.
- ²¹ Dean, W. *A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira*. Companhia das Letras: São Paulo, 1996.
- ²² Scarano, F. R. *Mata Atlântica. Uma história do futuro*. Edições de Janeiro, Conservação Internacional: Rio de Janeiro, 2014.
- ²³ Scheel-Ybert, R.; Beauclair, M.; Buarque, A. The forest people: landscape and firewood use in the Araruama region, southeastern Brazil, during the late Holocene. *Vegetation History and Archaeobotany* **2014**, 23, 97. [CrossRef]
- ²⁴ Souza, L. A. Resenha do livro A ferro e fogo. *Aedos* **2011**, 8, 264. [Link]
- ²⁵ Brannstrom, C. *A Ferro e Fogo*, história ambiental e a geografia brasileira: um diálogo por inventar. *Revista Brasileira de Geografia* **2016**, 61, 109. [CrossRef]
- ²⁶ Carvalho, E. B. Os historiadores e as florestas: dez anos depois de A Ferro e Fogo. *Revista Esboços* **2005**, 13, 107. [Link]
- ²⁷ Diário Oficial da União, número 245, 18 de dezembro de 2014, página 245, linha 956. [Link]
- ²⁸ Juliano, O. *A árvore da música*. Filme. **2009** [Link]
- ²⁹ Em defesa do pau-brasil. Ministério do Meio Ambiente [Link]
- ³⁰ Lewis, S. L.; Maslin, M. A. *The Human Planet. How we created the Anthropocene*. Yale University Press: New Haven, 2018.
- ³¹ Ruddiman, W. F. The Anthropogenic Greenhouse Era Began Thousands of Years Ago. *Climatic Change* **2003**, 61, 261. [CrossRef]
- ³² Silva, C. M.; Arbilla, G.; Soares, R.; Machado, W. A nova idade Meghalayan: o que isso significa para a Época do Antropoceno? *Revista Virtual de Química*. No prelo. [Link]
- ³³ IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/panorama>. Acesso em: 06 agosto 2018.
- ³⁴ IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. Estimativas da população dos municípios brasileiros. Nota técnica. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/pdf/analise_estimativas_2014.pdf. Acesso em: 06 agosto 2018.
- ³⁵ CEPERJ. Centro de Estatísticas, Estudos e Pesquisas do Rio de Janeiro. Disponível em: http://www.ceperj.rj.gov.br/ceep/info_territorios/RMRJ2013.pdf. Acesso em: 06 agosto 2018.
- ³⁶ Instituto Chico Mendes. Ministério do Meio Ambiente. Parque Nacional da Tijuca. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/parnatijuca/guia-do-visitante.html>. Acesso em: 12 agosto 2018.
- ³⁷ Parques Estaduais Rio de Janeiro. Parque Estadual da Pedra Branca. Disponível em: http://200.20.53.15/inea/pepb_s.php. Acesso em 12 agosto 2018.
- ³⁸ Parques Estaduais Rio de Janeiro. Parque Estadual de Mendanha. Disponível em: http://200.20.53.15/inea/pem_s.php. Acesso em 12 agosto 2018.
- ³⁹ Ministério do Meio Ambiente. Instituto Chico Mendes de Conservação e Biodiversidade. *Parque Nacional da Tijuca. Plano de Manejo*. 2008. [Link]

- ⁴⁰ Prefeitura do Rio de Janeiro. Mapeamento da cobertura vegetal e do uso das terras do Município do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/web/smac/sig-floresta>. Acesso em: 06 agosto 2018.
- ⁴¹ Representação da Unesco no Brasil. Rio de Janeiro recebe da UNESCO certificado de patrimônio Mundial como Paisagem Cultural. [Link].
- ⁴² Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 12 agosto 2018.
- ⁴³ Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Plantas. Palmeira-Imperial. Disponível em: <http://jbrj.gov.br/jardim/plantas?page=6>. Acesso em: 12 agosto 2018.
- ⁴⁴ Instituto Estadual do Ambiente. INEA. Parque Estadual de Grajaú. Disponível em: http://www.inea.rj.gov.br/Portal/Agendas/BIODIVERSIDADEEAREASPROTEGIDAS/UnidadeSdeConservacao/INEA_008676. Acesso em: 13 agosto 2018.
- ⁴⁵ Terranova, M.; Salaverry, R.; Vieira, A. C. P.; Issa, B.; Menezes, P. da C. *Parque Nacional da Tijuca. Uma Floresta na Metrópole*. Andrea Jakobsson Estúdio Editorial Ltda.: Rio de Janeiro, 2010
- ⁴⁶ Cid, B.; *Tese de Doutorado*, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, 2011. [Link]
- ⁴⁷ Parque Nacional da Tijuca. ICMBio. História. Disponível em: <http://www.parquedatijuca.com.br/historia.php>. Acesso em: 18 agosto 2018.
- ⁴⁸ Azevedo, D. de A.; Moreira, L. S.; Siquiera, D. S. De. Composition of extractable organic matter in aerosols from urban areas of Rio de Janeiro city, Brazil. *Atmospheric Environment* **1999**, 33, 4987. [CrossRef]
- ⁴⁹ Custódio, D.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, 2009.
- ⁵⁰ Custódio, D.; Varandas, L.; Arbilla, G. Pattern of volatile aldehydes and aromatic hydrocarbons in the largest urban rainforest in the Americas. *Chemosphere* **2010**, 79, 1064. [CrossRef]
- ⁵¹ Guimarães, C. S.; Custodio, D.; Oliveira, R. C. S. De; Varandas, L. S.; Arbilla, G. Comparative study of automotive, aircraft and biogenic emissions of aldehydes and aromatic compounds. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* **2010**, 84, 180. [CrossRef]
- ⁵² US EPA. Compendium of methods for the determination of toxic organic compounds in ambient air. Second Edition. 1999. [Link]
- ⁵³ Oliveira, R. L. *Avaliação da qualidade do ar no Rio de Janeiro: Maracanã, Floresta da Tijuca e Túnel Rebouças. Tese de Doutorado*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.
- ⁵⁴ Oliveira, R. L.; Custódio, D. J.; Rainho, C. R. De; Morais, E.; Felzenszwalb, I.; Corrêa, S. M.; Azevedo, D. A.; Arbilla, G. Polycyclic aromatic hydrocarbon patterns in the city of Rio de Janeiro. *Air Quality, Atmosphere & Health* **2018**, 11, 581. [CrossRef]
- ⁵⁵ Braga, A.; Siciliano, B.; Dantas, G.; Silva, C. M.; Arbilla, G.; *Resumos da 41ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química*, Brasil, 2018. [Link]
- ⁵⁶ Silva, C. M.; Arbilla, G. Determinação de compostos orgânicos voláteis na trilha do Pico da Tijuca. **2018**. Resultados não publicados.
- ⁵⁷ Siciliano, B.; *Trabalho de Conclusão de Curso*, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, 2018.
- ⁵⁸ Silva, C. M.; Corrêa, S. M.; Arbilla, G. Determination of CO₂, CH₄ and N₂O: A Case Study for the City of Rio de Janeiro Using a New Sampling Method. *Journal of the Brazilian Chemical Society* **2016**, 27, 778. [CrossRef]
- ⁵⁹ Silva, C. M.; Souza, T. de C.; Dantas, T. C.; Silva, L. L. da; Corrêa, S. M.; Arbilla, G.; *Resumos da 41ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química*, Brasil, 2018. [Link]
- ⁶⁰ Moreira Júnior., D. P.; Silva, C. M.; Bueno, C.; Corrêa, S. M., Arbilla, G. Determinação de gases do efeito estufa em cinco capitais de diferentes biomas brasileiros. *Revista Virtual de Química* **2017**, 9, 2032. [CrossRef]
- ⁶¹ Ciesla, W. M.; Mbugua, D. K.; Ward, J. D. Ensuring forest health and productivity: A perspective from Kenya. *Journal of Forestry* **1995**, 93, 36. [Link]

- ⁶² O que são Unidades de Conservação. ((O)) *eco* **2013**. Disponível em: <https://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/27099-o-que-sao-unidades-de-conservacao/>. Acesso em: 19 agosto 2018.
- ⁶³ Presidência a República. Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2018. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9/985.htm. Acesso em: 19 Agosto 2018.
- ⁶⁴ Decreto nº 4.340 de 22 de agosto de 2002. Disponível em: http://ideflorbio.pa.gov.br/wp-content/uploads/2015/08/Decreto_4340.pdf. Acesso em: 19 agosto 2018.
- ⁶⁵ Prefeitura do Rio de Janeiro. Unidades de Conservação da Natureza. Disponível em: <http://www.rio.rj.gov.br/web/smac/unidades-de-conservacao>. Acesso em: 19 agosto 2018.
- ⁶⁶ Mosaico Carioca de Áreas Protegidas. Disponível em: http://mosaico-carioca.blogspot.com/p/pnt_04.html. Acesso em: 19 agosto 2018.
- ⁶⁷ Instituto Estadual do Ambiente, INEA. Unidade de Conservação Estaduais e Federais, distribuição por Regiões de Governo. Disponível em: http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/@inter_dibap/documents/document/zeww/mtiz/~edisp/inea0123058.pdf. Acesso em: 18 agosto 2018.
- ⁶⁸ Multirão Reflorestamento. Disponível em: http://www0.rio.rj.gov.br/pcrj/destaques/especial/mutirao_reflorestamento2.htm. Acesso em: 19 agosto 2018.
- ⁶⁹ Fernandez, F. Preenchendo com vida a floresta vazia. ((O)) *eco* **2009**. Disponível em: <https://www.oeco.org.br/colunas/fernando-fernandez/22378-preenchendo-a-floresta-vazia/>. Acesso em: 16 agosto 2018.
- ⁷⁰ Laboratório de Ecologia e Conservação de Populações, LECP. Universidade Federal do Rio de Janeiro. [Link]
- ⁷¹ Fernandez, F. A. S.; Rheingantz, M. L.; Genes, L.; Kenup, C. F.; Galliez, M.; Cezimbra, T.; Cid, B.; Macedo, L.; Araujo, B. B. A.; Moraes, B. S.; Monjeau, A.; Pires, Al. S. Rewilding the Atlantic Forest: Restoring the fauna and ecological interactions of a protected area. *Perspectives in Ecology and Conservation* **2017**, 15, 308. [CrossRef]
- ⁷² Escobar, H. Rewilding Rio. *Science* **2016**, 353, 113 [CrossRef]
- ⁷³ Ferrari, G.; Genes, L.; Cezimbra, T. Tem macaco novo na Floresta. ((O)) *eco* **2017**. Disponível em: <https://www.oeco.org.br/colunas/colunistas-convidados/tem-macaco-novo-na-floresta-da-tijuca/>. Acesso em: 17 agosto 2018.
- ⁷⁴ Soltura de bugios no Parque Nacional da Tijuca. [Link]
- ⁷⁵ Furtado, N. Extintas no Rio, antas são reintroduzidas próximas ao Parque Estadual do Três Picos ((O)) *eco* **2018**. Disponível em: <https://www.oeco.org.br/noticias/extintas-no-rio-antas-sao-reintroduzidas-proximas-ao-parque-estadual-dos-tres-picos/>. Acesso em: 17 agosto 2018.
- ⁷⁶ Projeto Refauna. Disponível em: <https://refauna.wixsite.com/site/projeto>. Acesso em: 17 agosto 2018.
- ⁷⁷ Nações Unidas no Brasil. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/>. Acesso em: 10 outubro 2018.
- ⁷⁸ Kate Raworth. Exploring doughnut economics. Disponível em: <https://www.kateraworth.com/doughnut/>. Acesso em 10 outubro 2018.