Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Ecologia da paisagem para o planejamento da infraestrutura verde da cidade de
São Paulo, SP

Marcela Minatel Locatelli

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Programa: Recursos Florestais. Opção
em: Conservação de Ecossistemas Florestais

Piracicaba
2018

Marcela Minatel Locatelli
Engenheira Florestal

Ecologia da paisagem para o planejamento da infraestrutura verde da cidade de São Paulo, SP
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **DEMÓSTENES FERREIRA DA SILVA FILHO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Programa: Recursos Florestais. Opção
em: Conservação de Ecossistemas Florestais

Piracicaba
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Locatelli, Marcela Minatel

Ecologia da paisagem para o planejamento da infraestrutura verde da cidade de São Paulo, SP / Marcela Minatel Locatelli. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2018.

92p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Espaços vegetados 2. Áreas verdes 3. Planejamento urbano 4. Métricas da paisagem I. Título

**A todos que amam a natureza
Dedico**

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos, e à Fundação DigitalGlobe pela doação das imagens de satélite utilizadas neste estudo.

Ao meu orientador Demóstenes Ferreira da Silva Filho pela orientação, apoio, incentivo e confiança.

À Andrea Santos Garcia pela orientação paciente, pelos conhecimentos adquiridos, compreensão, amizade e apoio em todos as fases da pesquisa.

Aos colegas Felipe Martello Ribeiro e Eduardo Roberto Alexandrino pelas dicas e conhecimentos fundamentais para realização deste trabalho.

Aos professores Paulo Renato Mesquita Pellegrino e Milton Cezar Ribeiro pelas valiosas críticas e sugestões durante o exame de qualificação.

À professora Maria de Assunção Ribeiro Franco pelas dicas, oportunidades e parceria.

À professora Renata Cristina Batista Fonseca pelos conselhos e participação nas minhas escolhas acadêmicas.

Ao Jefferson Lordello Polizel pela paciência, apoio e dedicação.

À querida amiga Patrícia Mara Sanches pela orientação paciente e carinhosa, pelos conselhos, amizade e apoio.

À Teresa pelo carinho e revisão minuciosa do texto.

Aos colegas do Laboratório de Silvicultura Urbana e do Centro de Métodos Quantitativos pela amizade, conselhos e risadas.

Às amigas da república Bacanuda pelo companheirismo.

Aos amigos que fiz na pós-graduação, em especial às queridas Raissa Andrade, Karinne Valdemarin, Thaís Diniz, Regina Gomes e Giovana Oliveira e ao querido Luis Fernando Merlot pela amizade, cumplicidade, conselhos, risadas, bebedeiras e apoio em tantos momentos.

Às amadas amigas Nara Júlia Faber, Karina Floret, Analú Zanon e Andressa Keller pelo companheirismo, carinho e amizade de anos.

Ao Bruno Max Camargo pelo carinho e apoio em tantos momentos.

À minha gatinha Filó pelo amor e companheirismo.

Aos meus amados pais, José Luiz Locatelli e Nanci Cristina Minatel Locatelli, e à minha querida irmã, Paula Minatel Locatelli, pela dedicação e apoio em todos os momentos da minha vida.

À todas as pessoas que cruzaram o meu caminho, e contribuíram de alguma forma para minha formação pessoal e profissional.

De coração, agradeço.

EPÍGRAFE

“Descobrir o verdadeiro sentido das coisas é querer saber demais...”

Fernando Anitelli

SUMÁRIO

RESUMO.....	7
ABSTRACT.....	8
1. INTRODUÇÃO GERAL	9
1.1. PRINCIPAIS CONCEITOS E REVISÃO DE LEITERATURA	10
1.1.1. ECOLOGIA DA PAISAGEM	10
1.1.2. MÉTRICAS DA PAISAGEM	11
1.1.3. HISTÓRICO E PLANEJAMENTO DOS ESPAÇOS VEGETADOS	11
1.1.4. INFRAESTRUTURA VERDE	12
1.1.5. A CIDADE DE SÃO PAULO	13
REFERÊNCIAS	14
2. DIAGNÓSTICO DOS FRAGMENTOS DE VEGETAÇÃO ARBÓREA-ARBUSTIVA DA CIDADE DE SÃO PAULO	19
RESUMO	19
ABSTRACT	19
2.1. INTRODUÇÃO	19
2.2. MATERIAL E MÉTODOS	21
2.2.1. ÁREA DE ESTUDO.....	21
2.2.2. PROCESSAMENTO E CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS	22
2.2.3. IDENTIFICAÇÃO DE ESPAÇOS PRIORITÁRIOS PARA A CONSERVAÇÃO AMBIENTAL E DE ESPAÇOS COM POTENCIAL PARA USOS MULTIFUNCIONAIS	22
2.2.4. ANÁLISE DA CONECTIVIDADE DA PAISAGEM.....	24
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
2.3.1. PROCESSAMENTO E CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS	25
2.3.2. IDENTIFICAÇÃO DE ESPAÇOS PRIORITÁRIOS PARA A CONSERVAÇÃO AMBIENTAL E DE ESPAÇOS COM POTENCIAL PARA USOS MULTIFUNCIONAIS	30
2.3.3. ANÁLISE DA CONECTIVIDADE DA PAISAGEM.....	46
2.4. CONCLUSÕES	48
REFERÊNCIAS	49
APÊNDICES	51
3. PLANEJAMENTO DE CORREDORES VERDES PARA A AVIFAUNA DA CIDADE DE SÃO PAULO	55
RESUMO	55
ABSTRACT	55
3.1. INTRODUÇÃO	55
3.2. MATERIAL E MÉTODOS	57
3.2.1. MAPA SOURCE-TARGET	57
3.2.2. MAPA DE RESISTÊNCIA	58
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
3.3.1. SIMULAÇÃO DOS CORREDORES VERDES.....	64
3.3.2. ESTRATÉGIAS, INSTRUMENTOS LEGAIS E INCENTIVOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO DOS CORREDORES VERDES	68
3.4. CONCLUSÕES	86
REFERÊNCIAS	87
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	91

RESUMO

Ecologia da paisagem para o planejamento da infraestrutura verde da cidade de São Paulo, SP

As cidades impõem o mais severo e complexo conjunto de modificações no meio físico e biótico, constituindo-se em um filtro ambiental com fortes efeitos negativos sobre a biodiversidade. No entanto, quando sua infraestrutura verde é planejada adequadamente, esses efeitos são minimizados. A infraestrutura verde consiste em uma rede interconectada de espaços permeáveis e vegetados, que fornece serviços ecossistêmicos essenciais para a qualidade de vida das pessoas e para a conservação da biodiversidade urbana. Apesar de reconhecida a importância dessa temática, poucos estudos tem sido desenvolvidos nas cidades brasileiras. O presente trabalho teve como objetivo propor uma metodologia para o diagnóstico e planejamento da infraestrutura verde da cidade de São Paulo, SP, com auxílio de métricas da ecologia da paisagem. A área e a forma dos fragmentos de vegetação arbórea-arbustiva foram analisadas por meio de métricas de área (AREA) e forma (SHAPE), enquanto a conectividade entre os fragmentos foi analisada por meio do Índice de Proximidade (PROX). A partir da morfologia dos fragmentos de vegetação foi possível identificar os espaços prioritários para a conservação da biodiversidade, e os espaços com potencial para uso multifuncional. Já a partir do resultado do Índice de Proximidade foram identificados os fragmentos mais isolados no tecido urbano, considerando os aspectos biológicos de aves com diferentes graus de sensibilidade à fragmentação da paisagem. Esses fragmentos encontram-se, predominantemente, na região central de São Paulo. Visando a conexão dos dois fragmentos prioritários para a conservação da biodiversidade identificados na pesquisa, foram simulados corredores verdes, utilizando caminhos de menor custo e considerando aspectos biológicos das aves, como capacidade de deslocamento e adaptabilidade ao meio urbano. Também foram identificados os fragmentos mais importantes para a conectividade da paisagem, e que, portanto, merecem maior atenção. Os corredores verdes obtidos perpassam toda a área de estudo no sentido norte-sul, e além de conectarem os fragmentos de interesse, aumentam a permeabilidade da região central, provendo benefícios, como conforto térmico, redução do escoamento superficial, redução de ruídos e poluentes, dentre outros. Por fim, foram apresentados incentivos e estratégias para a implementação do corredor verde. A abordagem proposta neste trabalho buscou colaborar com melhorias para a cidade de São Paulo e para o avanço do conhecimento científico relacionado à infraestrutura verde, auxiliando na conservação ou recuperação dos processos naturais em áreas urbanas, e melhorando a qualidade de vida da população.

Palavras-chave: Áreas verdes; Métricas da paisagem; Conectividade; Planejamento urbano

ABSTRACT

Landscape ecology for green infrastructure planning in the city of São Paulo, Brazil

The cities impose the most severe and complex set of modifications in the physical and biotic environment, constituting an environmental filter with strong negative effects on biodiversity. However, when urban green infrastructure is planned properly, these effects are minimized. The green infrastructure consists of an interconnected network of permeable and vegetated spaces that provides essential ecosystem services for urban quality of life and biodiversity conservation. Despite the importance of this theme, few studies have been developed in Brazilian cities. This study aims to propose a methodology to analyze and to improve planning of green infrastructure in the city of São Paulo by using landscape metrics. We analyzed the patches morphology by area (AREA) and shape (SHAPE) metrics, and the patches connectivity by the Proximity Index (PROX). From the patches morphology, we identify the priority areas for the biodiversity conservation and the spaces with potential for multifunctional use. From the Proximity Index result, we identify the most isolated patches in the urban area, considering the biological aspects of birds with different degrees of sensitivity to habitat fragmentation. These patches are found predominantly in the central region of São Paulo. We simulated least-cost paths between two priority patches for the biodiversity conservation. For this, we consider biological aspects of birds, such as dispersion capacity and adaptability to the urban environment. We also identify the most important patches for the landscape connectivity that deserve more attention. The green corridor obtained permeates the entire study area in a north-south direction, and in addition to connecting the interest patches, increases the central region permeability, providing benefits such as thermal comfort, reduction of stormwater runoff, reduction of noise and pollution, among others. Finally, we propose incentives and strategies for implementing the green corridor. This study aimed to contribute to improvements in the city of São Paulo and the advancement of scientific knowledge related to the green infrastructure, helping to preserve or restore natural processes in urban areas and improves people's life quality.

Keywords: Green areas; Landscape pattern metrics; Connectivity; Urban planning

1. INTRODUÇÃO GERAL

A infraestrutura verde consiste em uma rede interconectada de espaços permeáveis e vegetados que conserva os valores e funções dos ecossistemas naturais (BENEDICT; MCMAHON, 2006) e fornece serviços ecossistêmicos essenciais para a qualidade de vida das pessoas e para a conservação da biodiversidade urbana (PENA, 2017). Podemos citar: retenção de poluentes, redução de ruídos, atenuação das ilhas de calor, redução do escoamento superficial da água da chuva, aumento da permeabilidade do solo, controle de processos erosivos e contenção de encostas (MAGALHÃES, 2013; NOWAK et al., 2014; LI; CHEN; HE, 2015; BARÓ et. al, 2017). Os espaços vegetados são também associados ao bem estar psicológico e proporcionam oportunidades de recreação e coesão comunitária e cultural (COSTA, 2010; LI; CHEN; HE, 2015). Ademais, tanto os espaços vegetados naturais (fragmentos de vegetação remanescentes) como modificados (parques, praças, jardins particulares, etc.), podem servir como refúgios ou locais de reprodução para diversos organismos e, assim, manter um certo nível de biodiversidade (CHANG; LEE, 2016). Entretanto, a maioria destes espaços apresenta-se isolada no tecido urbano (GASPARETO, 2014).

Durante o processo de urbanização da maior parte das cidades brasileiras, os espaços vegetados não foram considerados prioritários, sendo restringidos a um número reduzido de parques e pequenas praças implantadas nos vazios urbanos, padrão encontrado também na cidade de São Paulo, objeto deste estudo. No entanto, o agravamento de diversos problemas ambientais (ilhas de calor, alagamentos, elevado nível de poluentes, entre outros) evidenciam a importância de rever o planejamento da cidade, provendo áreas adequadas para que a vegetação possa fornecer seus serviços ecossistêmicos.

A ecologia da paisagem é frequentemente utilizada como uma perspectiva útil e apropriada para o planejamento de paisagens e para a promoção da sustentabilidade urbana (BIERWAGEN, 2004). Turrini e Kinop (2015) mostram a importância desses estudos para compreender os mecanismos que moldam a biodiversidade urbana, e destacam o potencial de um planejamento urbano adequado para mitigar a perda de biodiversidade. Entretanto, a influência da morfologia e configuração dos espaços vegetados urbanos sobre os processos ecológicos é ainda pouco conhecida, evidenciando a necessidade de estudos que avaliam esses espaços por meio de métricas da paisagem (BIERWAGEN 2005; PARK et al., 2014).

No âmbito internacional, as métricas da paisagem são utilizadas para descrever e analisar diversos aspectos das áreas urbanas. Podemos citar os trabalhos de Asgarian et al. (2015) que avalia o efeito da cobertura arbórea na temperatura da cidade de Isfahan, Irã; Salvati et al. (2016) que investiga o impacto da expansão urbana de Roma, Itália na paisagem florestal; e Kong et al. (2005), Zhang e Wang (2006), Tian, Jim e Wang (2014), Li, Chen e He (2015) e Sun Caige et al. (2016) que utilizam métricas da paisagem para avaliação dos espaços vegetados, e planejamento de uma rede ecológica em cidades da China.

Já no Brasil, estudos que relacionam métricas da paisagem e planejamento urbano são pouco explorados. As pesquisas até o momento abordam a implementação de corredores verdes, como os trabalhos de Costa (2010) e Hannes e Bondar (2015) em São Paulo, SP; Alvarez e Penteado (2007) em Vitória, ES e; Freitas (2015) em Santos, SP. Somente Magalhães (2013) utilizou métricas da paisagem para a avaliação dos espaços vegetados de Belo Horizonte, MG, o que possibilitou a identificação do potencial de uso e conservação desses espaços, bem como o desenvolvimento de diretrizes para o planejamento da região, tendo em vista os princípios da Ecologia da Paisagem.

Diante do exposto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a área, a forma e a conectividade dos fragmentos de vegetação arbórea-arbustiva da cidade de São Paulo com auxílio de Métricas da Ecologia da Paisagem.

A partir desta análise será possível discutir os usos associados a esses espaços, bem como indicar áreas potenciais para compor a infraestrutura verde da região, visando o aumento da conectividade da paisagem.

Este estudo está estruturado em quatro capítulos, incluindo a introdução. No capítulo seguinte são avaliadas: área, forma e conectividade dos fragmentos de vegetação arbórea-arbustiva de um trecho da cidade de São Paulo, relacionando esses aspectos ao uso potencial dos espaços vegetados. No terceiro capítulo, são simulados corredores verdes para a conexão dos principais fragmentos de vegetação da área de estudo. Além disso, são identificados os fragmentos mais relevantes para a conectividade da paisagem, e que, portanto, merecem maior atenção. Como forma de viabilizar a implementação das propostas de corredores verdes, são discutidas estratégias para o aumento de vegetação em diferentes situações na área de interesse. Nas considerações finais procede-se um esforço reflexivo em que se procurou identificar como os aspectos centrais da pesquisa podem colaborar com melhorias para a cidade de São Paulo e para o avanço do conhecimento científico.

1.1. Principais Conceitos e Revisão de Literatura

1.1.1. Ecologia da Paisagem

A definição mais recorrente na literatura para Ecologia da Paisagem é “o estudo da estrutura, função e dinâmica de áreas heterogêneas formadas por ecossistemas interativos” (FORMAN; GODRON, 1986, p.595, tradução livre).

Fahrig (2005) define a Ecologia da Paisagem como o estudo de como a estrutura da paisagem afeta (os processos que determinam) a abundância e a distribuição dos organismos. Comumente, três componentes da paisagem são destacados: fragmentos, corredores e matriz (FORMAN, 1995).

Fragmentos são áreas ou superfícies não-lineares e relativamente homogêneas, que diferem de seus arredores (FORMAN; GODRON, 1981). São vulneráveis à alterações físicas e biogeográficas, em grande ou pequena escala, em função de seu tamanho, forma, distribuição espacial e conectividade (ETTO et al., 2013). Os espaços vegetados (parques, praças, fragmentos remanescentes, etc) constituem-se em manchas homogêneas dentro do tecido urbano e desempenham papel significativo na composição do ambiente (WEISS et al., 2015).

A matriz é o elemento dominante na paisagem, com área mais extensa e contínua, e exerce considerável controle sobre sua dinâmica (FORMAN, 1995). Segundo Metzger (2006) a matriz pode modificar as taxas de dispersão e colonização; propiciar habitats secundários para as espécies focais ou para as espécies generalistas; oferecer ambiente para invasores, sendo assim fonte de perturbações; e determinar a severidade do efeito de borda. De acordo com o mesmo autor, uma maior permeabilidade da matriz aos fluxos biológicos pode atenuar os efeitos da fragmentação, e servir como uma alternativa de manejo para aumentar a conectividade da paisagem.

A permeabilidade da matriz pode ser estimada pela densidade de pontos de ligação (*stepping stones*) e pelo grau de resistência das unidades da paisagem aos fluxos biológicos. Os *stepping stones* constituem pequenas áreas de *habitat* dispersas na matriz, e possuem função importante no movimento e na persistência de algumas espécies (METZGER, 1999).

Os elementos paisagísticos denominados corredores possuem formas lineares, e auxiliam na movimentação de organismos e no fluxo de nutrientes e energia através dos fragmentos de uma paisagem (ARAÚJO, 2010). Quando inseridos em ambientes urbanos, além da função ecológica citada, os corredores ecológicos ou verdes trazem benefícios sociais (conforto térmico, redução do escoamento superficial, redução de poluentes e ruídos, fornecem oportunidades de lazer, dentre outros) e econômicos (redução do consumo energético, valorização de propriedades arredores).

Metzger (2003) afirma que para reconectar fragmentos isolados há basicamente duas opções: estabelecer corredores ou melhorar os corredores existentes; ou aumentar a permeabilidade da matriz da paisagem, seja alterando as características da matriz, tornando-as menos resistentes aos fluxos, seja aumentando os *stepping stones*.

A matriz urbana, da forma que se apresenta, exerce grande resistência aos fluxos biológicos. Dessa forma, o aumento de sua permeabilidade, por meio do incremento de vegetação é fundamental para mitigar a perda de biodiversidade.

1.1.2. Métricas da Paisagem

No contexto da ecologia da paisagem, existem aplicativos destinados à análise da estrutura espacial dos elementos paisagísticos que, por meio de índices ou métricas, são capazes de descrever o nível de fragmentação da paisagem (OLIVEIRA, 2013).

Inicialmente a utilização das Métricas da Paisagem ocorreu no âmbito das ciências biológicas, buscando identificar o grau de fragmentação de paisagens, bem como as áreas com melhores condições para preservação ambiental. Em um segundo momento, as métricas começaram a ser aplicadas para identificar padrões de organização espacial em paisagens complexas, como áreas de uso agrícola e de expansão urbana (MAGALHÃES, 2013).

As métricas da paisagem são baseadas na análise da distribuição, forma e arranjo espacial dos fragmentos, e podem ser aplicadas em três níveis: à escala dos fragmentos (analisando parques, individualmente, por exemplo), à escala das classes (conjunto de toda a vegetação presente na área urbana, por exemplo) e à escala da paisagem como um todo (a cidade de São Paulo, por exemplo). Ao nível da classe e da paisagem as métricas são divididas em métricas de composição e métricas de configuração.

A composição refere-se à quantificação dos elementos paisagísticos em relação à proporção, riqueza, uniformidade, dominância e diversidade. Já a configuração da paisagem relaciona-se com as características espacialmente explícitas, associadas à geometria ou à distribuição espacial, caracterizando os fragmentos quanto ao tamanho, forma, tipos de borda, e sua localização em relação aos demais fragmentos (LEITÃO; AHERN, 2002). Conforme Casimiro (2009) e Mcgarigal (2015), a composição e a configuração da paisagem podem afetar os processos ecológicos independentemente ou em conjunto.

As métricas da paisagem são também classificadas em estruturais e funcionais. Métricas estruturais medem a composição física ou configuração do mosaico da paisagem sem referência a um processo ecológico específico (MCGARIGAL et al., 2002). Podem ser usadas, por exemplo, para medir tamanho, forma ou dispersão de fragmentos. Alternativamente, as métricas funcionais medem o padrão de paisagem especificamente relevante para um organismo ou processo de interesse, e requerem dados adicionais, como por exemplo a definição do tamanho mínimo de *habitat* ou a distância de dispersão para uma espécie (MCGARIGAL et al., 2002). Para o estudo da paisagem de interesse, foram utilizadas métricas estruturais e funcionais, que serão detalhadas mais a frente no texto.

1.1.3. Histórico e Planejamento dos Espaços Vegetados

Segundo Gomes e Soares (2003) até o século XIX as cidades apareciam como uma expressão oposta ao meio rural, com grande valorização do espaço construído, ao passo que os elementos naturais eram refutados.

Após a Revolução Industrial, a civilização humana se deparou com um ambiente gerado pela massiva industrialização, com condições de salubridade muito precárias (BEZERRA et al., 2016). A paisagem das cidades ficou

caracterizada pela falta de qualidade ambiental e de condições dignas de moradia e trabalho para as classes menos favorecidas (ARAÚJO, 2010).

Somada aos impactos oriundos desse período, a destruição de parte do continente europeu por duas grandes guerras consecutivas possibilitou novas discussões em torno da sociedade que estava se formando (KOHLSDORF, 1985). Foram apresentados novos conceitos e planos que visavam à qualidade ambiental urbana, e tinham como elemento central a manutenção da vegetação nas cidades.

Segundo Magalhães (2013) os espaços vegetados ganharam maior destaque no planejamento urbano a partir da conferência “Man and Biosphere” (MAB) da UNESCO, em 1988, em que foram definidos onze princípios básicos para o seu planejamento, destacando-se: a exigência de maior rigor nos projetos desses espaços; regulamentação de zonas livres de ocupação na cidade para assegurar sua permanência futura; e incorporação de espaços vegetados privados ao sistema municipal.

Duarte e Serra (2003) e Menegetti (2007) enfatizam a importância da distribuição e qualidade dos espaços vegetados sobre as funções que os mesmos desempenham. Nesse sentido, devem ser pensados como um sistema integrado, capaz de manter a conectividade entre os fragmentos de vegetação intra e periurbanos (FORMAN; GODRON, 1986).

1.1.4. Infraestrutura Verde

A infraestrutura verde consiste em uma rede interconectada de espaços permeáveis e vegetados, que visa manter ou restabelecer os processos naturais e culturais que asseguram a qualidade de vida urbana (BENEDICT; MC MAHON, 2006; AHERN, 2007). O termo Infraestrutura Verde surgiu em 1994, em um relatório da “Comissão de Greenways da Flórida”, e embora possa assumir significados diferentes, em função do contexto em que é empregado, tem sido evocado em trabalhos de planejamento que defendem a conservação ou a necessidade de restauração de sistemas naturais (BONZI, 2015).

A infraestrutura verde difere das abordagens convencionais para o planejamento do espaço aberto, pois considera os princípios e ações de conservação em conjunto com o desenvolvimento urbano e o planejamento da infraestrutura construída (BENEDICT, 2000; MC MAHON, 2000).

Segundo Bonzi (2015), uma rede de infraestrutura verde conecta ecossistemas e paisagens em um sistema de *hubs*, *links* e *sites* (Figura 1), e nesse sentido, fica evidente a influência da Ecologia da Paisagem nos princípios da Infraestrutura Verde. *Hubs* ancoram a rede de infraestrutura verde e proporcionam espaço para a flora e fauna nativas, garantindo os processos ecológicos. Constituem os grandes fragmentos de vegetação públicos e privados. *Links* são as conexões que ligam o sistema, que além de manter os fluxos biológicos, podem proporcionar oportunidades de recreação. *Sites* são os espaços vegetados menores que os hubs, e que também podem contribuir com importantes benefícios ecológicos e sociais.

Figura 1. Desenho esquemático de uma rede de infraestrutura verde, com seus *hubs*, *sites* e *links*.
Fonte: Benedict; Mc Mahon (2006).

Um aspecto da infraestrutura verde que parece explicar a sua crescente popularidade entre os interventores da paisagem, diz respeito ao papel importante desempenhado por suas tipologias (BONZI, 2015). Estas constituem tecnologias de alto desempenho, que por meio da mimetização e adaptação de funções ecológicas e hidrológicas (CORMIER; PELLEGRINO, 2008), promovem serviços infraestruturais relacionados à drenagem urbana, ao mesmo tempo em que oferecem soluções de mobilidade, lazer, conforto ambiental, purificação da água e do ar, conservação da biodiversidade, entre outras (BONZI, 2015).

De acordo com Herzog e Rosa (2010), as tipologias de infraestrutura verde são utilizadas na escala local, referente ao lote e ao bairro, muitas vezes associadas à vegetação, tendo como exemplos: jardins-de-chuva, biovaletas, lagoas de infiltração (bacias de detenção) e pluviais (bacias de retenção), tellhados e paredes verdes, alagados construídos, bioengenharia em taludes e encostas, pisos drenantes, entre outras.

Tendo em vista a escala do presente trabalho (que abrange grande parte da cidade de São Paulo), não pretendemos tratar de projetos associados a tipologias de infraestrutura verde. O termo Infraestrutura Verde é utilizado aqui de forma ampla, quando nos referimos aos espaços vegetados da cidade de São Paulo. Entretanto, no Capítulo 3, quando discutimos a implementação de corredores verdes, e portanto, nos referimos a uma escala local, evocamos as tipologias de Infraestrutura Verde, descrevendo-as quando pertinente.

1.1.5. A Cidade de São Paulo

O município de São Paulo (23°32.0' S, 46°37.0' W) possui 1.521Km² de extensão e concentra 11.253.503 habitantes (IBGE, 2010). O clima é classificado como subtropical (Cwa), segundo Köppen (1948), com temperatura média anual de 19°C, e precipitação média anual de 1207 mm. Sua vegetação original era composta por Floresta Ombrófila Densa, Cerrado, campos de altitude e formações de várzea (SÃO PAULO, 2017).

De acordo com Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica (SÃO PAULO, 2017) a vegetação existente no município é constituída basicamente por: (i) fragmentos de florestas secundárias, localizados em unidades de conservação e no extremo sul do município, bem como em manchas isoladas, dispersas na matriz urbana. (ii) espaços vegetados implantados, como parques, praças municipais e arborização viária; (iii) conjuntos ou espécimes isolados em terrenos particulares.

Segundo o mesmo autor, as formações paludosas e de várzea, que eram bastante representativas no município, foram praticamente dizimadas, geralmente substituídas por sistema viário e piscinões.

Os fragmentos remanescentes de Floresta Ombrófila Densa são responsáveis pela manutenção das espécies de maior interesse para a conservação, sendo a preservação dessas áreas essencial para a manutenção de seus serviços ecossistêmicos e da biodiversidade (SÃO PAULO 2017). O autor enfatiza a importância dos bosques heterogêneos, dos campos naturais e das florestas de várzea para a manutenção da biodiversidade, bem como da necessidade de inclusão desses espaços nos sistemas de áreas verdes.

Aproximadamente 21% do Município é coberto por maciços florestais em diversos estágios de sucessão ecológica, entretanto, a distribuição da vegetação é bastante desigual, sendo elevada no extremo sul, e muito baixa nas regiões centrais (BRANCO, 2011). Conforme o mesmo autor, aproximadamente 48% do território apresenta carência significativa de cobertura vegetal de qualquer tipo.

Em decorrência do planejamento inadequado e da expansão urbana acelerada, São Paulo enfrenta graves problemas ambientais, como a impermeabilidade excessiva do solo, ocupação de áreas de preservação permanente, descarte irregular de resíduos, degradação dos recursos hídricos, aumento de enchentes e ilhas de calor, poluição do ar, dentre outros (JACOBI, 2006; COSTA, 2010).

Na tentativa de reverter esse quadro, algumas ações têm sido adotadas pelo poder público, como o Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo, sancionado pela Lei nº 16.050, de 31 de julho de 2014, que tem por objetivo ordenar as políticas de desenvolvimento urbano, econômico e social, bem como regular o uso e ocupação do solo. O Plano divide o município em duas macrozonas: (i) Macrozona de Estruturação e Qualificação Urbana, situada integralmente na Zona Urbana, com grande diversidade de padrões de uso e ocupação do solo, desigualdade socioespacial, e padrões diferenciados de urbanização; e (ii) Macrozona de Proteção e Recuperação Ambiental, que contempla um território ambientalmente frágil, devido às suas características geológicas e geotécnicas, à presença de mananciais de abastecimento hídrico e à significativa biodiversidade, e que, portanto, demanda cuidados especiais para sua conservação (SÃO PAULO, 2015).

A dimensão ambiental desempenha papel importante na estruturação e ordenação territorial do Plano Diretor, que define uma área do município como Zona Rural, com mecanismos efetivos para sua dinamização e proteção, atrelados a fontes mínimas e permanentes de financiamento, além de promover a ampliação de zonas de proteção e preservação ambiental. O adensamento habitacional e construtivo é priorizado ao longo do sistema de transporte coletivo, como forma de minimizar os deslocamentos diários da população, e reduzir o avanço da urbanização sobre áreas de importância ambiental. Ademais, novos parques são propostos, atrelados a um novo fundo municipal, criado para garantir a ampliação de áreas verdes e espaços livres na cidade (SÃO PAULO, 2015).

A despeito desses avanços, ainda existe uma lacuna no que se refere à conservação da Mata Atlântica e o desenvolvimento de políticas de planejamento urbano e ordenamento territorial, em especial na escala local (SÃO PAULO, 2017). De acordo com o mesmo autor, apesar do município dispor de arcabouço legal consistente e de diversos planos e projetos que objetivam a consolidação de um sistema de áreas verdes, o reconhecimento pelo Poder Público Municipal da necessidade de conservação e recuperação do Bioma Mata Atlântica é bastante recente.

Segundo Schutzer (2012) e Bonzi (2015), apesar da inserção da questão ambiental no planejamento e nos planos diretores urbanos, ainda predominam visões parciais do problema, que resultam em soluções ou propostas contraditórias, e premissas ambientais que não se consolidam nos projetos de intervenção.

Referências

AHERN, J. Green infrastructure for cities: the spatial dimension. In: Novotny, V.; Brown, P. (orgs.). Cities of the future – Towards integrated sustainable water landscape management. London: IWA Publishing, 2007.

- ALMEIDA, C. G. Análise espacial dos fragmentos florestais na área do parque nacional dos Campos Gerais, Paraná. 2008. 72f. Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2008.
- ARAÚJO, L. L. DA S. A conservação natural como parâmetro para o planejamento do território: aplicação dos princípios de ecologia da paisagem em área de expansão urbana no município de São João da Boa Vista, SP. 2010. 193f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de São Carlos, 2010.
- ASGARIAN, A. et al. Assessing the effect of green cover spatial patterns on urban land surface temperature using landscape metrics approach. *Urban Ecosyst*, v. 18, p. 209–222, 2015.
- BARÓ, F.; CHAPARRO, L.; GÓMEZ-BAGGETHUN, E.; LANGEMEYER, J.; NOWAK, D. J.; TERRADAS, J. Contribution of ecosystem services to air quality and climate change mitigation policies: The case of urban forests in Barcelona, Spain. *Ambio*, v. 43, n. 4, p. 466–479, 2014.
- BENEDICT, M. A. “Green Infrastructure: A Strategic Approach to Land Conservation,” American Planning Association PAS Memo, October 2000.
- BENEDICT, M. A.; MCMAHON, E. T. *Green Infrastructure. Linking Landscapes and Communities*. Washington, DC: Island Press, 2006. 320p.
- BEZERRA, M. C. L.; ROCHA, M. A.; BOGNIOTTI, G. M. C. Qualidade dos espaços verdes urbanos: o papel dos parques de lazer e de preservação. *Usjt, arq.urb*, n. 15, p. 128–142, 2016.
- BIERWAGEN, B. G. Connectivity in urbanizing landscapes: The importance of habitat configuration, urban area size, and dispersal. *Urban Ecosystems*, v. 10, n. 1, p. 29–42, 2007.
- _____. Predicting ecological connectivity in urbanizing landscapes. *Environment and Planning B: Planning and Design*, v. 32, p. 763–776, 2005.
- BONZI, R. S. Andar sobre Água Preta: a aplicação da Infraestrutura Verde em áreas densamente urbanizadas. 2015. 159p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Arquitetura, Urbanismo e Design, Universidade de São Paulo, 2015.
- BRANCO, A. M. (coord.) *Ações pela biodiversidade da Cidade de São Paulo*. São Paulo: Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente, 2011. 64 p.
- CASIMIRO, P. C. Estrutura, composição e configuração da paisagem: conceitos e princípios para a sua quantificação no âmbito da ecologia da paisagem. *Estudos regionais*, n. 20, 2009.
- CHANG, H. Y.; LEE, Y. F. Effects of area size, heterogeneity, isolation, and disturbances on urban park avifauna in a highly populated tropical city. *Urban Ecosystems*, v. 19, p. 257–274, 2016.
- CORMIER, N. S.; PELLEGRINO, P. R. M. Infra-estrutura verde: uma estratégia paisagística para a água urbana. *Paisagem e Ambiente: Ensaios*, v. 25, p. 127–142, 2008.
- COSTA, J. A. Uso de imagens de alta resolução para definição de corredores verdes na cidade de São Paulo. 2010. 114p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- DUARTE, H. S. D.; SERRA, G. G. Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental brasileira: correlações e proposta de um indicador. *Ambiente construído, Porto Alegre*, v. 3, n. 2, p. 7-20, 2003.
- ETTO, T. L. et al. Ecologia da paisagem de remanescentes florestais na bacia hidrográfica do Ribeirão das Pedras – Campinas - SP. *Revista Árvore*, v. 37, n. 6, p. 1063–1071, 2013.
- FAHRIG, L. When is a landscape perspective important? In: WIENS, J. A.; MOSS, M. (eds) *Issues and perspectives in landscape ecology*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2005. 390p.

- FORMAN, R. T. T. Land mosaics: the ecology of landscapes and regions. 4. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 632p.
- FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. Landscape ecology. New York: John Wiley & Sons, 1986. 619 p.
- _____. Patches and structural components for a landscape ecology. In: Bioscience, vol. 31, n. 10, 1981. p. 733-740.
- FREITAS, J. De pavimento a parque: uma proposta de corredores verdes para Santos – SP. Revista LABVERDE, n. 9, p. 53–72, 2015.
- FURLAN, Sueli Angelo. Projetos de estudo em Biogeografia: uma abordagem significativa da construção de projetos. In: Sonia Maria Vanzella Castellar (Org.). EDUCAÇÃO GEOGRÁFICA teorias e práticas. São Paulo: Contexto, 2005, v. 1, p. 09-19.
- GASPARETO, T. C. Pressão urbana e conectividade da paisagem no entorno dos parques estaduais de Itapetinga, Itaberaba, Cantareira, Juquery e Jaraguá na região metropolitana de São Paulo. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.
- GOMES, M. A. S.; SOARES, B. R. A vegetação nos centros urbanos: considerações sobre os espaços verdes em cidades médias brasileiras. Estudos Geográficos, Rio Claro, v. 1, n. 1, p. 19–29, 2003.
- HANNES, E.; BONDAR, C. S. Infraestrutura verde para o bairro do Mandaqui: possibilidade ou utopia? Revista LABVERDE, n. 9, p. 29–52, 2015.
- HERZOG, C. P.; ROSA, L. Z. Infraestrutura Verde: Sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana. Revista LABVERDE, n. 1, p. 92–115, 2010.
- IGNATIEVA, M.; STEWART, G. H.; MEURK, C. Planning and design of ecological networks in urban areas. Landscape and Ecological Engineering, v. 7, n. 1, p. 17–25, 2011.
- JACOBI, P. Impactos Sócio-Ambientais Urbanos na Região Metropolitana de São Paulo. Revista VeraCidade, n.1, p. 1–12, 2006.
- JOKIMÄKI, J. et al. Merging wildlife community ecology with animal behavioral ecology for a better urban landscape planning. Landscape and Urban Planning, v. 100, n. 4, p. 383–385, 2011.
- KOHLSDORF, M. E. Breve histórico do espaço urbano como campo disciplinar. In: GONZALES, S. F. N.; HOLANDA, F.; KOHLSDORF, M. E. (Orgs). O espaço da cidade: contribuição à análise urbana. São Paulo: Projeto, 1985, p. 15-72
- KONG, F. et al. Spatial gradient analysis of urban green spaces combined with landscape metrics in Jinan City of China. Chinese Geographical Science, v. 15, n. 3, p. 254 – 261, 2005.
- KÖPPEN, W. Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra. Fondo de Cultura Económica. México. 1948. 479p.
- LEITÃO, A. B.; AHERN, J. Applying landscape ecological concepts and metrics in sustainable landscape planning. Landscape and Urban Planning, v. 59, n. 2, p. 65–93, 2002.
- LI, H.; CHEN, W.; HE, W. Planning of green space ecological network in urban areas: an example of Nanchang, China. International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 12, n. 10, p. 12889–12904, out. 2015.
- MAGALHÃES, D. M. Análise dos espaços verdes remanescentes na mancha urbana conurbada de Belo Horizonte-MG apoiada por métricas de paisagem. 2013. 163p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

- MARQUES, A. J. Mapeamento de fragmentos de mata no município de Maringá, PR: uma abordagem da ecologia da paisagem. 2004. 92p. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente, 2004.
- MCDONALD, R. I.; KAREIVA, P.; FORMAN, R. T. T. The implications of current and future urbanization for global protected areas and biodiversity conservation. *Biological Conservation*, v. 141, p. 1695–1703, 2008.
- MCGARIGAL, K. (2015). FRAGSTATS help. Disponível em: <<http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/documents/fragstats.help.4.2.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2017.
- MCMAHON, E. T. “Green Infrastructure,” *Planning Commissioners Journal*, Number 37, Winter 2000.
- MENEGUETTI, K. S. De cidade-jardim a cidade sustentável: Potencialidades para uma estrutura ecológica urbana em Maringá - PR. 2007. 205p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura, Urbanismo e Design, Universidade de São Paulo, 2007.
- METZGER, J. P. Como lidar com regras pouco óbvias para conservação da biodiversidade em paisagens fragmentadas. *Natureza & Conservação*, v. 4, n. 2, p. 11–23, 2006.
- _____. Como restaurar a conectividade de paisagens fragmentadas? In: KAGEYAMA, P.Y., et al. *Restauração ecológica de ecossistemas naturais*. Fundação de Estudos e Pesquisa Agrícolas e Florestais – FEPAF, Botucatu, 2003. P.49-76.
- _____. O que é Ecologia de Paisagens? *Biota Neotrópica*. v.1, n. 1, p. 1-9. 2001.
- _____. Estrutura da paisagem e fragmentação: análise bibliográfica. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 71, n. 3-I, p. 445-463, 1999.
- NOWAK, D. J.; HIRABAYASHI, S.; GREENFIELD, E. Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, v. 193, p. 119–129, 2014.
- OLIVEIRA, F. R. Avaliação da paisagem da sub-bacia do Alto São Bartolomeu pelo modelo pressão-estado-resposta. 2013. 51f. Universidade de Brasília. Planaltina, 2013.
- PARK, S. et al. Influence of urban form on landscape pattern and connectivity in metropolitan regions: a comparative case study of Phoenix, AZ, USA, and Izmir, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 186, n. 10, p. 6301 – 6318, 2014.
- PENTEADO, H. M.; ALVAREZ, C. E. Corredores verdes urbanos: estudo da viabilidade de conexão das áreas verdes de Vitória. *Paisagem Ambiente: ensaios*, p. 57–68, 2007.
- SALVATI, L. et al. Toward forest “sprawl”: monitoring and planning a changing landscape for urban sustainability. *Journal of Forestry Research*, v. 27, n. 1, p. 175–184, 2016.
- SÃO PAULO (CIDADE). Prefeitura do Município de São Paulo – PMSP. Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo: lei municipal nº 16.050, de 31 de julho de 2014; texto da lei ilustrado. São Paulo: PMSP, 2015. 248p.
- SÃO PAULO (CIDADE). Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica – PMMA. Lei federal nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. São Paulo: PMSP e SVMA, 2017. 533p.
- SCHUTZER, J. G. Cidade e meio ambiente: a apropriação do relevo no desenho ambiental urbano. São Paulo: Edusp, 2012. 328p.
- SUN CAIGE et al. Landscape pattern analysis of green space in central urban area of Zhuhai city. 2016 4th International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications (EORSA). *Anais...IEEE*, jul. 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7552818/>>. Acesso em: 26 dez. 2016.
- TIAN, Y.; JIM, C. Y.; WANG, H. Assessing the landscape and ecological quality of urban green spaces in a compact city. *Landscape and Urban Planning*, v. 121, p. 97–108, 2014.

- TURRINI, T; KNOP, E. A landscape ecology approach identifies important drivers of urban biodiversity. *Global Change Biology*, v.21, p. 1652–1667, 2015.
- WEISS, R. et al. Métricas espaciais e SIG como instrumentos de caracterização e quantificação de áreas verdes urbanas. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Anais... João Pessoa-PB, Brasil, 2015.
- ZHANG, L.; WANG, H. Planning an ecological network of Xiamen Island (China) using landscape metrics and network analysis. *Landscape and Urban Planning*, v. 78, n. 4, p. 449–456, 2006.

2. DIAGNÓSTICO DOS FRAGMENTOS DE VEGETAÇÃO ARBÓREA-ARBUSTIVA DA CIDADE DE SÃO PAULO

Resumo

A configuração espacial dos espaços vegetados urbanos influenciam diversos processos ecológicos (como a persistência de algumas espécies, e o fluxo de espécies, nutrientes e energia), bem como o uso e apropriação desses espaços pela população. Este estudo teve por objetivo analisar a configuração espacial dos fragmentos de vegetação arbórea-arbustiva de um trecho da cidade de São Paulo, por meio de métricas da paisagem. Para tanto, foi obtido o mapa de cobertura do solo, a partir da classificação de imagens de satélite do ano de 2016. Em seguida foram calculadas métricas de área, forma e conectividade da paisagem no software Fragstats. Para a análise da conectividade foi considerada a capacidade de deslocamento de aves presentes na área de estudo, com diferentes graus de sensibilidade à fragmentação da paisagem, expressa nos raios de busca de 100, 500 e 1000 m. A partir dos resultados das métricas de área e forma foi possível identificar os fragmentos prioritários para a conservação da biodiversidade, e os espaços com potencial para uso multifuncional. Os fragmentos maiores e mais coesos concentram-se na região periférica da área de estudo, tornando-se menores e escassos com o aumento do grau de urbanização. As regiões periféricas também apresentam alta conectividade, principalmente ao norte, enquanto a região central apresenta-se praticamente intransponível para aves com diferentes graus de sensibilidade à fragmentação da paisagem. Os resultados demonstram a necessidade do incremento de vegetação na região central, que pode ser realizado, principalmente por meio da implantação de pequenas áreas verdes privadas e públicas, e da arborização viária. O conhecimento obtido pode servir de subsídio ao planejamento da infraestrutura verde urbana, tornando a cidade mais permeável para a biodiversidade, e agradável para as pessoas.

Palavras-chave: Áreas verdes; Métricas da paisagem; Conectividade; Planejamento urbano

Abstract

The spatial configuration of green spaces influences many ecological processes (such as the persistence of some species, and the flow of species, nutrients, and energy) as well as the use of the green spaces by people. This study aimed to analyze the spatial patch configuration of a section of the Sao Paulo city by landscape metrics. We obtained the land cover map by 2016 satellite images (Worldview 2) classification. Next, we calculate area, shape and connectivity metrics in the Fragstats software. For the connectivity metric, we considered the dispersion capacity of birds present in the study area, with different degrees of sensitivity to habitat fragmentation, expressed in the search radius of 100, 500 and 1000 m. From the results of area and shape metrics, we identified the most relevant patches for the biodiversity conservation, and the patches with potential for multifunctional use. The largest and most cohesive patches are concentrated in the periphery of the study area, becoming smaller and isolated with increasing degree of urbanization. The periphery also present high connectivity, mainly to the north, while the central region is practically insurmountable to birds with different degrees of sensitivity to habitat fragmentation. The results show the need for increased vegetation in the central region, mainly through the implantation of small green spaces and the street trees. The knowledge obtained can serve as a subsidy to urban green infrastructure planning, making the city more permeable to biodiversity and pleasant for people.

Keywords: Green areas; Landscape pattern metrics; Connectivity; Urban planning

2.1. Introdução

No contexto urbano, a configuração espacial, expressa pela área e conectividade entre os espaços vegetados (fragmentos de vegetação remanescentes, parques, praças, dentre outros) influenciam diversos processos ecológicos, como a persistência de algumas espécies, e o fluxo de espécies, nutrientes e energia (TIAN, JIM, WANG, 2014).

A área e a forma de um fragmento determinam a sua suscetibilidade à fatores externos, face à intensidade do efeito de borda (SILVA; SOUZA, 2014), e relacionam-se com a diversidade e abundância de espécies (LAURANCE

et al., 2011; MATOS et al., 2016). Chang e Lee (2016) discutem a interação entre a área de parques urbanos e a heterogeneidade de ambientes, de modo que parques maiores possuem maior diversidade e complexidade de vegetação, e associam esses fatores à maior riqueza de aves encontrada nesses locais. Por outro lado, os fragmentos de vegetação menores e com formas mais complexas possuem maior potencial de trocas com o entorno, o que favorece sua acessibilidade e a apropriação desses espaços pela população (MAGALHÃES, 2013). Taylor (1993) define conectividade como o grau no qual uma paisagem facilita ou restringe os movimentos dos organismos entre manchas de *habitat*. Existem dois componentes básicos da conectividade, o estrutural e o funcional (GIUBBINA, 2015). O componente estrutural refere-se ao arranjo espacial dos diferentes componentes da paisagem, enquanto componente funcional trata da resposta comportamental dos indivíduos, das espécies ou dos processos ecológicos em relação à estrutura física da paisagem (TISCHENDORF; FAHRIG 2000; ALONSO, 2010).

A conectividade funcional da paisagem urbana é uma área emergente, com pouco conhecimento consolidado, o que aliado à grande heterogeneidade e complexidade das cidades, dificulta a avaliação dos componentes urbanos sobre a biodiversidade (PENA, 2017). No entanto, segundo o mesmo autor, existe uma grande quantidade de conhecimento latente que pode auxiliar na compreensão dos efeitos da urbanização na conectividade funcional de paisagens urbanas.

Este estudo consiste em uma proposta metodológica para o diagnóstico e planejamento da infraestrutura verde urbana, com base nos conceitos da Ecologia da Paisagem, e tem como objetivos específicos:

- Analisar a área e a forma dos fragmentos de vegetação arbórea-arbustiva de um trecho da cidade de São Paulo, por meio de métricas da paisagem.
- Identificar os fragmentos de vegetação prioritários para conservação da biodiversidade, e os fragmentos com potencial para usos multifuncionais, indicando estratégias para sua conservação e apropriação.
- Analisar a conectividade funcional (considerando a avifauna como indicadora de biodiversidade urbana) entre os fragmentos de vegetação arbórea-arbustiva, indicando os espaços críticos para a conectividade da paisagem.

2.2. Material e Métodos

2.2.1. Área de Estudo

Para a seleção da área de estudo em trabalhos de ecologia da paisagem, geralmente são adotados limites físicos (manchas urbanas, por exemplo) ou naturais (fitofisionomias, microbacias, etc), uma vez que esses limites marcam alterações na paisagem. Na tentativa de atender a esse princípio, selecionamos como área de estudo um trecho do município de São Paulo que compreende 66 microbacias, e que vai do cume da serra da Cantareira ao rio Pinheiros (Figura 2). Essa região apresenta importantes alterações na paisagem, uma vez que engloba fragmentos de vegetação urbanos e periurbanos relevantes (principalmente no extremo norte e extremo sul da área de estudo), bem como a região central da cidade de São Paulo, altamente urbanizada, e que possui diversos problemas ambientais, como ilhas-de-calor, alagamentos, elevados níveis de poluição, etc.

A área de estudo selecionada abrange um retângulo de 5 x 20 Km, que é objeto de estudo do projeto¹ “Infraestrutura verde para a resiliência urbana às mudanças climáticas da cidade de São Paulo” financiado pela FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo. As microbacias selecionadas possuem no mínimo 5% de sua área nesse retângulo. Dessa forma, é possível analisar a relação entre os fragmentos de vegetação presentes no retângulo e os fragmentos de vegetação vizinhos, fornecendo subsídios para o projeto mencionado.

Figura 2. Mapa da área de estudo, onde as divisões correspondem às microbacias selecionadas.

¹ Projeto em andamento e financiado pela FAPESP na modalidade Auxílio à Pesquisa - Programa de Pesquisa sobre Mudanças Climáticas Globais

– Regular, cujo Processo é 15/10597-0.

2.2.2. Processamento e Classificação das Imagens

A primeira etapa do presente trabalho corresponde ao mapeamento da cobertura do solo da área de estudo. Para tanto, foi realizada a classificação automática supervisionada de imagens do satélite *Worldview 2* do ano de 2016, com quatro bandas espectrais (banda vermelha, banda verde, banda azul e banda do infravermelho próximo), com resolução espacial de 2 metros. Estas imagens foram cedidas pela “Fundação DigitalGlobe²” em janeiro de 2017, e tratadas com filtro *Kuwahara*, no software *QuantumGIS 2.18.4*, para suavização de ruídos.

A classificação automática supervisionada das imagens foi desenvolvida no software *MultiSpec* (da Universidade Purdue), com o algoritmo de Máxima Verossimilhança. Este procedimento envolveu duas etapas: o treinamento e a classificação propriamente dita. A fase de treinamento consiste em fornecer ao sistema um conjunto de *pixels* representativos de cada tipo de cobertura do solo na imagem a ser classificada. As classes utilizadas foram: (1) vegetação arbórea-arbustiva, (2) vegetação rasteira, (3) solo, (4) asfalto, (5) corpos d’água, (6) sombra, (7) piscina, (8) telha clara, (9) telha escura, (10) telha cinza, e (11) telha cerâmica. Estas são as classes utilizadas na classificação da cobertura do solo em trabalhos desenvolvidos pelo Laboratório de Silvicultura Urbana da ESALQ/USP.

A concordância entre a verdade terrestre e o mapa temático foi avaliada por meio da estatística Kappa.

Ao desenvolver testes das etapas posteriores, percebemos que a classe “sombra” presente na imagem interferiu nos resultados das análises, e portanto, optamos por removê-la do mapeamento, por meio da aplicação defiltros estatísticos, que substituíram os pixels correspondentes à classe “sombra” pelos *pixels* mais frequentes da vizinhança da imagem classificada.

Após essa etapa, a imagem foi reclassificada no programa QuantumGIS 2.18.4, de forma que a vegetação arbórea-arbustiva foi transformada na classe 1 (*habitat*), e todas as outras classes mencionadas anteriormente foram transformadas na classe 2 (*não-habitat*), gerando um mapa binário capaz de ser quantificado pelo programa *Fragstats*.

Cabe salientar que apesar de uma gama de espécies de aves utilizar a vegetação rasteira como *habitat*, neste trabalho consideramos como bioindicadoras algumas espécies de aves tipicamente florestais, o que justifica a classificação do mapa binário.

Para eliminar o ruído gerado por pequenas áreas arborizadas (ex: copa de árvores), restringimos as análises para áreas com mínimo de 1 hectare. As métricas selecionadas foram aplicadas em toda a área de estudo por meio do software *Fragstats 4.2.1*. A seguir apresentamos os principais objetivos da análise, bem como a metodologia proposta para atingir cada objetivo.

2.2.3. Identificação de Espaços Prioritários para a Conservação Ambiental e Espaços com Potencial para Usos Multifuncionais

Com base nos conceitos apresentados e no trabalho de Magalhães (2013), definimos dois princípios para o planejamento da infraestrutura verde da área de estudo: (i) Fragmentos de vegetação arbórea-arbustiva com grandes áreas e formas coesas têm maior potencial ecológico, e, portanto são prioritários para conservação da biodiversidade e; (ii) Fragmentos de vegetação arbórea-arbustiva com áreas menores e formas complexas constituem espaços com potencial para usos multifuncionais.

Com o objetivo de elencar os fragmentos de vegetação em função de sua área e forma, foi proposto um novo índice (Índice ASH), que relaciona duas métricas de ecologia da paisagem: *Patch Area* (AREA) e *Shape Index*

(SHAPE). Os resultados foram plotados em um mapa, onde foi possível identificar os espaços vegetados com potencial para conservação da biodiversidade, e os espaços com potencial para usos multifuncionais.

A descrição e fórmula das métricas utilizadas, bem como do índice criado, são apresentadas a seguir.

Patch Area (AREA)

Corresponde à área de cada fragmento (MC GARIGAL, 2015).

$$AREA = \frac{a_{ij}}{10.000}$$

Onde:

a_{ij} = área (m²) do fragmento ij

Unidade: ha

Shape Index (SHAPE) (PATTON, 1975)

Representa a relação entre o perímetro e a área dos fragmentos, medindo a complexidade da forma das manchas em relação a uma forma básica quadrada, que representa um mínimo de complexidade (MARQUES, 2004).

$$SHAPE = \frac{0,25p_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}}$$

Onde:

p_{ij} = perímetro do fragmento ij.

a_{ij} = área do fragmento i na classe j.

Unidade: adimensional

$SHAPE \geq 1$, sem limite.

$SHAPE = 1$ quando o fragmento é quadrado, e aumenta a medida que a forma do fragmento torna-se mais irregular.

Índice ASH (ASH)

Representa a relação entre a área e a forma de cada fragmento.

$$ASH = \frac{AREA}{SHAPE}$$

Onde:

AREA = Patch Area

SHAPE = Shape Index

Unidade = adimensional

Valores elevados de índice ASH indicam fragmentos de maior área e com forma compacta (próxima a um círculo). Enquanto baixos valores de índice ASH indicam fragmentos de menor área e com forma mais complexa.

2.2.4. Análise da Conectividade entre os Fragmentos de Vegetação Arbórea-arbustiva

A conectividade da paisagem foi analisada por meio do Índice de Proximidade (PROX). Os resultados foram plotados em mapas, possibilitando identificar os espaços vegetados mais isolados, e os mais próximos a grandes fragmentos. A descrição e a fórmula de PROX são apresentadas a seguir.

Índice de Proximidade (PROX) (GUSTAFSON; PARKER, 1992)

Considera o tamanho e a proximidade de todos os fragmentos da mesma classe que o fragmento focal, cujas arestas estão dentro de um raio de busca especificado do fragmento focal (MC GARIGAL, 2015).

$$PROX = \sum_{s=1}^n \frac{a_{ijs}}{h_{ijs}^2}$$

Onde:

a_{ijs} = área (m^2) do fragmento dentro de uma vizinhança especificada (em m) do fragmento ij .

h_{ijs} = distância (m) entre o fragmento ijs e o fragmento ijs , baseado na distância borda-a-borda dos fragmentos.

$PROX \geq 0$. $PROX = 0$ quando um fragmento não possui vizinhos da mesma classe dentro do raio de pesquisa especificado. PROX aumenta à medida que a vizinhança é cada vez mais ocupada por fragmentos da mesma classe, e estes fragmentos se tornam mais próximos e contíguos (MC GARIGAL, 2015).

Para o cálculo de PROX o usuário deve indicar um raio de busca que tem como base o fragmento focal e, a partir desse fragmento, o software quantifica os fragmentos existentes, computando a área e a distância dos mesmos. A Figura 3 ilustra como é calculada essa métrica.

Figura 3. Cálculo do Índice de Proximidade (PROX).
Fonte: Magalhães (2013) apud Leitão et al. (2006).

O raio de busca deve ser baseado na capacidade de locomoção de uma espécie (ou grupo de espécies) focal na matriz. Para a determinação desse parâmetro, consideramos a avifauna como indicadora de biodiversidade urbana, conforme Pena (2017). A seleção por esse grupo adveio do maior número de trabalhos existentes e à menor

probabilidade de conflitos com a população. Ademais, as características biológicas de algumas aves favorecem sua persistência em *habitat* muito fragmentados, como é o caso das áreas urbanas.

A definição do grupo de espécies focal constituiu um desafio do presente trabalho, uma vez que a adaptabilidade das espécies ao ambiente analisado deve ser considerada (METZGER, 2006). Dessa forma, espécies muito sensíveis à distúrbios antrópicos não são adequadas para estudos em áreas urbanas, pois dificilmente estarão presentes nesses locais. Por outro lado, espécies muito tolerantes aos distúrbios antrópicos podem não ser sensíveis aos padrões da paisagem analisados. Assim, procuramos contemplar espécies de hábito florestal, com baixa sensibilidade a distúrbios antrópicos, e, portanto, adaptadas aos espaços vegetados urbanos.

Os dados existentes na literatura sobre a capacidade de deslocamento dessas aves são escassos, com distâncias variando entre 54 e 650 m (AWADE; METZGER, 2008; GIUBBINA, 2015; MARINI, 2010). Dessa forma, buscando analisar a paisagem sob a ótica de espécies com diferentes graus de sensibilidade à fragmentação, foram determinados três raios de busca para o cálculo do Índice de Proximidade: 100, 500 e 1000 m.

A partir dos objetivos elencados buscamos validar a utilização de métricas da paisagem para análise dos espaços verdes urbanos. Os resultados positivos obtidos da avaliação serão traduzidos em forma de diretrizes para o planejamento da infraestrutura verde da cidade de São Paulo.

2.3. Resultados e Discussão

2.3.1. Processamento e Classificação das Imagens

O mapa de cobertura do solo da área de estudo é apresentado na Figura 4. A classificação supervisionada com algoritmo de Máxima Varossimilância mostrou-se eficiente na elaboração de classes temáticas para a cobertura do solo da região, com Kappa igual a 96,75%.

Figura 4. Mapa de cobertura do solo da área de estudo.

Na Figura 5 é apresentado o mapa de cobertura do solo sem a classe “sombra”.

Figura 5. Mapa de cobertura do solo da área de estudo sem a classe “sombra”.

Podemos observar grande diferença entre os mapas, principalmente nos grandes fragmentos de vegetação, conforme detalhado na Figura 6. Nota-se que os filtros aplicados causaram alguns defeitos no mapeamento em relação à classe "corpos d'água", que, no entanto, não interferiram na análise.

Figura 6. (a) fragmentos de vegetação presentes na classificação original (b) fragmentos de vegetação presentes nova classificação, sem a classe “sombra”.

Fonte da base cartográfica: Imagem Wordview 2 (2016).

Elaborado pela autora.

O mapa binário, obtido a partir da reclassificação do mapa anterior, é apresentado na Figura 7, com os fragmentos de vegetação arbórea-arbustiva em verde e as demais classes em cinza.

Figura 7. Mapa binário da área de estudo, onde a cor verde representa os fragmentos de vegetação arbórea-arbustiva, e a cor cinza representa as demais classes de cobertura do solo..

2.3.2. Identificação de Espaços Prioritários para a Conservação Ambiental e Espaços com Potencial para Usos Multifuncionais

A hierarquização dos fragmentos de vegetação arbórea-arbustiva por meio do índice ASH, presente na Figura 8, pode nos indicar os espaços prioritários para conservação da biodiversidade (fragmentos com valores elevados de índice ASH, em diferentes tons de verde), e os espaços com potencial para usos multifuncionais (fragmentos com valores baixos de índice ASH, nas demais cores).

Nota-se que os fragmentos são maiores e mais coesos conforme o aumento do índice ASH, de modo que os fragmentos com índice ASH superior a 4,45 (em verde) foram classificados como prioritários para a conservação da biodiversidade. Esses fragmentos são menos influenciados pelo efeito de borda, e consequentemente, possuem maior capacidade de preservação de suas relações ecológicas. Com base nos conceitos de Infraestrutura Verde mencionados anteriormente, esses fragmentos constituem os “hubs” da área de estudo, que ancoram toda a rede de Infraestrutura Verde.

Magalhães (2013) utilizou metodologia semelhante para a análise dos fragmentos de vegetação da mancha urbana conurbada de Belo Horizonte, MG, relacionando a morfologia dos fragmentos de vegetação ao seu uso potencial.

Observa-se que existem poucos fragmentos prioritários para a conservação da biodiversidade na área de interesse, sendo estes concentrados nas periferias, principalmente na região norte, com destaque para o Parque Estadual da Cantareira e para o Parque Estadual “Alberto Löfgren”. Todavia, quando nos direcionamos em direção ao sul, notamos uma redução expressiva do tamanho dos fragmentos de vegetação, enquanto ocorre aumento do gradiente de urbanização. Esse efeito é facilmente observado na região central, onde os fragmentos de vegetação são pequenos e escassos. A região central da área de estudo compreende grandes centros comerciais e industriais da cidade de São Paulo, que possuem elevada densidade demográfica, elevado nível de impermeabilização do solo e baixa porcentagem de cobertura arbórea. Estas características estão associadas a diversos problemas ambientais locais, como ilhas de calor, enchentes e alagamentos e elevados níveis de poluição (COSTA, 2010).

Resultado semelhante foi encontrado por Tian, Jim, e Wang (2014) ao analisar os espaços vegetados de uma cidade de Hong Kong, por meio de métricas da paisagem. Segundo os autores, a área dos espaços vegetados em regiões não-edificadas é significativamente maior que a área dos espaços vegetados em regiões edificadas, indicando que há maior cobertura vegetal nesses ambientes. Já os espaços vegetados presentes nas áreas edificadas, em geral, são menores, mais fragmentados, e possuem maior densidade de borda.

A região sul da área de estudo se enquadra em uma situação intermediária, com fragmentos de vegetação numerosos, pequenos e dispersos no território. A maior cobertura arbórea está associada aos bairros de alto padrão presentes nessa região (LOCATELLI et al, 2018), conhecidos como bairros-jardim, que possuem características diferentes da maioria da cidade, como grandes lotes ajardinados e arborização viária abundante (OLIVEIRA, 1995).

Figura 8. Mapa dos fragmentos de vegetação arbórea-arbustiva da área de estudo, elencados de acordo com o Índice ASH. Nota-se que os fragmentos são maiores e mais coesos conforme o aumento do índice ASH, de forma que os fragmentos representados em verde são prioritários para a conservação da biodiversidade, e os fragmentos representados pelas demais cores têm potencial para usos multifuncionais.

Apresentamos abaixo os fragmentos de vegetação arbórea-arbustiva mais significativos para a conservação da biodiversidade, elencados de acordo com o índice proposto, e que portanto merecem maior atenção quanto à sua preservação.

Nº	Nome	Categoria	Subprefeitura	Área (ha)*	Índice ASH
1	Parque Estadual da Cantareira	UC Estadual de Proteção Integral	Freguesia do Ó/Brasilândia; Casa Verde; Santana/Tucuruvi; Jaçanã/Tremembé	2835,45	167,23
2	Parque Estadual “Fontes do Ipiranga”	UC Estadual de Proteção Integral	Ipiranga	437,19	30,95
3	Parque Estadual “Alberto Löfgren”	UC Estadual de Proteção Integral	Santana/Tucuruvi; Jaçanã/Tremembé	62,39 (a) 57,76 (b)	11,69 (a) 7,27 (b)
4	Invernada da Polícia Militar	Área pertencente à Polícia Militar de São Paulo	Santana/Tucuruvi	97,14	11,16
5	Fragmento remanescente	Parte do fragmento corresponde a Parques Municipais em planejamento	Jaçanã/Tremembé	159,82	8,40
6	Parque “Alfredo Volpi”	Parque Municipal	Butantã	13,61	6,06
7	Fragmento Remanescente	Parte do fragmento corresponde à Fundação “Maria Luíza e Oscar Americano”	Butantã	16,03	5,01
8	Fragmento Remanescente	Parte do fragmento corresponde ao Parque Municipal “Burle Marx”	Campo Limpo	20,25	4,96

Tabela 1. Fragmentos de vegetação arbórea-arbustiva prioritários para a conservação da biodiversidade da área de estudo.

*Corresponde à área dos fragmentos de vegetação arbórea-arbustiva quantificada pelo software Fragstats, e muitas vezes não coincide com a área total dos parques citados.

1. Parque Estadual da Cantareira (Índice = 167,23)

Parque Estadual, classificado como Unidade de Proteção Integral⁴ pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC (BRASIL, 2000), com área de 7.916,52 ha, que abrange parte dos municípios de Caieiras, Guarulhos, Mairiporã e São Paulo, extrapolando a área do presente estudo. Possui quatro núcleos de visitação pública: Pedra Grande, Águas Claras, Engordador e Cabuçu, e está inserido na Serra da Cantareira, cuja área é de aproximadamente 32 mil hectares (DANTAS, 1990; ARZOLLA, 2002; 2011). A criação do Parque Estadual da Cantareira teve duas finalidades principais: a implantação de um Horto Botânico e a proteção dos mananciais destinados ao abastecimento de água do município de São Paulo (ARZOLLA, 2002; 2011). Em 1994, passou a integrar a zona núcleo da Reserva do Cinturão Verde da Cidade de São Paulo reconhecida pelo programa MaB (Man and Biosphere) da UNESCO.

Situa-se na Macrozona de Proteção e Recuperação Ambiental do Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo (SÃO PAULO, 2015). Sua vegetação é classificada como Floresta Ombrófila Densa Montana (IBGE, 2010).

Por estar localizada próximo à centros urbanos, a Serra da Cantareira sofre diversos tipos de pressões antrópicas, relacionadas, principalmente ao desmatamento, à ocupação irregular e aos loteamentos, com destaque para

⁴Objetivam a manutenção dos ecossistemas livres de alterações causadas por interferência humana, admitido apenas o uso indireto dos seus atributos naturais (BRASIL, 2000)

os condomínios de alto padrão no município de Mairiporã (WHATELY; CUNHA, 2007; ARZOLLA, 2002; 2011). A construção do Trecho Norte do Rodoanel “Mário Covas” também constitui grande ameaça à integridade ambiental do parque.

Com o objetivo de conter e mitigar esses impactos, a Secretaria do Verde e do Meio Ambiente da cidade de São Paulo criou o “Projeto Bordas da Cantareira”, que prevê a criação de 11 parques que funcionariam como “tampões” para o Parque Estadual da Cantareira (SÃO PAULO, 2017).

Figura 9. Vista aérea do Parque Estadual da Cantareira
Fonte: Google Earth (2017).

Figura 10. Parque Estadual da Cantareira – Núcleo Pedra Grande
Fonte: www.areasverdesdascidades.com.br

2. Parque Estadual “Fontes do Ipiranga” (Índice ASH = 30,95)

Criado com a finalidade de proteger os recursos hídricos da bacia do Riacho do Ipiranga e para o abastecimento de água da região. Localiza-se na região sudeste da cidade de São Paulo, e possui aproximadamente 476 ha. Sua vegetação característica corresponde à Floresta Ombrófila Densa Montana, com elementos de Floresta Ombrófila Mista, Estacional Semidecidual e de Cerradão.

É classificado como Unidade de Proteção Integral pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), e situa-se na Macrozona de Proteção e Recuperação Ambiental do Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo (SÃO PAULO, 2015). Compreende diversas instituições do Estado: como a Fundação Parque Zoológico e o Jardim Botânico de São Paulo, dentre outras.

Figura 11. Vista aérea do Parque Estadual “Fontes do Ipiranga”
Fonte: Google Earth (2017)

Figura 12. Parque Estadual “Fontes do Ipiranga”
Fonte: www.viajantebrasileiro.com.br

3. Parque Estadual “Alberto Löfgren” (Índice $ASH_{(a)} = 11,69$; e Índice $ASH_{(b)} = 7,27$)

Neste ponto foram identificados dois fragmentos de vegetação, o primeiro (a) com área de 62,39 ha e o segundo (b) com área de 57,76 ha. Ambos pertencem ao Parque Estadual “Alberto Löfgren” (antigo Horto Florestal), classificado como Unidade de Proteção Integral pelo SNUC (BRASIL, 2000), e que constitui zona de amortecimento e área contígua ao Parque Estadual da Cantareira. Possui área total de 187 ha, sendo que 35 ha são destinados ao uso público. Pertence à Macrozona de Proteção e Recuperação Ambiental do Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo (SÃO PAULO, 2015), e apesar de localizado em área urbana, mantém extensas áreas de Mata Atlântica, constituindo uma importante referência para a população da Zona Norte da Capital.

Figura 13. Vista Aérea do Parque Estadual “Alberto Löfgren”.

Fonte: Google Earth (2017)

Figura 14. Parque Estadual “Alberto Löfgren”

Fonte: www.areasverdesdascidades.com.br

4. Invernada da Polícia Militar (Índice ASH = 11,16)

Área pertencente à Polícia Militar de São Paulo, com 125 ha de extensão, localizada no distrito Tucuruvi, na Zona Norte da cidade. Constitui área importante para a preservação e conservação ambiental, sendo considerada zona de amortecimento do Parque Estadual Alberto Löfgren (Horto Florestal) e da Serra da Cantareira. Alguns projetos vêm sendo desenvolvidos no local para a melhora de seu potencial ecológico, podemos citar o enriquecimento de uma área recentemente incendiada da floresta, e a implantação de passarelas aéreas antiatropelamento para animais silvestres, com ênfase em bugios (*Alouatta clamitans* (Atelidae)).

Figura 15. Vista Aérea do Parque Estadual Alberto Löfgren e da Invernada da Polícia Militar
Fonte: Google Earth (2017)

Figura 16. (a) Vista Aérea da Invernada da Polícia Militar. Fonte Google Earth (2017); (b) Invernada da Polícia Militar.
Fonte: www.areasverdesdascidades.com.br

5. Fragmento Remanescente (Índice ASH = 8,40)

Corresponde a um fragmento remanescente de Mata Atlântica de aproximadamente 160 ha, classificado como Floresta Ombrófila Densa pelo Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica (SÃO PAULO, 2017). Encontra-se na região Nordeste da área de estudo, no distrito Tremembé, em área delimitada como Macrozona de Proteção e Recuperação Ambiental pelo Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo (SÃO PAULO, 2015), que também prevê a criação de dois parques no local: o Parque Municipal Santa Maria Fase 1 e Parque Municipal Santa Maria Fase 2, ainda em fase de planejamento.

O fragmento em questão é resultante da fragmentação da Serra da Cantareira pela construção do Trecho Norte do Rodoanel “Mário Covas”, iniciada em 2016, o que causou grande alteração na paisagem da região, como observado nas Figuras 17 e 18, aumentando o efeito de borda sobre o fragmento. Como já mencionado, com o aumento de efeito de borda, ocorre o aumento do risco de extinção de espécies.

Além do impacto ambiental causado pela estrada em si (aumento de atropelamentos de animais, ruídos, etc), a construção do Rodoanel intensificou a ocupação irregular na região, o que coloca a floresta sob grande ameaça. Nota-se aqui a importância do planejamento ambiental da região, visando à implantação de estrutura necessária para a população em áreas adequadas, e à preservação do fragmento em questão.

Figura 17. Vista aérea da região e em agosto de 2012.
Fonte: Google Earth (2012)

Figura 18. Vista Aérea da região em junho de 2017.

Fonte: Google Earth (2017)

6. Parque Municipal “Alfredo Volpi” (Índice ASH = 6,06)

Situa-se no distrito Morumbi, na zona Oeste da cidade de São Paulo, e possui 16,03 ha. Apesar da área relativamente pequena, o parque apresenta forma bastante coesa, o que determinou o resultado elevado do índice. Apresenta vegetação característica de transição entre a Floresta Estacional Semidecidual e a Floresta Ombófila Densa (SCANAVACA JÚNIOR, 2012), em estágio médio de sucessão, além de bosque implantado, áreas ajardinadas e ampla estrutura para uso público, como: playground, aparelhos de ginástica, trilhas, pistas de caminhada, etc (www.prefeitura.sp.gov.br).

Figura 19. Parque Estadual “Alfredo Volpi”

Fonte: www.saopaulo.sp.gov.br.

Figura 20. Vista aérea do Parque Estadual “Alfredo Volpi”
 Fonte: Google Earth (2017)

Figura 21. Parque Estadual “Alfredo Volpi”
 Fonte: www.areasverdesdascidades.com.br

7. Fragmento Remanescente (Índice ASH = 5,01)

Fragmento com área de 16,03 ha inserido no distrito Morumbi. Possui vegetação classificada como Bosque heterogêneo pelo Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica (SÃO PAULO, 2017). Abrange

a Fundação “Maria Luisa e Oscar Americano”, com área de 7,5 ha, que conta com bosques de espécies nativas da Mata Atlântica, além de um importante patrimônio artístico, arquitetônico e paisagístico.

Apesar da preservação garantida na área do parque, os demais 8,5 ha de vegetação não são protegidos por lei, colocando o fragmento sob elevado risco de degradação ambiental. Em função de seu elevado potencial para a conservação da biodiversidade, demonstrado pelo resultado do índice ASH, recomenda-se a preservação do fragmento em questão por meio da implantação de um parque no local.

Figura 22. Vista aérea da Fundação “Maria Luisa e Oscar Americano”
Fonte: Google Earth (2017)

Figura 23. Fundação “Maria Luisa e Oscar Americano”
Fonte: www.fundacaooscaramericano.org.br

8. Fragmento Remanescente (Índice ASH = 4,96)

Fragmento remanescente de 20,25 ha, localizado no distrito Vila Andrade, na região Sul da cidade de São Paulo. Abrange 14,85 ha de Floresta Ombrófica Densa e o Parque Municipal “Burle Marx”, de aproximadamente 1,68 ha, considerado patrimônio histórico cultural da cidade de São Paulo. Como verificado em exemplos anteriores, somente uma parte do fragmento é protegida pelo parque, e portanto, há uma demanda para maior atenção do poder-público em relação às suas proximidades, de modo que a integridade ambiental da totalidade do fragmento seja mantida.

Figura 24. Vista aérea da região.
Fonte: Google Earth (2017)

Figura 25. Parque “Burle Marx”
Fonte: www.parqueburlemarx.com.br

Figura 26. Parque “Burle Marx”

Fonte: www.parqueburle marx.com.br

Por outro lado, os fragmentos com índice ASH inferior a 4,45 possuem formas relativamente complexas, o que favorece a permeabilidade e acessibilidade desses locais, tornando-os propícios para usos multifuncionais, como parques, praças e áreas de lazer. O resultado obtido comprova que há relação entre a forma do fragmento e seu uso predominante, uma vez que o índice destacou áreas verdes consagradas da cidade, como: Parque Ibirapuera, Parque Aclimação, Parque da Juventude, Parque da Água Branca, Parque da Luz, Parque Trianon, Praça da República, entre outras.

Alguns dos fragmentos destacados não são utilizados pela população, devido, principalmente à falta de estrutura, como os exemplos apresentados a seguir (9, 10 e 11). Dessa forma, recomendamos a estruturação desses espaços, por meio da criação de parques, praças, viveiros e hortas comunitárias, dentre outras possibilidades. Essas ações são importantes, uma vez que a apropriação dos espaços vegetados pela população assegura a permanência dos mesmos na cidade, o que é fundamental para a sua sustentabilidade, tendo em vista os benefícios e funções provenientes da vegetação no meio urbano.

9. Aeroporto Campo de Marte (Índice = 4,30)

Fragmento remanescente de Mata Atlântica com área de 37,01 ha, classificado como Mata de Várzea pelo Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica (SÃO PAULO, 2017). Encontra-se em terreno pertencente ao Aeroporto Campo de Marte (Figura 27), com área total de 260 ha, administrados pela Aeronáutica e pela Infraero. Parte dessa área (4,6 ha, o equivalente a 20% do terreno) foi cedida à prefeitura para a construção do Parque Municipal Campo de Marte. O Projeto do parque (que terá área total de 2,7 ha) prevê a preservação do fragmento remanescente e a recomposição da mata ciliar (APP) ao longo do córrego Tenente Rocha, construção de trilhas, pistas de caminhada e ciclovia, implantação de quadras e espaços com múltiplos usos nas clareiras existentes na floresta, ampliação do Museu Aeroespacial, e a construção de uma esplanada multiuso, conforme observado na Figura 28.

Figura 27. Vista aérea do Aeroporto “Campo de Marte”
 Fonte: Google Earth (2017)

Figura 28. Projeto do Parque Campo de Marte
 Fonte: www.prefeitura.sp.gov.br

10. Fragmento Remanescente (Índice ASH = 4,18)

Fragmento remanescente de Mata Atlântica, com área de 20,6 ha. De acordo com o Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica (SÃO PAULO, 2017), sua vegetação é caracterizada como Floresta Ombrófila Densa. Foi separado da Serra da Cantareira por meio da construção do Trecho Norte do Rodoanel “Mário Córdas”, como evidenciado pelas Figuras 29 e 30. Encontra-se ameaçado pela ocupação irregular e pelo avanço da

urbanização, principalmente pela construção de condomínios residenciais, como verificado em outros fragmentos da região norte da cidade.

Situa-se na Macrozona de Proteção e Recuperação Ambiental do Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo (SÃO PAULO, 2015), que prevê para o local um parque municipal, denominado “Parque Linear do Córrego do Banana/Canivete Fase 2”, ainda em fase de implantação. Possui grande importância como área de amortecimento entre a cidade e a Serra da Cantareira, que vai além da conservação da biodiversidade: o parque terá um papel importante na educação ambiental e conscientização da população quanto à relevância da Serra da Cantareira, aproximando esses dois elementos. Cabe salientar que o planejamento adequado da região é fundamental para a preservação do fragmento remanescente, bem como para a amenização do impacto ambiental gerado pela construção do Rodoanel.

Figura 29. Vista aérea da região em julho de 2013.

Fonte: Google Earth (2017)

Figura 30. Vista aérea da região em junho de 2017. Nota-se grande alteração na paisagem após a construção do Trecho Norte do Rodoanel “Mário Covas”.

Fonte: Google Earth (2017)

11. Espaços Vegetados da Avenida Afonso D'Escagnolle Taunay (Índices ASH = 1,40)

O fragmento de vegetação de formato linear visualizado na Figura 31 corresponde a um conjunto de espaços vegetados presentes ao longo da avenida, como praças e canteiro central, que devido à ausência de infraestrutura, permanecem sub-utilizados. A implantação de infraestrutura adequada, por meio da criação de um parque linear, promoveria a apropriação do espaço pela população, garantindo a permanência da vegetação no local. Contudo, por se tratar de uma avenida de fluxo intenso de veículos, algumas medidas devem ser tomadas para evitar acidentes, como redução da velocidade de tráfego em pontos estratégicos, implantação de passarelas e ciclovia, dentre outras.

Figura 31. Vista aérea de um trecho da Avenida Afonso D'Escagnolle Taunay
Fonte: Google Earth (2017)

Figura 32. Espaços vegetados da avenida Afonso D'Escagnolle Taunay.
Fonte: Google Earth (2017)

2.3.3. Análise da Conectividade entre os Fragmentos de Vegetação Arbórea-arbustiva

Os resultados do Índice de Proximidade são apresentados na Figura 33. Nela podemos observar os fragmentos mais conectados (valores altos) e os mais isolados (valores baixos) da área de estudo, considerando também a área de cada fragmento. Os mapas resultantes do cálculo do Índice de Proximidade para os raios de busca de 100, 500 e 1000 m são muito semelhantes. Assim, apresentamos abaixo somente o mapa resultante do cálculo com raio de busca de 100 m. Os mapas obtidos para as distâncias de 500 e 1000 m encontram-se no Apêndice A.

Figura 33. Mapa dos fragmentos de vegetação arbórea-arbustiva da área de estudo, elencados de acordo com o Índice de Proximidade para o raio de busca de 100 m. Os fragmentos representados pela cor verde possuem conectividade elevada, enquanto os fragmentos representados em tons de marrom encontram-se isolados no tecido urbano.

A semelhança dos resultados encontradas para os três raios de busca denota que a região periférica apresenta alta conectividade (principalmente ao norte), entretanto, a região central apresenta-se praticamente intransponível para espécies com diferentes graus de sensibilidade à fragmentação. Verifica-se também a redução da conectividade da paisagem em função do aumento do gradiente de urbanização.

Diversos estudos analisam a relação entre o aumento do gradiente de urbanização e a redução da riqueza de aves (BLAIR, 1996; ORTEGA-ÁLVAREZ; MACGREGOR-FORS, 2004; SACCO, et al., 2015), e atribuem essa relação à redução da vegetação, e ao aumento da densidade populacional (TRATALOS et al., 2007; STROHBACH; HAASE; KABISCH, 2009) e de distúrbios antrópicos, como ruído (SLABBEKOORN et al., 2010; KIGHT; SWADDLE, 2011; PERRILO et al., 2017).

Cabe salientar que nas análises deste capítulo não foram considerados os fragmentos menores que um hectare, que eventualmente, podem aumentar a conectividade da paisagem, principalmente em regiões bem arborizadas. Entretanto, a região central de São Paulo apresenta cobertura arbórea baixíssima, e portanto, demanda maior atenção quanto ao aumento de seus espaços vegetados, visando, inclusive, a amenização de problemas ambientais frequentes na região, como ilhas de calor, alagamentos e elevados níveis de poluição.

Apesar da importância da conectividade da paisagem na persistência de diversas espécies de aves (MARTENSEN et al., 2008; 2012; GIUBBINA, 2015), existem outros fatores determinantes em áreas urbanas. Chang e Lee (2015) demonstraram que a área de parques urbanos é o fator de maior influência sobre a riqueza de aves, seguida pela heterogeneidade de ambientes e presença de distúrbios antrópicos, e por fim, pela proximidade a grandes fragmentos (maiores que 10 ha). Os autores discutem que a maioria dos parques do local de estudo era relativamente pequena, mas igualmente distribuída pelo espaço construído, e que as aves podem não ser restringidas por determinado isolamento. Com um planejamento adequado, pequenos parques ou mesmo a arborização viária podem constituir *habitat* para algumas espécies, e facilitar o movimento das aves pela paisagem urbana, atuando como corredores ecológicos (FERNANDEZ-JURICIC 2000, WHITE et al., 2005; MURGUI, 2007).

A importância da arborização viária e dos jardins particulares para a persistência e dispersão de aves em regiões densamente urbanizadas foi demonstrada por Pena (2016; 2017), em estudo desenvolvido na cidade de Belo Horizonte, MG, e por Oliveira (1995) em um bairro residencial da cidade de São Paulo. A partir do levantamento da avifauna residente, migrante e dispersante, o último autor demonstrou a importância da arborização urbana para a manutenção dos níveis populacionais da avifauna no plano local, e para a sobrevivência de indivíduos que se movimentam dentro de uma área muito maior. Assim, o aumento da arborização viária e de pequenas áreas verdes particulares e públicas constitui alternativa interessante para o aumento da conectividade da região central de São Paulo, sendo esse assunto aprofundado no próximo capítulo.

2.4. Conclusões

A utilização de métricas da paisagem mostrou-se eficiente para a análise da morfologia e da configuração dos elementos da infraestrutura verde urbana, permitindo a identificação dos espaços vegetados prioritários para a conservação da biodiversidade, e dos espaços com potencial para uso multifuncional. Também foi possível identificar os fragmentos de vegetação arbórea-arbustiva mais isolados no tecido urbano, considerando os aspectos biológicos de aves presentes na área de estudo.

Podemos notar que os dois fragmentos considerados prioritários para a conservação da biodiversidade apresentam-se separados pela região central, que constitui uma barreira praticamente intransponível para aves com

diferentes graus de sensibilidade à fragmentação da paisagem. Diante desse resultado, o capítulo seguinte trata da simulação de corredores verdes, capazes de conectar os fragmentos de interesse.

É importante ressaltar que no planejamento da infraestrutura verde não é considerado somente o seu potencial ecológico ou social. Existem diversos fatores envolvidos, como o uso e propriedade da terra, contexto das áreas, mobilidade, interesses políticos, etc, que não foram analisados neste estudo. A proposição do trabalho foi suscitar o debate acerca do planejamento da infraestrutura verde urbana, visando a otimização da sua distribuição espacial, de modo a tornar as cidades mais permeáveis para a biodiversidade e aprazíveis para as pessoas.

Referências

- ALONSO, A. C. Delineamento e avaliação de corredores lineares multi-hábitat: estudo de caso com bugio-ruivo (*Alouatta clamitans*) em mosaico urbano-rural. 2010. 66p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- ARZOLLA, F. A. R. D. P. Florística e fitossociologia de trecho da Serra da Cantareira, Núcleo Águas Claras, Parque Estadual da Cantareira, Mairiporã – SP. 2002. 184 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Biologia, UNICAMP, Campinas, 2002.
- ARZOLLA, F.A.R.D.P., et al. Composição florística e a conservação de florestas secundárias na Serra da Cantareira, São Paulo, Brasil. *Rev. Inst. Flor.* v. 23, n. 1, p. 149–171, 2011.
- AWADE, M.; METZGER, J. P. Using gap-crossing capacity to evaluate functional connectivity of two Atlantic rainforest birds and their response to fragmentation. *Austral Ecology*, v. 33, n. 7, p. 863–871, 1 nov. 2008.
- BENEDICT, M. A.; MCMAHON, E. T. *Green Infrastructure. Linking Landscapes and Communities*. Washington, DC: Island Press, 2006. 320p.
- BLAIR, R. B. Land use and avian species diversity along an urban gradient. *Ecological Applications*, v.6, n.2, p. 506–519, 1996.
- BRASIL. Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000; Decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002. Sistema Nacional de Unidade de Conservação da Natureza – SNUC: 3. ed. aum. Brasília: MMA/SBF, 2003. 52p.
- CHANG, H. Y.; LEE, Y. F. Effects of area size, heterogeneity, isolation, and disturbances on urban park avifauna in a highly populated tropical city. *Urban Ecosystems*, v. 19, p. 257–274, 2016.
- CORMIER, N. S.; PELLEGRINO, P. R. M. Infra-estrutura verde: uma estratégia paisagística para a água urbana. *Paisagem e Ambiente: Ensaios*, v. 25, p. 127–142, 2008.
- COSTA, J. A. Uso de imagens de alta resolução para definição de corredores verdes na cidade de São Paulo. 2010. 114p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- FERNANDEZ-JURICIC, E. Avifaunal use of wooded streets in an urban landscape. *Conservation Biology*, v. 14, p. 513–521, 2000.
- GIUBBINA, M. F. O efeito da estrutura da matriz na percepção de aves na paisagem. 2015. 42 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2015.
- GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Sistema Ambiental Paulista. Disponível em: <www.ambiente.sp.gov.br> Acesso em 02 fev. 2018.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Disponível em <https://censo2010.ibge.gov.br/> Acesso em: 04/11/2017.

- LANDGREBE, D.; BIEHL, L. MULTISPEC: a freeware multispectral image data analysis system. Computer software program produced by the authors at the Purdue University, West Lafayette. Disponível em: <<https://engineering.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/>>. Acesso em 03 mar. 2016.
- LAURANCE, W. F. et al. The fate of Amazonian forest fragments: a 32-year investigation. *Biological Conservation*, v.144, n. 1, p. 56-67, 2011.
- LOCATELLI, M. M. et al. Panorama atual da cobertura arbórea da cidade de São Paulo. *Revista Labverde*, v. 9, n. 1, p. 29 – 48, 2018.
- MAGALHÃES, D. M. Análise dos espaços verdes remanescentes na mancha urbana conurbada de Belo Horizonte - MG apoiada por métricas de paisagem. 2013. 163p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.
- MARINI, M. A. Bird movement in a fragmented Atlantic Forest landscape. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*, v. 45, n. 1, p. 1–10, 2010.
- MARQUES, A. J. Mapeamento de fragmentos de mata no município de Maringá, PR: uma abordagem da ecologia da paisagem. 2004. 92p. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente, 2004.
- MARTENSEN, A. C.; PIMENTEL, R. G.; METZGER, J. P. Relative effects of fragment size and connectivity on bird community in the Atlantic Rain Forest: Implications for conservation. *Biological Conservation*, v.141, n. 9, p. 2184-2192, 2008.
- MCGARIGAL, K. (2015). FRAGSTATS help. Disponível em: <<http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/documents/fragstats.help.4.2.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2017.
- METZGER, J. P. Como restaurar a conectividade de paisagens fragmentadas? In: KAGEYAMA, P.Y., et al. Restauração ecológica de ecossistemas naturais. Botucatu: FEPAF, 2003.
- METZGER, J. P. O que é Ecologia de Paisagens? *Biota Neotrópica*. v.1, n. 1, p. 1-9. 2001.
- METZGER, J. P. Como lidar com regras pouco óbvias para conservação da biodiversidade em paisagens fragmentadas. *Natureza & Conservação*, v. 4, n. 2, p. 11-23, 2006.
- OLIVEIRA, M. M. A. Aves e vegetação em um bairro residencial da cidade de São Paulo (São Paulo, Brasil). *Revista brasileira de Zoologia*, v. 12 n. II, p. 8-92, 1995.
- ORTEGA-ÁLVAREZ, R.; MACGREGOR-FORS, I. Living in the big city: effects of urban land-use on bird community structure, diversity, and composition. *Landscape and Urban Planning*, v. 90, n. 3–4, p. 189–195, 2009.
- PARQUE ESTADUAL “FONTES DO IPIRANGA”. Disponível em <<http://www.condepefi.sp.gov.br/>> Acesso em jan. 2018.
- PATTON, D. R. A diversity index for quantifying habitat "edge". *Wildl. Soc. Bull.*, n. 3, p. 171-173, 1975.
- PENA, J. C. D. C. Aves, Conectividade da Paisagem e Planejamento Ambiental em Paisagens Urbanas. 2017. 149p. Tese (Doutorado) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.
- PENA, J. C. D. C.; MAGALHÃES, D. M.; MOURA, A. C. M.; YOUNG, R. J.; RODRIGUES, M. The green infrastructure of a highly-urbanized Neotropical city: the role of the urban vegetation in preserving native biodiversity. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, v. 11, n. 4, p. 66–78, 2016.
- PERILLO, A. et al. Anthropogenic noise reduces bird species richness and diversity in urban parks. *Ibis*, v. 159, n. 3, p. 638–646, 2017.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. Disponível em <www.prefeitura.sp.gov.br> Acesso em jan. 2018.

- SACCO, A. G. et al. Perda de diversidade taxonômica e funcional de aves em área urbana no sul do Brasil. *Iheringia, Série Zoologia*, v. 105, n. 3, p. 276–287, 2015.
- SÃO PAULO (CIDADE). Plano Municipal de Conservação e Recuperação da Mata Atlântica – PMMA. Lei federal nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. São Paulo: PMSP e SVMA, 2017. 533p.
- _____. Prefeitura do Município de São Paulo – PMSP. Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo: lei municipal nº 16.050, de 31 de julho de 2014; texto da lei ilustrado. São Paulo: PMSP, 2015. 248p.
- SCANAVACA JÚNIOR, L. Importância dos parques urbanos: o exemplo do parque Alfredo Volpi. In: XVI Congresso Brasileiro de Arborização Urbana. Anais... Uberlândia - MG, 2012.
- SILVA, M. S. F.; SOUZA, R. M. Padrões espaciais de fragmentação florestal na FLONA do Ibura - Sergipe. *Mercator*, v. 13, n. 3, p. 121-137, 2014.
- SLABBEKOORN, H.; RIPMEESTER, E. A. Birdsong and anthropogenic noise: implications and applications for conservation. *Molecular Ecology*, v.17, p.72–83, 2008.
- STROHBACH, M. W.; HAASE, D.; KABISCH, N. Birds and the city: urban biodiversity, land use, and socioeconomics. *Ecology and Society*, v. 14, n. 2, 2009.
- TAYLOR, P.D.; FAHRIG, L.; HENEIN, K.; MERRIAM, G. Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, v. 68, p. 571-573, 1993.
- TISCHENDORF, L.; BENDER, D. J.; FAHRIG, L. Evaluation of patch isolation metrics in mosaic landscapes for specialist vs. generalist dispersers. *Landscape Ecology*, v.18, p.41-50., 2003.
- TRATALOS, J. et al. Bird densities are associated with household densities. *Global Change Biology*, v. 13, n. 8, p. 1685–1695, 2007.
- WHATELY, M.; CUNHA, P. Cantareira 2006: um olhar sobre o maior manancial de água da Região Metropolitana de São Paulo. São Paulo: Instituto Sócio-Ambiental, 2007. 68p.

Apêndices

APÊNDICE A. Mapas dos fragmentos de vegetação elencados de acordo com o Índice de Proximidade, calculados para os raios de busca de 500 (Figura 34) e 1000 m (Figura 35).

Figura 34. Mapa dos fragmentos de vegetação arbórea-arbustiva da área de estudo, elencados de acordo com o Índice de Proximidade para o raio de busca de 500 m. Os fragmentos representados pela cor verde possuem conectividade elevada, enquanto os fragmentos representados em tons de marrom encontram-se isolados no tecido urbano

Figura 35. Mapa dos fragmentos de vegetação arbórea-arbustiva da área de estudo, elencados de acordo com o Índice de Proximidade para o raio de busca de 1000 m. Os fragmentos representados pela cor verde possuem conectividade elevada, enquanto os fragmentos representados em tons de marrom encontram-se isolados no tecido urbano

3. PLANEJAMENTO DE CORREDORES VERDES PARA A AVIFAUNA DA CIDADE DE SÃO PAULO

Resumo

O presente estudo tem como objetivo a simulação de corredores verdes capazes de conectar os dois principais fragmentos identificados como prioritários para a conservação da biodiversidade (conforme capítulo 2), considerando os aspectos biológicos da avifauna. Para tanto, foram modelados caminhos de menor custo no software LSCORRIDORS, a partir de dois mapas base: o mapa de resistência e o mapa source-target. O mapa de resistência foi obtido a partir da união do mapa de uso do solo e do mapa de cobertura do solo, sendo os valores de resistência baseados em dados da literatura. O mapa source target representa os dois fragmentos a serem conectados, no caso desta pesquisa, o Parque Estadual da Cantareira, e o Parque Estadual “Fontes do Ipiranga”. A modelagem de caminhos de menor custo mostrou-se eficiente para a definição dos locais mais apropriados para implantação de corredores verdes urbanos. Foi possível identificar os espaços vegetados mais importantes para a conectividade funcional da paisagem, bem como os espaços que apresentam outros tipos de uso do solo, e que poderiam ser convertidos em espaços vegetados, possibilitando a persistência ou a movimentação das espécies consideradas na pesquisa. Também foram apresentados incentivos e estratégias para a implementação do corredor verde, que forneceriam diversos benefícios ambientais, sociais e econômicos, uma vez que além de conectar os fragmentos de interesse, podem minimizar diversos problemas ambientais locais e proporcionar ambientes de lazer e coesão comunitária e cultural.

Palavras-chave: Caminhos de menor custo; Conectividade funcional; Áreas verdes; Planejamento urbano.

Abstract

This study aims to simulate green corridors between two priority patches for biodiversity conservation (identified in chapter 2), considering the biological aspects of birds. For this, we modeled least cost paths in the LSCORRIDORS software, based on two base maps: the resistance map and the source-target map. We obtained the resistance map from the union of the land use map and the land cover map. We based the resistance values on literature data. The source target map represents two patches to be connected, in this case, the Cantareira State Park, and the "Fontes do Ipiranga" State Park. The modeling of least-cost paths proved to be efficient for the definition of the most appropriate places for the implantation of urban green corridors. We identify the most important patches for the functional landscape connectivity, as well as spaces that present other land use types, which could be converted into vegetated spaces, allowing the persistence or movement of the forest birds. We also present incentives and strategies for the implementation of the simulated green corridor, which would provide several environmental, social and economic benefits. In addition to connecting the interest patches, these measures can minimize a number of local environmental problems, as well as provide recreational environments.

Keywords: Least-cost paths; Functional connectivity; Green areas; Urban planning.

3.1. Introdução

A partir das análises do capítulo anterior foram identificados dois grandes fragmentos prioritários para a conservação da biodiversidade, que encontram-se nas periferias da área de estudo: o “Parque Estadual da Cantareira” no extremo norte, e o Parque Estadual “Fontes do Ipiranga” no extremo sul. Ambos estão separados por um ambiente com alta densidade construída, que constitui uma barreira praticamente intransponível para as espécies de aves consideradas na pesquisa. Assim, visando o aumento da permeabilidade da paisagem da região, este trabalho aborda a simulação de corredores verdes para a conexão dos dois fragmentos mencionados, considerando os aspectos biológicos da avifauna.

Corredores “ecológicos” ou “verdes” representam o caminho mais favorável, em termos de custo de dispersão, entre manchas de *habitat* (TEWKSBURY et al., 2002), e portanto, podem contribuir para o aumento da conectividade da paisagem, facilitando o movimento de indivíduos (FORMAN 1995; LAPOINT et al., 2013). No contexto urbano, os corredores verdes são planejados para desempenhar múltiplas funções, desde ecológicas, até estéticas, culturais e recreativas, proporcionando o ordenamento sustentável do território (AHERN, 1995; FRISCHENBRUDER; PELLEGRINO, 2006; COSTA, 2010).

Entretanto, para que os corredores sejam efetivos em facilitar dispersão, durante o seu planejamento devem ser consideradas as características biológicas e os requisitos de vida das espécies (RIBEIRO, et al., 2017). Nesse sentido, a abordagem de caminhos de menor custo tem sido utilizada em diferentes contextos, incluindo paisagens urbanas (LAPOINT et al., 2015). Caminhos de menor custo são modelados com base na resistência que a paisagem oferece ao organismo dispersor, e tem como resultado o melhor caminho teórico para a dispersão de um organismo, preferencialmente passando por áreas de *habitat* e evitando barreiras à dispersão (ALONSO, 2010).

No presente estudo, os caminhos de menor custo foram modelados no software Landscape Corridors (LSCORRIDORS), que considera a percepção das espécies e a influência da paisagem nos organismos para a simulação de diversos corredores ecológicos simultaneamente (RIBEIRO, et al., 2017). Dessa forma, pode estabelecer rotas alternativas, que minimizam os custos de movimento através da paisagem, constituindo ferramenta ideal para estudos em áreas urbanas (PENA, 2017).

Os corredores simulados devem ser multifuncionais, permitindo o deslocamento de diferentes espécies entre as manchas de *habitat* (TENG et al., 2011). Segundo Pena (2017) a definição de corredores para a avifauna pode favorecer o movimento de outros organismos na paisagem urbana, uma vez que esse grupo pode ser considerado indicador de integridade ecológica urbana.

Fischer (2001) definiu dez princípios para os corredores ecológicos, que Benedict e McMahon (2006) agregaram aos conceitos da Infraestrutura verde:

1. Corredores não devem apenas prover *habitat*, mas facilitar o movimento de indivíduos;
2. Devem ser planejados para conduzir os animais à *habitat* adequados, sem direcioná-los a áreas com elevado risco de mortalidade;
3. A ecologia e a biologia das espécies devem ser consideradas no planejamento dos corredores;
4. Os corredores devem ser planejados para minimizar bordas e distúrbios, e manter a complexidade da vegetação, mimetizando a composição e estrutura da vegetação original;
5. Corredores largos são melhores que corredores estreitos;
6. Os corredores devem ser vistos como componentes de um ecossistema maior, e outras questões de conservação devem ser abordadas simultaneamente para serem bem sucedidos;
7. Um processo lógico, sensato e sequencial deve ser construído para identificar, desenvolver e conservar redes de corredores na região;
8. Os corredores devem ser monitorados constantemente;
9. Devem ser consideradas formas de mitigar as desvantagens dos corredores;
10. Não podemos esperar todas as respostas e informações científicas – devemos aceitar que necessitamos de mais conhecimento, mas não podemos esperar para estabelecer redes de corredores.

Diante do exposto, este trabalho tem por objetivos: (i) simular corredores verdes para a avifauna em um trecho da cidade de São Paulo, com base em caminhos de menor custo; (ii) identificar os espaços vegetados

contemplados pelos corredores, e que portanto, são críticos para a conectividade funcional da paisagem; e (iii) discutir os incentivos e estratégias a serem adotadas para implementação dos corredores verdes simulados.

3.2. Material e Métodos

Para gerar as simulações no LS Corridors são necessários dois mapas base: o mapa source-target e o mapa de superfície de resistência. Os procedimentos realizados para obtenção dos mapas são descritos a seguir.

3.2.1. Mapa *Source-target*

Refere-se aos fragmentos de vegetação que serão conectados pelos corredores simulados. Aqui foram selecionados os dois fragmentos com maior potencial para conservação da biodiversidade (de acordo com as análises do capítulo 2): o Parque Estadual da Cantareira e o Parque Estadual “Fontes do Ipiranga”. Ambos os parques encontram-se nas extremidades da área de estudo, e portanto, a conexão desses fragmentos por um corredor garante o aumento da conectividade de toda a paisagem da região. O mapa *source-target* é apresentado na Figura 36, em que os fragmentos são representados em preto e cinza, e o restante da área de estudo, em branco.

Figura 36. Mapa *source-target*, onde o Fragmento 1 representa o Parque Estadual da Cantareira, e o Fragmento 2 corresponde ao Parque Estadual “Fontes do Ipiranga”.

3.2.2. Mapa de Resistência

Refere-se à dificuldade que um organismo tem em se mover ao longo dos diferentes tipos de uso do solo, sendo que os pixels do mapa com valores altos de resistência possuem fatores (como risco de mortalidade, altos custos energéticos, etc.) que reduzem a habilidade da espécie em se mover na paisagem (PENA, 2017).

Para gerar o mapa de resistência combinamos o mapa de uso do solo predominante e o mapa de cobertura do solo, pois entendemos que ambos influenciam na capacidade de dispersão das aves selecionadas na paisagem. Como exemplo podemos citar a vegetação arbórea-arbustiva situada em uma região industrial, que oferece maior resistência que a vegetação arbórea-arbustiva situada em uma área residencial.

O mapa de uso do solo foi obtido a partir da base de dados da Prefeitura de São Paulo (www.geosampa.prefeitura.sp.gov.br), e posteriormente, foi reclassificado para atender aos objetivos do trabalho. Foram atribuídos valores de 10 a 80 para cada classe de uso do solo, conforme Tabela 2 e Figura 37.

Uso do solo predominante	Valor atribuído
Parques	10
Terrenos vagos	20
Residencial (horizontal)	30
Residencial (vertical)	40
Residencial e comercial	50
Comercial, asfalto, outros*	60
Industrial	70
Aeroportos	80

Tabela 2. Valores atribuídos às classes de uso do solo da área de estudo.

*Refere-se aos usos: equipamentos públicos, escolas, áreas sem informação, e áreas sem uso predominante.

Figura 37. Mapa de uso do solo predominante da área de estudo.

*Refere-se aos usos: equipamentos públicos, escolas, áreas sem informação, e áreas sem uso predominante.

Os valores atribuídos às classes de uso do solo são de caráter comparativo. Os valores baixos atribuídos aos “parques” e “terrenos vagos”, bem como os valores altos atribuídos às classes de uso do solo “comercial” são embasados nos resultados de Blair (1996), Ortega-Álvarez e MacGregor-Fors (2004) e Sacco et al (2015) que encontraram maior riqueza de aves nas regiões pouco urbanizadas e nas áreas verdes da Califórnia, México e Brasil, respectivamente, em oposição à predominância de espécies generalistas e exóticas nas regiões comerciais. Ortega-Álvarez e MacGregor-Fors (2004) constataram que a riqueza de espécies de aves diminui ao longo de um gradiente de urbanização, e que existe maior similaridade entre as espécies dos espaços vegetados e áreas residenciais, em comparação às áreas residenciais-comerciais e comerciais. A riqueza de espécies de aves também está relacionada com a densidade populacional (TRATALOS, et al., 2007; STROHBACH; HAASE; KABISCH, 2009). As regiões residenciais verticais da área de estudo, em geral, suportam maior densidade populacional em relação às regiões residenciais horizontais (IBGE, 2010), o que determinou seu maior valor de uso do solo. Além disso, edifícios constituem ambientes para forrageamento de uma pequena diversidade de espécies, predominantemente exóticas, destacando-se o pombo doméstico (*Columba livia* (Columbidae)). Estas espécies competem por recursos com as aves florestais, reduzindo sua abundância e diversidade.

O alto valor atribuído às regiões industriais se deve ao maior nível de ruídos presentes nesses locais (SLABBEKOORN; RIPMEESTER, 2008), o que pode afetar negativamente a riqueza e diversidade de aves (PERRILO et al., 2017), e causar estresse físico e psicológico (KIGHT; SWADDLE, 2011).

O valor máximo de uso do solo foi atribuído aos aeroportos em função do ruído e dos conflitos entre aves e aviões comuns nesses espaços, principalmente colisões, que constituem problema grave para a aviação brasileira (MENDONÇA, 2009).

Já o mapa de cobertura do solo foi obtido a partir da classificação supervisionada de imagem de satélite do ano de 2016 (ver capítulo 2, item 2.2.2.). Este mapa também foi reclassificado, de modo que algumas de suas classes foram agrupadas (os diferentes tipos de telhas e asfalto foram agrupados na classe “área impermeável”, por exemplo). Foram atribuídos valores de 100 a 500 para cada classe de cobertura do solo, conforme Tabela 3 e Figura 38.

Classes de cobertura do solo	Valor atribuído
Vegetação arbórea-arbustiva	100
Vegetação rasteira	200
Água	300
Solo exposto	400
Área impermeável	500

Tabela 3. Valores atribuídos às classes de cobertura do solo da área de estudo.

Esses valores são suportados pela relação entre a riqueza e diversidade de aves e as características do *habitat*. Ambientes compostos por vegetação arbórea-arbustiva oferecem maior disponibilidade de recursos para a sobrevivência das aves florestais, enquanto as regiões impermeabilizadas oferecem pouco ou nenhum recurso para essas espécies, além de apresentar diversos elementos que as afetam negativamente. Podemos citar como exemplo o trabalho de Ortega-Álvarez e MacGregor-Fors (2004), que demonstrou que a abundância de aves nativas no Condado de Santa Clara, Califórnia, está positivamente relacionada com a altura da vegetação e a riqueza de espécies arbóreas, e negativamente relacionada com a movimentação de carros (carros/minuto).

Os mapas de uso e cobertura do solo foram somados no *software QuantumGIS* (calculadora *Raster*). O resultado é expresso no mapa de resistência (Figura 39), com valor mínimo para as árvores inseridas em parques (110), e valor máximo para área impermeável em aeroportos (580).

Figura 38. Mapa de cobertura do solo da área de estudo.

Figura 39. Mapa de resistência da área de estudo. A resistência à movimentação das espécies de aves consideradas na pesquisa estão representadas por um gradiente que vai do verde (resistência baixa) ao vermelho (resistência alta).

Outro parâmetro a ser considerado para as simulações é a “escala”, que consiste na distância que a espécie alvo é capaz de transpor na matriz. A definição dessa distância teve como base os procedimentos desenvolvidos no capítulo 2 (item 2.2.4.), onde a partir dos dados obtidos, foram utilizadas três distâncias (ou raios de busca): 100, 500 e 1000 m, que contemplam espécies de aves com diferentes graus de sensibilidade à fragmentação. Como a abordagem de corredores ecológicos visa atender às demandas das espécies mais sensíveis, selecionamos a distância de 100 m para as análises deste estudo. Assim, quando atendemos às necessidades das espécies com maiores demandas ambientais, fornecemos condições para a manutenção das demais espécies (METZGER, 2006).

A partir dos parâmetros fornecidos foram modelados os corredores verdes no *software LS Corridors*. O *software* realiza quatro tipos de simulação, que diferem de acordo com o comportamento das espécies. Visando contemplar todos os tipos, foram desenvolvidas 15 simulações para cada método, totalizando 60 simulações. Como resultado foram obtidos arquivos em formato *raster*, que representam o *Route Selection Frequency Index* (RSFI). Estes arquivos contém todos os corredores simulados, bem como a frequência em que cada *pixel* é considerado durante as simulações. Os valores elevados de RSFI indicam áreas (*pixels*) que são mais propensas a serem utilizadas como corredores, de acordo com os requisitos das espécies consideradas (RIBEIRO et al., 2017). Em seguida, os arquivos foram submetidos à análises de vizinhança (*QuantumGIS/neighborhoodanalysis*) visando abranger possíveis desvios de rota dos organismos.

3.3. Resultados e Discussão

3.3.1. Simulação dos Corredores

O resultado das simulações encontra-se na Figura 40, que contém a junção de todos os corredores simulados, bem como a frequência em que cada *pixel* é considerado durante as simulações, representada pelo RSFI. O RSFI está representado por um gradiente que vai do verde (RSFI baixo) ao vermelho (RSFI elevado), sendo que as áreas em vermelho são mais propensas a serem utilizadas como corredores pelas aves selecionadas.

Figura 40. Mapa com os corredores verdes simulados, onde os valores baixos de RSFI são representados em verde, enquanto os valores elevados de RSFI são representados em vermelho. Os fragmentos de vegetação arbórea-arbustiva presentes na área de estudo estão representados pela cor cinza.

Verifica-se que as classes “vegetação arbórea-arbustiva” e “vegetação herbácea” presente nos parques são muito utilizadas nas rotas propostas pelo *software*. Os jardins e a arborização viária também mostraram-se importantes para a movimentação das aves selecionadas, como demonstrado por Pena (2017). Conforme esperado, as simulações evitaram as regiões que oferecem maior resistência à movimentação das aves (ver mapa de resistência – Figura 39), como aeroportos e regiões industriais.

Observa-se também que os corredores verdes possuem maior variabilidade nas regiões com menor resistência à movimentação das espécies. Esse resultado expressa o maior número de caminhos possíveis de serem utilizados pelas aves, e podem estar relacionados à maior quantidade de *habitat* e recursos (alimentação e abrigo) presente nesses locais.

A Figura 41 apresenta recortes do mapa em maior detalhe, contendo os espaços vegetados perpassados pelos corredores. Observa-se que alguns fragmentos de vegetação que não foram considerados prioritários para a conservação da biodiversidade no capítulo anterior, foram identificados no presente estudo como pontos importantes para a movimentação da avifauna, e, portanto, fundamentais para a conectividade funcional da paisagem da área de estudo.

Figura 41. Detalhes dos corredores simulados, que perpassam os espaços vegetados: (a) Parque Estadual “Alberto Löfgren”, Invernada da Polícia Militar; (b) Hospital Mandaqui, Escola Estadual Rômulo Pero, Cemitério “Chora Menino”, Sítio Morrinhos, Fragmento de vegetação do Aeroporto “Campo de Marte”; (c) Escolas (CEI Wilson José Abdalla e EMEI Alceu Maynard de Araújo), galpões abandonados da CEAGESP, Colégio “Boni Consilli”, Parque “Buenos Aires”, (d) Cemitério do Araçá, Faculdade de Medicina da USP (e) Parque Ibirapuera, Centro Olímpico de Treinamento e Pesquisa, (f) Clube Helvetia, praças e espaços vegetados da Avenida Afonso D’Escagnolle Taunay. Os corredores perpassam praças, áreas residuais de loteamentos e do sistema viário, arborização viária, condomínios residenciais de alto padrão e jardins e em toda área de estudo.

Nota-se também que os corredores perpassam áreas com uma grande variedade de uso do solo, exemplificadas a seguir. Como ferramenta de auxílio à viabilização dos corredores verdes propostos, são apresentadas estratégias, instrumentos legais e incentivos que podem ser adotados para sua implementação em cada um dos exemplos, categorizados em espaços intra-lotes e espaços públicos.

3.3.2. Estratégias, Instrumentos Legais e Incentivos para Implementação dos Corredores Verdes

Como instrumentos legais e incentivos entende-se as leis instituídas pelos Planos Diretores, Leis de Zoneamento e Código de Obras que viabilizam o aumento da vegetação na cidade, seja pelo incentivo monetário, redução de impostos, compensação ambiental, dentre outros. Tratamos aqui dos instrumentos legais e incentivos existentes na cidade de São Paulo, bem como de incentivos utilizados em outras cidades, que poderiam ser aplicados na área de estudo. Já as estratégias correspondem às ações que podem ser adotadas a partir dos incentivos, e tratam, portanto, da escala do projeto. Como exemplo podemos citar leis que instituem taxa de permeabilidade mínima nos lotes. Estas leis, no entanto, não especificam qual a melhor forma de inserir vegetação nesse espaço. Esse aspecto, visto na escala do projeto, é determinado por estratégias, como a implantação de um jardim-de-chuva no lote, por exemplo.

3.3.2.1. Espaços Intra-lotes

Constituem os lotes privados (residências, condomínios, terrenos vagos, etc) e públicos (escolas, instituições públicas, etc) da área de interesse, que conforme mencionado anteriormente, são fundamentais para a conectividade funcional de áreas urbanas.

Visando a conservação de fragmentos remanescentes situados em propriedades particulares, o Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo (SÃO PAULO, 2015a) prevê o Pagamento por Serviços Ambientais aos proprietários de áreas que prestam serviços ambientais relevantes, como produção de água, agricultura orgânica, preservação de remanescentes da Mata Atlântica, entre outros.

Outro incentivo pensado para os lotes (particulares e públicos) refere-se à Quota Ambiental (proposta pela Lei nº 16.402, de 22 de março de 2016, e regulamentada pelo Decreto Nº 57.565 de 27 de dezembro de 2016), que constitui um conjunto de regras de ocupação dos lotes, que objetiva qualificá-los ambientalmente, tendo como referência uma medida da eficácia ambiental de cada lote, com ênfase nos aspectos de drenagem urbana e cobertura vegetal. O decreto exige a adoção de soluções construtivas, tecnológicas e paisagísticas para que lotes com área superior a 500 m² obtenham o licenciamento, e fornece incentivos econômicos (como desconto em Outorga Onerosa) para os empreendimentos com Quota Ambiental superior à mínima exigida. Estas regras são aplicáveis para novas edificações ou reformas.

Para fins de aplicação da Quota Ambiental, o território do Município de São Paulo foi dividido em Perímetros de Qualificação Ambiental, definidos a partir das condicionantes ambientais existentes (especialmente drenagem urbana, ilhas de calor e vegetação) e do potencial de transformação da região, sendo que a pontuação mínima exigida varia em função do Perímetro de Qualificação Ambiental onde o lote está inserido. Dessa forma, regiões com baixa qualificação ambiental, que apresentam deficiência em drenagem e vegetação, e problemas ambientais, como ilhas de calor, por exemplo, devem ter uma pontuação de Quota Ambiental mais alta, visando à minimização desses

problemas. Por outro lado, regiões com boa qualificação ambiental, como os grandes fragmentos de vegetação remanescentes, por exemplo, também devem ter pontuação mais alta, objetivando a conservação desses locais.

Apesar de trazer diversos avanços em termos de preservação ambiental e sustentabilidade, esse instrumento apresenta algumas falhas, principalmente com relação ao tamanho dos lotes considerados, uma vez que somente os lotes com área superior a 500 m² são submetidos à Quota Ambiental. Para os lotes com área inferior à mencionada (que representam a grande maioria da cidade de São Paulo) a Quota Ambiental não é válida, sendo que esses lotes só devem obedecer à Taxa de Permeabilidade Mínima (que varia de 15 a 20%, em função do Perímetro de Qualificação Ambiental onde o lote se encontra). Essa porcentagem de área permeável aparenta ser insuficiente, quando considerados todos os problemas ambientais presentes na cidade de São Paulo. Ademais, os outros parâmetros considerados na Quota Ambiental, como as soluções de drenagem e cobertura vegetal não são incentivados nesses lotes.

Outro avanço do Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo (SÃO PAULO, 2015a) é o incentivo urbanístico à fachada ativa (uso misto dos edifícios, com comércio, serviços ou equipamentos com abertura direta para a rua) e à fruição pública (área no térreo aberta à circulação de pedestres para o desenvolvimento de atividades sociais, culturais e econômicas), que ampliam a oferta de espaços de uso público adequados ao encontro das pessoas, e quando associados à vegetação, podem fornecer benefícios ambientais para a cidade.

Como observado nos resultados, pequenas áreas de vegetação, como jardins residenciais, são fundamentais para a conectividade funcional da paisagem, tornando evidente a necessidade de incentivo à preservação e implantação de jardins, principalmente nos locais contemplados pelos corredores verdes. A modificação dos parâmetros necessários à aplicação da Quota Ambiental, validando-a para lotes com área inferior a 500 m², por exemplo, poderia incitar o aumento de vegetação nesses locais.

Outro meio de incentivo refere-se aos descontos sobre Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU). Descontos ou isenções já ocorrem no município de São Paulo por fatores de justiça (distributiva, compensatória e outros) e de incentivo social (positivo e negativo), e, portanto, podem também ser adotados para motivar ocupações mais ambientalmente desejáveis (ou até punir as indesejáveis) (MENDES, 2014). Esse tipo de isenção é comumente chamado de “IPTU verde”, e já foi adotado por diversos municípios brasileiros. Os descontos e as práticas incentivadas variam nos municípios: em Guarulhos, por exemplo, são oferecidos descontos de 5% a 20% para imóveis que possuam área verde ou adotem práticas sustentáveis, como coleta seletiva, captação de água da chuva e telhado verde; já em Curitiba, terrenos com áreas vegetadas podem ter entre 10% e 100% de desconto no valor do IPTU.

Em São Paulo os descontos estão limitados a no máximo 50% no IPTU incidente sobre os imóveis revestidos de vegetação arbórea, declarada de preservação permanente ou perpetuada (Lei 10.365/1987). Já com relação ao incentivo de práticas construtivas sustentáveis, a Prefeitura da cidade de São Paulo apresentou o Projeto de Lei 568 no ano de 2015 que institui o IPTU Verde, válido para novos empreendimentos e imóveis que passarão por obra de reforma ou ampliação da edificação, sendo que foram instituídas três faixas de desconto (4%, 8% e 12%), de acordo com o grau de certificação do empreendimento. São consideradas medidas de sustentabilidade ambiental as técnicas construtivas voltadas a (i) maior eficiência na utilização de recursos naturais; (ii) ampliação da área permeável; (iii) gerenciamento de resíduos sólidos; (iv) controle de emissão de gases poluentes; (v) utilização de materiais sustentáveis; (vi) uso de inovações que promovam a preservação dos recursos naturais. Nota-se que apesar de propor medidas para qualificar as construções ambientalmente, o projeto de lei não garante o aumento da cobertura vegetal, seja por meio da implantação de jardins, paredes e telhados verdes, seja por meio da arborização viária, e, portanto, não atende aos parâmetros adotados neste estudo.

A Figura 42 apresenta um lote particular perpassado pelo corredor verde, onde a preservação da vegetação deve ser incentivada.

Figura 42. Colégio Boni Consilli, Campos Elísios, São Paulo, SP.
Fontes: Google Earth (2017); www.boniconsilii.com.br.

Entrando no campo das estratégias para o aumento da vegetação nos lotes, além dos jardins convencionais e das hortas e viveiros comunitários, destacamos a implantação de tetos verdes e paredes verdes, pontuadas a seguir.

- **Teto verde**

Conceitualmente, um teto verde nada mais é do que a inserção de vegetação sobre coberturas, tratando-se de um sistema que cumpre funções construtivas e biológicas: absorve águas pluviais, reduz o efeito de ilhas de calor urbano, contribui para a eficiência energética das edificações, estende a vida útil da impermeabilização das lajes, e criam *habitat* para a vida silvestre (CORMIER; PELLEGRINO, 2008; MENDES, 2014).

Conforme Bonzi (2015), os tetos verdes podem assumir diferentes formas, sendo classificados em extensivos (leves, com seção de substrato entre 5 e 15cm) e intensivos (entre 20 e 60cm). Em se tratando do suporte à biodiversidade que os tetos verdes podem fornecer, Mendes (2014) afirma que a própria natureza dos tetos verdes se baseia no suporte de seres vivos (as plantas) em um local antes inóspito, o que os torna mais “biodiversos” que coberturas convencionais. Porém, as orientações de projeto se baseiam predominantemente em questões construtivas (e.g. carga), o que torna o ambiente pobre, povoado apenas por espécies pioneiras de alta mobilidade, e não adequado como *habitat* permanentes para organismos terrestres.

Algumas iniciativas têm sido desenvolvidas na cidade de São Paulo com relação à implantação de tetos verdes, sendo que a maior parte deles se enquadra no padrão mencionado, com vegetação composta por um número reduzido de espécies, predominantemente rasteiras. Em contrapartida, alguns projetos priorizaram o uso de espécies nativas da Mata Atlântica (teto verde dos edifícios da Fundação Cásper Líbero e do Citibank Hall) e do Cerrado (sede da Editora Abril), para citar alguns exemplos. Essas são alternativas incipientes, mas que podem ser consideradas protótipos para o aumento de vegetação na área de estudo.

Figura 43. Teto verde com espécies nativas da Mata Atlântica na

Fundação Cásper Líbero, Avenida Paulista, São Paulo, SP.
Fonte: www.revistaecologico.com.br.

- **Parede verde**

Também denominada “fachada verde” “parede viva” ou “jardim vertical”, constitui no revestimento de alvenarias ou outras estruturas verticais com vegetação, podendo ser classificada em três tipos, de acordo com Scherer e Fedrizzi (2014): sistemas extensivos tradicionais (composto por espécies trepadeiras auto-aderentes, capazes de se fixar diretamente nas alvenarias); cortinas verdes (consiste na instalação de um suporte ao longo do qual a vegetação trepadeira irá se desenvolver); e sistema intensivo (também denominado parede viva, é constituído por módulos especiais para o desenvolvimento das plantas, que podem abrigar uma grande variedade de espécies, como samambaias, bromélias, herbáceas e arbustos de pequeno porte, formando uma parede com grande impacto estético-visual).

O sistema intensivo tem sido muito adotado em diversas cidades do mundo, comumente em sistema hidropônico, onde não há substrato, e a irrigação utiliza fertilizantes solúveis. Esse sistema demanda manutenção constante, o que eleva os custos das paredes verdes. Essa situação é agravada pelo uso de espécies exigentes em água e nutrientes, predominantemente de origem exótica. Acreditamos que o uso de espécies nativas regionais, adaptadas

às condições climáticas características das paredes verdes, como as espécies típicas de regiões montanhosas e paredões rochosos, por exemplo, minimizaria as necessidades de irrigação e manutenção, além de fornecer maiores benefícios ambientais.

Figura 44. Paredes verdes (sistema intensivo) implantadas em edifícios próximos ao Elevado “Presidente João Goulart” (Minhocão), São Paulo, SP.

Fonte: www.saopaulosao.com.br

3.3.2.2. Espaços Públicos

Contemplam os espaços públicos exteriores ao lote, como ruas, avenidas, canteiros centrais, rotatórias, estradas, calçadas, parques, praças, áreas residuais de loteamentos e do sistema viário, dentre outros.

O Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo (SÃO PAULO, 2015a) prevê a demarcação de 167 novos parques na cidade. Além disso, todos os parques (existentes ou planejados) tornam-se Zona Especial de Proteção Ambiental (ZEPAM), impedindo que áreas particulares destinadas à implantação de futuros parques sejam apropriadas pelo mercado imobiliário. A Figura 45 apresenta os parques municipais planejados para a área de estudo. Nota-se que cinco parques são perpassados pelos corredores verdes simulados, sendo que três encontram-se na região norte (Parque Municipal Santa Maria Fase 1, Parque Municipal Tremembé e Parque Linear do Córrego do Bispo) e dois encontram-se na região central (Sítio Morrinhos e Parque Campo de Marte).

Figura 45. Parques municipais planejados para a área de estudo, onde: (1) Parque Municipal Santa Maria Fase 1; (2) Parque Municipal Tremembé; (3) Parque Linear do Córrego do Bispo; (4) Sítio Morrinhos; (5) Parque Campo de Marte.

Outro artifício previsto no Plano Diretor é a criação do Fundo Municipal de Parques, que constitui um mecanismo de co-financiamento entre sociedade civil e Poder Público para aquisição de áreas para implantação dos parques instituídos no Plano Diretor (SÃO PAULO, 2015a).

Um aspecto que merece atenção em toda a área de estudo é a estrutura da vegetação, uma vez que fatores como a heterogeneidade da vegetação, a riqueza e altura das árvores, e a proporção de espécies nativas regionais são determinantes na riqueza da avifauna (PENA, 2017). Esta observação é importante tanto nas áreas verdes consagradas, como nas áreas residuais de ocupação, que possuem uma vegetação bastante homogênea e simplificada, composta por apenas dois estratos de vegetação, de origem predominantemente exótica: um arbóreo e um herbáceo, geralmente formado por gramíneas. Dessa forma, devem ser adotadas estratégias para o enriquecimento desses espaços com espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas nativas regionais.

A Figura 46 apresenta uma área residual de ocupação composta por vegetação arbórea-arbustiva, onde o enriquecimento poderia ser feito somente com espécies arbustivas e herbáceas, enquanto a Figura 47 apresenta uma praça, onde o enriquecimento deve ser prioritário, com espécies arbóreas, arbustivas e herbáceas nativas regionais.

Nesse sentido, diversas iniciativas têm sido desenvolvidas na cidade de São Paulo, como as “Florestas de Bolso” (www.cardimpaisagismo.com.br/projetos/floresta-de-bolso) e o “Cerrado Infinito” (www.cerradoinfinito.com.br), que objetivam a restauração dos Biomas da Mata Atlântica e do Cerrado, respectivamente, por meio do plantio de espécies nativas regionais em parques, praças, áreas residuais de ocupação e pequenas áreas verdes privadas e públicas. Apesar de incipientes, essas iniciativas constituem abordagem interessante para o enriquecimento da vegetação no corredor verde proposto.

A viabilização do enriquecimento desses locais pode ser conseguida por meio da adoção de áreas verdes pela iniciativa privada. Essa medida já é desenvolvida na cidade de São Paulo, entretanto, poderia ser incentivada mais fortemente nos espaços vegetados contemplados pelos corredores simulados.

Algumas das áreas residuais de loteamentos e do sistema viário têm potencial para o usos multifuncionais, como abordado no capítulo anterior, e dessa forma poderiam ser estruturadas, por meio da implantação de praças, parques, parques lineares, hortas e viveiros comunitários, dentre outras possibilidades.

Figura 46. Área residual de ocupação próxima à rua “General Nestor Passos”, Jardim Paraíso, São Paulo, SP.
Fonte: Google Earth (2017)

Figura 47. Praça Charles Miller, Pacaembu, São Paulo, SP.

Fonte: Google Earth (2017)

Ademais, esses espaços podem fornecer maiores benefícios econômicos, sociais e ambientais se associados às tipologias de infraestrutura verde. As tipologias mais relevantes para a área de estudo são descritas a seguir, sendo que para sua aplicação devem ser considerados diversos fatores, principalmente os processos naturais predominantes no local.

- **Jardins de chuva**

Constituem depressões topográficas projetadas para receber e infiltrar a água proveniente do escoamento superficial das proximidades (CORMIER; PELLEGRINO, 2008). Concomitantemente ao processo de infiltração, ocorre a filtração. A vegetação possui relevância no desempenho do sistema, por participar da função de evapotranspiração, do tratamento de poluentes e, principalmente, por atuar hidraulicamente no prolongamento da capacidade de infiltração do sistema (MELO et al., 2014).

Sua implantação é indicada em regiões em que predominam os processos de infiltração, como nas áreas tabulares⁴, em diferentes situações: compondo paisagens maiores, como margens de parques e praças, ou de forma pontual, compondo pequenos espaços particulares e públicos. Por fim, quando associados ao sistema viário, podem constituir estruturas de traffic calming⁵ (BONZI, 2015).

Figura 48. Jardim de chuva da rua Tonelero, Vila Ipojuca, São Paulo, SP (2016).

Fonte: www.conexaoplaneta.com.br

Figura 49. Jardim de chuva do “Largo das Araucárias”, Pinheiros, São Paulo, SP (2017).

Fonte: www.sao-paulo.estadao.com.br

⁴Área livre de inundações, favorável à ocupação e onde os processos de infiltração predominam sobre o escoamento superficial (BONZI, 2015).

⁵Conjunto de medidas de planejamento urbano e de tráfego que consiste na utilização de estruturas físicas ou na mudança da geometria das vias, visando à redução da velocidade do tráfego de veículos motorizados, aumentando, dessa forma, a segurança dos deslocamentos de pedestres e ciclistas.

- **Canteiro pluvial**

Constituem jardins de chuva de menor tamanho (CORMIER; PELLEGRINO, 2008), entretanto, diferentemente dos jardins de chuva, que objetivam a infiltração de água no solo, os canteiros pluviais podem dispensar a infiltração, executando apenas a evaporação e a evapotranspiração do escoamento superficial (BONZI, 2015).

Segundo o mesmo autor, os canteiros pluviais de infiltração são indicados para áreas tabulares. Já a sua versão sem infiltração pode ser aplicada em áreas íngremes e áreas de nascentes, o escoamento superficial deve ser manejado com vistas a evitar processos erosivos, deslizamentos e assoreamento das galerias de águas pluviais, e, principalmente, nos fundos de vale, onde o armazenamento de água é o processo natural predominante. A exemplo dos jardins de chuva, o canteiro pluvial também pode ser adaptado para intervenções de traffic calming.

Figura 50. Canteiros pluviais junto ao New Seasons Market, Portland, Oregon.
Fonte: Cormier e Pellegrino (2008).

- **Biovaletas**

Correspondem a faixas lineares rebaixadas e dotadas de vegetação, que realizam o escoamento da água pluvial. Apresentam alguma capacidade de filtragem e infiltração de água no solo, e podem ser utilizadas para conectar diferentes tipologias de infraestrutura verde, espaços públicos e sistemas convencionais de drenagem urbana (BONZI, 2015).

Segundo o mesmo autor, sua aplicação é indicada para todos os compartimentos ambientais, embora possuam maior desempenho nas áreas tabulares, onde o processo infiltração é predominante.

Figura 51. Biovaletas na Praça “Dolores Ibaruri” (Praça das Corujas), Pinheiros, São Paulo, SP.
Fonte: www.elzanheiro.com.br

- **Alagados construídos**

Também denominados de Wetlands Construídos. O termo wetland é utilizado para designar áreas alagadas ou inundáveis, permanentemente ou sazonalmente, que, na natureza, compõem diversos ecossistemas desde as regiões costeiras até as interioranas e apresentam condições apropriadas para o crescimento de macrófitas (BULLER *et al.*, s/d).

Alagados construídos possuem propriedades semelhantes aos wetlands naturais: regularizam os fluxos e melhoram a qualidade da água, amortecem os picos de enchente, controlando a erosão e evitando o assoreamento dos rios (SALATI, s/d), e por fim, aumentam a umidade do ar devido à evaporação e à evapotranspiração. Podem ser projetados para mimetizar áreas de várzeas, e nesse sentido, possuem grande potencial paisagístico e compõem *habitat* importante para a fauna (BONZI, 2015).

De acordo com o mesmo autor, essa tipologia é indicada para os fundos de vale, onde o processo de armazenamento de água é predominante. Também é indicada para os setores em que o escoamento superficial deve ser controlado ou em locais que objetivam o tratamento de efluentes domésticos e industriais.

Figura 52. Alagado construído no Parque Tanner Springs, Portland, Oregon, EUA.
Fonte: www.gardenvisit.com

3.3.2.2.1. Espaços públicos impermeabilizados

Correspondem a espaços como calçadas e vias, e têm grande potencial para o incremento de vegetação, principalmente por meio da arborização viária.

A preservação da arborização urbana é prevista na Lei Municipal 10.365 de 1987, que em seu artigo 1º traz “... considera-se como bem de interesse comum a todos os munícipes a vegetação de porte arbóreo existente ou que venha a existir no território do Município, tanto de domínio público como privado”. Também estabelece que todo manejo arbóreo depende da prévia autorização da Prefeitura de São Paulo. Além disso, ações de manejo executadas de forma inadequada são consideradas infração ambiental, conforme instituído pela Lei Federal nº 9.605 de 1998.

Coelho (2008) chama a atenção para os cortes ilegais, que ocorrem em grande proporção nas áreas periféricas do município, atribuindo-os à ineficiência da fiscalização por parte do Poder Público.

Todo projeto na cidade de São Paulo que envolva supressão da vegetação deve contar com medidas compensatórias que mitiguem ou compensem o dano ambiental causado, cuja obrigação é determinada pelo Termo de Compromisso Ambiental (TCA), regulamentado pela Lei Municipal 10.365/87; Portaria 130/13; Decreto Municipal 53.889/13 e 54.423/13.

A compensação prevê o plantio de mudas de espécies nativas, preferencialmente arbóreas, palmeiras e coqueiros, bem como a doação de mudas aos viveiros municipais e a conversão em obras e serviços (implantação e manutenção de áreas verdes, dentre outros), jardins verticais e coberturas verdes, sendo esta última medida admitida excepcionalmente. O local para implantação da compensação ambiental deve ser indicado, preferencialmente, no mesmo imóvel onde ocorreu o manejo da vegetação ou, na sua impossibilidade, no respectivo entorno.

Apesar de suprirem algumas carências do município de São Paulo, principalmente em relação à implantação e manejo de áreas verdes, as compensações ambientais não podem ser encaradas como recurso orçamentário, uma vez que utilizadas em larga escala, podem servir de justificativa para a degradação ambiental (COELHO, 2008). Segundo o mesmo autor, não se deve esperar que ocorram mais danos à natureza para a adoção de medidas eficientes para sua conservação.

Outro ponto bastante polêmico do TCA refere-se à possibilidade de compensação de danos ambientais com tetos e paredes verdes. Os benefícios ambientais dessa práticas são evidentes, principalmente com relação ao conforto térmico dos edifícios e redução do escoamento superficial das águas pluviais. Entretanto, essas não fornecem os mesmos benefícios provenientes da área impactada pelo dano ambiental. Ademais, os investimentos nessas estruturas são desproporcionalmente elevados, quando comparados ao plantio de árvores, e portanto, acreditamos que essa estratégia deve ser adotada somente em última instância.

Já com relação ao incremento da arborização urbana, foi instituída a Campanha Permanente de Incentivo à Arborização da Cidade de São Paulo, regulamentada pela Lei nº 12.196/1996, Decreto nº 37.587/1998 e Portaria 006/2016, que estabelece a doação de mudas de árvores do Poder Público Municipal aos munícipes interessados em arborizar sua calçada ou propriedade.

Existem diversas leis que regulamentam a arborização urbana na cidade de São Paulo, fornecendo normas para sua implantação e manutenção, que encontram-se reunidas no Manual Técnico de Arborização Urbana (SÃO PAULO, 2015b), bem como para a arborização viária nos planos de parcelamento do solo para loteamentos e desmembramentos. No entanto, essas normas, muitas vezes, não são cumpridas, seja pela falta de conhecimento da população, seja pela ineficiência da fiscalização por parte do poder público.

Outro ponto importante que dificulta a arborização na cidade de São Paulo, segundo Rossetti, Pellegrino e Tavares (2010), refere-se às múltiplas funções atribuídas às calçadas e aos canteiros centrais, que colocam as árvores em desvantagem frente aos outros usos desses espaços, como fiações elétricas, postes de iluminação, sistema de águas pluviais, esgotamento sanitário e outras interferências. Além disso, as construções de determinados locais da cidade não apresentam recuo frontal, e portanto, não provém espaço na calçada para implantação de vegetação. Esses fatores, aliados à falta de planejamento nas intervenções de arborização, geram uma presença caótica de espécies arbóreas em locais totalmente inadequados. Esta situação reduz a eficácia da arborização em transmitir conforto físico e psíquico, trazendo infortúnios e transtornos, como rompimento de fios de alta-tensão, interrupções no fornecimento de energia elétrica, entupimento em redes de esgoto, obstáculos para circulação e acidentes envolvendo pedestres, veículos ou edificações (SILVA FILHO et al., 2002).

Para minimizar os conflitos mencionados, faz-se imprescindível o planejamento da arborização, que de acordo com Milano (1990) deve considerar: a) os fatores físicos do ambiente urbano, como clima, solo e qualidade do ar; b) o espaço físico disponível, em termos de largura de ruas e calçadas, afastamento predial, ocorrência e posicionamento de redes de utilidades aéreas e subterrâneas, entre outros; e c) as características das espécies, como adaptabilidade climática, resistência a pragas e doenças, tolerância à poluição e características morfológicas e fenológicas (forma, porte, raiz, floração, frutificação, etc.).

A Figura 53 apresenta uma seção da área de estudo predominantemente impermeável, que é perpassada pelos corredores simulados, onde a vegetação pode ser incrementada por meio da arborização viária. Contudo, nota-se que a rede de distribuição de energia elétrica representa um grande obstáculo para a arborização viária do local, assim como na maior parte da cidade. Segundo Velasco (2003), o problema é agravado pelo fato de que a arborização e as implantações dos sistemas elétricos de distribuição são planejados e realizados de forma independente. As companhias distribuidoras de energia elétricas sempre atuaram de maneira a propor manejos de podas que iam ao encontro aos interesses das próprias empresas (ROSSETTI; PELLEGRINO; TAVARES, 2010), bem como a recomendação de espécies arbóreas de pequeno porte ou espécies arbustivas para minimizar os conflitos. Esta última recomendação consiste no enfoque da maior parte dos manuais de arborização urbana das cidades brasileiras, contudo, de acordo com Velasco (2003), essa prática minimiza os serviços ecossistêmicos fornecidos pelas árvores, especialmente o conforto climático. O autor enfatiza a importância da substituição ou adaptação dos sistemas atuais por sistemas mais modernos, que conforme Oliveira (1996), ocupam uma seção de área menor, e permitem o contato entre a fiação e a arborização, sem apresentar riscos para a rede. Esses sistemas são denominados rede de distribuição aérea compacta (Figura 54), também chamada de rede protegida, e rede de distribuição aérea isolada. Outra possibilidade consiste na rede de distribuição subterrânea (Figura 55), que apesar de apresentar custo de implantação mais elevado, fornece maior segurança, redução das interrupções dos custos de manutenção, melhoria estética, melhor convivência com o meio ambiente, dentre outras vantagens. Todas as redes mencionadas podem ser associadas à iluminação rebaixada (Figura 56), minimizando os aspectos de conflito da arborização com a iluminação pública (VELASCO, 2003), e fornecendo vantagens como redução do consumo energético e aumento da eficiência da iluminação.

Figura 53. Rua Albuquerque Lins, Santa Cecília, São Paulo, SP.
 Fonte: Google Earth (2017)

Figura 54. Fiação compacta com espaçadores em arranjo triangular em Maringá, PR.
 Fonte: www.germinacao.com

Figura 55. Fiação subterrânea na Rua Oscar Freire, Pinheiros, São Paulo, SP.
Fonte: www.avenidagoiania.blogspot.com.br

Figura 56. Iluminação rebaixada em Maringá, PR.
Fonte: www.oecocidades.com

Já nos espaços onde a implantação da vegetação é limitada pela largura da calçada, a vegetação pode ser inserida nas próprias vias. Existem diversos conceitos e práticas que priorizam o uso da rua por pedestres e ciclistas, em detrimento do automóvel, com adoção de medidas de *traffic calming*. A vegetação sempre está presente nesses conceitos, representada pela arborização urbana e tipologias de infraestrutura verde. Destacamos o conceito de *Woonerf*, desenvolvido no final dos anos 1960, na cidade de Delft, Holanda.

Segundo Collarte (2012), o principal objetivo de um *Woonerf* é mudar a forma como as ruas são usadas e melhorar a qualidade de vida nas ruas residenciais, projetando-as para as pessoas, e não apenas para o tráfego. A rua é projetada sem uma divisão clara entre o espaço para pedestres e o espaço para o automóvel (sem meio-fio contínuo), obrigando os motoristas a desacelerar e a viajar com cautela. Esta estratégia favorece a segurança dos pedestres e promove os usos múltiplos do espaço, uma vez que provém espaço para mobiliários (bancos, mesas, bicicletários, etc), vegetação e áreas de interação social.

Figura 57. Woonerf Eugene, Oregon, EUA.

Fonte: www.gizmodo.com.

Acrescentamos as diversas combinações possíveis das medidas descritas nesse trabalho, que podem proporcionar espaços sustentáveis e inovadores, como ruas verdes⁶ (Figura 58), ruas completas⁷ (Figuras 59 e 60), e estacionamentos drenantes, para citar algumas possibilidades. Nesse sentido, o Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo (SÃO PAULO, 2015a) avançou ao instituir calçadas largas nas proximidades dos eixos de transporte, com largura mínima de 5 metros nos corredores de ônibus, e de 3 metros nas áreas de influência. Essa medida pode facilitar o incremento de vegetação nesses espaços. Contudo, ainda inexiste na cidade um incentivo real ou monetário para o incremento da arborização urbana. Como mencionado no tópico anterior, incentivos como o “IPTU verde” já são adotados em diversos municípios brasileiros, e podem abranger a arborização viária, constituindo, portanto, uma medida eficiente para o aumento da vegetação na área de estudo.

Cabe salientar que por se tratar de um tema muito extenso, foram detalhadas somente as estratégias mais relevantes para o aumento da vegetação da área de estudo. Todavia, podem ser adotadas, pontualmente, estratégias, como implantação de viveiros e hortas comunitárias, “florestas verticais”, “fazendas urbanas”, “fazendas verticais”, “pocket parks”, recuperação de áreas degradadas, contaminadas ou subutilizadas, transformando-as em áreas verdes, dentre outras possibilidades, quando pertinente.

⁶São ruas cuja principal característica é a arborização intensa. Em geral, a circulação viária é mais restrita, com intervenções de traffic calming, priorizando pedestres e ciclistas. Adicionalmente, integram diversas tipologias de infraestrutura verde para o manejo de águas pluviais, como jardins de chuva, canteiros pluviais, biovaletas e pisos drenantes (HERZOG; ROSA, 2010).

⁷São vias que conciliam diversos usos além de veículos e pedestres: possibilitam ciclovias seguras e independentes do tráfego viário e das calçadas; os cruzamentos para pedestres e ciclistas são prioritários, marcados com traffic calming; as paradas de ônibus possuem recuos seguros, com abrigos e mobiliário urbano compatível; podem acomodar bancos, mesas, bancas de jornal, telefones públicos, etc; devem ser compatibilizadas com os processos naturais, para tanto, contam com arborização intensa e tipologias de infraestrutura verde (HERZOG; ROSA, 2010).

Figura 58. 2th Avenue Green Street, Portland, Oregon, EUA.

Fonte: www.hpigreen.com

Figura 59. Desenho esquemático de uma rua completa..

Fonte: www.wricidades.org

Figura 60. Intervenções baseadas no conceito de ruas completas na Rua Joel Carlos Borges, São Paulo, SP.
Fonte:www.wricidades.org.

3.4. Conclusões

A definição dos locais mais apropriados para implantação de “links” ou corredores verdes constitui um grande desafio para o planejamento da infraestrutura verde urbana. A modelagem de caminhos de menor custo mostrou-se eficiente para auxiliar nessa questão, considerando aspectos biológicos da avifauna, como capacidade de deslocamento e adaptabilidade ao meio urbano. A partir de sua utilização foi possível identificar os fragmentos de vegetação arbórea-arbustiva mais relevantes para a conectividade funcional da paisagem, bem como os espaços que apresentam outros usos do solo, onde a vegetação poderia ser incrementada, possibilitando a persistência ou a movimentação das espécies consideradas.

Além da conexão dos dois principais fragmentos identificados como prioritários para a conservação da biodiversidade, a implementação dos corredores verdes simulados pode aumentar a permeabilidade da região central e minimizar diversos problemas ambientais locais, como enchentes, alagamentos, ilhas de calor, elevados níveis de poluição e ruído. Ademais, pode proporcionar ambientes de lazer e coesão comunitária e cultural.

Ao analisar a legislação, as estratégias e incentivos referentes à infraestrutura verde na cidade de São Paulo, notamos que houveram avanços nos últimos anos, principalmente com relação à sua conservação. Todavia, os meios de incentivo ainda são deficitários em garantir o incremento da vegetação urbana. Como abordado neste estudo, existem diversas possibilidades para tanto, que serão consolidadas somente se ocorrerem mudanças de paradigmas no planejamento e gestão dos espaços públicos e privados.

Este trabalho avança ao incluir aspectos biológicos da avifauna durante o planejamento dos corredores verdes urbanos, e abre possibilidades para estudos que objetivem a conexão de outros fragmentos de vegetação, e a avaliação da efetividade desses corredores no aumento da conectividade funcional da paisagem urbana.

Referências

- AHERN, J. Greenways as a planning strategy. *Landscape and Urban Planning*, Amsterdam, v. 33, n. 1/3, p. 131-155, 1995.
- ALONSO, A. C. Delineamento e avaliação de corredores lineares multi-hábitat: estudo de caso com bugio-ruivo (*Alouatta clamitans*) em mosaico urbano-rural. 2010. 66p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- BENEDICT, M. A.; MCMAHON, E. T. *Green Infrastructure. Linking Landscapes and Communities*. Washington, DC: Island Press, 2006. 320p.
- BLAIR, R. B. Land use and avian species diversity along an urban gradient. *Ecological Applications*, v.6, n.2, p. 506–519, 1996.
- BONZI, R. S. Andar sobre Água Preta: a aplicação da Infraestrutura Verde em áreas densamente urbanizadas. 2015. 159p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura, Urbanismo e Design, Universidade de São Paulo, 2015.
- BRASIL. Lei Federal 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. Presidência da República, Brasília, DF, 12 fev. 1998.
- BULLER, L.S.; TEIXEIRA M. B.; ORTEGA, E. Wetlands naturais e construídas para tratamento de resíduos da suinocultura. II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais – II SIGERA, S/d. Disponível em < <http://www.sbera.org.br/2sigera/obras/t075.pdf>>. Acesso em 04 dez. 2017.
- CERRADO INFINITO. Disponível em <www.cerradoinfinito.com.br> Acesso em mar. 2018.
- COELHO, L. L. Compensação ambiental: uma alternativa para viabilização de espaços livres públicos para lazer e convívio na cidade de São Paulo. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura, Urbanismo e Design, Universidade de São Paulo, 2008.
- COLLATE, N. The Woonerf Concept “Rethinking a Residential Street in Somerville”. 2012. 25p.
- CORMIER, N. S.; PELLEGRINO, P. R. M. Infra-estrutura verde: uma estratégia paisagística para a água urbana. *Paisagem e Ambiente: Ensaios*, v. 25, p. 127–142, 2008.
- COSTA, J. A. Uso de imagens de alta resolução para definição de corredores verdes na cidade de São Paulo. 2010. 114p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- DIGITALGLOBE FOUNDATION. Disponível em: < <http://www.digitalglobefoundation.org/>>. Acesso em 17 nov. 2016.
- FISCHER, R. A. Wild-Link, Connecting fragmented habitats with ecological corridors in Northern Michigan. Traverse City, MI: Conservation Resource Alliance, 2001.
- FLORESTAS DE BOLSO. Disponível em <www.cardimpaisagismo.com.br/projetos/floresta-de-bolso> Acesso em mar. 2018.
- FORMAN, R. T. T. *Land mosaics: the ecology of landscapes and regions*. 4. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 632p.
- FRISCHENBRUDER, M. T. M.; PELLEGRINO, P. R. M. Using greenways to reclaim nature in Brazilian cities. In: *Landscape and Urban Planning*, 76, p. 67-78, 2006.
- HERZOG, C. P.; ROSA, L. Z. Infraestrutura Verde: Sustentabilidade e resiliência para a paisagem urbana. *Revista LABVERDE*, n. 1, p. 92–115, 2010.

- KIGHT, C.R.; SWADDLE, J. P. How and why environmental noise impacts animals: an integrative, mechanistic review. *Ecology Letters*, v. 14, n. 10, p. 1052-1061, 2011.
- KÖPPEN, W. *Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra*. Fondo de Cultura Económica. México. 1948. 479p.
- LANDGREBE, D.; BIEHL, L. MULTISPEC: a freeware multispectral image data analysis system. Computer software program produced by the authors at the Purdue University, West Lafayette. Disponível em: <<https://engineering.purdue.edu/~biehl/MultiSpec/>>. Acesso em 03 mar. 2016.
- LAPOINT, S., BALKENHOL, N., HALE, J., SADLER, J., VAN DER REE, R. Ecological Connectivity Research in Urban Areas. *Functional. Ecology* v. 29, p. 868–878, 2015.
- LAPOINT, S.; GALLERY, P.; WIKELSKI, M.; KAYS, R. Animal behavior, cost-based corridor models, and real corridors. *Landscape Ecology*, v. 28, p. 1615–1630, 2013.
- MCGARIGAL, K.; CUSHMAN, S. A.; ENE, E. FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical and Continuous Maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. 2012. Disponível em: < <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>>. Acesso em: 20 fev. 2017.
- MELO, T. A. T. et al. Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 147-165, 2014.
- MENDES, B. H. E. Tetos verdes e políticas públicas: uma abordagem multifacetada. 2014. 347p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura, Urbanismo e Design, Universidade de São Paulo, 2014.
- MENDONÇA, F. A. C. Gerenciamento do perigo aviário em aeroportos. *Rev. Conexão SIPAER*, v. 1, n. 1, P.153-173, 2009.
- METZGER, J. P. Como lidar com regras pouco óbvias para conservação da biodiversidade em paisagens fragmentadas. *Natureza & Conservação*, v. 4, n. 2, p. 11–23, 2006.
- MILANO, M. S. Planejamento da arborização urbana: relações entre áreas verdes e ruas arborizadas. In: *Encontro Brasileiro Sobre Arborização Urbana. Anais...* Curitiba-PR: Sociedade Brasileira de Arborização Urbana, p. 244-251, 1990.
- OLIVEIRA, C. H. Planejamento ambiental na Cidade de São Carlos (SP) com ênfase nas áreas públicas e áreas verdes: diagnóstico e propostas. 1996. 196p. Dissertação (Mestrado) - Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal de São Carlos, 1996.
- ORTEGA-ÁLVAREZ, R.; MACGREGOR-FORS, I. Living in the big city: effects of urban land-use on bird community structure, diversity, and composition. *Landscape and Urban Planning*, v. 90, n. 3–4, p. 189–195, 2009.
- PENA, J. C. D. C. Aves, Conectividade da Paisagem e Planejamento Ambiental em Paisagens Urbanas. 2017. 149p. Tese (Doutorado) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2017.
- PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. Portal GeoSampa. Disponível em <www.geosampa.prefeitura.sp.gov.br> Acesso em 21 jan. 2017.
- RIBEIRO, J.W., SANTOS, J.S., DODONOV, P., MARTELLO, F., NIEBUHR, B.B., RIBEIRO, M.C. Landscape Corridors (LSCorridors): a new software package for modelling ecological corridors based on landscape patterns and species requirements. *Methods in Ecology and Evolution*, v. 8, n. 11, p. 1425-1432, 2017.
- ROSSETTI, A. I. N.; PELLEGRINO, P. R. M.; TAVARES, A. R. As árvores e suas interfaces no ambiente urbano. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, Piracicaba – SP, v.5, n.1, p.1-24, 2010.

- SACCO, A. G. et al. Perda de diversidade taxonômica e funcional de aves em área urbana no sul do Brasil. *Iheringia, Série Zoologia*, v. 105, n. 3, p. 276–287, 2015
- SALATI, E. Controle de qualidade de água através de Sistemas de wetlands construídos. s/d. Disponível em <http://www.fbds.org.br/Apresentacoes/Controle_Qualid_Agua_Wetlands_ES_out06.pdf>. Acesso em 01 dez. 2017.
- SÃO PAULO (CIDADE). Prefeitura do Município de São Paulo – PMSP. Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo: lei municipal nº 16.050, de 31 de julho de 2014; texto da lei ilustrado. São Paulo: PMSP, 2015a. 248p.
- _____. Decreto Municipal 37.587, de 17 de agosto de 1998. Regulamenta a lei nº 12.196, de 18 de setembro de 1996, que institui a campanha permanente de incentivo à arborização da cidade. Prefeitura do Município de São Paulo, SP, 18 ago. 1998.
- _____. Decreto Municipal 53.889, de 8 de maio de 2013. Regulamenta o Termo de Compromisso Ambiental – TCA. Prefeitura do Município de São Paulo, SP, 8 mai. 2013.
- _____. Decreto Municipal 54.423, de 3 de outubro de 2013. Introduz alterações no Decreto nº 53.889, de 8 de maio de 2013, que regulamenta o Termo de Compromisso Ambiental – TCA. Prefeitura do Município de São Paulo, SP, 3 out. 2013.
- _____. Decreto Municipal 57.565, de 27 de dezembro de 2016. Regulamenta procedimentos para a aplicação da Quota Ambiental, nos termos da Lei nº 16.402, de 22 de março de 2016. Secretaria do Governo Municipal, São Paulo, SP, 27 dez. 2016.
- _____. Lei Municipal 10.365/87, de 22 de set. de 1987. Disciplina o Corte e a Poda de Vegetação de Porte Arbóreo Existente no Município de São Paulo, São Paulo, SP. Diário Oficial do Município de São Paulo, São Paulo, SP, 23 set. 1987.
- _____. Lei Municipal 12.196, de 18 de setembro de 1996. Dispõe sobre Campanha Permanente de Incentivo de arborização de ruas, praças e jardins da Cidade. Diário Oficial do Município de São Paulo, SP, 19 set. 1996.
- _____. Lei Municipal 16.402, de 22 de março de 2016. Disciplina o parcelamento, o uso e a ocupação do solo no Município de São Paulo, de acordo com a Lei nº 16.050, de 31 de julho de 2014 - Plano Diretor Estratégico (PDE). Secretaria do Governo Municipal, São Paulo, SP, 22 mar. 2016.
- _____. Manual Técnico de Arborização Urbana. São Paulo: Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente, 2015b. 126p. Disponível em <prefeitura.sp.gov.br/arborizacao/urbana> Acesso em 15 dez. 2017.
- _____. Portaria 130, de 2013. Disciplina os critérios e procedimentos de compensação ambiental pelo manejo de espécies arbóreas, palmeiras e coqueiros, por corte, transplante ou qualquer outra intervenção ao meio ambiente no município de São Paulo. Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente, São Paulo, SP, 2013.
- _____. Portaria 6, de 2016. Dispõe sobre Campanha Permanente de Incentivo de arborização de ruas, praças e jardins da Cidade. Secretaria Municipal do Verde e do Meio Ambiente, São Paulo, SP, 2016.
- _____. Projeto de Lei Municipal nº 568, de 27 de outubro de 2015. Dispõe sobre a criação do incentivo fiscal denominado IPTU Verde. São Paulo, SP, 27 out. 2015.
- SCHERER, M. J.; FEDRIZZI, B. M. Jardins verticais: potencialidades para o ambiente urbano. *Revista Latino-Americana de Inovação e Engenharia de Produção*, v. 2, n. 2, p. 49-61, 2014.
- SILVA FILHO, D.F. et al. Banco de dados relacional para cadastro, avaliação e manejo da arborização em vias públicas. *Revista Árvore*, v.26, n.5, p.629-642, 2002.
- SLABBEKOORN, H.; RIPMEESTER, E. A. Birdsong and anthropogenic noise: implications and applications for conservation. *Molecular Ecology*, v.17, p.72–83, 2008.

- STROHBACH, M. W.; HAASE, D.; KABISCH, N. Birds and the city: urban biodiversity, land use, and socioeconomics. *Ecology and Society*, v. 14, n. 2, 2009.
- TENG, M., WU, C., ZHOU, Z., LORD, E., ZHENG, Z. Multipurpose greenway planning for changing cities: A framework integrating priorities and a least-cost path model. *Landscape and Urban Planning*, v. 103, p. 1–14, 2011.
- TEWKSBURY, J. J. et al. Corridors affects plants, animals, and their interactions in fragmented landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 99, p.12923–12926, 2002.
- TRATALOS, J. et al. Bird densities are associated with household densities. *Global Change Biology*, v. 13, n. 8, p. 1685–1695, 2007.
- VELASCO, G. N. Arborização viária x sistemas de distribuição de energia elétrica: avaliação dos custos, estudo das podas e levantamentos de problemas fitotécnicos. 2003. 94p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que a aplicação de métricas da Ecologia da Paisagem são relevantes para o planejamento da infraestrutura verde urbana, uma vez que permite discutir a relação entre a morfologia e os usos associados aos fragmentos, bem como analisar a conectividade funcional da paisagem.

O estudo avança ao considerar aspectos biológicos da avifauna, como capacidade de deslocamento e adaptabilidade ao meio urbano, o que permitiu identificar os fragmentos críticos para a conectividade funcional da paisagem, bem como os locais mais apropriados para a implantação de corredores verdes.

Como diretrizes gerais para o planejamento da infraestrutura verde da área de interesse, destacamos a preservação dos fragmentos de vegetação arbórea-arbustiva prioritários para a conservação da biodiversidade, a promoção ao acesso e ao uso múltiplo das áreas com potencial para tanto, e o aumento da conectividade da paisagem, principalmente por meio da implementação de corredores verdes.

Vale lembrar que os fragmentos de vegetação periurbanos mostraram-se mais significativos para a conservação da biodiversidade, e que estas informações devem ser consideradas no âmbito do planejamento urbano, principalmente na aprovação de novos parcelamentos e implantação de infraestruturas, priorizando a conservação desses espaços. As diretrizes previstas no Plano Diretor Estratégico do Município de São Paulo, como a ampliação das zonas de proteção e preservação ambiental, incentivo ao adensamento construtivo nos eixos de transporte, de forma a minimizar o avanço da urbanização sobre as áreas de proteção ambiental, e a criação de novos parques, são iniciativas que vão ao encontro das medidas propostas neste estudo, e que devem ser favorecidas e efetivamente fiscalizadas.

Cabe ressaltar que a relação entre a área e a forma é um indicativo do potencial ecológico de um fragmento de vegetação muito utilizado em estudos de Ecologia da Paisagem, contudo, outros fatores determinantes do processo, como a integridade de suas relações ecológicas, a composição e diversidade florística, dentre outros fatores, só podem ser analisados *in loco*, e portanto, sua investigação é limitada pela escala do presente estudo.

Ao analisar os instrumentos legais, estratégias e incentivos referentes à infraestrutura verde na cidade de São Paulo, notamos que ocorreram avanços nos últimos anos, principalmente com relação à sua conservação. Todavia, os meios de incentivo ainda são deficitários em garantir o incremento da vegetação urbana. Quando pensamos nos espaços vegetados de forma tradicional, regiões como o centro de São Paulo parecem não comportar o incremento de vegetação indicado, contudo, quando consideramos as estratégias apresentadas no Capítulo 3, notamos que existem diversas possibilidades para tanto, que serão consolidadas somente se ocorrerem mudanças de paradigmas no planejamento e gestão dos espaços públicos e privados.

Vale destacar que apesar de o estudo focar no aumento da cobertura vegetal nos corredores verdes simulados, o incremento de vegetação nas áreas urbanas deve ser sempre incentivado, tendo em vista os benefícios ambientais, sociais e econômicos que promovem. Além disso, foi verificada a importância dos pequenos espaços vegetados na conectividade funcional da paisagem, o que pode gerar um importante subsídio para o planejamento da infraestrutura verde na escala local. Esses espaços possuem uma grande diversidade de usos, e estão fortemente associados a benefícios sociais, como conforto térmico, bem estar psicológico, produção de alimentos, redução de poluentes, dentre outros, constituindo uma excelente alternativa para o incremento de vegetação em áreas urbanas.

Espera-se que este estudo motive ações de planejamento que priorizem a infraestrutura verde urbana, considerando o seu potencial para a promoção da qualidade ambiental e da qualidade de vida nas grandes cidades. Essas ações devem ser detalhadas sob a forma de projetos específicos, contando com equipes transdisciplinares e ampla consulta pública. Nesse ponto, devem ser considerados aspectos como o desenho urbano, uso e propriedade da

terra, mobilidade, características do entorno, interesses sociais, políticos e econômicos, dentre outros, que não foram contemplados no presente estudo.

Essa proposta não deve ser usada indiscriminadamente, uma vez que parte da análise dos valores de métricas da paisagem obtidos para os fragmentos de vegetação arbórea-arbustiva da área de estudo. Dessa forma, os valores numéricos apresentados estão relacionados ao contexto da cidade de São Paulo, e podem não fazer sentido para outras realidades. Contudo, apesar das especificidades de nosso recorte espacial de aplicação, acreditamos que é possível extrapolar a metodologia desenvolvida neste trabalho para outras regiões da cidade de São Paulo, ou mesmo para outras cidades.

Por fim, esse trabalho abre possibilidades para novos estudos que relacionem métricas da paisagem e planejamento urbano a partir de diferentes perspectivas, que vai desde a escala regional, para o planejamento dos grandes maciços florestais e zonas de expansão urbana, chegando à escala local, nas unidades de quadras e lotes, para o planejamento de pequenos espaços vegetados, e definição de parâmetros para ocupação urbana.