

Inteligência geográfica na construção de políticas públicas: rumo à plataforma de monitoramento de áreas verdes urbanas do Estado de São Paulo

Geographical intelligence in the implementation of public policies: towards a monitoring platform of urban green areas in the State of São Paulo

Inteligencia geográfica en la construcción de políticas públicas: hacia la plataforma de monitoreo de zonas verdes urbanas del Estado de São Paulo

Marcel Fantin¹

Julio Cesar Pedrassoli²

Breno Malheiros de Melo³

Gustavo Paixão Menezes³

Marcos Roberto Martines⁴

Recebido em: 11/10/2021; revisado e aprovado em: 31/01/2022; aceito em: 15/03/2022

DOI: <http://dx.doi.org/10.20435/inter.v23i3.3533>

Resumo: Este artigo apresenta o estado da arte de uma plataforma de monitoramento de áreas verdes urbanas – UrbVerde – para municípios do Estado de São Paulo. Sua construção se baseia em *Cloud Computing* e sensoriamento remoto orbital. Objetiva-se prover métricas de monitoramento das desigualdades socioambientais a partir das escalas municipal e intraurbana, incluindo indicadores de vegetação, temperatura de superfície e sistemas de espaços livres (parques e praças), relacionando-os com dados populacionais agrupados por setores censitários. Constitui-se, assim, uma base de informações acompanháveis e de livre acesso com potencial de aplicação para a construção de políticas públicas, a exemplo do programa Município VerdeAzul. Por meio das ferramentas interativas de análise e correlação de dados, destaca-se o aspecto inter-relacional das variáveis geográficas envolvidas, representando um ganho de inteligência de governança. Além disso, a abordagem utilizada fornece novos olhares sobre a distribuição e a acessibilidade das infraestruturas verdes nos municípios, promovendo a sensibilização dos gestores e uma maior inclusão da população nos processos de tomada de decisão. Deste modo, espera-se, com o apoio de uma tecnologia disruptiva, estimular conjuntamente o processo de suporte à decisão para a retomada verde na Década da Restauração de Ecossistemas (2021-2030), viabilizando o processo de transformação dos municípios em cidades inteligentes e sustentáveis.

Palavras-chave: *Cloud Computing*; *Google Earth Engine*; áreas verdes urbanas; monitoramento ambiental; desigualdade socioambiental.

Abstract: This article presents the state of the art of a monitoring platform for urban green areas – UrbVerde – in the municipalities of the São Paulo State. Its construction is based on Cloud Computing and orbital remote sensing. The objective is to provide metrics for monitoring socio-environmental inequalities from a local and intraurban scale, including vegetation indexes, surface temperature, and open space systems (parks and squares), relating them to population aspects grouped by censitary sectors. It, thus, constitutes a trackable information base with potential for the implementation of public policies, such as the *Municípios VerdeAzul* program. Through interactive data analysis and correlation tools, the inter-relational aspect of the involved geographic variables is highlighted, representing a gain of governance intelligence. In addition, the approach in use provides new insights into the distribution and accessibility of municipalities' green infrastructure, promoting awareness among managers and greater inclusion of the population in decision-making processes. In this way, it is expected, with the support of disruptive technology, to jointly stimulate the processes of decision support for green recovery in the Decade of Ecosystem Restoration (2021-2030), enabling the process of transforming the municipalities into smart and sustainable cities.

Keywords: Cloud Computing; Google Earth Engine; urban green areas; environmental monitoring; socio-environmental inequality.

¹ Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, São Paulo, Brasil.

² Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, Bahia, Brasil.

³ Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP), São Carlos, São Paulo, Brasil.

⁴ Universidade Federal de São Carlos (UFScar), São Carlos, São Paulo, Brasil.



Resumen: Este artículo presenta el estado del arte de la plataforma de monitoreo de áreas verdes urbanas – UrbVerde – para municipios del Estado de São Paulo. Su construcción se basa en *Cloud Computing* y teledetección orbital. El objetivo es proporcionar métricas para el seguimiento de las desigualdades socioambientales desde las escalas municipal e intraurbana, incluyendo indicadores de la vegetación, la temperatura superficial y el sistema de espacios abiertos (parques y plazas), relacionándolos con los datos de población agrupados por sectores censales. Se constituye, así, una base de informaciones rastreables y de libre acceso con potencial de aplicación en la construcción de políticas públicas, como el programa Municipio VerdeAzul. A través de las herramientas interactivas de análisis y correlación de datos, se resalta el aspecto interrelacional de las variables geográficas involucradas, lo que representa un incremento en inteligencia de gobernanza. Además, el enfoque utilizado proporciona nuevos conocimientos sobre la distribución y accesibilidad de la infraestructura verde en los municipios, promoviendo la concienciación entre los administradores y una mayor inclusión de la población en los procesos de toma de decisiones. De esta forma, se espera, con el apoyo de una tecnología disruptiva, estimular de manera conjunta el proceso de soporte a las decisiones para la recuperación verde en la Década de Restauración de Ecosistemas (2021-2030), viabilizando el proceso de transformación de los municipios en ciudades inteligentes y sustentables.

Palabras clave: *Cloud Computing*; *Google Earth Engine*; zonas verdes urbanas; monitoreo ambiental; desigualdad socioambiental.

1 INTRODUÇÃO

A população mundial deve ultrapassar os atuais 7,9 bilhões de indivíduos em 2021 e chegar a 9,7 bilhões em 2050. Ao mesmo tempo, prevê-se que a proporção global de pessoas que vivem em áreas urbanas cresça dos 56% atuais para 75% (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS [ONU], 2019).

Conjuntamente a esses fenômenos sincrônicos de transição demográfica e urbana, tem-se que a associação e o uso de tecnologias digitais no planejamento e na gestão do cotidiano urbano se tornaram um imperativo global.

No caso do Brasil, porém, tais aplicações tecnológicas ainda são escassas e há uma defasagem entre os dados disponíveis para monitoramento anual e sua utilização no planejamento urbano, visto que grande parte das municipalidades do país vêm enfrentando dificuldades para a modernização da gestão no mesmo ritmo que o avanço tecnológico global.

Diante da emergência da dimensão ambiental urbana, a produção de informação espacial, a partir de novas tecnologias de sensoriamento remoto, sistemas digitais inteligentes e processamento de dados em nuvem, disponibiliza informações atualizadas com baixo custo operacional, alto rigor técnico e bom nível de detalhamento espaço-temporal, a exemplo da iniciativa MapBiomas (SOUZA *et al.*, 2020).

A implementação de ações municipais de retomada verde para alcançar os objetivos propostos na Década da Restauração dos Ecossistemas (2021-2030), com foco na qualidade de vida urbana e notadamente com ações de arborização urbana que também contribuam na gestão de recursos hídricos, mitigação de ilhas de calor e na constituição de sistemas de espaços livres acessíveis, compõe um conjunto de processos em lento andamento, os quais podem ser estimulados e beneficiados pelas novas tecnologias de monitoramento ambiental.

Entretanto, as iniciativas consolidadas de monitoramento ambiental, como o Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia (PRODES) e o MapBiomas, apresentam olhares restritos a uma escala regional a qual não permite prover informações adequadas para a compreensão e o monitoramento de processos específicos associados ao desenvolvimento ambiental sob a perspectiva das cidades.

É neste contexto que o conjunto de novas tecnologias baseadas em computação em nuvem e que vêm sendo exploradas a partir do *Google Earth Engine (GEE)* abre uma janela de

oportunidades para a construção de plataformas customizáveis, com análise espaciais complexas e escala de trabalho adequada à compreensão do espaço intraurbano (ROSA, 2018).

Nesse sentido, o presente artigo procura apresentar o estado da arte e as perspectivas futuras da construção de um protótipo customizado de plataforma de monitoramento ambiental intraurbano (Plataforma UrbVerde), com ênfase na autonomia do usuário, para monitorar a dinâmica ambiental urbana dos municípios do estado de São Paulo.

Com foco na mudança dos paradigmas atuais de produção e uso de dados geoespaciais anuais para planejamento ambiental urbano em níveis estadual e municipal, a presente Plataforma procura prover um ferramental de suporte à decisão que envolve a disponibilização de dados sobre vegetação total agrupados por setor censitário – o Índice de Cobertura Vegetal (ICV) e o Percentual de Cobertura Vegetal (PCV) –, bem como variação de temperatura de superfície e indicadores de desigualdade socioambiental, com acesso por meio de uma interface *web* em que serão possíveis a consulta, filtragem e exportação dos dados.

Com isso, pretende-se contribuir para acelerar processos de retomada verde por meio da produção de dados atualizáveis e empoderar gestores para a construção de políticas públicas. No âmbito estadual, pretende-se contribuir para o aperfeiçoamento dos indicadores de áreas verdes do Programa Município VerdeAzul (PMVA), do Governo do Estado de São Paulo.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O arcabouço ferramental adotado inclui *softwares* de código aberto, como QGIS, plataformas de processamento em nuvem voltadas à pesquisa, como o *Collaboratory* e *Earth Engine* do Google, além de fontes de dados públicos, como imagens dos satélites *Sentinel II*, *Landsat 8* e dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Segundo Gorelick *et al.* (2017), o *Google Earth Engine* (GEE) é uma das principais ferramentas quando se trata de processamento em larga escala utilizando *Cloud Computing*. Seu ambiente de trabalho baseado em uma interface de programação tem uma extensa biblioteca de produtos de sensoriamento remoto, além de bancos de dados sobre informações geográficas e estatísticas desenvolvidos por universidades, órgãos governamentais, iniciativa privada e terceiro setor. Todo esse aparato encontra-se reunido em uma única ferramenta disponível on-line, sem a necessidade de instalação de *softwares*.

2.1 Dados utilizados

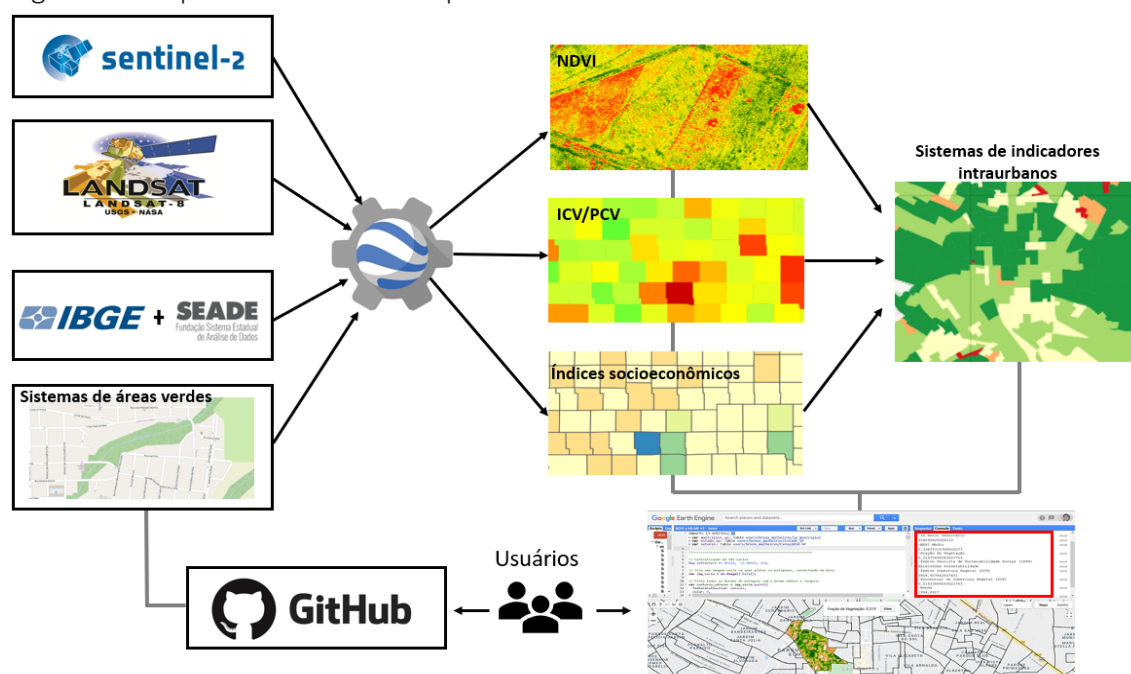
Os dados utilizados para o cálculo e a extração de informações sobre vegetação foram as imagens do satélite *Sentinel II*, que engloba o seu lançamento em 2015 e sua disponibilização contínua e gratuita, sendo este o horizonte temporal abarcado pela UrbVerde. Com período de revisita de 5 dias – resolução temporal – e disponibilidade de imagens a partir de junho de 2015, a missão *Sentinel II* possibilita a criação de ortomosaicos para extração de informações associadas ao tipo e à qualidade de vegetação observada, por meio da análise das respostas espectrais relacionadas ao infravermelho próximo, uma vez que essa grande quantidade de observações anuais permite contornar o problema de nuvens e a construção de dados agregados anualmente, caracterizando a resolução temporal proposta pela UrbVerde.

As imagens do *Sentinel II* são a base de extração do índice de vegetação com diferença normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* [NDVI]) que integra o projeto. Além disso,

a série de imagens do satélite *Landsat 8*, cuja resolução espacial é de 30 m e a temporal de 16 dias, vem sendo utilizada para a obtenção da fração de vegetação por pixel pelo método Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME). A desmixelagem espectral possibilita o cálculo da proporção de vegetação que compõe cada pixel individualmente, e este dado é necessário para os posteriores cálculos do ICV e PCV, que relacionam quantidade de vegetação por habitante e por área.

Um dos objetivos da UrbVerde é também a construção de membros de referência para a extração da fração de vegetação por mistura espectral utilizando as imagens do *Sentinel II*, incrementando a resolução deste dado para 10 m a partir do ano de 2016 e ajustado para o Estado de São Paulo. Além disso, utilizam-se os dados sociodemográficos advindos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística agregados em setores censitários (tais como renda, acesso à água, esgoto etc.) e do Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (IPVS), além do mapeamento dos limites de praças, parques e demais áreas verdes/lazer para os municípios do Estado de São Paulo. A Figura 1 apresenta o esquema conceitual proposto para a UrbVerde.

Figura 1 – Esquema conceitual da plataforma UrbVerde



Fonte: Plataforma UrbVerde.

3 AS MÉTRICAS DE COBERTURA VEGETAL URBANA POR SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL

Construir um conceito capaz de abarcar o significado vegetal na cidade, o qual permita a sua identificação e delimitação espacial, vem sendo objeto de discussão científica há algumas décadas, por diversos pesquisadores, como Lima *et al.* (1994), Cavalheiro *et al.* (1999), Nucci *et al.* (2003), Morero *et al.* (2007), Loboda e De Angelis (2009), Benini e Martin (2011), Bargas e Matias (2011), Lucon *et al.* (2013), Londe e Mendes (2014), entre outros.

Tal terminologia importa especialmente na definição de como quantificar a vegetação urbana por meio de indicadores. Especificamente, a partir do uso de imagens de satélite para a identificação e o mapeamento destes espaços verdes urbanos, passa-se a adotar o termo

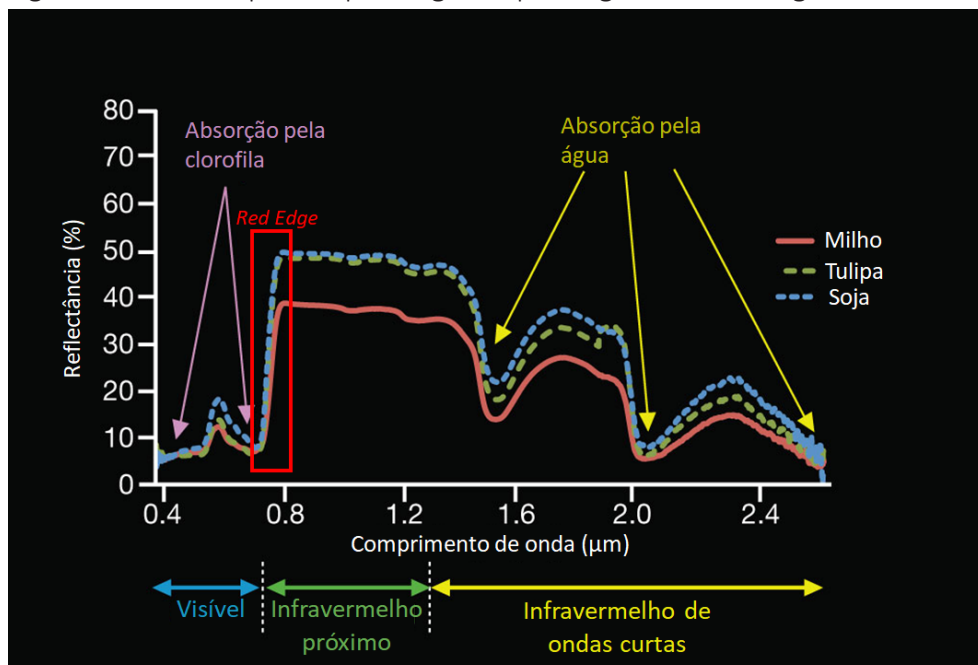
“cobertura vegetal” (LOMBARDO, 1985; 2009), tendo como base a ideia de que o dado registrado em uma imagem, comprimido nos limites do pixel e sua resolução espacial nominal, é relativo ao contínuo de indivíduos vegetais em determinada área, cujo conjunto configurado no dossel (em variadas alturas e densidades) “recobre” uma porção do espaço.

Mapear a cobertura vegetal por meio de produtos de sensoriamento remoto orbital pode ser feito com o uso de métricas espectrais. Duas delas são utilizadas na UrbVerde, Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e mistura espectral, as quais são detalhadas a seguir.

3.1 Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)

A camada NDVI tem informações relacionadas ao índice de reflexão dos comprimentos de onda refletidos por plantas. Especificamente, aborda a relação de amplitude entre os comprimentos do vermelho e do infravermelho próximo, região do espectro conhecida como *red edge*, como observamos na Figura 2.

Figura 2 – Curva espectral para alguns tipos vegetais e Red Edge



Fonte: Adaptado de Eric Brown. Disponível em: https://science.nasa.gov/ems/08_nearinfraredwaves

Por sua definição matemática, a variação dos valores do índice se dá em função da densidade do dossel vegetal (ou biomassa fotossinteticamente ativa), sendo que valores maiores indicam maior presença de vegetação. Do ponto de vista prático, a sua implementação permite a identificação de áreas vegetadas, assim como permite avaliar sua saúde. O índice varia de -1 a 1, em que, em valores negativos, espera-se vegetação morta ou ausência dessa. O valor do NDVI de cada pixel (10 x 10 m) é calculado por meio da equação 1 abaixo:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

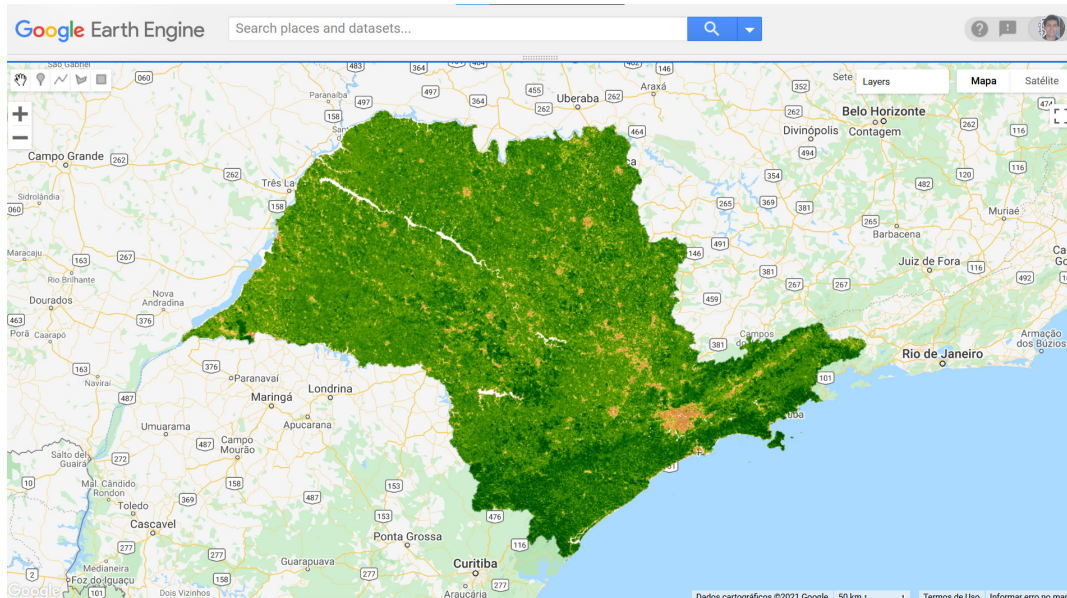
sendo:

NIR = Infravermelho próximo;

RED = Vermelho

Sua aplicação no GEE foi realizada utilizando como feição de corte os setores censitários do Censo 2010 produzido pelo IBGE, aplicando-se uma agregação zonal. A Figura 3 apresenta o cálculo do NDVI para todo o Estado de São Paulo para o ano de 2020, executado no GEE.

Figura 3 – NDVI do Estado de São Paulo em 2020



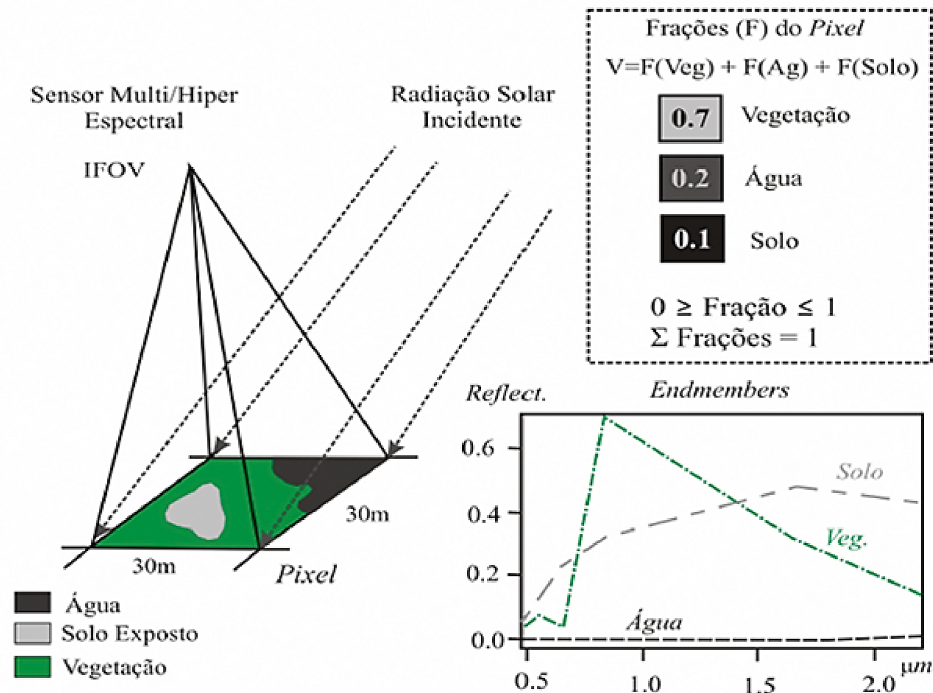
Fonte: Google Earth Engine.

3.2 Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME)

O Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) tem o pressuposto de que todo pixel é composto pela combinação linear da resposta espectral dos diversos alvos em seu interior (SHIMABUKURO; SMITH, 1991). Um pixel “puro” seria aquele que recobre completamente uma área composta por um único alvo (ex.: vegetação, solo exposto, água, neve etc.).

Conhecendo-se as características espectrais de um determinado material alvo torna-se possível a decomposição dos valores de contribuição de cada material para o valor final registrado na resposta espectral de um determinado pixel, processo conhecido como decomposição espectral, no qual são adotados modelos que permitam a decomposição do pixel e identificação da fração correspondente a cada material de interesse (*endmembers*), como mostra a Figura 4.

Figura 4 – Decomposição perfeita de um MLME supondo um pixel de 30 m de resolução espacial e com três componentes: vegetação, água e solo; caso em que o resíduo do modelo é zero

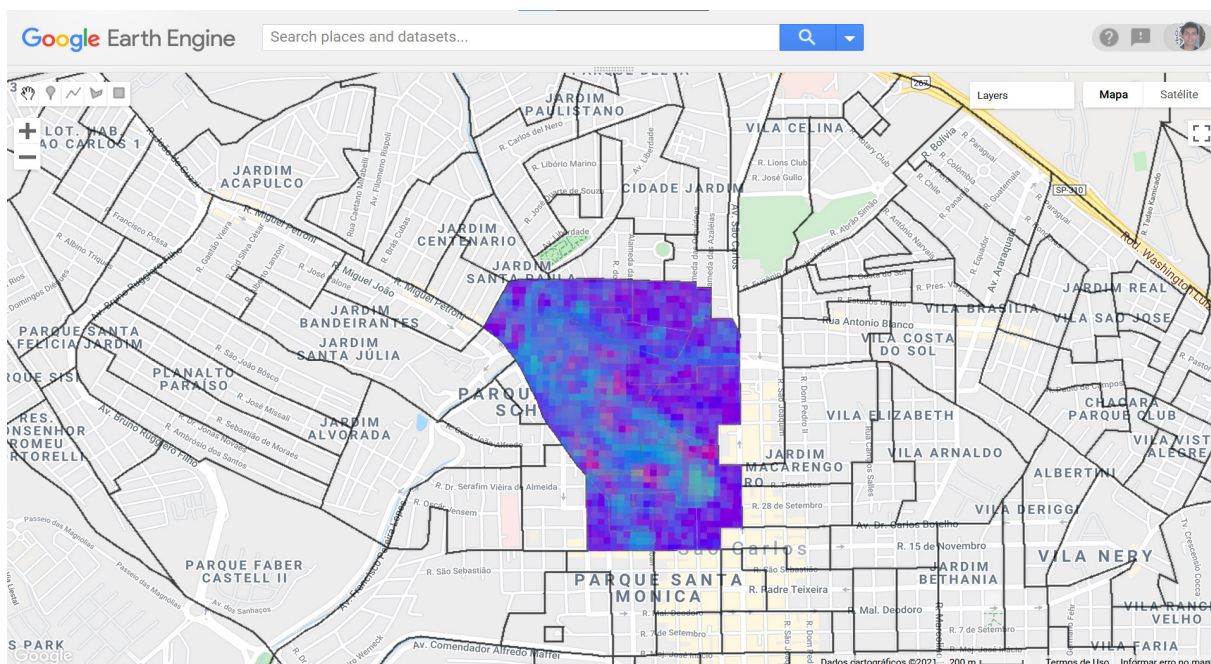


Fonte: Elaboração com dados de Kawakubo (2010), Machado e Small (2013).

Cada membro de referência corresponde ao comportamento do material puro, e pode haver tantos membros de referência quanto as frações que queremos extrair de cada pixel, sendo que a regra geral é de que o número de *endmembers* é igual ao número de bandas espectrais utilizadas no processo, menos um.

Para o presente projeto, foram adotados os *endmembers globais* desenvolvidos por Small e Milesi (2013) para a série *Landsat*. Segundo a análise desenvolvida sobre as amostras utilizadas para criação de *endmembers*, tem-se que 99% da variação espectral dos componentes principais pode ser representada em um espaço tridimensional de componentes principais de baixa ordem. Nesse espaço tridimensional, 98% dos espectros estão contidos dentro de uma correlação substrato, vegetação, sombra (SMALL; MILESI, 2013).

Para execução do algoritmo MLME, foi utilizada a melhor imagem *Landsat* disponível no período de um ano, e, sobre ela, aplicada a função *unmix* nativa do GEE. A função recebe como entrada a imagem objeto de análise e uma lista com os parâmetros dos *endmembers* a serem reconhecidos. Assim como no NDVI, o algoritmo é aplicado diretamente sobre o setor censitário. O resultado é apresentado na Figura 5 abaixo.

Figura 5 – MLME para setores censitários nas proximidades do *Campus I* da USP em São Carlos, SP

Fonte: Google Earth Engine.

3.3 Índice de Cobertura Vegetal (ICV) e Percentual de Cobertura Vegetal (PCV)

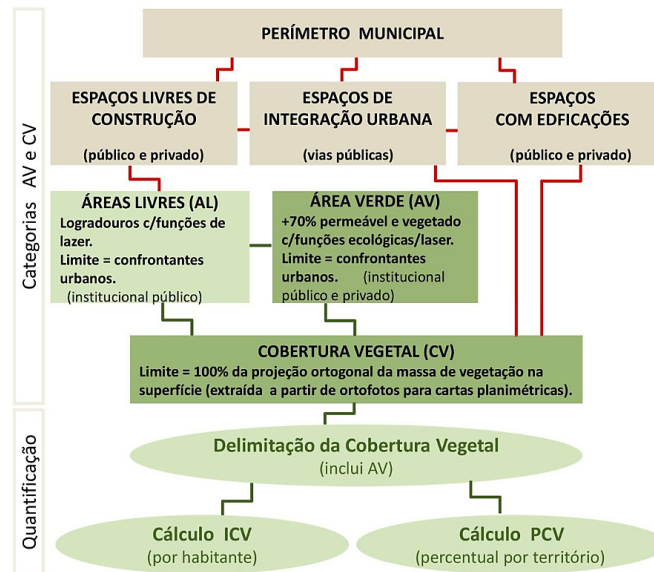
O Índice de Cobertura Vegetal (ICV), que apresenta a distribuição de vegetação *per capita*, foi aplicado por setor censitário ou mancha urbana selecionada. Para a agregação do cálculo desse índice, são utilizados os limites dos setores censitários provenientes do Censo Demográfico de 2010, disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), e a fração de vegetação por pixel (MLME) obtida para a área. Dessa forma, o cálculo realizado pode ser descrito pela equação 2:

$$ICV = \frac{\text{Área} \times \text{Fração de Vegetação}}{\text{População}} \quad (2)$$

Já o Percentual de Cobertura Vegetal (PCV), que traz a densidade de vegetação por área de análise, é obtido de maneira análoga ao índice anterior, sendo que foi utilizada a fração de vegetação obtida pela MLME. Matematicamente, temos que o PCV corresponde diretamente à fração de vegetação.

As relações entre as métricas do ICV e do PCV podem ser mais bem compreendidas no esquema proposto por Santos (2018), organizado a partir das definições de Cavalheiro *et al.* (1999), Buccheri Filho e Nucci (2006), apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Relações entre ICV e PCV

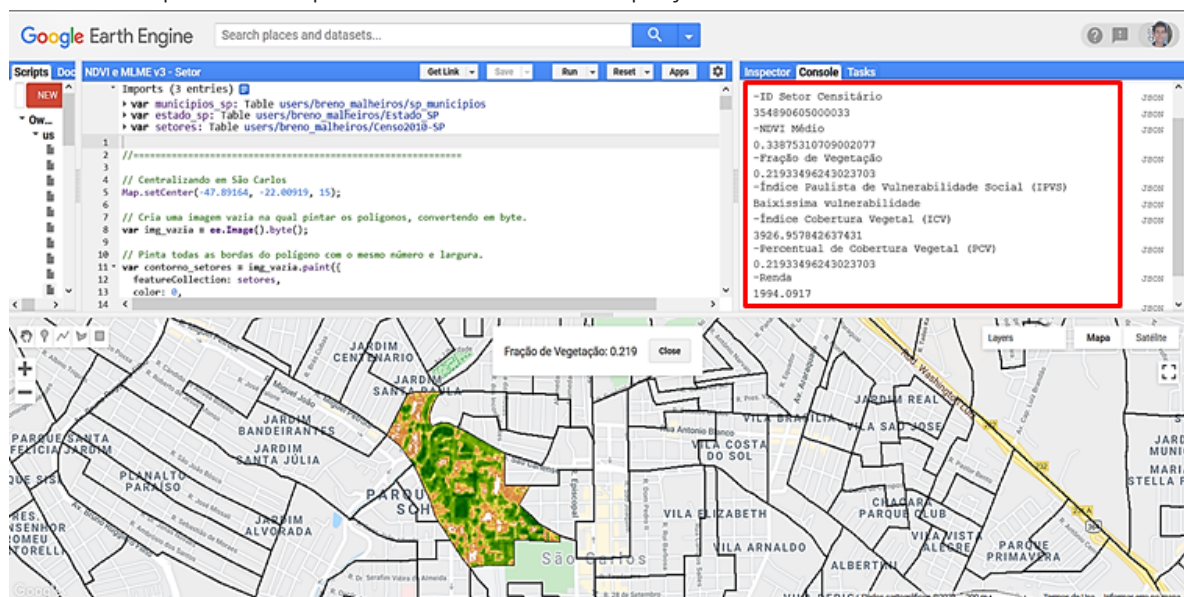


Fonte: Santos (2018).

3.4 Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (IPVS)

O Índice Paulista de Vulnerabilidade Social (IPVS) é um índice sintético que busca fornecer ao poder público dados sobre a desigualdade social no Estado de São Paulo (SEADE, 2013). Construído a partir dos dados do Censo 2010, o IPVS abarca uma série de dados sociais além da renda, os quais permitem categorizar os setores censitários em sete estratos de vulnerabilidade que classificam os assentamentos humanos urbanos e rurais. Esse índice, que norteia políticas públicas no Estado de São Paulo, foi incorporado à base de dados da plataforma UrbVerde de forma a constituir um ferramental para correlação e análise das informações obtidas com as etapas anteriores (Figura 7).

Figura 7 – Interface de desenvolvimento da plataforma UrbVerde com o IPVS e demais indicadores produzidos para a base de dados do projeto



Fonte: Google Earth Engine.

3.5 Qualidade socioambiental

O índice sintético foi produzido com base nas médias de NDVI (*Sentinel II*) e PCV (*Landsat 8*) consolidadas por setor censitário do Censo 2010, abastecimento de água (IBGE), Coleta de Lixo (IBGE) e Renda (IBGE), seguindo o método apresentado por Morato (2008). Para construção do índice, foram utilizados critérios adotados no cálculo do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), aplicando a normalização dos dados seguindo a equação 3:

$$\text{Índice } ij = \frac{V_{ij} - V_{i,min}}{V_{i,max} - V_{i,min}} \quad (3)$$

Sendo:

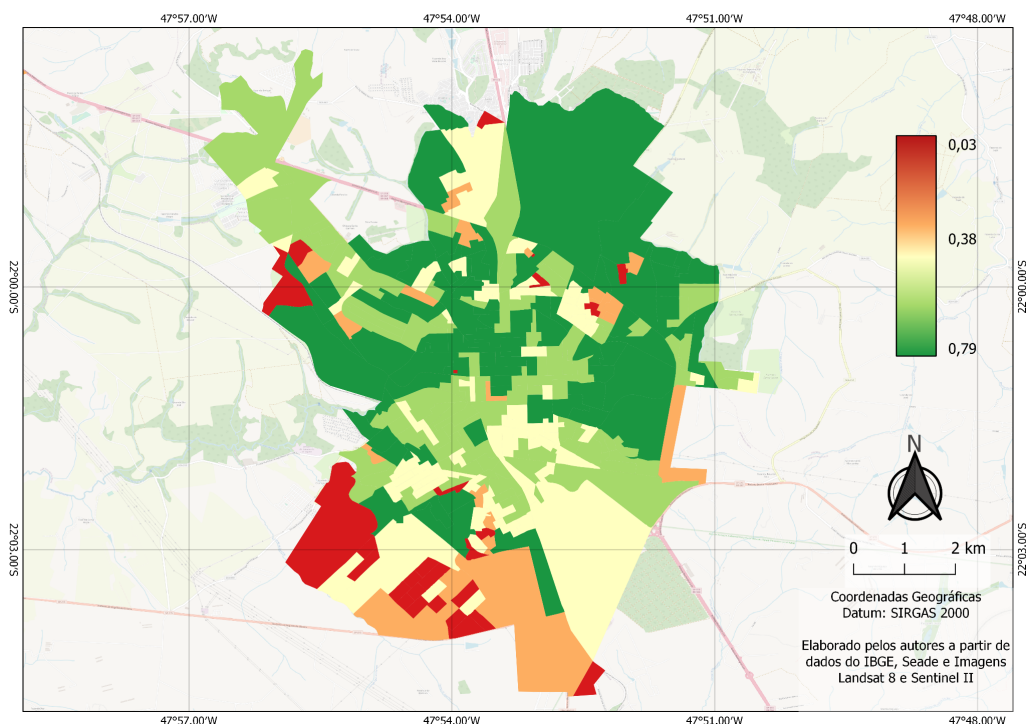
V_{ij} : valor do indicador i no setor j

$V_{i,min}$: valor mínimo do indicador i no universo de dados

$V_{i,max}$: valor máximo do indicador i no universo de dados

Após a normalização dos dados, o índice de qualidade socioambiental urbana é obtido para cada um dos municípios do estado, a partir da média dos índices apresentados. A Figura 8 apresenta o exemplo para o município de São Carlos.

Figura 8 – Indicador de qualidade socioambiental para São Carlos, SP (2020)



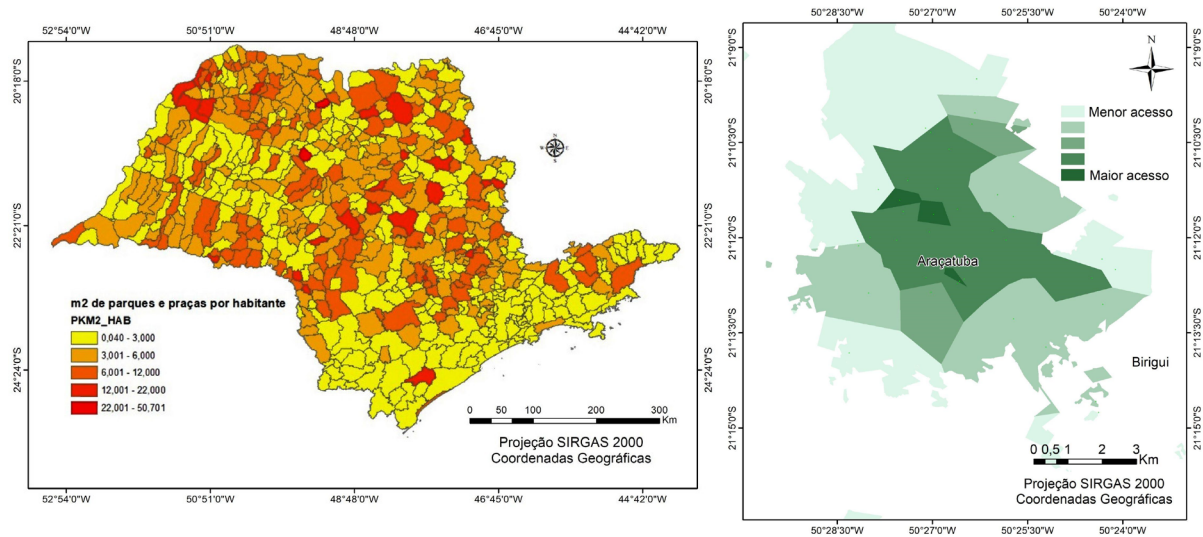
Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados do IBGE, Seade e Imagens Landsat 8 e Santinel II.

3.6 Parques e praças do estado de São Paulo e diagrama de Voronoi

Para a identificação dos sistemas de espaços livres (SEL) do estado de São Paulo, foram coletadas informações de diversos bancos de dados públicos, bem como realizadas atualizações e complementação de lacunas por fotointerpretação manual no *Google Earth* e identificação de nomes de parques e praças por consulta de palavras-chave na *internet*. Os dados foram filtrados

de acordo com categorias associadas a parques e praças, possibilitando a construção de um banco de dados unificados dessas infraestruturas verdes. Com base na área desses equipamentos, foi possível uma análise de sua distribuição por habitantes para cada município do Estado (Figura 9).

Figura 9 – Distribuição de Parques e Praças por Habitante para municípios de São Paulo e Diagrama de Voronoi aplicado aos Sistemas de Espaços Livres (SEL) de Araçatuba, SP



Fonte: Aurenhammer e Klein (2000).

Aos dados obtidos, foram aplicados diagramas de Voronoi, de forma a obter uma distribuição baseada em dados espaciais de um dado plano, para um dado conjunto de pontos. O diagrama representa a distribuição dos lugares geométricos mais próximos a cada ponto (AURENHAMMER; KLEIN, 2000). Na prática, os polígonos formados pelo diagrama nos permitem identificar matematicamente as áreas de influência de cada um dos equipamentos.

No caso de estudo da distribuição de parques e praças, o presente diagrama permitiu setorizar a área urbana em função desses equipamentos para todo o Estado de São Paulo, como apresentado na Figura 9. Com isso, é possível avaliar as desigualdades de acesso a esses equipamentos públicos, assim como planejar sua melhor distribuição no ambiente urbano.

4 PERSPECTIVAS FUTURAS

A revolução dos paradigmas atuais de produção e divulgação de produtos de inteligência geográfica é um forte incentivo para construção de plataformas webSIG que venham a promover a implantação da cultura digital no planejamento urbano dos municípios. Para além da popularização da programação nos meios acadêmicos e da capacitação técnica no uso de *softwares* (como QGIS, ARCGis etc.), também é cada vez mais almejável que sejam desenvolvidas ferramentas interativas de análise espacial, as quais permitam ao usuário final concentrar-se mais amplamente em seu objeto de estudo, rompendo a limitação de ter conhecimentos técnicos específicos ou de programação para acesso e interpretação dos dados, facilitando o acesso ao fazer científico.

Retrospectivamente, assim como o *Google Earth* democratizou o acesso popular à visualização dos mosaicos de imagens satelitais desde 2004, o *Google Earth Engine*, por sua vez,

gerou um grande impacto na cadeia de produção científica a partir de 2015, ao facilitar o emprego de recursos na nuvem, para elaboração de produtos cartográficos, especialmente os ligados à dimensão ambiental, sendo o Brasil o terceiro país no mundo com o maior número de artigos publicados utilizando a plataforma, segundo levantamentos recentes (KUMAR; MUTANGA, 2018). Vislumbra-se então que, após 10 anos, durante a Década da Restauração dos Ecossistemas da ONU (2021-2030), as plataformas webSIG emergentes assumam o papel de conciliar o crescente volume de produção cartográfica com os esforços de divulgação científica e de inclusão efetiva da participação coletiva na construção de políticas públicas locais. São exemplos a partir de dados do censo de 2010 do IBGE: o Mapa Racial do Brasil, criado pelo Instituto Pata, sobre a segregação racial; e os mapas do Lab Cidade FAU-USP, sobre a desigualdade territorial na disseminação de covid-19 e da vacinação na região metropolitana de São Paulo.

É dentro desse contexto que se pretende estruturar uma interface que permita ao usuário consultar, filtrar e ter acesso de forma geral ao sistema, para inserir e analisar dados de seu interesse, além de disponibilizar ferramentas intuitivas que executam os algoritmos de análise da distribuição espacial, como os diagramas de Voronoi, clusterização, mapas de calor, perfil de indicadores ao longo de um dado traçado ou região de interesse, cruzamento com dados dos setores censitários, bem como análise da evolução temporal dos dados.

Pretende-se, também, com a evolução e maturação da plataforma, disponibilizar um compilado atualizado de novas camadas de dados para tratar de temas que são importantes para a qualidade ambiental urbana, em especial quando são apresentados em seu aspecto inter-relacional, como por meio da sobreposição das camadas de temperaturas de superfície, recursos hídricos locais e infraestruturas verdes, possibilitando visualizar o cruzamento desses *assets*, analisar as correlações estatísticas e a evolução dos dados por meio da interação do usuário.

O fenômeno de ilhas de calor urbanas descrito pelas zonas onde as temperaturas de superfície são mais elevadas que a média, por exemplo, pode ser analisado em relação à caracterização das populações mais vulneráveis e sua distribuição espacial (SIQUEIRA-GAY; DIBO; GIANNOTTI, 2017), mas também está diretamente conectado à arborização urbana. Com a plataforma, pode-se evidenciá-lo para cada municipalidade sobrepondo as camadas, colocando então em perspectiva aspectos urbanísticos locais específicos, como os índices de cobertura vegetal levantados, as atividades econômicas desenvolvidas, terminais de transporte presentes, densidade habitacional, proximidade a corpos hídricos urbanos, dentre outros, promovendo, assim, *insights* valiosos para o planejamento inclusivo de soluções integradas em parques lineares, corredores verdes e políticas de arborização urbana.

Além disso, se, por um lado, a plataforma fomenta o desenvolvimento local e regional ao apresentar aspectos relevantes para a formulação de políticas públicas em níveis estadual e municipal, permitindo também aos municípios a produção de diagnósticos para a captação de recursos e elaboração de planos e projetos de qualificação de áreas verdes urbanas, por outro lado, é importante pensar, ainda, a comunicação e a interação com a sociedade civil.

Portanto, entende-se que a sociedade civil pode contribuir para inserir informações e sugerir correções na base de dados, principalmente no que se refere a informações qualitativas sobre os sistemas de espaços livres das cidades paulistas, integrando as informações fornecidas em bases de dados abertas, como o Cadastro Ambiental Urbano (CAU) e o *OpenStreetMaps*, fornecendo, assim, uma dimensão responsiva para a gestão das cidades. Ao mesmo tempo, faz-se necessário pensar numa estrutura de linguagem visual inclusiva que atenda e seja inteligível

aos diferentes públicos-alvo, além de considerar a acessibilidade do *website*. Assim, pretende-se promover o desenvolvimento territorial a partir de múltiplos atores, os quais são estimulados a consultar e opinar sobre projetos finalizados, além de futuros projetos em discussão durante a apresentação desses.

Em síntese, as inovações atuais da computação em nuvem e o ganho de inteligência geográfica abrem como perspectivas futuras um acompanhamento detalhado das dinâmicas intraurbanas de formação do território, nos 645 municípios do estado, graças ao ganho de escala na produção, padronização e disponibilização do compilado de dados e camadas, além do ferramental para análise, ampliando, assim, acesso de governos e sociedade civil às informações cartográficas sobre áreas verdes urbanas.

5 CONCLUSÕES

Os sistemas de áreas verdes urbanas desempenham diversas funções relacionadas às necessidades ecológicas e psicossociais. Têm papel importante na regulação microclimática e na manutenção de padrões de biodiversidade, bem como são nexos de conexão social entre pessoas, e, conjuntamente, todos estes aspectos têm um impacto significativo na saúde da cidade e do bem-estar coletivo.

Ao avançar para a escala intraurbana, a plataforma UrbVerde busca, a partir do referencial de Sporn (1995) e do Objetivo do Desenvolvimento Sustentável n. 11 (tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis), desenvolver um ferramental que forneça elementos para monitorar a natureza que permeia as cidades paulistas, fornecendo subsídios para o planejamento de cidades que reconheçam as potencialidades naturais locais, seja nas áreas de expansão, seja no redesenho dos centros já estabelecidos, auxiliando na construção de cidades inteligentes e sustentáveis.

Os avanços tecnológicos propiciados pelo *Google Earth Engine* permitiram à equipe UrbVerde identificar diferentes especificidades das áreas verdes urbanas do Estado de São Paulo, possibilitando uma interpretação abrangente desse fenômeno para o desenvolvimento de políticas públicas, incluindo métricas acompanháveis, com possibilidade de comparabilidade, categorização e classificação dos municípios no que se refere a essa temática, com menor risco de interrupções das atividades por falta de recursos para aquisição, tratamento e análise de informações espaciais.

Entretanto, a exploração das diferentes aplicações da plataforma demanda, primeiramente, um engajamento dos municípios e demais usuários no uso desses dados, e eles só o farão se essas informações se provarem como uma ferramenta efetiva na aquisição de recursos financeiros para planos, projetos e intervenções. Em segundo lugar, é importante observar que o baixo investimento em *software* e *hardware* pressupõe também uma maior necessidade de investimento em formação de pessoal e de adequação dos setores técnicos municipais às exigências impostas para inscrição de projetos ambientais e urbanísticos que requerem dados e estudos detalhados para captação de recursos.

Além disso, vale salientar que o olhar construído e voltado a medir as desigualdades intraurbanas, considerando também métricas socioeconômicas na distribuição de áreas verdes, permite priorizar as áreas de maior vulnerabilidade, de forma a promover a democracia urbana na perspectiva da igualdade e do bem viver coletivo.

REFERÊNCIAS

- AURENHAMMER, F.; KLEIN, R. Vonoi Diagrams. In: SACK, J.-R.; URRUTIA, J. (Ed.). *Handbook of computational geometry*, Elsevier Science B.V., Amsterdam, p. 201–90, 2000.
- BARGOS, D. C.; MATIAS, L. F. Áreas Verdes Urbanas: um estudo de revisão e proposta conceitual. *Urbana. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, Piracicaba, v. 6, n. 3, p. 172–88, 2011.
- BENINI, S. M.; MARTIN, E. S. Decifrando as áreas verdes públicas. *Revista Formação*, São Paulo, v. 2, n. 17, p. 63–80, 2011.
- BUCCHERI FILHO, A. T; NUCCI, J. C. Espaços livres, áreas verdes e cobertura vegetal no bairro Alto da XV, Curitiba-PR. *Revista do Departamento de Geografia*, v. 18, p. 48–59, 2006.
- CAVALHEIRO, F.; NUCCI, J. C; GUZZO, P.; ROCHA, Y. T. Proposição de terminologia para o verde urbano. *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (SBAU)*, Rio de Janeiro, ano VII, n. 3, [s.p.], jul./set. 1999.
- SÃO PAULO (Estado). Infraestrutura e Meio Ambiente. Programa Município VerdeAzul (PMVA). *Portal do Governo de São Paulo*, São Paulo, 2019. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/verdeazuldigital/>. Acesso em: 10 nov. 2020.
- GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google earth engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, [s.l.], [Elsevier], v. 202, p. 18–27, 2017.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA [IBGE]. *Sinopse do Censo demográfico 2010*. Rio de Janeiro, 2011.
- KAWAKUBO, F. S. *Metodologia de classificação de imagens multiespectrais aplicada ao mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal na Amazônia: exemplo de caso na região de São Félix do Xingu, sul do Pará*. 2010. 113 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. DOI: <https://doi.org/10.11606/T.8.2010.tde-28092010-093245>
- KUMAR, L.; MUTANGA, O. Google Earth Engine Applications Since Inception: usage, trends, and potential. *Remote Sensing, Cidade*, v. 10, n. 10, 1509, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs10101509>. Acesso em: 10 nov. 2020..
- LOBODA, C. R.; DE ANGELIS, B. L. D. Áreas verdes públicas urbanas: conceitos, usos e funções. *Revista Ambiência*, Garapuava-PR, v. 1, n. 1, p. 125–39, 2009.
- LOMBARDO, M. A. Análise das mudanças climáticas nas metrópoles o exemplo de São Paulo e Lisboa. ISBN 978-85-7983-007-5. In: CORTEZ, A. T. C.; ORTIGOZA, S. A. G. (Org.). *Da produção ao consumo: impactos socioambientais no espaço urbano*. São Paulo: Editora UNESP/Cultura Acadêmica, 2009. p. 111–146. Disponível em: <https://books.scielo.org/id/n9brm/pdf/ortigoza-9788579830075-06.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2020.
- LOMBARDO, M. A. *Ilhas de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo*. São Paulo: HUCITEC, 1985.
- LONDE, P.; MENDES, P. A influência das áreas verdes na qualidade de vida urbana. *Hygeia – Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*, Uberlândia, v. 10, n. 18, p. 264–72, jun. 2014.
- LUCON, T. N.; PRADO FILHO, J. F.; SOBREIRA, F. G. Índice e percentual de áreas verdes para o perímetro urbano de Ouro Preto-MG. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana – REVSBAU*, Curitiba, v. 8, n. 3, p. 63–78, 2013.
- MACHADO, R. P. P.; SMALL, C. Identifying multi-decadal changes of the Sao Paulo urban agglomeration with mixed remote sensing techniques: spectral mixture analysis and night lights. *EARSeL eProceedings*, [s.l.], v. 12, n. 2, p. 101–12, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.12760/01-2013-2-03>

MORATO, R. G. *Análise espacial e desigualdade ambiental no município de São Paulo*. 2008. Tese (Doutorado em Geografia Humana) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MORERO, A. M.; SANTOS, R. F.; FIDALGO, E. C. C. Planejamento ambiental de áreas verdes: estudo de caso de Campinas-SP. *Revista do Instituto Florestal*, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 19–30, jun. 2007.

NUCCI, J. C.; WESTPHALEN, L. A. BUCCHERI FILHO, A. T.; NEVES, D. L.; OLIVEIRA, F. A. H. D.; KRÖKER, R. Cobertura vegetal no bairro Centro de Curitiba/PR. *GEOUERJ*, Rio de Janeiro, n. especial, p. 1–14, 2003. [CD-ROM].

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS [ONU]. *World population prospects 2019*. Portal da ONU, New York, 2019 Disponível em: https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf. Acesso em: 10 dez. 2019.

ROSA, M. R.; Classificação do Padrão de Ocupação Urbana de São Paulo Utilizando Aprendizagem de Máquina e Sentinel 2. *Revista do Departamento de Geografia*, [s.l.], n. especial, p. 15–21, set. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/rdg.v0ispe.145784>. Acesso em: 10 nov. 2020.

SANTOS, R. A. *Cobertura vegetal e a temperatura de superfície no meio intraurbano: um estudo em Salvador*. 2018. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento) –Departamento de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS [SEADE]. *Índice Paulista de Vulnerabilidade Social*. São Paulo: SEADE, 2013. Disponível em: <http://ipvs.seade.gov.br/view/pdf/ipvs/metodologia.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2020.

SHIMABUKURO, Y. E.; SMITH, J. A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, [s.l.], v. 29, n. 1, p. 16–20, 1991.

SIQUEIRA-GAY, Juliana; DIBO, Ana Paula Alves; GIANNOTTI, Mariana Abrantes. Vulnerabilidade às Ilhas de Calor no Município de São Paulo: uma abordagem para a implantação de medidas mitigadoras na gestão urbana. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, [s.l.], v. 6, n. 2, p. 105–23, 1º ago. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5585/geas.v6i2.902>. Acesso em: 10 nov. 2020.

SMALL, C.; MILESI, C. Multi-scale standardized spectral mixture models. *Remote Sensing Of Environment*, Amsterdã, v. 136, p. 442–54, 19 jan. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.05.024>. Acesso em: 10 nov. 2020.

SOUZA, C. M. et. al. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with Landsat Archive and Earth Engine. *Remote Sensing*, [s.l.], v. 12, n. 17, p. 2735. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs12172735>. Acesso em: 10 nov. 2020.

SPIRN, A. W. *O jardim de granito*. São Paulo: EdUSP, 1995.

Sobre os autores:

Marcel Fantin: Doutor em Geociências pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Mestre em Planejamento Urbano e Regional, técnico em Cartografia e graduado em Direito pela Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP). Professor-doutor no Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (IAU-USP). Coordenador do grupo de pesquisa Práticas de Pesquisa, Ensino e Extensão em Urbanismo (PEX-Urb). Pesquisador de projetos internacionais sobre urbanização e desigualdade no Cone Sul, além de dedicar-se à pesquisa de cartografias contra-hegemônicas na luta pelo direito à moradia. **E-mail:** mfantin@sc.usp.br, **Orcid:** <https://orcid.org/0000-0003-3069-8019>

Julio Cesar Pedrassoli: Doutor em Geografia Humana e mestre em Geografia Física pela Universidade de São Paulo (USP). Graduado em Geografia pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP). Professor e pesquisador na Universidade Federal da Bahia (UFBA), no departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia da Escola Politécnica da UFBA. Consultor em Sistemas de Informações Geográficas para o Instituto Pólis. Membro do *Steering Committee* da *International Geographical Union (IGU) – Urban commission* e faz parte do Comitê de Coordenação e da Coordenação Técnica do mapeamento das áreas urbanizadas no projeto MapBiomias. **E-mail:** pedrassoli.julio@gmail.com, **Orcid:** <https://orcid.org/0000-0001-9762-102X>

Breno Malheiros de Melo: Graduando em Engenharia Civil na Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC-USP). Técnico em Edificações pela ETEC Polivalente de Americana. Colaborador da iniciativa MapBiomias Brasil, na equipe de Infraestrutura Urbana. **E-mail:** breno_malheiros@usp.br, **Orcid:** <https://orcid.org/0000-0001-8790-8430>

Gustavo Paixão Menezes: Graduando em Engenharia Civil na Universidade de São Paulo (USP), com dupla titulação em Engenharia Urbana pela *École Centrale de Nantes*, na França. Bolsista de iniciação científica pela USP, no projeto UrbVerde. **E-mail:** gustavopmenezes@usp.br, **Orcid:** <https://orcid.org/0000-0002-0932-0620>

Marcos Roberto Martines: Doutorado, mestrado e graduação em Geografia pela Universidade de São Paulo (USP). Desenvolve pesquisa na área de Cartografia e Geociências, com ênfase em Geoprocessamento. **E-mail:** mmartines@ufscar.br, **Orcid:** <https://orcid.org/0000-0002-7464-2431>