

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

NATÁLIA CARDOSO PEREIRA

POTENCIAL DE IMAGENS SENTINEL-2 PARA ANÁLISE DA QUALIDADE  
AMBIENTAL DA REGIÃO CENTRAL DE SÃO PAULO/SP – BRASIL

CURITIBA

2020

NATÁLIA CARDOSO PEREIRA

POTENCIAL DE IMAGENS SENTINEL-2 PARA ANÁLISE DA QUALIDADE  
AMBIENTAL DA REGIÃO CENTRAL DE SÃO PAULO/SP - BRASIL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Especialização em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Mercado de Carbono, do Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, como pré-requisito para obtenção do título de especialista. Orientador (a): Prof. Franciel Eduardo Rex.

CURITIBA

2020

# POTENCIAL DE IMAGENS SENTINEL-2 PARA ANÁLISE DA QUALIDADE AMBIENTAL DA REGIÃO CENTRAL DE SÃO PAULO/SP - BRASIL

Natália Cardoso Pereira<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> Engenheira Ambiental, Pós graduanda em Projetos Sustentáveis, Mudanças Climáticas e Mercado de Carbono – Universidade Federal do Paraná. Curitiba/PR/Brasil. nacardosop@outlook.com

## RESUMO

A qualidade ambiental urbana considera fatores que influenciam a qualidade de vida da população, logo sua análise auxilia no planejamento urbano para tomada de decisões. Neste trabalho, a análise da qualidade ambiental considerou três variáveis ambientais, sendo elas: a temperatura superficial, o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) e, o de vegetação ajustada para o solo (SAVI). O objetivo é, através dos produtos gerados, avaliar o potencial de imagens do sensor Multispectral Instrument (MSI) do satélite Sentinel – 2 quando comparado com imagens do sensor Operation Land Image (OLI) do satélite Landsat 8 para o índice de qualidade ambiental. A área de estudo é a região central de São Paulo, para qual foram utilizados dados vetoriais da malha territorial brasileira e imagens obtidas através do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). Para a geração do índice foi utilizado o *Analytic Hierarchy Process* (AHP), em que as variáveis apresentaram o mesmo peso de importância. Os resultados obtidos indicam que o índice de qualidade ambiental foram próximos para ambos os satélites, porém nota-se que o satélite Sentinel-2 se destaca já que sua discriminação dos alvos é superior.

Palavras-chave: Indicador ambiental. Sensoriamento Remoto. Vegetação. Temperatura.

## **ABSTRACT**

Urban environmental quality considers factors that influence the life's quality of the population, so its analysis helps in urban planning for decision making. In this work, the analysis of environmental quality considered three environmental variables, namely: the surface temperature, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and, the soil-adjusted vegetation index (SAVI). The objective is, through the products generated, to evaluate the image potential of the Sentinel - 2 satellite Multispectral Instrument (MSI) sensor when compared to images from the Operation Land Image (OLI) sensor of the Landsat 8 satellite for the environmental quality index. The study area is the central region of São Paulo, for which vector data from the Brazilian territorial network and images obtained through the United States Geological Survey (USGS) were used. For the generation of the index, the Analytic Hierarchy Process (AHP) method was used, in which the variables had the same ponderosity of importance. The results obtained indicate that the environmental quality index were close for both satellites, however it is noted that the Sentinel-2 satellite stands out since its target discrimination is superior.

Keywords: Environmental indicator. Remote sensing. Vegetation. Temperature.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO .....	6
1.1.	Objetivos .....	7
1.2.	Justificativa .....	7
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	8
2.1.	Sensoriamento Remoto.....	8
2.2.	<i>Analytic Hierarchy Process (AHP)</i> .....	9
3.	MATERIAL E MÉTODOS .....	10
3.1.	Área de Estudo.....	10
3.2.	Dados utilizados .....	11
3.3.	Processamento dos dados e avaliações .....	11
3.3.1.	Dados Orbitais.....	11
3.3.2.	Estimativa do Índice de Qualidade Ambiental Urbana (IQUA) .....	14
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	15
5.	CONCLUSÕES .....	19
6.	REFERÊNCIAS .....	20

## 1. INTRODUÇÃO

A urbanização é uma das forças antrópicas mais poderosas e visíveis da Terra. A intensa expansão demográfica ocorrida nos últimos 200 anos, devido ao crescimento das atividades econômicas e ao desenvolvimento das tecnologias, propiciou um forte processo de crescimento urbano que tem desencadeado uma gama de problemas ambientais (DAWSON et al., 2006; NASCIMENTO, 2011).

Com o crescimento da população urbana mundial e a consequente expansão das cidades, principalmente nos países em desenvolvimento, é fundamental a definição e monitoramento de indicadores de qualidade ambiental urbana nos municípios brasileiros. A avaliação desses indicadores permitirá, entre outras ações, a inserção de variáveis e parâmetros ambientais nos instrumentos de caráter urbanístico, como planos diretores, planos setoriais, leis de parcelamento do solo e zoneamentos urbano (MMA, 2019).

Segundo Minaki e Amorim (2007), o estudo da qualidade ambiental urbana é um importante subsídio ao planejamento, pois fornece informações que contribuem para a qualidade de vida da população. Como destaca Oliveira (1983) qualidade ambiental é uma expressão de uso corrente, mas de difícil definição; está intimamente ligada à qualidade de vida, pois vida e meio ambiente são inseparáveis, o que não significa que o meio ambiente determina as várias formas e atividades de vida ou que a vida determina o ambiente. Há uma interação e um equilíbrio entre ambos que variam de escala em tempo e lugar. (MACHADO, 1997, p. 17).

Para responder de forma eficaz aos desafios do planejamento e da gestão urbana e regional, no que diz respeito a informações sobre o ambiente urbano, contamos com os avanços tecnológicos nas áreas espaciais, principalmente na área de sensoriamento remoto e Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Estas tecnologias possibilitam, de forma sistemática e em diferentes escalas, monitorar mudanças e fazer análises sobre o território, auxiliando o desenvolvimento de estratégias para gerenciá-lo (SOUZA, 2012).

## **1.1. Objetivos**

O objetivo geral deste trabalho é avaliar o potencial de imagens do satélite Sentinel – 2 e comparar com imagens do sensor OLI 8 do satélite Landsat para a análise da qualidade ambiental urbana da área central de São Paulo – SP.

Como objetivos específicos, têm-se:

1.1.1. Verificar a relação entre a temperatura e áreas verdes;

1.1.2. Gerar o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), da vegetação ajustada para o solo (SAVI) e da temperatura superficial da área analisada através de imagens do satélite Sentinel-2 e do Landsat-8;

1.1.3. Gerar um índice de qualidade ambiental urbana, através do método AHP, considerando os três parâmetros e comparar os resultados obtidos através dos dois satélites analisados;

1.1.4. Investigar a aplicabilidade desta metodologia e do satélite Sentinel-2 para a análise da qualidade ambiental urbana.

## **1.2. Justificativa**

A análise da qualidade ambiental justifica-se principalmente pela identificação das áreas deficitárias e da possibilidade do desenvolvimento de ações que auxiliem no planejamento urbano. As variáveis analisadas foram escolhidas devido aos seus impactos associados ao meio ambiente e a saúde humana. A ausência de cobertura vegetal está relacionada com o aumento da temperatura superficial de uma área, fato que afeta a qualidade ambiental da água, do ar e do solo.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto pode ser entendido como um conjunto de atividades que permite a obtenção de informações dos objetos que compõem a superfície terrestre sem a necessidade de contato direto com os mesmos. Estas atividades envolvem a detecção, aquisição e análise (interpretação e extração de informações) da energia eletromagnética emitida ou refletida pelos objetos terrestres e registradas por sensores remotos (MCT; AEB, 2008).

A quantidade e qualidade da energia eletromagnética refletida e emitida pelos objetos terrestres resultam das interações entre a energia eletromagnética e estes objetos. Essas interações são determinadas pelas propriedades físicoquímicas e biológicas desses objetos e podem ser identificadas nas imagens e nos dados de sensores remotos. Portanto, a energia eletromagnética refletida e emitida pelos objetos terrestres é a base de dados para todo o processo de sua identificação. Ela permite quantificar a energia espectral refletida e/ou emitida por estes, e assim avaliar suas principais características. Logo, os sensores remotos são ferramentas indispensáveis para a realização de inventários, de mapeamento e de monitoramento de recursos naturais (MCT; AEB, 2008).

O satélite Landsat-8, lançado em 2013, aprimorou a capacidade de imagem desta série, apresentando novas faixas espectrais nas faixas de infravermelho, azul e de onda curta, além de melhorar a relação sinal/ruído do sensor e a resolução radiométrica das imagens. O sensor Operational Land Imager (OLI) fornece imagens ópticas com 30 m e 15 m de resolução espacial, faixa imageada de 185 km, oito bandas espectrais e 16 dias de resolução temporal (ZHU; WOODCOCK, 2014; SOTHE et al., 2017).

O satélite Sentinel-2, lançado em 2015, apresenta um sensor multiespectral de resolução espacial média/alta produzido pela Agência Espacial Europeia (ESA). Seu sensor, o MultiSpectral Instrument (MSI), apresenta uma larga faixa imageada (290 km), boa resolução temporal (cinco dias, com dois satélites), resolução espacial alta e média (10, 20 e 60 m) e possui treze bandas espectrais abrangendo comprimentos de

onda de 0,4 a 2,2  $\mu\text{m}$  (DRUSCH et al., 2012; SOTHE et al., 2017).

Segundo Almeida (2010), o sensoriamento remoto oferece inúmeras possibilidades para aplicações em planejamento urbano e regional, como análise de aptidão do uso do solo, classificação de cobertura e uso do solo urbano, estudos socioeconômicos urbanos, mobilidade regional e dispersão urbana, microclima e qualidade de vida urbana, desastres naturais e vulnerabilidade ambiental.

## 2.2. *Analytic Hierarchy Process (AHP)*

Esse método foi desenvolvido por Tomas L. Saaty no início da década de 70 e é o método de multicritério mais amplamente utilizado e conhecido no apoio à tomada de decisão na resolução de conflitos negociados, em problemas com múltiplos critérios (MARINS; SOUZA BARROS, 2009).

Segundo Costa (2002) este método baseia-se em três etapas de pensamento analítico: construção de hierarquias; definição de prioridades e consistência lógica. A avaliação comparativa é realizada através de uma escala verbal, a qual é atribuída valores numéricos conforme a Quadro 1. A partir do estabelecimento de critérios de comparação para cada combinação de fatores, é determinado um conjunto ótimo de pesos que podem ser utilizados para a combinação das diferentes variáveis (RIBEIRO; MENDES, 2015).

<b>Escala numérica</b>	<b>Escala verbal</b>	<b>Explicação</b>
1	Importância igual	Os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada	Um fator é ligeiramente mais importante que o outro
5	Importância essencial	Um fator é claramente mais importante que o outro
7	Importância demonstrada	Um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática
9	Importância extrema	A evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre julgamentos	Possibilidade de compromissos adicionais

QUADRO 1 - Escala numérica de Saaty.

FONTE: Saaty (2008), adaptado por Ribeiro e Mendes (2015).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Área de Estudo

A área de estudo está localizada na área central (Subprefeitura Sé) da cidade de São Paulo, capital do estado de São Paulo, Figura 1.

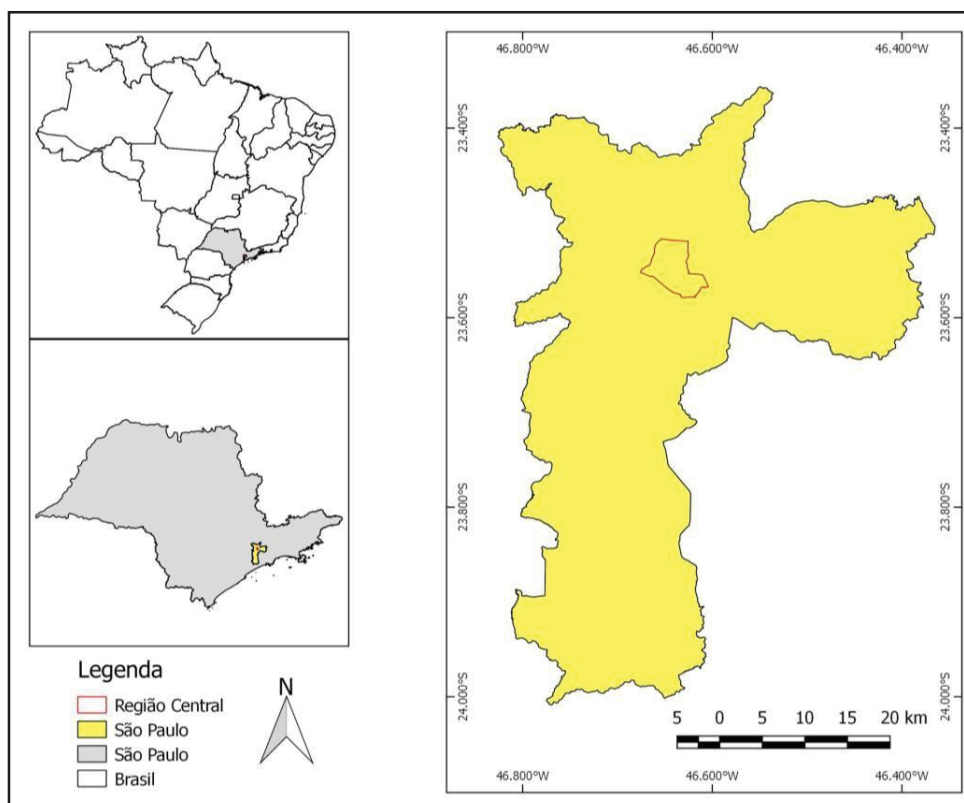


FIGURA 1 - Localização da área de estudo no Brasil, no estado de São Paulo, e na cidade de São Paulo.

FONTE: Autor (2019).

De acordo com o IBGE (2019), o Município de São Paulo tem uma população estimada de 12.252.023 de pessoas e encontra-se no bioma Mata Atlântica. Ocupa terrenos cujo substrato é composto predominantemente por rochas cristalinas de idade pré-cambriana; camadas de sedimentos terciários situados em colinas; e sedimentos relativamente mais recentes (SÃO PAULO, 2004).

A maior parte dos terrenos do Município se situa na Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - UGRHI do Alto Tietê). Porção

menor está inserida no contexto de cursos d'água que drenam para o litoral, situada na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) da Baixada Santista. Os principais cursos d'água que percorrem o Município são os Rios Tietê, Pinheiros, Tamanduateí, Aricanduva e Embu-Guaçu, além dos córregos Pirajuçara, Ipiranga, Cabuçu de Cima, Cabuçu de Baixo e Mandaqui, entre outros (SÃO PAULO, 2004).

### **3.2. Dados utilizados**

Para a análise proposta foram utilizados dados vetoriais da divisão territorial do Brasil obtidos por meio do IBGE.

Além disso, foi efetuada a aquisição de imagens, por meio do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), do satélite Sentinel-2 e do Landsat-8. A imagem do Sentinel-2 foi gerada em 22/04/2019, enquanto a do Landsat-8 foi em 14/06/2019.

### **3.3. Processamento dos dados e avaliações**

Para o processamento das imagens utilizou-se o software QGIS 2.8.1. e ArcGIS 10.5.

#### **3.3.1. Dados Orbitais**

Para estimar os parâmetros de Temperatura Superficial Terrestre, Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação Ajustada ao Solo (SAVI) utilizaram-se imagens do sensor OLI (Operational Land Imager) do satélite Landsat 8 e do sensor Multispectral Instrument (MSI) do satélite Sentinel-2.

#### **- Estimativa da Temperatura Superficial Terrestre**

O cálculo da temperatura superficial terrestre foi feito através da metodologia descrita por Pessi et al. (2019), utilizando a banda termal do satélite Landsat-8. Primeiramente, foi realizada a conversão dos valores dos pixels da imagem ou dos Números Digitais (ND) do sensor em valores de refletância obtidos no topo da atmosfera, através da Equação 1.

$$L_{\lambda} = M_L * Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

Onde:

$L_\lambda$  = radiação de energia espectral refletância no topo da atmosfera (Watts/(m<sup>2</sup>\*srad \*  $\mu$ m));

$M_L$  = fator multiplicativo escalonado específico constante no arquivo de metadados (RADIANCE\_MULT\_BAND\_x, onde x é o número da banda);

$Q_{cal}$  = produto padrão quantificado e calibrado por valores de pixel (ND);

$A_L$  = fator aditivo escalonado específico constante no arquivo de metadados (RADIANCE\_ADD\_BAND\_x, onde x é o número da banda).

Em seguida, converte-se os valores de refletância em temperatura de brilho do satélite, que neste caso é em Kelvin, através da Equação 2 e de dados do metarquivo.

$$T = \frac{k2}{\ln(k1/L_\lambda) + 1} \quad (2)$$

Onde:

T = Temperatura de brilho em Kelvin (K);

K1 = Constante de conversão K1 específica para cada banda, também denominada de constante térmica, disponível no arquivo de metadados (K1\_CONSTANT\_BAND\_x, onde x é o número da banda);

K2 = Constante de conversão K2 específica para cada banda, também denominada de constante térmica, disponível no arquivo de metadados (K2\_CONSTANT\_BAND\_x, onde x é o número da banda);

$L_\lambda$  = radiação de energia espectral refletância no topo da atmosfera (Watts/(m<sup>2</sup>\*srad \*  $\mu$ m)).

Por fim, é feita a conversão da temperatura Kelvin para graus Celsius, segundo a Equação 3.

$$T_C = T_K - 273 \quad (3)$$

### - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI)

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é a razão entre a diferença das refletâncias das bandas no infravermelho próximo e no vermelho e pela

soma dessas mesmas refletividades, Equação 4 (ROUSE et al., 1973). O NDVI normaliza a razão simples para o intervalo de -1 a +1, onde as áreas de vegetação mais intensa aproximam-se dos patamares superiores. Estas duas bandas espectrais são escolhidas porque são as mais afetadas pela absorção de clorofila na vegetação de folhas verdes e pela densidade da vegetação verde na superfície (DE ALMEIDA, 2015).

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (4)$$

Onde:

$\rho_{NIR}$  = Infravermelho próximo;

$\rho_{RED}$  = Vermelho.

O Índice NDVI é muito utilizado, já que ele reduz o efeito topográfico. Sua função é realçar as diferentes fisionomias de uma imagem, porém, apresenta influência no brilho e efeito espectral do solo, por isso, pode depreciar as avaliações da vegetação (DEMARCHI et al., 2011).

#### - Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI)

Para amenizar efeitos provenientes do solo, foi criado o Índice de Vegetação Ajustado para o Solo, que é calculado pela Equação 5.

$$SAVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED} + L} * (1+L) \quad (5)$$

Onde:

$\rho_{NIR}$  = Infravermelho próximo;

$\rho_{RED}$  = Vermelho e

L = constante que minimiza o efeito do solo e pode variar de 0 a 1.

Para cobertura vegetal de menor densidade o fator L é 1,0; para cobertura densidade vegetal intermediária o fator será 0,5, e para altas densidades, fator 0,25. O

índice SAVI equivalerá ao índice NDVI quando o fator L for igual à zero (DEMARCHI et al., 2011).

### 3.3.2. Estimativa do Índice de Qualidade Ambiental Urbana (IQUA)

Para a estimativa do Índice de Qualidade Ambiental Urbana (IQUA) foi utilizado o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*). Para a operacionalização deste método foi utilizado o complemento EasyAHP disponível no software QGIS 2.8.1, e os graus de importância das variáveis analisadas estão dispostos no Quadro 2.

<b>Variável</b>	<b>Escala verbal</b>	<b>Variável</b>
NDVI	Igual	SAVI
NDVI	Igual	Temperatura superficial do solo
SAVI	Igual	Temperatura superficial do solo

QUADRO 2 - Escala das variáveis.  
FONTE: Autor (2019).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Figuras 2 e 3 indicam o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI), respectivamente. Os locais que possuem valores maiores de cada índice são representados em tons de verde, e a coloração avermelhada indica valores baixos, os dados de valores médios e de desvio padrão das variáveis encontram-se na Tabela 1, sendo que tais valores encontram-se próximos para os dois sensores.

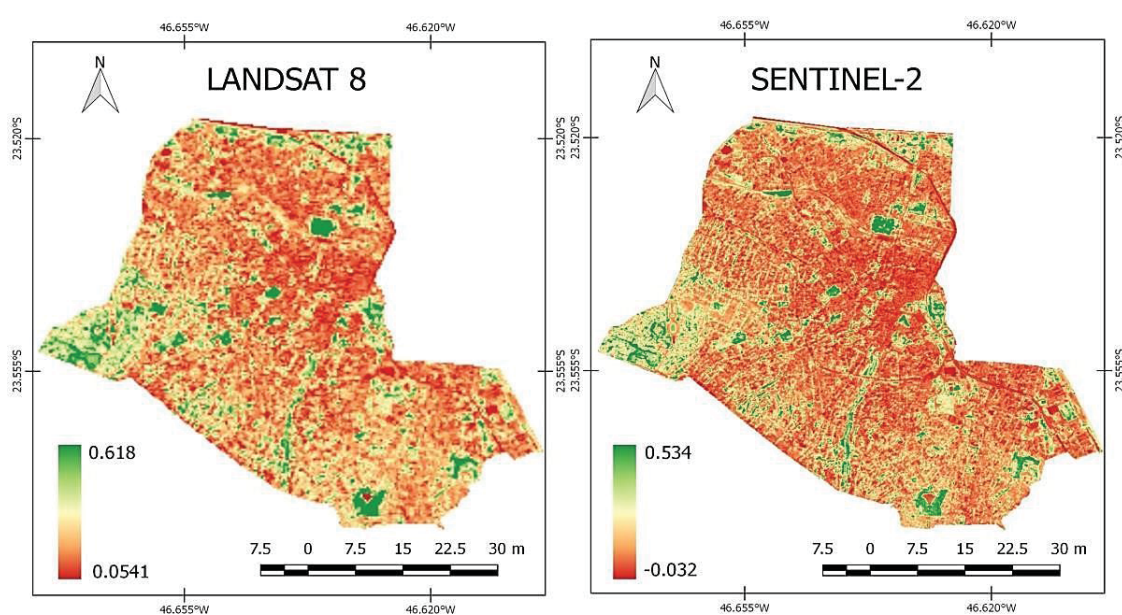


FIGURA 2 - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI).  
FONTE: Autor (2019).

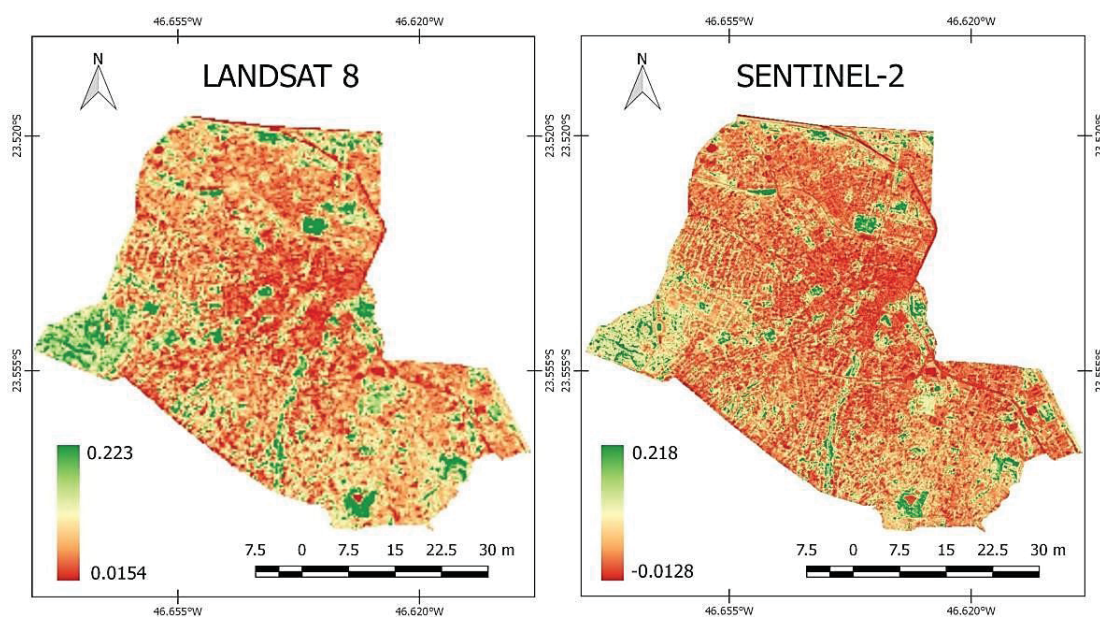


FIGURA 3 - Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI) para  $L = 1$ .  
 FONTE: Autor (2019).

Variáveis	NDVI		SAVI	
	Ladsat-8	Sentinel-2	Landsat-8	Sentinel-2
<b>Valor médio</b>	0.242	0.134	0.089	0.055
<b>Desvio padrão</b>	0.151	0.145	0.061	0.061

TABELA 1 - Índices estatísticos para cada satélite.  
 FONTE: Autor (2019).

A Figura 4 representa a temperatura superficial terrestre da região central de São Paulo, em que se utilizou a imagem do satélite Landsat-8.

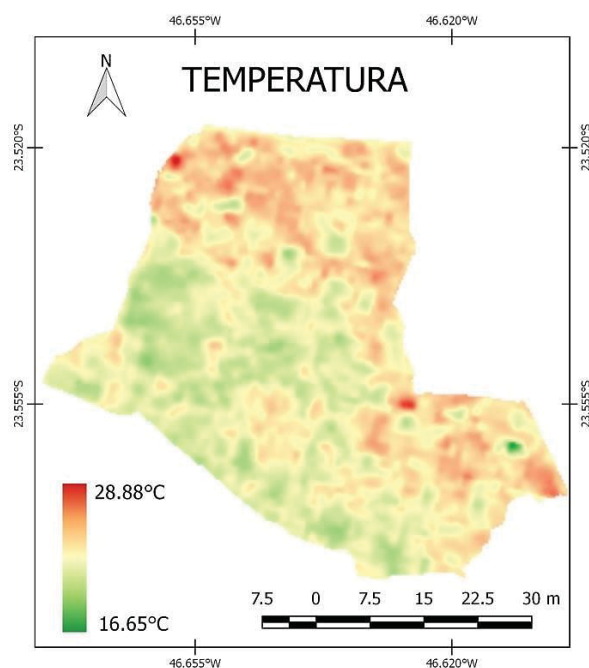
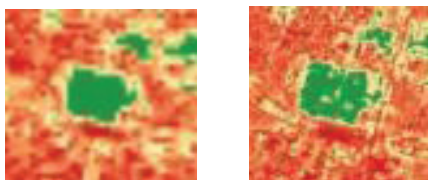


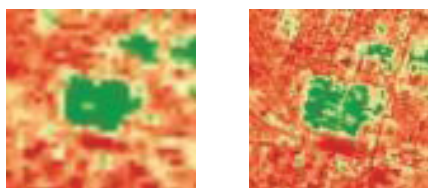
FIGURA 4 - Temperatura Superficial Terrestre.  
FONTE: Autor (2019).

Através das imagens geradas, nota-se uma grande correlação entre as variáveis de vegetação e de temperatura superficial, onde áreas que possuem valores elevados referentes ao NDVI e SAVI apresentam temperaturas inferiores, Figura 5. Porém, cabe ressaltar que outras variáveis também influenciam na temperatura de um local, como o relevo e as massas de ar.

A) NDVI – Landsat-8    B) NDVI – Sentinel-2



C) SAVI – Landsat-8    D) SAVI – Sentinel-2



E) Temperatura F) Google Earth

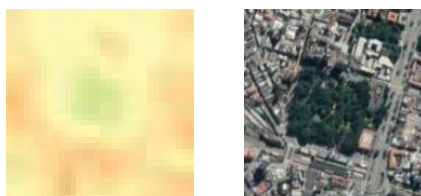


FIGURA 5 - Análise de uma área verde: (A) e (B) NDVI para o satélite Landsat-8 e Sentinel-2, respectivamente; (C) e (D) SAVI para o satélite Landsat-8 e Sentinel-2, respectivamente; (E) Temperatura; (F) Imagem do Google Earth.  
 FONTE: Autor (2019).

A espacialização do IQAU após o método AHP pode ser visualizada na Figura 6.

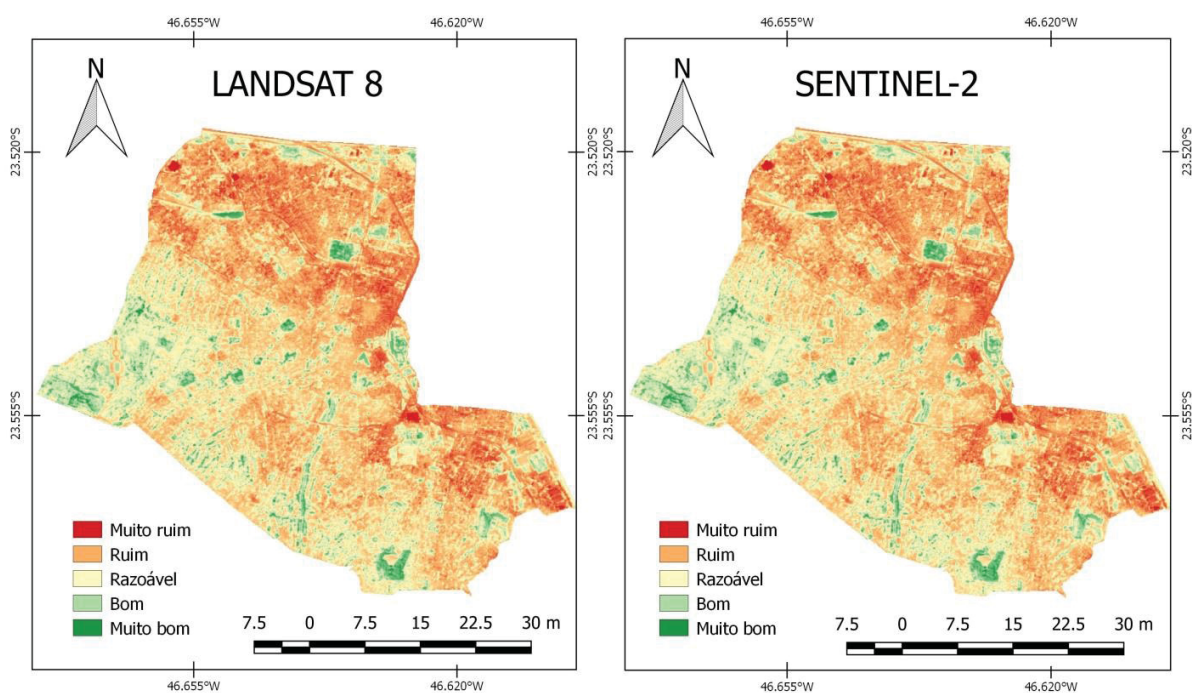


FIGURA 6 - Índice de qualidade ambiental.  
 FONTE: Autor (2019).

Os valores de IQAU para ambos os satélites foram próximos. Nota-se que devido à resolução espacial do satélite Sentinel-2 ser maior, os alvos são melhores distinguidos quando em comparação com o Landsat-8.

## 5. CONCLUSÕES

Neste trabalho, verificou-se que os índices de vegetação são grandezas que ocorrem contrariamente em relação à temperatura, logo, altos valores de NDVI e SAVI encontram-se em áreas que apresentam valores menores de temperatura superficial.

Os satélites Landsat-8 e Sentinel-2 quando comparados apresentaram valores muito próximos para os parâmetros analisados.

Atestou-se que ambos os satélites são viáveis para a análise de qualidade ambiental urbana, porém, é importante enfatizar que a discriminação dos alvos é superior para o Sentinel-2 fato que proporciona um maior detalhamento da área, constatando assim, que tal satélite possui grande potencial de uso.

Apesar de ocorrer uma generalização das informações, a metodologia proposta e os resultados obtidos referentes à qualidade ambiental urbana podem auxiliar no desenvolvimento de projetos que busquem a ampliação e manutenção das áreas verdes da cidade. Vale ressaltar também que os dados são resultados de um levantamento que está sujeito a erros.

## 6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. M. de. Aplicação dos sistemas de sensoriamento remoto por imagens e o planejamento urbano regional. **Arq.urb**, v. 3, p.98-123, jun. 2010.

MINAKI, C.; AMORIM, M. C. da C. T. Espaços urbanos e qualidade ambiental: um enfoque da paisagem: Um enfoque da paisagem. **Revista Formação**, Presidente Prudente, v. 1, n. 4, p. 67-82. 2007.

COSTA, H. G. **Introdução ao método de análise hierárquica**: análise multicritério no auxílio à decisão. Niterói: H.G.C., 2002

DAWSON, R. J. et al. 2006. **A blueprint for the integrated assessment of climate change in cities**. Tyndall Working Paper 104.

DE ALMEIDA, A. J. P. et al. Relação entre o Índice de Vegetação e a Temperatura de Superfície na estimativa e identificação das ilhas de calor na cidade de Maceió-AL. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 2015, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa: INPE, 2015.

DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo – SP usando imagens Landsat – 5. **Revista Raega**, v.21, 2011.

DRUSCH, M. et al. Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. **Remote Sensing of Environment**, 120: 25–36. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Sinopse municipal**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/sao-paulo/pesquisa/33/28120>>. Acesso em: 15 dez. 2019.

MACHADO, Lucy Marion Calderini Philadelpho. Qualidade ambiental: indicadores quantitativos e perceptivos. In: **Indicadores ambientais**. Coordenação de Nilson Borlina Maia, Henry Lesjak. Sorocaba: s.n., 1997. p. 15-21.

MARINS, C. S.; SOUZA, D. de O.; BARROS, M. da S. O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais: Um estudo de caso. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 41. 2009. Porto Seguro. **Anais [...]**. Porto Seguro: SBPO, 2009. p. 1778 - 1788.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA – MCT; AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA – AEB. **Formação continuada de professores**: Curso astronáutica e ciências do espaço. 2008. Disponível em: <[http://www.aeb.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/sensoriamento\\_manual.pdf](http://www.aeb.gov.br/wp-content/uploads/2018/05/sensoriamento_manual.pdf)>. Acesso em: 10 dez. 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Indicadores**. 2019. Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/planejamento-ambiental-urbano/indicadores.html>>. Acesso em: 12 jul. 2019.

NASCIMENTO, D. T. F. **Emprego de técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento na análise multitemporal do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia-GO (1986/2010)**. 2010. 98 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2011.

PESSI, D. D. et al. Análise da relação entre NDVI e a temperatura da superfície terrestre como técnica no planejamento urbano dos municípios. **Terr@plural**, Ponta Grossa, v. 13, n. 3, p.237-251, set./dez. 2019.

RIBEIRO, B. M. G.; MENDES, C. A. B. Índice de Qualidade Ambiental Urbano: uma proposta metodológica aplicada a áreas urbanas de ocupação irregular. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR. 17., 2015, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa: Inpe, 2015. p. 6550 - 6557.

ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *In*: THIRD ERTS SYMPOSIUM, 1973, Washington. **Proceedings [...]**. Washington: NASA, 1973.

SÃO PAULO, Prefeitura municipal de. Secretaria de meio ambiente. **Capítulo 2: Características gerais do município**. 2004.

SOTHE, C.; ALMEIDA, C.; LIESENBERG, V.; SCHIMALSKI, M. Evaluating Sentinel-2 and Landsat-8 Data to Map Sucessional Forest Stages in a Subtropical Forest in Southern Brazil. **Remote Sensing**, 9(8): 838. 2017.

SOUZA, Í. de M e. **Sensoriamento remoto orbital aplicado a estudos urbanos**. São José dos Campos: INPE. 2012. Disponível em: <<http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2012/02.28.13.46/doc/publicacao.pdf>>. Acesso: 25 mar. 2020.

ZHU, Z.; WOODCOCK, C.E. Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data. **Remote Sensing of Environment**. 144: 152–171. 2014.