



MAPEAMENTO DE PIVÔS CENTRAIS NO ESTADO DE SÃO PAULO, ANO BASE 2019

Diulia Melânia Zimmer **Barbosa**¹; Carlos Cesar **Ronquim**²

Nº 21503

RESUMO – O estado de São Paulo destaca-se por apresentar importantes incrementos na área irrigada desde a década de 1970, além de um número relativamente elevado de pivôs centrais. A adoção de novas metodologias para o mapeamento, com uso de imagens de melhor resolução, permite identificar as áreas de novos pivôs instalados, excluir áreas que deixaram de ser irrigadas e falsas identificações. Propomos, neste estudo, um mapeamento visual das áreas de pivôs centrais do estado de São Paulo para o ano de 2019, a partir da aquisição de imagens-base do par de satélites Sentinel 2, com resolução espacial de 10 m, na faixa do visível, coletadas na plataforma de computação em nuvem Google Earth Engine (GEE), para que os resultados sejam comparados aos resultados obtidos pelo método baseado em fontes de imagens da coleção Landsat, com resolução espacial de 30 m, também extraídos da plataforma GEE, porém utilizando algoritmos para classificação automática. O mapeamento proposto contabilizou 4.626 pivôs distribuídos em uma área de 202.786 ha, enquanto o método baseado em algoritmos com classificação automática contabilizou uma menor área, perto de 162 mil hectares. Assim, é possível avaliar que, mesmo com os grandes avanços da classificação automática, o método visual utilizando imagens-base Sentinel 2 ainda pode oferecer resultados satisfatórios. Mapeamentos mais exatos das áreas irrigadas do estado possibilitam aos tomadores de decisão saber em quais regiões ou municípios concentrar suas atuações e, entre outras ações, promover a execução das políticas públicas.

Palavras-chave: cultura irrigada, geoprocessamento, imagem de satélite, mapeamento.

1 Autora, Bolsista CNPq (PIBIC): Graduação em Geografia, Unicamp, Campinas-SP; diulia.barbosa@colaborador.embrapa.br.

2 Orientador: Pesquisador da Embrapa Territorial, Campinas-SP; carlos.ronquim@embrapa.br.



ABSTRACT – *The state of São Paulo stands out for increases in its irrigated areas since the 1970s, and for having a relatively high number of center pivots. The adoption of new mapping methods, which use images with better resolutions, allows the identification of areas with newly installed pivots, and exclusions of areas that are no longer irrigated and false identifications. In this study we propose a visual mapping of central-pivot areas in the State of São Paulo for the year 2019, based on the acquisition of base images of the Sentinel 2 satellite pair, with a spatial resolution of 10 m in the visible range, collected from the Google Earth Engine (GEE) cloud computing platform, so that the results are compared with those obtained by the method based on images from the Landsat collection, with a spatial resolution of 30 m, also extracted from the GEE platform, but using algorithms for automatic classification. The proposed mapping counted 4,626 pivots distributed over an area of 202,786 ha, while the method based on algorithms with automatic classification counted a smaller area, close to 162 thousand hectares. Thus, it is possible to assess that, even with the great advances in automatic classification, the manual method using Sentinel 2 base images may still produce satisfactory results. More accurate mappings of the state's irrigated areas allow decision makers to know in which regions or municipalities to concentrate their actions and, among others, carry out public policies.*

Keywords: irrigated agriculture, geoprocessing, satellite image, mapping.

1. INTRODUÇÃO

Houve aumento na área irrigada em todas as regiões brasileiras desde a década de 1960 (Carvalho et al., 2020), chegando a atingir 8,2 milhões de hectares em 2021 (ANA, 2021). O gotejamento é o sistema mais empregado em estabelecimentos de até 50 ha, cuja área total remonta a 617.423 ha, seguido da aspersão convencional, com total de 514.893 ha, enquanto o uso de pivôs centrais destaca-se em propriedades acima de 50 ha, com área de 1,6 milhão de hectares e representa a principal fonte de água retirada dos mananciais (Guimarães; Landau 2020).

Embora todas as regiões brasileiras tenham ampliado suas áreas irrigadas nas últimas décadas, a região Sudeste apresenta a maior área irrigada do país e a mais ampla diversificação de métodos e tipos de irrigação entre todas as regiões brasileiras. Os estados de São Paulo e Minas Gerais concentram 34% da área irrigada do país e 87,9% da região Sudeste (ANA, 2021).



No estado de São Paulo, em algumas regiões, a diminuição da área cultivada com culturas alimentícias, devido à expansão das áreas de culturas agroindustriais, principalmente a cana-de-açúcar, tem sido compensada com o investimento no aumento da produção e da produtividade por meio da utilização da irrigação por pivôs centrais (Ronquim; Fonseca, 2018). O cultivo intensivo e irrigado de grãos e olerícolas, principais culturas irrigadas por pivôs centrais no estado, possibilita aos proprietários rurais a diversificação agrícola, o aumento da produção e da produtividade e o consequente aumento da lucratividade, o que contribui para que permaneçam em suas terras e para a resiliência ao arrendamento ou venda de suas propriedades (Ronquim; Fonseca, 2018).

Com a rápida e contínua evolução das áreas irrigadas por pivôs no estado, o emprego de novas e mais precisas metodologias com uso de imagens de melhor resolução permite identificar áreas com novos pivôs instalados e excluir áreas que deixaram de ser irrigadas e falsas identificações (Saraiva et al., 2020). O monitoramento do status das áreas irrigadas por pivôs torna-se uma ferramenta capaz de indicar o direcionamento territorial das áreas irrigadas e a possibilidade de avaliar benefícios sociais e econômicos, com mínimos impactos ambientais (Ronquim; Fonseca, 2018).

O sensoriamento remoto mostra-se uma eficiente ferramenta para prospectar informações sobre produção agrícola e recursos hídricos, e serve sobretudo como base para a elaboração de políticas públicas, implementação de técnicas de agricultura de precisão, avaliação de demanda hídrica, entre outros (Saraiva et al., 2020). Daí a importância de métodos cada vez mais acurados e assertivos.

Para estimar a área irrigada por pivôs centrais no Brasil, diferentes metodologias têm sido empregadas e aplicam algoritmos mais eficientes de classificação, aumento da capacidade computacional, uso de imagens de satélites com melhor resolução espacial e aumento das bandas espectrais, nas quais a precisão dos resultados tem sido comparada a levantamentos feitos por interpretação visual (Guimarães; Landau, 2020).

A classificação automática é uma rápida alternativa para mapear sistemas de pivôs centrais de irrigação com altas resoluções espaciais e temporais em grandes áreas e de forma cada vez mais satisfatória, entretanto seus resultados são generalizações e ainda demonstram algumas inconstâncias (Saraiva et al., 2020). Por isso, ainda há necessidade de fazer mapeamentos baseados em aferição visual para obter resultados mais precisos, que poderão servir de base para o treinamento da classificação automática.

O presente trabalho propõe um levantamento das áreas de pivôs centrais do estado de São Paulo referente ao ano de 2019 e feito utilizando o método de delimitação das áreas dos pivôs de

forma visual, a partir da aquisição de imagens-base do par de satélites Sentinel 2, para que seja possível comparar aos resultados referentes ao levantamento realizado por Rudorff et al. (2020) no mesmo ano no âmbito do projeto MapBiomass (projeto multi-institucional envolvendo universidades, ONGs e empresas de tecnologia e que promove o mapeamento anual de cobertura e uso da terra do Brasil), cujo método baseia-se em fontes de imagens da coleção Landsat, com resolução espacial de 30 m, extraídas da plataforma Google Earth Engine, e utiliza extensivos algoritmos de aprendizagem de máquina (*machine learning*) para classificação automática.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo foi o estado de São Paulo (Figura 1).

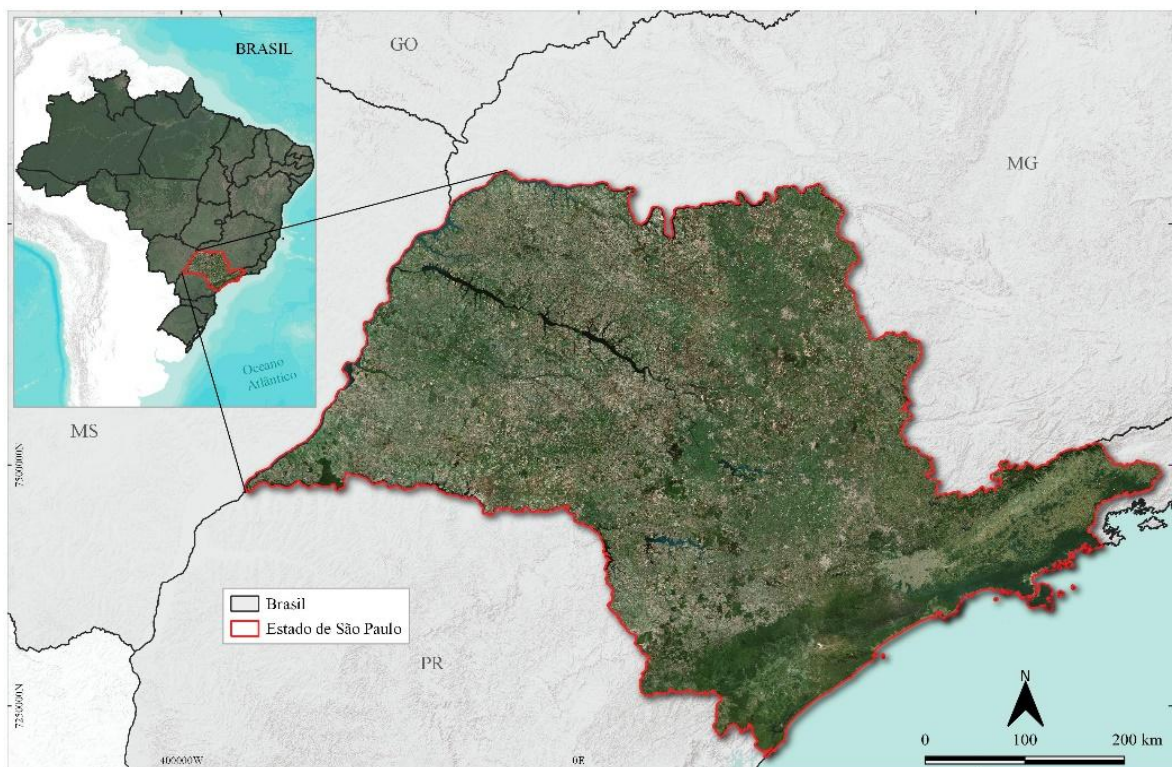


Figura 1. Mapa do estado de São Paulo, Brasil, onde foram contabilizados os equipamentos de pivôs centrais no ano de 2019.

O levantamento das áreas irrigadas por pivôs centrais foi produzido a partir de identificação visual em imagens de satélite referentes ao ano de 2019, escolhido por ter sido o ano do último mapeamento baseado em aprendizagem de máquina para a área em questão, produzido por uma equipe do projeto MapBiomass (Rudorff et al., 2020).



No presente estudo, foi desenvolvida metodologia semelhante à aplicada por Guimarães e Landau (2020). Na plataforma de computação em nuvem do Google Earth Engine, usando a linguagem de programação JavaScript, foi acessada a coleção de imagens do par de satélites Sentinel 2, escolhida por sua alta resolução espacial nas bandas do visível (10 m), indicada para o monitoramento de agricultura, florestas, recursos naturais e águas interiores (The European Space Agency, 2020).

Foram aplicados os seguintes filtros: filtro temporal, referente ao primeiro semestre de 2019; filtro de área, referente ao estado de São Paulo; e filtro de cobertura de nuvens, com exclusão de imagens com cobertura maior que 20% de sua área total. Em seguida, foram selecionadas as bandas 2, 3, 4 e 8, que representam, respectivamente, as bandas do azul (490 nm), verde (560 nm), vermelho (665 nm) e infravermelho próximo (842 nm), e proporcionam melhor nível de detalhamento das imagens (The European Space Agency, 2020).

O resultado da aplicação dos filtros gerou uma coleção de 1.386 imagens Sentinel 2 que atendiam aos critérios aplicados. Para sintetizar uma única imagem reunindo as melhores condições de todas as imagens componentes da coleção, foi aplicado um redutor de mediana.

Os dados foram recortados de acordo com o *shapefile* da malha municipal digital de 2019, disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), para a área do estado de São Paulo e, em seguida, foi elaborado o índice *Pigment Specific Simple Ratio (PSSR)* (Blackburn, 1988). Ambos os dados foram exportados para o software ArcGis Pro em formato *raster* e serviram de base para o mapeamento dos pivôs no estado de São Paulo, produzido visualmente com objetivo de obter um resultado mais acurado.

A área ocupada pelos pivôs foi calculada a partir de geometria da tabela de atributos da coluna “área”, utilizando o sistema de coordenadas planas WGS 1984 UTM Zona 23. E, para melhor visualizar o foco de concentração no estado de São Paulo a partir da densidade de *kernel*, que consiste na análise de padrões espaciais de eventos pontuais (Santos; Assunção, 2003), foi estimada a densidade dos pivôs centrais distribuídos na área de estudo.

O *shapefile* em polígono foi transformado para ponto, posto que o método trabalha com a intensidade de determinado fenômeno pontual. Foi aplicado um raio de 20.000 m (20 km) e tamanho de pixel de 200 m (0,2 km). Não existe um valor padronizado para o tamanho do raio, todavia, por se tratar de uma área extensa, o raio aplicado também é proporcionalmente grande.

Os resultados obtidos foram comparados aos valores levantados por Rudorff et al. (2020), cujo método baseia-se em fontes de imagens da coleção Landsat com resolução espacial de 30 m,

e arquitetura U-Net adaptada, extraídos da plataforma Google Earth Engine, utilizando extensivos algoritmos de aprendizagem de máquina para classificação automática.

O U-Net foi treinado utilizando amostras coletadas do ano de 2017 e, para aumentar a consistência temporal e espacial dos mapas, o resultado bruto foi pós-processado usando filtros espaciais e temporais. Os mapas utilizados como referência para classificar os pivôs centrais foram produzidos pela Agência Nacional de Águas (ANA) em parceria com a Embrapa Milho e Sorgo e referentes aos anos de 1985, 1990, 2000, 2005, 2010, 2014 e 2017 (ANA, 2019). Todos esses mapas-base foram produzidos utilizando interpretação visual de imagens obtidas pelos satélites Landsat 5, Landsat 8 e Sentinel 2A/2B.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio do mapeamento visual, foram levantados 4.626 equipamentos de pivôs centrais no estado de São Paulo, totalizando, em área, 202.786 ha distribuídos espacialmente como mostra a Figura 2.

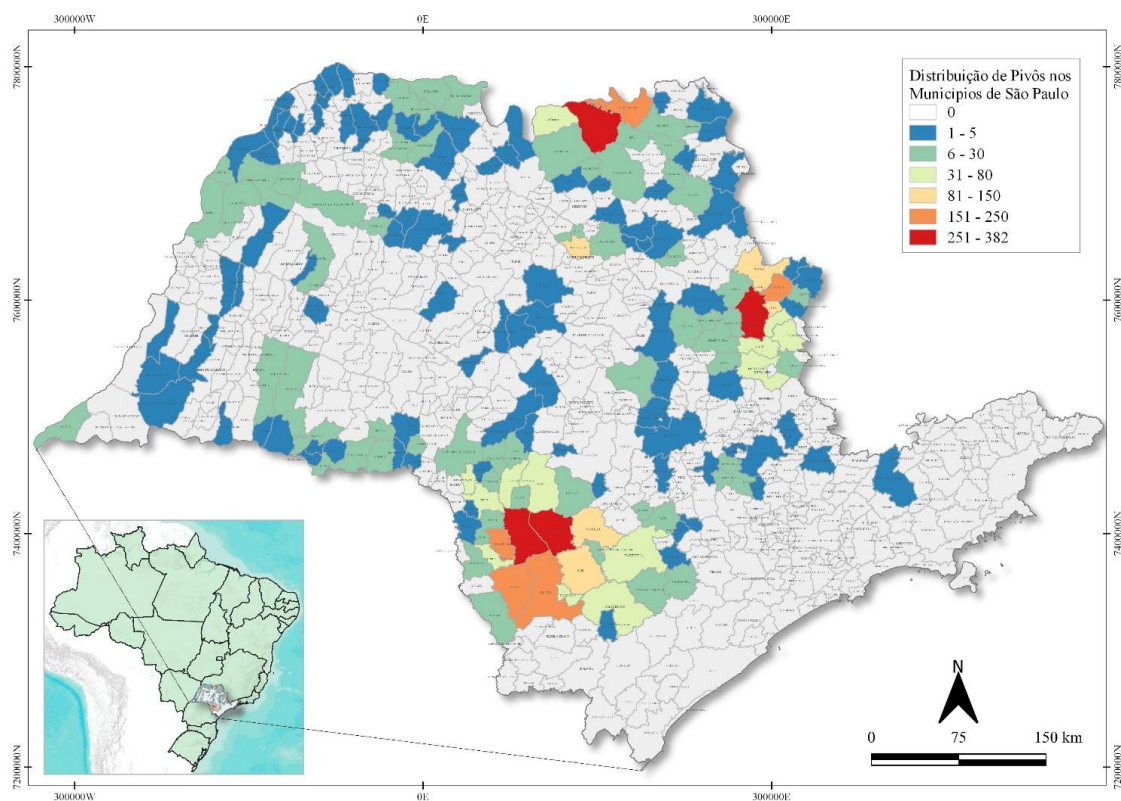


Figura 2. Distribuição espacial dos pivôs centrais nos municípios do estado de São Paulo em 2019.



Quatro municípios paulistas destacam-se no cenário nacional dos municípios com maior área irrigada por pivô central: Itaí, Guaíra, Paranapanema e Casa Branca (Guimarães; Landau, 2020). Esses municípios destacam-se também por apresentarem número relativamente elevado de pivôs centrais com densidade média acima de 251 (Figura 2). As áreas irrigadas desses quatro principais municípios irrigantes paulistas são: Itaí (18.864 ha), Guaíra (16.420 ha), Casa Branca (12.639 ha) e Paranapanema (11.308 ha).

Em tamanho, os pivôs centrais encontrados variam predominantemente entre 11 e 30 ha, com 32,62% do número de pivôs totais nessa faixa e 24,54% entre 31 e 50 ha (Tabela 1).

Tabela 1. Tamanho da área irrigada pelos pivôs centrais em hectares (ha), quantidade de pivôs e percentagem (%) da quantidade dos pivôs nos municípios do estado de São Paulo no ano de 2019.

Tamanho da área irrigada (ha)	Quantidade de pivôs	Quantidade de pivôs (%)
0 a 10	441	9,53
10 a 30	1.509	32,62
30 a 50	1.135	24,54
50 a 70	683	14,76
70 a 90	393	8,50
90 a 110	249	5,38
110 a 140	158	3,42
140 a 311	58	1,25

Compreender onde estão localizadas as principais concentrações de pivôs centrais é fundamental para garantir a segurança hídrica para o setor agrícola e promover o desenvolvimento regional, uma vez que os sistemas de pivôs centrais deverão continuar liderando a expansão das áreas irrigadas no país (ANA, 2021). A elaboração do mapa de “calor”, ou mapa de *kernel*, possibilita uma melhor interpretação desse dado referente ao estado de São Paulo (Figura 3).

O estado de São Paulo apresenta 3 dos 26 maiores polos de irrigação do Brasil (ANA, 2021). A área irrigada por pivôs centrais envolve os polos do “Alto Paranapanema” localizado no sudoeste do estado, “Vertentes do Pardo-Mogi-Guaçu”, na parte leste do estado, e “Incrementais do Rio Grande”, localizado na parte nordeste do estado (Figura 3). A área irrigada desses três polos paulistas forma 90% da área irrigada do estado de São Paulo (Ronquim; Fonseca, 2018).

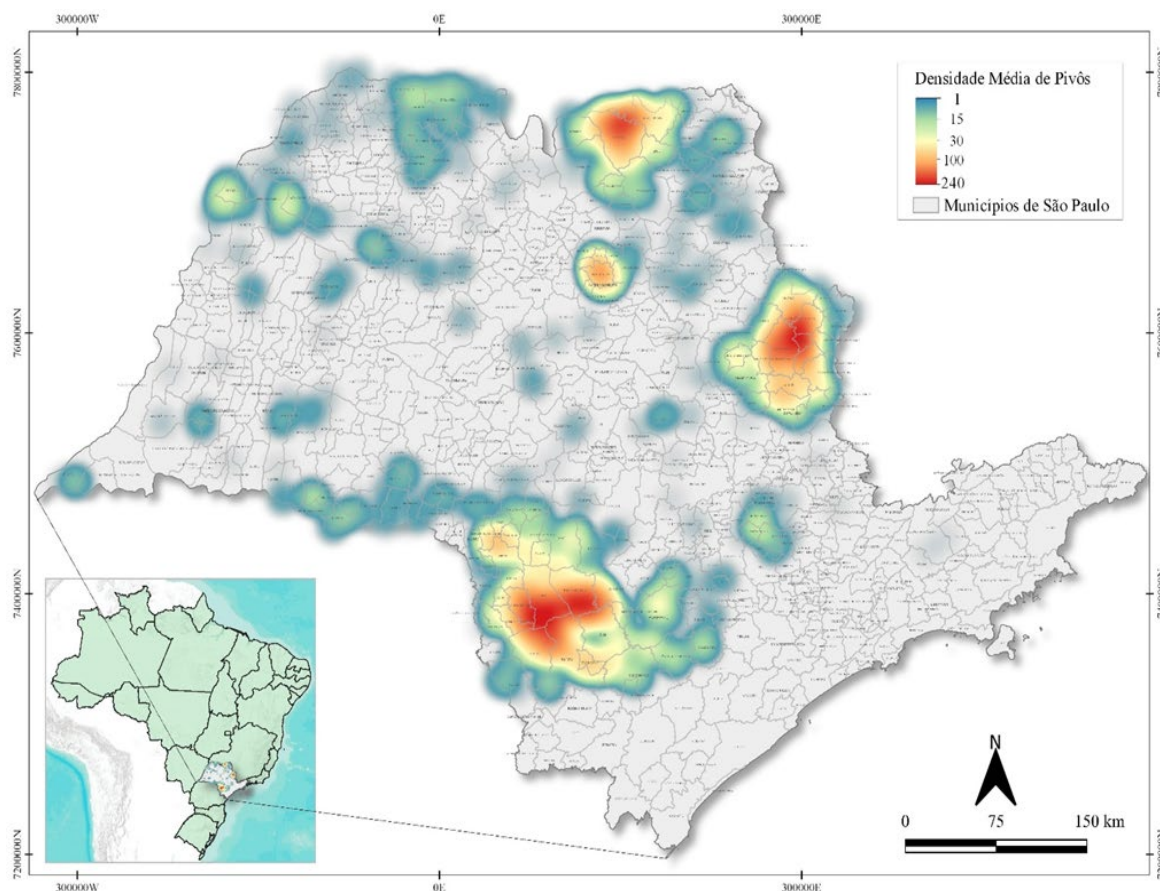


Figura 3. Densidade média de pivôs centrais no estado de São Paulo considerada a densidade de *kernel* com raio de 20 km.

Os dados disponibilizados na plataforma online do MapBiomas em 2019 mostram um resultado distinto do encontrado neste estudo, que foi de 202.786 ha. Segundo Rudorff et al. (2020), a área ocupada por pivôs centrais no território paulista foi de 162.087 há, uma diferença de cerca de 40 mil hectares. O trabalho de Rudorff et al. (2020) não é preciso quanto ao número total de pivôs centrais em unidade, pois a classificação é feita por pixel, que utiliza as propriedades de imagem para converter ou não os pixels em pivôs centrais.

Os valores obtidos neste estudo assemelham-se aos obtidos por Guimarães e Landau (2020): com 4.734 pivôs centrais e 213.137 ha. Além do resultado mais compatível, tecnicamente o método também facilitou a identificação dos pivôs centrais, em razão da maior resolução espacial proporcionada pelas imagens Sentinel 2 (Figura 4), que, comparadas às imagens de outros satélites, como Landsat, demonstram nível de detalhamento aumentado.



Figura 4. Imagem capturada pelo satélite Sentinel 2, com resolução espacial de 10 m, de pivôs centrais com diferentes tamanhos e em diferentes fases de uso no município de Miguelópolis–SP.

O método visual para o mapeamento dos pivôs centrais, quando comparado ao método de classificação automática de imagens, processualmente mostrou-se mais lento e laborioso, entretanto mais assertivo. A classificação automática usando imagens Landsat foi precisa e processou o mapeamento dos sistemas de pivôs centrais de forma mais rápida, principalmente nas grandes áreas, mas os resultados ainda apresentam algumas inconstâncias.

Para áreas de maior interesse, indica-se a utilização de métodos mais acurados, como o método visual aqui descrito, por possibilitar melhor planejamento regional sob os pontos de vista ambiental, de gestão de recursos hídricos e econômicos.

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos reforçam o mérito do sensoriamento remoto para a prospecção de informações sobre produção agrícola e recursos hídricos, por servirem de base para a elaboração de políticas públicas. Dados cada vez mais assertivos são necessários para proporcionar uma avaliação mais segura e próxima da realidade. É de suma importância que os estudos e métodos de classificação automática avancem para que seja cada vez mais dispensável a aferição visual, mas, por ora, o método aqui descrito assume papel imprescindível, tanto por oferecer resultados mais precisos e satisfatórios para a área ocupada pelos pivôs centrais de irrigação quanto para o



treinamento da classificação automática.

5. AGRADECIMENTOS

Ao orientador, pelo suporte; à Embrapa Territorial, pela oportunidade; e ao CNPq, pela bolsa concedida.

6. REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada** / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. 2. ed. Brasília, DF: ANA, 2021. 130 p.

BLACKBURN, G. A. Quantifying chlorophylls and carotenoids at leaf and canopy scales: an evaluation of some hyperspectral approaches. **Remote Sensing of Environment**, v. 66, n. 3, dec. 1998.

CARVALHO, D. F.; MARTINS, R. da C. F.; SANTOS, J. J. S. dos; TELES, G. C.; GENTILE, M. A. D.; OLIVEIRA, M. S. de. Evolution and current scenario of irrigated area in Brazil: systematic data analysis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 24, n. 8, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n8p505-511>

GUIMARÃES, D. P., LANDAU, E. C. **Georreferenciamento dos pivôs centrais de irrigação no Brasil: ano base 2020**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 63 p.

IBGE. **Bases e referenciais**: bases cartográficas: malhas digitais municipais, 2019. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: ftp://geofp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2013/. Acesso em: 29 maio 2020.

RONQUIM, C. C.; FONSECA, M. F. (Ed.). **Avanço das áreas de cana-de-açúcar e alterações em áreas de agropecuária no interior paulista**. Campinas: Embrapa Territorial, 2018. 48 p. (Embrapa Territorial. Documentos, 123)

RUDORFF, B.; GOULART, D.; SANTOS, K.; OLIVEIRA, L.; SARAIVA, M.; SALGADO, M. **Irrigation (beta version) – Appendix**. Mapbiomas. Collection 5, version 1. 2020.

SARAIVA, M.; PROTAS, E.; SALGADO, M.; SOUZA, C. Automatic Mapping of Center Pivot Irrigation Systems from Satellite Images Using Deep Learning. **Remote Sensing**, v. 12, n. 3, p. 558, 2020.

SANTOS, A. Á. da C.; ASSUNÇÃO, R. M. Aplicação de estruturas de dados espaciais eficientes na estimação de intensidade de processos pontuais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOINFORMÁTICA, 5., 2003, Campos do Jordão. **Anais...** São José dos Campos: INPE 2003.

THE EUROPEAN SPACE AGENCY. **Sentinel-2**. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>. Acesso em: 29 maio 2020.