

DINÂMICA TERRITORIAL DA IRRIGAÇÃO POR PIVÔS CENTRAIS NO ESTADO DO TOCANTINS, BRASIL

DEIVISON SANTOS¹; TAÍS SOUZA DOS SANTOS DIAS²; LAURA RESPLANDES SOUSA PAZ³; BALBINO ANTÔNIO EVANGELISTA⁴ E MARCO ANTÔNIO GARCIA MARTINS CHAVES⁵

¹ Núcleo Temático de Sistemas Agrícolas, Embrapa Pesca e Aquicultura, Cx. Postal nº 90, 77008-900, Palmas - TO, Brasil. E-mail: deivison.santos@embrapa.br.

² Faculdade de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, 77001-090, Palmas - TO, Brasil. E-mail: tais.dias@mail.uft.edu.br.

³ Programa de pós-graduação em Desenvolvimento Regional Sustentável, Universidade Federal do Tocantins, 77001-090, Palmas - TO, Brasil. E-mail: laurapaz.engamb@gmail.com

⁴ Núcleo Temático de Sistemas Agrícolas, Embrapa Pesca e Aquicultura, Cx. Postal nº 90, 77008-900, Palmas - TO, Brasil, balbino.evangelista@embrapa.br.

⁵ Gerência de Formação e Controle de Estoque, Companhia Nacional de Abastecimento, 70390-010, Brasília - DF, Brasil, marco.chaves@conab.gov.br

1 RESUMO

O objetivo deste trabalho foi mapear os sistemas de irrigação do tipo pivô central no estado do Tocantins e por meio de análise espacial e checagens de campo, identificar a área e os tipos de cultivos, tais informações podem contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas voltadas à expansão da irrigação no estado. Foram identificados 143 pivôs centrais, ocupando uma área de 14.555 ha. Por meio das checagens de campo, verificou-se a existência de seis tipos de culturas agrícolas irrigadas distribuídas em 24 municípios do estado do Tocantins, sendo elas: grãos (6.053 ha, 42%); cana-de-açúcar (5.829 ha, 40%); pastagens (2.056 ha, 14%); outros (milho-verde, pesquisa e/ou melhoramento vegetal) (227 ha, 2%); grama (216 ha, 1%) e abacaxi (172 ha, 1%). A área de pivôs centrais identificada no presente trabalho, representa 9,37% da atual área irrigada do estado, o que condiz entre 0,8% e 1,54% da área passível de desenvolvimento de agricultura irrigável sustentável identificada em estudos recentes realizados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.

Palavras-chave: agricultura irrigada, recursos hídricos, mapeamento.

SANTOS, D., DIAS, T. S. S.; PAZ, L. R. S.; EVANGELISTA, B. A.; CHAVES, M. A. G. M.

TERRITORIAL DYNAMICS OF CENTRAL PIVOT IRRIGATION IN TOCANTINS STATE, BRAZIL

2 ABSTRACT

This work aimed to map the central pivot irrigation systems in the state of Tocantins and through spatial analysis and field checking, identifying the area and types of crops under irrigation, such information can contribute to the development of public policies focused on the expansion of irrigation in the state. A total of 143 central pivots were identified, occupying an

area of 14,555 ha. Through the field checking, we verified the existence of six types of irrigated agricultural crops distributed in 24 municipalities in the state of Tocantins, as follows: grains (6,053 ha, 42%); sugar cane (5,829 ha, 40%); pastures (2,056 ha, 14%); others (green corn, research and/or crop breeding) (227 ha, 2%); grass (216 ha, 1%), and pineapple (172 ha, 1%). The area of central pivots identified in this work represents 9.37% of the current irrigated area of the state, which matches between 0.8% and 1.54% of the area amenable to the development of sustainable irrigated agriculture identified in recent studies conducted by the National Water and Sanitation Agency.

Keywords: irrigated agriculture, water resources, mapping.

3 INTRODUÇÃO

O mapeamento das áreas agrícolas de uma determinada região é de fundamental importância, permitindo subsidiar atividades tanto de planejamento quanto de monitoramento das condições das lavouras, sua localização, alternativas de manejo e inferir sobre produção e produtividade. Em um cenário de previsão de mudanças do comportamento do clima com possíveis impactos na disponibilidade dos recursos hídricos, ter essas informações disponíveis e sistematizadas, torna-se estratégico para os diferentes tomadores de decisão na agricultura irrigada.

Nesse sentido, agências governamentais têm buscado a geotecnologia e utilizado especialmente o sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento em estudos e estimativas de áreas cultivadas e seu comportamento ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, com o objetivo de qualificar constantemente suas estatísticas agropecuárias, como no caso do Boletim de Monitoramento Agrícola (CONAB, 2022a) ou de Acompanhamento da Safra Brasileira (CONAB, 2022b), elaborados pela Companhia Brasileira de Abastecimento (Conab).

As geotecnologias também são ferramentas importantes para ações de pesquisa e desenvolvimento e para políticas públicas, trazendo maior conhecimento sobre a dinâmica da ocupação territorial e uso das terras (EMBRAPA, 2015),

alimentando modelos, traçando cenários que permitem o desenvolvimento de sistemas de suporte à decisão (SSD) com diversas aplicações, como o Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (EMBRAPA; CEPAGRI/UNICAMP, 2022) e o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) (STEINMETZ; SILVA, 2017).

Na safra atual (2021-2022), foram cultivados 1,70 milhões de ha de grãos, fibras e oleaginosas (GFO) no estado do Tocantins (CONAB, 2022c), o que representa um crescimento acumulado de mais que 90% em relação à safra 2011/2012, destacando-se o crescimento de mais de 30% ocorrido entre as safras 2012/13 e 2013/14 (CONAB, 2022b).

Na safra 2015/16 houve uma queda abrupta de produtividade devido a alterações climáticas relacionadas ao fenômeno El Niño, que causou irregularidade e escassez das chuvas, além de temperaturas do ar acima da média para o período, o que pode ser um indicador da baixa resiliência dos sistemas de produção de grãos à ocorrência de eventos climáticos extremos (CONAB, 2022b).

Segundo Sentelhas *et al.* (2016), 77% das perdas nas produtividades potencial, atingível e real da soja na região de Peixe - TO são relacionadas ao déficit hídrico e 23% relacionadas à deficiência no manejo.

A adoção de irrigação, rotação de culturas e agricultura de precisão são

consideradas medidas mitigadoras das perdas nas produtividades potencial, atingível e real, contribuindo para a intensificação sustentável (SENTELHAS *et al.*, 2015).

A correlação entre a área irrigada atual com a área irrigada potencial e com a disponibilidade hídrica sazonal em uma determinada bacia hidrográfica pode ser um indicativo se a agricultura irrigada está sendo desenvolvida de forma sustentável, orientando ainda a capacidade de expansão da atividade na região, além de contribuir no planejamento do setor agrícola e na tomada de decisão na gestão dos recursos (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021; GRAFTON *et al.*, 2018; USP; ESALQ, 2020).

Portanto, o objetivo deste trabalho foi mapear os sistemas de irrigação do tipo pivô central no estado do Tocantins e por meio de análise espacial e checagens de campo, identificar a área e os tipos de cultivos sob irrigação, tais informações podem contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas voltadas à expansão da irrigação no estado.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado no estado do Tocantins, que possui 139 municípios em seus limites (SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO, 2012) e está localizado na região Norte do Brasil. O clima em Palmas - TO se caracteriza como tropical de inverno seco (Aw) (ALVARES *et al.*, 2013), com médias de chuva de 1.641 mm por ano, temperatura máxima do ar de 34°C e mínima de 19°C e umidade relativa do ar de 71%, que pode variar de 84% em março a 48% em setembro (NASA, 2022). O território do estado conta com 30 bacias hidrográficas, totalizando

27,762 milhões de ha na segunda maior região hidrográfica do país, que é a dos rios Tocantins e Araguaia (SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO, 2012).

4.2 Ferramentas utilizadas

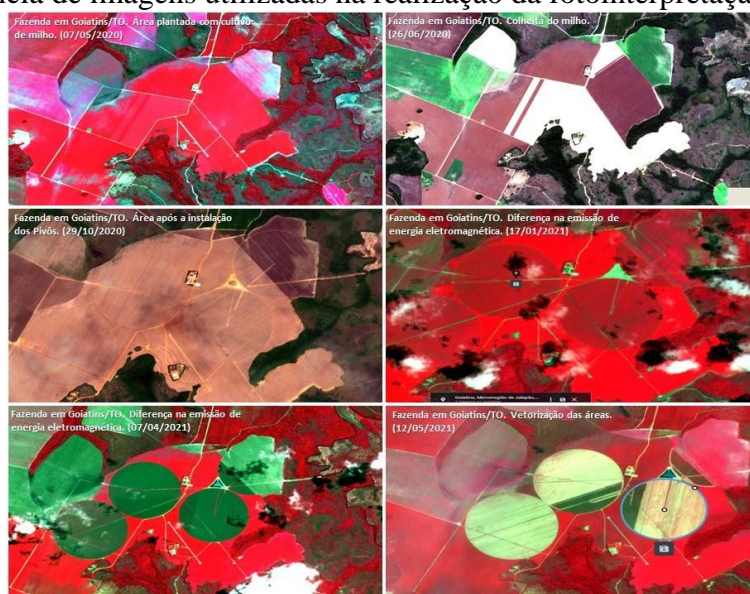
O estudo consistiu na aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e visitas a campo para a caracterização de áreas com sistemas de irrigação por pivôs centrais e a identificação das culturas agrícolas cultivadas no estado do Tocantins.

As imagens utilizadas para o mapeamento das áreas irrigadas por pivôs centrais foram obtidas na plataforma *Land Viewer* (EARTH OBSERVING SYSTEM, 2021), e foram compostas pelas bandas espectrais 2, 3, 4 e 8, fornecidas pelo sensor “*Multi-Spectral Instrument*” (MSI) a bordo dos satélites da Missão SENTINEL-2, com resolução espacial de 10 m e resolução temporal de cinco dias. Empregou-se composições RGB - 4,3,2 (cor verdadeira) e 8,4,3 (falsa cor). As imagens se referem aos meses de maio do ano de 2019 a maio de 2021.

A chave de identificação utilizada para o reconhecimento dos alvos espectrais deste estudo (áreas irrigadas por pivôs centrais) considerou os seguintes aspectos, que foram os parâmetros utilizados para separar as áreas de pivôs das áreas de sequeiro: distinção da resposta espectral das culturas agrícolas irrigadas em relação às áreas limítrofes, padrão de ordenamento (o formato circular dos pivôs) e a assinatura espectral dos alvos em períodos de seca.

O reconhecimento das áreas de lavoura foi realizado por meio da fotointerpretação, considerando os padrões de reflectância dos objetos em análise, analisando o comportamento espectral dessas áreas de acordo com os estádios de desenvolvimento das culturas, seguindo o calendário de plantio da região (Figura 1).

Figura 1. Sequência de imagens utilizadas na realização da fotointerpretação das áreas.



Fonte: Adaptado de Land Viewer (EARTH OBSERVING SYSTEM, 2021).

No período de preparo do solo e plantio, a resposta espectral das áreas de lavoura na imagem é tipicamente de solo exposto. No período de desenvolvimento, o espectro das lavouras anuais com elevado vigor vegetativo resulta em diferenciação em relação a outras classes como pastagem e mata nativa. Após a confirmação da área como lavoura, foi feita a vetorização manual das áreas de pivôs e sua classificação de acordo com a cultura implantada.

O mapeamento contou com validação em campo durante visitas realizadas pela equipe da Conab em seu trabalho de levantamento de safra, realizado durante todo o calendário agrícola da região.

Posteriormente, os dados gerados nos trabalhos de Borghetti *et al.* (2017); USP/ESALQ (2020), que utilizaram os limites municipais como escala espacial em seus resultados, foram espacializados e georreferenciados, resultando em uma

camada vetorial com classificação de áreas com potencial de implantação de sistemas de irrigação por pivôs centrais e áreas prioritárias para uso sustentável.

Após a construção da base de dados necessária para a obtenção dos resultados propostos neste estudo, foi realizada a sobreposição dos arquivos vetoriais a partir de técnicas de geoprocessamento utilizando o *software* ArcMap, do pacote ArcGisTM (ESRI), versão 10.3.1, possibilitando a análise da locação das culturas irrigadas por pivôs centrais.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram identificados 143 pivôs centrais, ocupando uma área de 14.555 ha. Por meio das checagens de campo, verificou-se a existência de seis tipos de culturas agrícolas irrigadas distribuídas em 24 municípios do estado do Tocantins (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Localização, cultivos irrigados (outros se refere a milho-verde, pesquisa e/ou melhoramento vegetal), nos municípios do estado do Tocantins, identificados via sensoriamento remoto e validados em campo, no período de maio de 2019 a maio de 2021.

Município	Cultivos agrícolas irrigados					
	Grãos	Cana	Pastagens	Outros	Gramma	Abacaxi
Ap. do Rio Negro	99,91					
Araguaçu	84,2		172,51			
Brej. de Nazaré	813,97					
C. Lindos	256,00		114,92			
Cariri do TO	615,96		139,01			
Caseara			72,90			
Figueirópolis	76,58			22,62	146,29	
Goiatins	207,79	494,18				
Gurupi	219,32					
Ipueiras			99,44			
Miracema do TO	74,95					
Mte. do Carmo	199,42					
Palmas	445,28					
Paraíso do TO	90,80					
P. Afonso	258,32	5.335,03				
Peixe	952,66		50,03			
Pium			1.320,77			
P. Nacional	526,77		86,89	204,73	69,59	
Sandolândia	114,34					
Sta. Rosa do TO	188,47					
S. Val. da Natividade	208,32					
Silvanópolis	398,59					
Sucupira	305,76					
Tocantínia						172,45
Total Geral	6.053,21	5.829,21	2.056,47	227,35	215,88	172,00

Tabela 2. Localização, área irrigada e quantidade de sistemas de irrigação tipo pivô central nos municípios do estado do Tocantins, identificados via sensoriamento remoto e validados em campo, no período de maio de 2019 a maio de 2021.

Município	Área irrigada (ha)	Número de pivôs
Ap. do Rio Negro	99,91	1
Araguaçu	172,51	3
Brej. de Nazaré	813,97	8
C. Lindos	370,92	5
Cariri do TO	754,97	7
Caseara	72,9	1
Figueirópolis	245,49	4
Goiatins	701,97	5
Gurupi	219,32	3
Ipueiras	99,44	1
Miracema do TO	74,95	1
Mte. do Carmo	199,42	2
Palmas	445,28	5
Paraíso do TO	90,8	4
P. Afonso	5.593,35	37
Peixe	1.002,69	12
Pium	1.320,77	10
P. Nacional	887,98	12
Sandolândia	114,34	1
Sta. Rosa do TO	188,47	2
S. Val. da Natividade	208,32	3
Silvanópolis	398,59	7
Sucupira	305,76	3
Tocantínia	172,45	6
Total Geral	14.554,57	143

Os pivôs centrais sobre lavouras anuais de grãos totalizaram 71 unidades, irrigando 6.053 ha distribuídos por 20 municípios, correspondentes a 42% do total.

O município de Peixe, na região sul do estado e às margens do Rio Tocantins, concentra a maior área, com 953 ha sob irrigação por pivôs centrais (Figura 2).

Figura 2. Pivôs centrais sobre lavouras anuais no município de Peixe - TO.

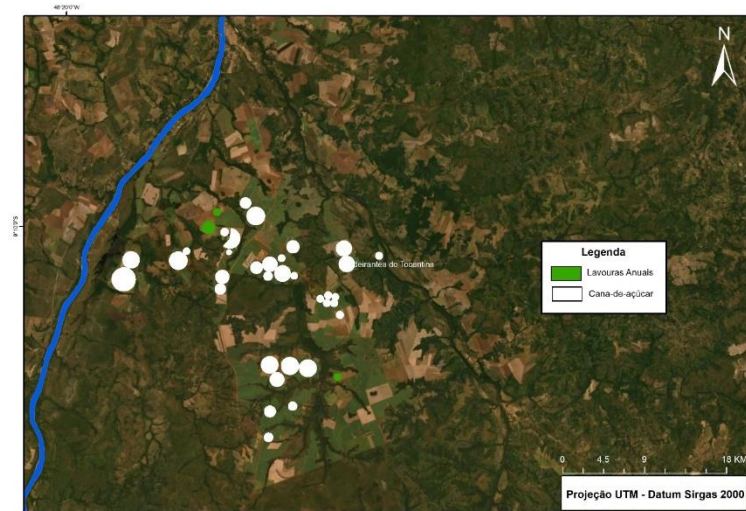


Fonte: Adaptado de ArcGIS Basemap (ESRI, 2021).

A produção de cana-de-açúcar irrigada ocorre em 5.829 ha, correspondentes a 40% de toda área ocupada por pivôs no estado do Tocantins, neste levantamento foi identificado um único pivô

cobrindo uma área de 530 ha. A produção de cana-de-açúcar está concentrada no município de Pedro Afonso (92%), localizado às margens do Rio Tocantins (Figura 3).

Figura 3. Pivôs centrais sobre cana-de-açúcar no município de Pedro Afonso - TO, com o Rio Tocantins destacado na cor azul.

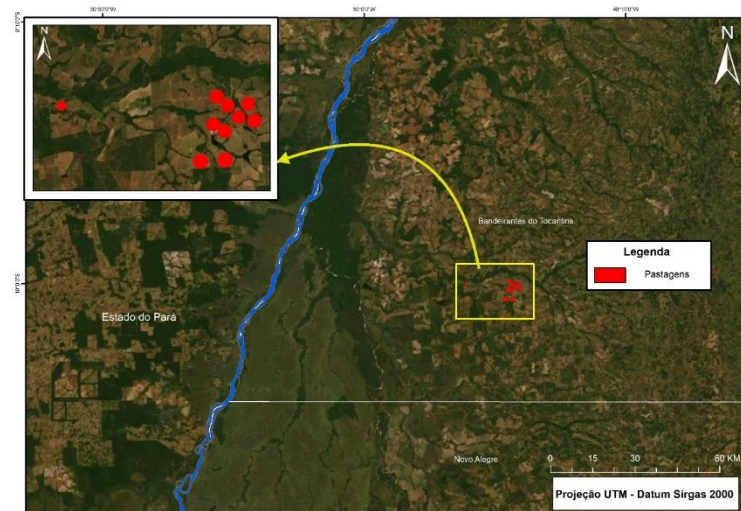


Fonte: Adaptado de ArcGIS Basemap (ESRI, 2021).

As pastagens ocuparam a terceira posição em termos de área, com 2.056 ha, correspondentes a 14% do total, com

destaque para o município de Pium, na região centro-oeste do estado, que concentra 1.320 ha de pastagens irrigadas (Figura 4).

Figura 4. Pivôs centrais sobre pastagens no município de Pium - TO, com o Rio Araguaia destacado na cor azul.



Fonte: Adaptado de ArcGIS Basemap (ESRI, 2021).

O estudo identificou cinco pivôs centrais sobre áreas para a produção de horticultura e pesquisa e/ou melhoramento vegetal, cobrindo um total de 227 ha e representando 2% da área de pivôs do estado, sendo quatro no município de Porto Nacional, na região central limítrofe ao município de Palmas e um pivô central no município de Figueirópolis, na região sul, entre as bacias dos Rios Tocantins e Araguaia.

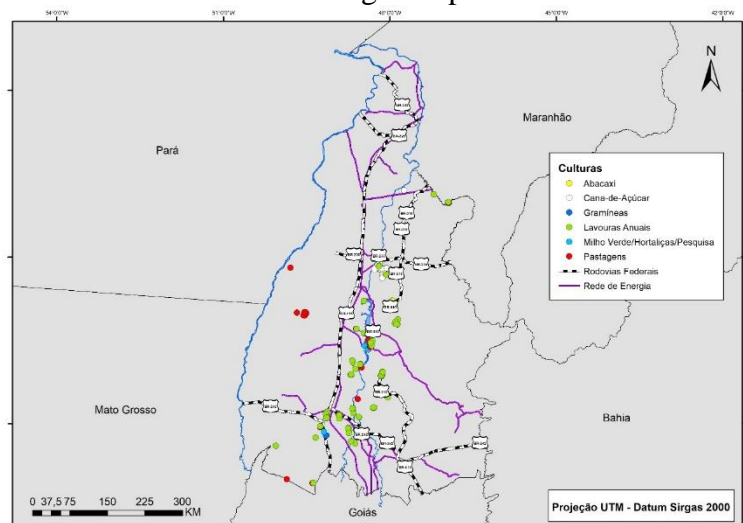
Foram encontrados três pivôs centrais utilizados para o cultivo de grama, um no município de Porto Nacional, com 70 ha e dois pivôs centrais no município de Figueirópolis, com 65 e 81 ha, respectivamente, totalizando 216 ha, correspondentes a 1% da área irrigada.

Por fim, foram contabilizados seis equipamentos de pivô central sobre cultivos de abacaxi, ambos no município de

Tocantína, distante 87 km ao norte da capital do estado, Palmas, somando 172 ha de área irrigada, equivalente a 1% da área irrigada do estado. A produção de abacaxi tem grande importância socioeconômica para o estado do Tocantins, sendo a segunda cultura frutífera mais cultivada (4.727 ha) e com maior valor da produção (mais de R\$ 155 milhões) (IBGE, 2022).

Os equipamentos de irrigação do tipo pivô central identificados pelo presente estudo seguem uma tendência de distribuição ao longo do eixo da BR-153 e apresentam uma nítida dependência espacial em relação à distribuição da rede elétrica de alta tensão, de 500 kV (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2019; SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO, 2019), conforme demonstrado na Figura 5.

Figura 5. Distribuição espacial dos pivôs centrais identificados no estado do Tocantins, em relação às rodovias e linhas de energia no período de maio de 2019 a maio de 2021.



Fonte: Adaptado de Agência nacional de águas e saneamento básico (2019); Tocantins (2019).

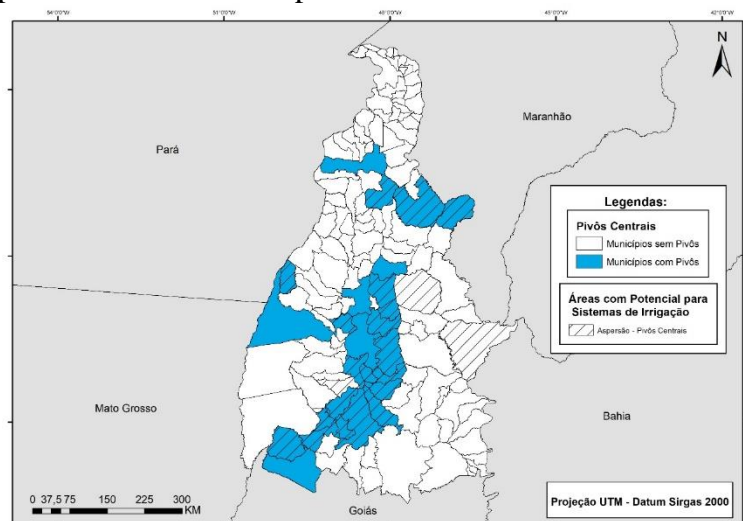
Em trabalho realizado por Guimarães e Landau (2020), foram encontrados 16.890 ha ocupados por 185 equipamentos de pivôs centrais no Tocantins, um acréscimo de 2.335 ha e 42 equipamentos de pivô central em relação ao presente estudo. Porém, os autores do estudo supracitado realizaram a identificação visual dos pivôs centrais por meio de imagens de satélite inseridas na plataforma *Google Earth Pro*, não havendo verificação em campo.

Após a espacialização e georreferenciamento dos dados obtidos pela USP/ESALQ (2020), foi verificado que 22 municípios no estado do Tocantins possuem potencial para o uso de sistemas de irrigação, sobre uma área de mais de 1,8 milhões de ha, mais que decuplicando a atual área, de 155.404 ha irrigados (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021). De acordo com esse estudo, parte do acréscimo

na área irrigada se daria pela intensificação de 361.482 ha, com o crescimento de 233% em relação a área irrigada atual, e parte pela expansão de áreas irrigadas, sobre 1.247.675 ha, representando um incremento de 803% em relação a atual área irrigada. Soma-se ainda a área com subirrigação, ou elevação do lençol freático, que representa 54.197 ha, ou 35% da atual área irrigada.

Contudo, 27% dos pivôs levantados pelo presente estudo não estão nestas áreas, mas sim localizados nos municípios de Araguaçu, Araguaína, Miracema do Tocantins, Pedro Afonso, Pium e Porto Nacional, ocupando uma área de 8.173 ha de pivôs centrais, ou 4,67% da área irrigada atual (Figura 6). Vale ressaltar que das áreas potenciais, apenas os municípios de Aliança do Tocantins, Mateiros e Rio Sono não possuem ainda sistemas de irrigação do tipo pivô central.

Figura 6. Municípios do estado do Tocantins com potencial para agricultura irrigada e municípios identificados com pivôs centrais.

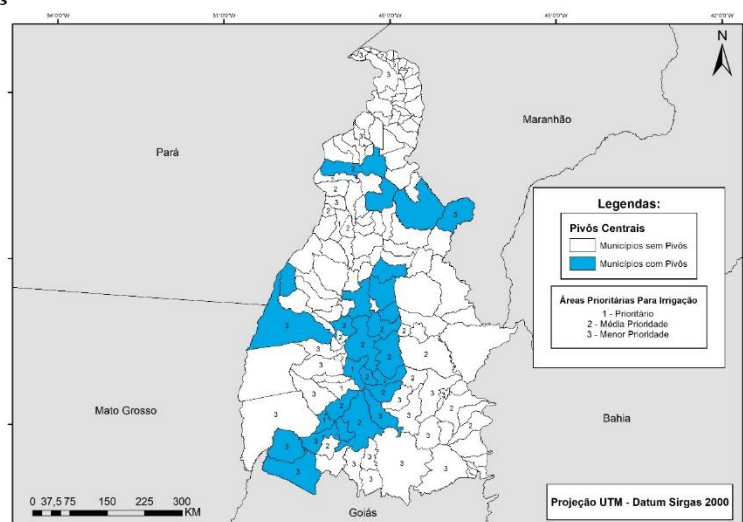


Fonte: Adaptado de Grupo de Políticas Públicas (2020).

A vetorização dos dados do Atlas da Irrigação (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021) revelou que 37% dos municípios do estado do Tocantins possuem áreas prioritárias para a implantação de agricultura

irrigada sustentável, totalizando 946.036 ha, ou 609% a mais do que a área atual, se dividindo em menor prioridade (25 municípios), média prioridade (23 municípios) e prioritários (4 municípios) (Figura 7).

Figura 7. Municípios do Tocantins com áreas prioritárias para implantação de sistemas de irrigação.



Fonte: Adaptado de Borghetti *et al.* (2017).

Em relação à classificação de prioridade dos municípios com pivôs centrais, nove municípios estão localizados em áreas com média prioridade, com 46 pivôs ocupando uma área de 3.487 ha, o que

representa 24% da área irrigada por pivôs centrais; seguidos por sete municípios que possuem menor prioridade, com 30 pivôs sobre 2.607 ha, equivalente a 18% da área irrigada por pivôs centrais; e apenas dois

municípios apresentam maior prioridade, com 16 pivôs sobre 1.669 ha, ou 11% da área irrigada por pivôs centrais.

Contudo, oito municípios nos quais foram identificados sistemas de irrigação por pivôs centrais não estão localizados em áreas prioritárias, apresentando 51 pivôs sobre 6.792 ha de área irrigada, representando 47% da área irrigada por pivôs centrais. Entendemos desta forma, que 53% ou 92 pivôs, sobre 7.763 ha, se encontram em áreas prioritárias (Figura 7).

Apesar da aptidão para o desenvolvimento da agricultura irrigada revelada por diversos estudos (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO, 2021; BORGHETTI *et al.*, 2017; GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS, 2011), a adoção de sistemas de irrigação no estado do Tocantins é muito tímida e ainda se restringe aos perímetros irrigados (irrigação localizada, ou aspersão convencional), que receberam investimentos públicos para a infraestrutura hídrica e elétrica, além da sistematização das áreas. Porém, há poucos empreendimentos com pivôs centrais, o que nos indica a preponderância de uma lógica típica de fronteira agrícola, que é a de expansão horizontal, em contraste à intensificação sustentável representada pelo uso da irrigação.

Para que o potencial em agricultura irrigada do estado do Tocantins seja convertido em realidade, é necessário o desenvolvimento de políticas públicas que incentivem a adoção de sistemas de irrigação pela iniciativa privada, uma vez que já existem trabalhos de gestão territorial indicando onde a irrigação pode ser desenvolvida, assim como mecanismos de gestão hídrica para este fim.

6 CONCLUSÕES

1. Existem 143 equipamentos de irrigação do tipo pivô central no estado do Tocantins, sobre 14.554,57 ha distribuídos em seis tipos de cultivos agrícolas irrigados.
2. A irrigação de grãos ocupa a maior área, 6.053,21 ha (42%), seguida por cana-de-açúcar, com 5.829,21 ha (40%), pastagens, com 2.056,47 ha (14%), outros (milho-verde, pesquisa e melhoramento vegetal), com 227,35 ha (2%), grama, com 215,88 ha (1%) e abacaxi, com 172,00 ha (1%).
3. A área de pivôs centrais identificada no presente trabalho, representa 9,37% da atual área irrigada do estado, o que condiz entre 0,8% e 1,54% da área passível de desenvolvimento de agricultura irrigável sustentável identificada em estudos recentes.

7 REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). Ministério do Desenvolvimento Regional. **Catálogo de metadados da ANA**. Brasília, DF: ANA, 2019. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/home>. Acesso em: 18 fev. 2022.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Atlas da irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. 2. ed. Brasília, DF: ANA, 2021. Disponível em: https://biblioteca.ana.gov.br/asp/download.asp?codigo=148256&tipo_midia=2&iIndexSrv=1&iUsuario=0&obra=88090&tipo=1&iBanner=0&iIdioma=0. Acesso em: 18 fev. 2022.

- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Berlin, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Disponível em: https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil. Acesso em: 24 nov. 2021.
- BORGHETTI, J. R.; SILVA, W. L. C.; NOCKO, H. R.; LOYOLA, L. N.; CHIANCA, G. K. (ed.). **Agricultura irrigada sustentável no Brasil: identificação de áreas prioritárias**. Brasília, DF: FAO, 2017. Disponível em: <https://www.fao.org/3/a-i7251o.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2022.
- CONAB. Cultivo de verão - Safra 2021/2022. **Boletim de monitoramento agrícola**, Brasília, DF, v. 11, n. 1, p. 1-20, jan. 2022a. Disponível em: https://www.conab.gov.br/component/k2/item/download/41003_455b01c2b7ae1b94dfc0d608ec834be7. Acesso em: 18 fev. 2022.
- CONAB. **Grãos por unidades da federação: Série histórica das safras**. Brasília, DF: CONAB, 2022b. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/sa-fra-serie-historica-graos.html>. Acesso em: 03 out. 2022.
- CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira: grãos**, Brasília, DF, v. 9, n. 5, fev. 2022. Safra 2021/22, Quinto levantamento. 2022c. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos/item/download/41108_0d2fd92e8d257bd422cc07a50f7f1a3c. Acesso em: 03 out. 2022.
- EMBRAPA. **MATOPIBA**. Geoweb. Brasília, DF: Embrapa Territorial, 2015. Disponível em: <http://mapas.cnpm.embrapa.br/matopiba2015/>. Acesso em: 18 fev. 2022.
- EMBRAPA; CEPAGRI. **Agritempo**. Sistema de Monitoramento Agrometeorológico. Brasília, DF: Embrapa Agricultura Digital; Campinas: CEPAGRI, 2022. Disponível em: <http://www.agritempo.gov.br/agritempo/index.jsp>. Acesso em: 18 fev. 2022.
- EARTH OBSERVING SYSTEM. **Land Viewer**. Mountain View: EOS Data Analytics, 2022. Disponível em: <https://eos.com/landviewer>. Acesso em: 18 fev. 2022.
- ESRI. **ArcGIS Online Basemaps**. São José dos Campos: ESRI, 2022. Disponível em: <https://www.arcgis.com/home/group.html?id=702026e41f6641fb85da88efe79dc166#!>. Acesso em: 18 fev. 2022.
- GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS. Secretaria de desenvolvimento sustentável e recursos hídricos. Secretaria da agricultura e pecuária. **Plano estadual de irrigação do Tocantins: Relatório Síntese**. Palmas: MAGMA Engenharia, 2011.
- GRAFTON, R. Q.; WILLIAMS, J.; PERRY, C. J.; MOLLE, F.; RINGLER, C.; STEDUTO, P.; UDALL, B.; WHEELER, S. A.; WANG, Y.; GARRICK, D.; ALLEN, R.G.. The paradox of irrigation efficiency. **Science**, Washington D. C., v. 361, n. 6404, p. 748-750, ago. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1126/science.aat9314>. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aat9314>. Acesso em: 18 fev. 2022.

USP; ESALQ. **Análise territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada no Brasil**. Piracicaba: Grupo de Políticas Públicas, 2020. Disponível em: https://www.gppesalq.agr.br/_files/ugd/9957b7_08c174c8c60e4d9cb8213f9e040f563a.pdf. Acesso em: 03 out. 2022.

GUIMARÃES, D. P.; LANDAU, E. C. **Georreferenciamento dos pivôs centrais de irrigação no Brasil: Ano-base 2020**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 222). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/219375/1/Bol-222.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2021.

IBGE. **Produção agrícola**. Lavoura temporária. Brasília, DF: IBGE, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/pesquisa/14/10193>. Acesso em: 18 fev. 2022.

NASA. **Power**. Data access viewer. Washington: NASA, 2022. Disponível em: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. Acesso em: 16 fev. 2022.

SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; HAMPF, A. C.; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil: magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **The Journal Of Agricultural Science**, Cambridge, v. 153, n. 8, p. 1394-1411, abr. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/s0021859615000313>. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-agricultural-science/article/soybean-yield-gap-in-brazil-magnitude-causes-and-possible-solutions-for-sustainable-production/DB059CC032A27B7C5A07FF896F56E8D5>. Acesso em: 18 fev. 2022.

SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; MONTEIRO, L. A.; DUARTE, Y. C. N.; VISSÉS, F. A. Yield Gap: conceitos, definições e exemplos. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 155, p. 9-12, set. 2016. Disponível em: [http://www.ipni.net/publication/IA-BRASIL.NSF/0/9C05063FB033C24A83258042004C8594/\\$FILE/Page9-12-155.pdf](http://www.ipni.net/publication/IA-BRASIL.NSF/0/9C05063FB033C24A83258042004C8594/$FILE/Page9-12-155.pdf). Acesso em: 18 fev. 2022.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO. **Atlas do Tocantins**. Subsídios ao planejamento da gestão territorial. Palmas: SEPLAN, 2012. Disponível em: <https://www.to.gov.br/seplan/atlas-do-tocantins/1asvwxbj530d>. Acesso em: 18 fev. 2022.

SECRETARIA DE PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO. **Catálogo de metadados IDE Tocantins**. Palmas: GGeoNetwork 3.10.2.0, 2019. Disponível em: <https://geoportal.to.gov.br/geonetwork/srv/eng/catalog.search#/home>. Acesso em: 18 fev. 2022.

STEINMETZ, S.; SILVA, S. C. **Início dos estudos sobre Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) no Brasil**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2017. (Documentos, 312). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/168747/1/Silvio-Steinmetz-Doc-312.pdf>. Acesso em: 18 fev. 2022.