

MAPEAMENTO DA ÁREA IRRIGADA POR PIVÔ CENTRAL EM NÍVEL DE BACIA HIDROGRÁFICA NO EXTREMO SUL DO BRASIL

JULIANO DALCIN MARTINS¹; MIRTA TERESINHA PETRY²; BRUNO CAMPOS MANTOVANELLI³ E CASSIO MIGUEL FERRAZZA⁴

¹ Eng. Agrônomo, Doutor, Professor do Departamento de Engenharia Rural, UFSM, Avenida Roraima, nº1000, bairro Camobi, Santa Maria, RS, Brasil, CEP: 97195-000, juliano.martins@ufsm.br.

² Eng. Agrônoma, Doutora, Professora do Departamento de Engenharia Rural, UFSM, Avenida Roraima, nº1000, bairro Camobi, Santa Maria, RS, Brasil, CEP: 97195-000, mirta.petry@gmail.com

³ Eng. Agrônomo, Mestre, Doutor em Ciência do Solo, Física do solo, UFSM, Avenida Roraima, nº1000, bairro Camobi, Santa Maria, RS, Brasil, CEP: 97195-000, brunomantovanelli21@gmail.com

⁴ Acadêmico Curso de Agronomia, UFSM, Avenida Roraima, nº1000, bairro Camobi, Santa Maria, RS, Brasil, CEP: 97195-000, cassiom.ferrazza@gmail.com

1 RESUMO

O pivô central é um mecanismo de inovação na agricultura irrigada, por aliar eficiência de aplicação à automação e devido à menor demanda de energia quando comparado aos métodos tradicionais. Assim, este estudo teve como objetivo mensurar as áreas irrigadas por pivô central, em nível de município e bacias hidrográficas (BH), do estado do Rio Grande do Sul. Imagens de satélite de média e alta resolução e imagens derivadas do Google Earth-Pro foram utilizadas para mapear a área irrigada em cada BH e município. Cada área foi identificada visualmente, marcando-se o centroide e delineando os limites externos da área irrigada. Foram detectados 3.208 sistemas, o que resultou em uma área irrigada total acumulada de 190.550,30 ha, com média de 58,39 ha. Os pivôs centrais estão distribuídos em 20 BH e 152 municípios. Cerca de 87% da área dos pivôs centrais concentra-se em sete BH: Alto Jacuí, Ijuí, Piratinim, Turvo-Santa Rosa e Santo Cristo, Ibicuí, Butuí-Icamaquã e rios Várzea. A maior área irrigada está concentrada nas BH de Alto Jacuí (34.192,6 ha) e Ijuí (34.067,2 ha). Os municípios com maior área irrigada são Cruz Alta (12.992,6 ha), São Borja (10.336,2 ha) e São Luiz Gonzaga (10.061,7 ha).

Palavras-Chave: irrigação, sensoriamento remoto, recursos hídricos.

MARTINS, J. D.; PETRY, M. T.; MANTOVANELLI, B. C; FERRAZZA, C. M.
**MAPPING CENTER-PIVOT IRRIGATED AREA AT WATERSHED LEVEL IN THE
EXTREME SOUTHERN BRAZIL**

2 ABSTRACT

The central pivot is an innovation mechanism in irrigated agriculture, by combining water application efficiency with automation and due to less energy demand when compared to traditional methods. Thus, this study measured the areas irrigated by the central pivot, at the municipality and watershed level, in the State of Rio Grande do Sul. Medium and high-resolution satellite images and images derived from Google Earth-Pro were used to map the irrigated area in each municipality inside the watershed. Each area was visually identified,

marking the centroid and outlining the external boundaries of the irrigated area. 3,208 systems were detected and delineated, which resulted in a cumulative irrigated area of 190,550.30 ha, with an average of 58.39 ha. The center pivots are distributed in 20 watersheds and 152 municipalities. Around 87% of the central pivots area were concentrated in seven watersheds: Alto Jacuí, Ijuí, Piratinim, Turvo Santa Rosa and Santo Cristo, Ibicuí, Butuí-Icamaquã, and Várzea rivers. The largest irrigated area is concentrated in the Alto Jacuí (34,192.6 ha), and Ijuí (34,067.2 ha) watersheds. The municipalities with the largest irrigated area were Cruz Alta (12,992.6 ha), São Borja (10,336.2 ha), and São Luiz Gonzaga (10,061.7 ha).

Keywords: irrigation, remote sensing, water resources

3 INTRODUÇÃO

A irrigação utiliza 70% do volume de recursos hídricos disponíveis no mundo (UNESCO, 2018), podendo alcançar 90% em regiões áridas (MOLDEN, 2007), além de ser responsável por cerca de 30% da demanda total de energia (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2014). Água e energia são importantes fontes para o desenvolvimento econômico e social de uma comunidade ou região, ao mesmo tempo em que são a base para a irrigação (TARJUELLO et al., 2015), sobretudo a pressurizada.

A implantação de sistemas de irrigação torna-se fundamental para garantir a segurança alimentar, a estabilidade e a diversificação da produção (SILVA, 2020). Entretanto, o conhecimento da demanda e uso de água em sistemas irrigados deve ser atualizado com frequência a fim de possibilitar um adequado monitoramento e uma correta gestão dos recursos hídricos. Nesse contexto, o uso conjunto de técnicas de sensoriamento remoto pode melhorar o manejo dos recursos hídricos em diferentes escalas espaciais e temporais permitindo o monitoramento de grandes áreas irrigadas (SILVA; MANZIONE; ALBUQUERQUE FILHO, 2018).

Dada a complexidade e a contínua expansão da irrigação, levantamentos com base em geotecnologias configuram-se como as experiências recentes mais

promissoras, além de possuírem grandes oportunidades de ampliação (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2017a). O estado do Rio Grande do Sul (RS) contribui com aproximadamente 11% da produção nacional de grãos (IBGE, 2017). A sua base agrícola deve-se a sua posição geográfica e condições climáticas, que apresentam grande variação sazonal, característica de climas temperados do tipo subtropical úmido (ALVARES et al., 2013). Na safra 2019/20, com exceção do arroz irrigado, as demais culturas tiveram redução de rendimento devido à redução no volume de chuvas entre novembro e março (CARDOSO et al., 2020). A variabilidade na distribuição das precipitações pluviais resulta em perdas de rendimento por deficiência hídrica, fazendo com que diferentes estratégias de manejo (BATTISTI; SENTELHAS, 2017; MATZENAUER; RADIN; CARGNELUTTI FILHO, 2018) e o uso da irrigação suplementar, sobretudo nos períodos mais críticos, sejam muitas vezes requeridas (MONTROYA et al., 2017), a fim de contornar ou evitar os riscos inerentes à atividade produtiva.

Eventos como as secas severas de 2004/2005, 2011/12 (NOBRE et al., 2016) e 2019/20 foram as causas da redução na produção agrícola em muitas regiões no estado, ocasionando um incremento significativo na área irrigada por pivô central após cada um desses eventos (MARTINS et al., 2016). Um dos paradigmas do uso da irrigação, que vai muito além do aumento da

produtividade, é a tolerância e/ou diminuição das incertezas e riscos ligados à atividade agrícola (ENGLISH; SOLOMON; HOFFMAN, 2002).

O pivô central tem sido adotado nas áreas irrigadas devido à sua robustez, versatilidade, uniformidade de aplicação (CHAKRABORTY; KHOT; PETERS, 2020), eficiência energética (TARJUELLO et al., 2015), reduzida necessidade de mão de obra (ROGERS et al., 2017) e possibilidade de uso para aplicação de agroquímicos e fertilizantes (KING; WALL; KARSKY, 2009).

A área irrigada por pivô central no RS aumentou significativamente na última década, saltando de cerca de 76 mil ha em 2013 (LANDAU; GUIMARÃES, 2014) para 111 mil ha em 2016 (MARTINS et al., 2016), gerando um incremento de 58,6% em apenas 5 anos e um aumento de 146% em relação ao censo agropecuário de 2006 (IBGE, 2017). Apesar do intenso trabalho desenvolvido pela Agência Nacional de Águas (ANA) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) no mapeamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil a partir de imagens de satélite de alta e média resolução (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2019), ainda existe considerável incerteza sobre a exata área irrigada no RS por pivô central, conforme também documentado por Martins et al. (2016). As discrepâncias podem ser atribuídas às dificuldades em mapear a precisa distribuição espacial das áreas irrigadas devido à dinâmica da paisagem no Rio Grande do Sul (sem um período de seca característico) e à característica da irrigação suplementar realizada nessas áreas.

O sensoriamento remoto, associado a outras geotecnologias, permite relevante ganho de escala em levantamentos relacionados à agricultura irrigada. Atualmente, técnicas e ferramentas de geoprocessamento permitem sua aplicabilidade na agricultura, como a

identificação e quantificação de áreas irrigadas (SANTOS et al., 2015; FREITAS; ANDRADE 2017; RIBEIRO; GONÇALVES; PINHEIRO, 2019), a obtenção da demanda hídrica de cultivos (SCHIRMBECK et al., 2017; SILVEIRA et al., 2020) e a análise espacial de áreas de produção agrícola com sistemas de irrigação (SILVEIRA et al., 2013; DEMARQUI; DEMARQUI, 2020).

Diante deste cenário, o objetivo do estudo foi mapear e quantificar, a partir de imagens de satélites, a área irrigada por pivôs centrais, em nível de bacias hidrográficas e municípios, do Rio Grande do Sul.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo concentrou-se entre os paralelos de latitude Sul: 27°03'42" e 33°45'09" e os meridianos de longitude Oeste: 49°42'41" e 57°40'57", no estado do Rio Grande do Sul. Foram observadas imagens de satélite obtidas pelo Google Earth Pro para todo o estado, especificamente os arquivos de imagens de satélite Landsat 8 OLI/TIRS (UNITED STATES GEOLOGICAL SERVICE, 2020) e a base de dados do levantamento de pivôs centrais realizado em 2017 pela EMBRAPA em parceria com a ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2017b).

Foram utilizadas imagens do Google Earth Pro, dos arquivos de imagens de satélite Landsat 8 OLI/TIRS (UNITED STATES GEOLOGICAL SERVICE, 2020), com resolução de 30 m. Inicialmente, realizou-se a sobreposição espacial com um mapa digital georreferenciado dos limites de cada município, (IBGE, 2007) e um mapa digital georreferenciado das bacias hidrográficas do estado (RIO GRANDE DO SUL, 2020), sendo importados para o Google Earth Pro. A identificação de cada sistema de irrigação foi feita por interpretação das imagens conforme descrito

por Freitas e Andrade (2017), recorrendo também à fusão de bandas, de forma a melhorar a resolução. Uma vez que a região de estudo não apresenta período característico de secas, o que dificulta a identificação de área irrigadas, também foi utilizado a metodologia do cruzamento de dados com observações de superfície, informações de produtores, consultores técnicos e empresas fornecedoras de equipamentos para pivô central, visando a identificação efetiva dos equipamentos (GUIMARÃES; LANDAU, 2011).

No Google Earth Pro, cada pivô foi identificado com o município e a bacia hidrográfica em que estava localizado. Tendo em vista que a localização do pivô central poderia ocorrer em mais de uma bacia hidrográfica ou município, foi considerada a bacia hidrográfica e o município em que se localizava a maior fração da área do pivô central. Para determinar a área efetivamente irrigada de cada pivô, realizou-se a marcação no Google Earth Pro com a ferramenta *adicionar caminho* para pivôs setoriais ou com a ferramenta *círculo* para pivôs centrais de giro completo, traçando-se uma polilinha sobre cada área irrigada. Após as respectivas identificações, foi realizada uma análise minuciosa das respectivas imagens e os arquivos salvos na extensão KML.

Utilizando a caixa de ferramentas do ArcMap do software ArcGis 10.1.2, os arquivos gerados no Google Earth Pro foram convertidos para *shapefile*, usando a ferramenta *KML to Layer*. Posteriormente este *shapefile* foi convertido do sistema de coordenadas de GCS-WGS 1984 para SIRGAS2000 através da função *ArcToolBox>Data Management Tools>Projections and Transformations>Project do ArcMap*. Em seguida, uma ferramenta de gerenciamento de dados foi utilizada para a manipulação e conversão do *shapefile* com a geometria de polilinhas dos pivôs para polígonos. Para determinar a área de cada polígono irrigado

e as coordenadas do centro de cada pivô, foram inseridos campos do tipo *Double*, em hectares, e coordenadas de latitude e longitude do centroide na tabela de atributos do *shapefile*, determinando-se esses campos pela função calcular geometria.

O tratamento dos dados e a elaboração dos mapas foram feitos no software ArcGIS 10.2.1, que possui ferramentas geoestatísticas com o interpolador escolhido para este estudo. No ArcMAP, geoprocessou-se as informações e gerou-se mapas temáticos de distribuição, concentração e localização das áreas irrigadas por pivô, com o intuito de descrever a distribuição espacial das áreas irrigadas nas diferentes bacias.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste levantamento foram identificados 3.208 pivôs centrais, irrigando uma área de 190.055,3 ha. Os pivôs encontram-se distribuídos em 156 municípios, o que corresponde a 31% dos municípios do estado. Os municípios com maior área irrigada são: Cruz Alta (198 pivôs, 12.992,6 ha), São Borja (157 pivôs, 10.366,2ha), São Luiz Gonzaga (178 pivôs, 10.061,7 ha), Palmeira das Missões (144 pivôs, 9.076,4 ha), São Miguel das Missões (96 pivôs, 6.454,2 ha), Tupanciretã (85 pivôs, 6.302,0 ha) e Santo Augusto (104 pivôs, 6.218,9 ha).

Na Tabela 1 são apresentados os vinte municípios com a maior área irrigada no estado do Rio Grande do Sul. Estes somam 109.750 ha, representando 57,7 % de toda a área irrigada por pivô central no estado. A discriminação da área irrigada nos diferentes municípios, com áreas variando de ≤ 500 e ≥ 10000 hectares, é apresentada na Figura 1. Dos municípios com irrigação por pivô no estado do Rio Grande do Sul, 46 apresentam área irrigada superior a 1000 hectares.

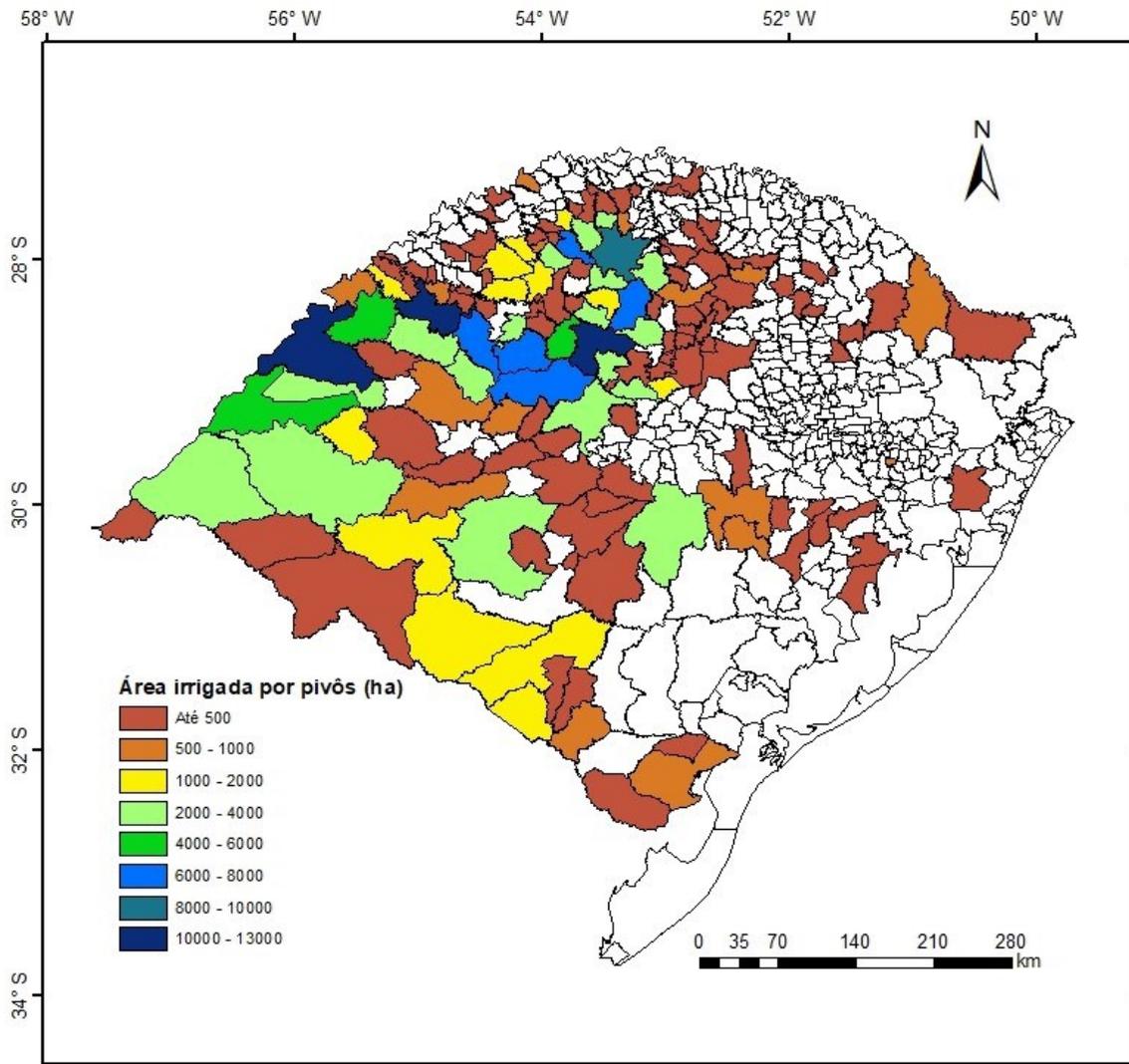
Com relação à distribuição das áreas por BH, os municípios com maior distribuição espacial de irrigação pelo sistema de pivô central concentram-se nas regiões fisiográficas do Planalto Médio, Alto Uruguai e Missões, as quais estão inseridas nas mesorregiões Noroeste, Sudoeste e Centro Ocidental. Atualmente, soja, arroz, milho e trigo são as principais culturas agrícolas exploradas nesta região, tanto em áreas de sequeiro como em irrigadas, sendo as regiões com maior área cultivada e volume produzido (FEIX; LEUSIN

JÚNIOR, 2019). Em contrapartida, a cultura do arroz é integralmente irrigada, porém, quase que na sua totalidade por sistema de irrigação por inundação e, eventualmente, por sistema de irrigação por aspersão em estudos iniciais que visam a economia de água e mão de obra em áreas de terras baixas (STRECK et al., 2019). Atualmente, a projeção da área cultivada com arroz para a safra 2020/2021 é de 970 mil ha (INSTITUTO RIO GRANDENSE DE ARROZ, 2020).

Tabela 1. Área irrigada (ha), número de pivôs e área média, máxima e mínima dos pivôs (ha) nos principais municípios que utilizam sistema de irrigação por pivô no estado do Rio Grande do Sul.

Município	Área (ha)	N. Pivôs	Área média (ha)	Área máx. (ha)	Área mín. (ha)
Cruz Alta	12992,6	198	65,6	198,6	6,0
São Borja	10366,2	157	66,0	193,9	3,5
São Luiz Gonzaga	10061,7	178	56,5	157,9	5,4
Palmeira das Missões	9076,4	144	63,0	150,3	9,0
São Miguel das Missões	6454,2	96	67,2	169,3	13,8
Tupanciretã	6302,0	85	74,1	206,4	12,3
Santo Augusto	6218,9	104	59,8	152,4	11,8
Jóia	6070,1	76	79,9	162,0	12,7
Boa Vista do Cadeado	4923,7	61	80,7	205,6	26,9
Santa Bárbara do Sul	4749,0	73	65,1	175,9	11,0
Itaqui	4410,9	55	80,2	163,7	11,9
Boa Vista do Incra	3561,6	47	75,8	161,3	12,3
Santa Antônio das Missões	3382,4	54	62,6	161,9	7,6
São Gabriel	3136,7	35	89,6	246,0	10,5
Chiapetta	3126,7	50	62,5	172,6	10,2
Santa Bárbara do Sul	3109,8	54	57,6	128,9	19,0
Cachoeira do Sul	3106,3	59	52,6	163,3	8,9
Salto do Jacuí	3049,0	66	46,2	105,9	11,6
Fortaleza dos Valos	2829,9	60	47,2	163,4	2,0
Chapada	2822,7	56	50,4	131,9	8,0

Figura 1. Distribuição da área equipada com pivôs centrais por municípios no estado do Rio Grande do Sul em 2020.



Considerando o levantamento de Martins et al. (2016), observa-se um aumento expressivo entre 2015 e 2020 para os municípios de São Borja, São Luiz Gonzaga (em azul escuro na Figura 1) e Palmeira das Missões (em azul turquesa na Figura 1), com um aumento da área irrigada de 127%, 135% e 134%, respectivamente. Este fato deve-se principalmente ao incremento em tecnologias para obtenção de altas produtividades e modernização da atividade agrícola nessas regiões (GELATTI et al., 2020). Observou-se também um considerável incremento no número de municípios com área irrigada por pivôs na região sudoeste do estado (Fronteira Oeste e

Campanha), cuja região é tradicionalmente arroeira, representando 45% da área cultivada com arroz no estado (INSTITUTO RIO GRANDENSE DE ARROZ, 2020). Essa expansão ocorreu principalmente devido a uma mudança no uso da terra nessas regiões, com incorporação da rotação de culturas com a soja, sobretudo visando o controle de ervas daninhas de difícil manejo no arroz (GIACOMELI et al., 2017). A região é bem provida de reservatórios, bem como de infraestrutura de captação e condução de água utilizada no cultivo do arroz, sendo, portanto, uma região com potencial de grande expansão da irrigação mecanizada.

Elevada concentração de pivôs centrais foram observados nas regiões fisiográficas do Planalto Médio, Alto Uruguai e Missões (Noroeste na Figura 1), tendo em vista que o relevo do local favorece a instalação deste sistema de irrigação. A predominância de áreas planas ou levemente onduladas favorece a implantação de pivôs centrais, fato que explica a grande concentração de pivôs centrais no Cerrado brasileiro (SARAIVA et al., 2020). No trabalho sobre a concentração de pivôs centrais no Brasil realizado por Landau et al. (2013), os autores constataram uma maior concentração de pivôs em regiões onde o relevo varia do plano ao moderadamente ondulado.

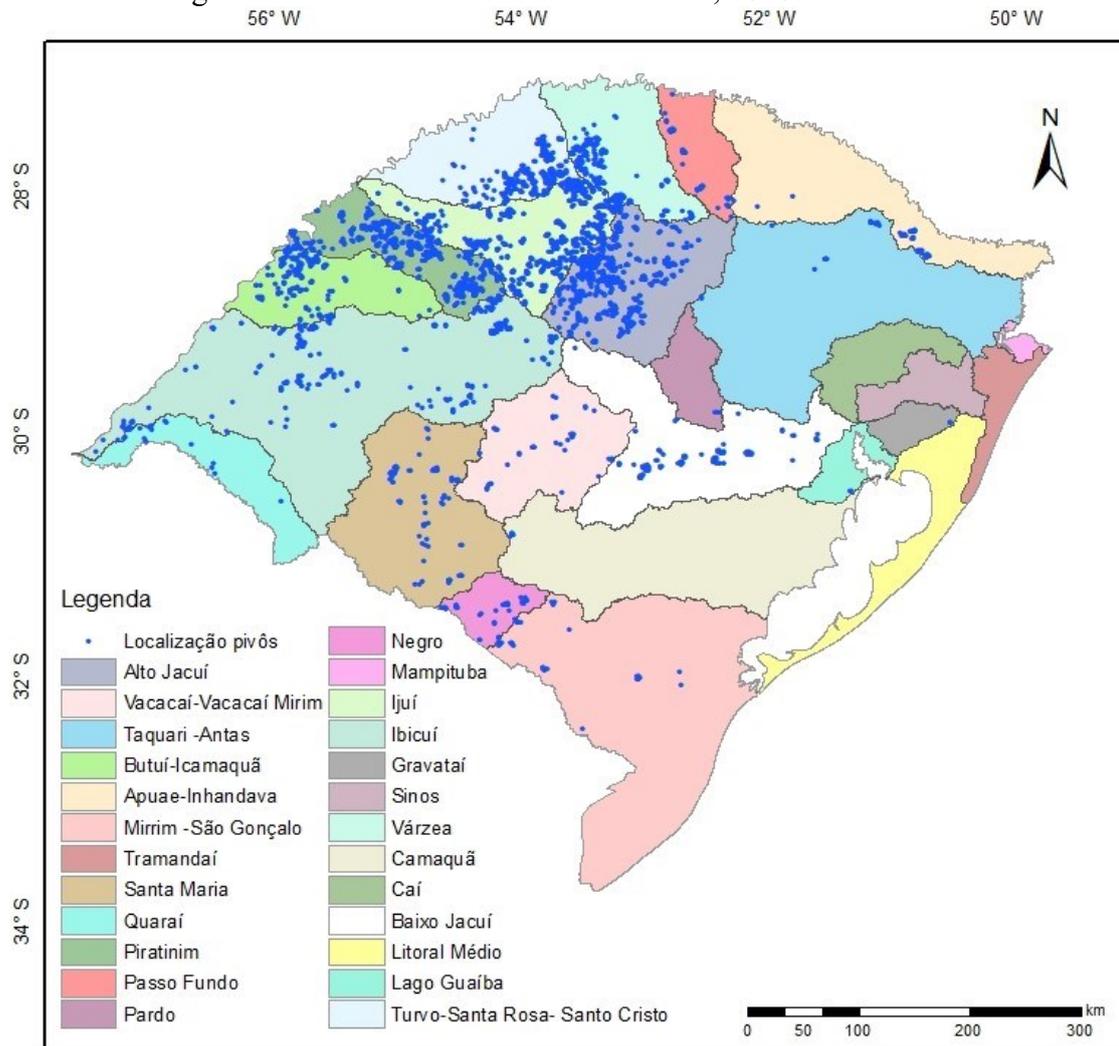
Os pivôs estão distribuídos em 20 bacias hidrográficas do estado (Figura 2). Entretanto, aproximadamente 87% das áreas irrigadas por pivôs centrais, concentraram-se em sete bacias hidrográficas, correspondendo à área irrigada e ao percentual em relação à área total irrigada, respectivamente: Alto Jacuí (34.192,6 ha e 17,9%), Rio Ijuí (34.067,2ha e 17,9%), Rio Piratinim (31.424,5 ha e 16,5%), Rio Turvo-Santa Rosa-Santo Cristo (21.073,8 ha e 11,1%), Rio Ibicuí (18.662,7ha e 9,8%), Rio Butuí-Icamaquã (12.970,7 ha e 6,8%) e Rio da Várzea (12.576,7 ha e 6,6%) (Figura 2).

O tamanho dos pivôs variou consideravelmente, sendo observados pivôs com área de 1,0 até 246 ha. O tamanho, bem como o número de torres e comprimento dessas é inferior à média nacional

(AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2019). Estas diferenças podem ser atribuídas às características do relevo e à presença de obstáculos (construções, reservas legais e/ou distância da fonte de água assim como a diferença de nível entre o centro do pivô e a captação). O tamanho médio dos pivôs centrais encontrado neste trabalho foi de 59,4 ha, pouco menor do que em outras regiões do país. Como observado por Guimarães e Landau (2011), em 2010, o tamanho médio dos pivôs foi de 68 ha (Minas Gerais), de 73,37 ha (Goiás) (GUIMARÃES; LANDAU, 2014) e de 68,65 para a Bahia (LANDAU; GUIMARÃES; SOUZA, 2014).

Os pivôs com a maior média de área irrigada foram identificados em bacias hidrográficas do Lago Guaíba, com média de 96,8 ha e Sistema Mirim, com média de 82,95 ha, entretanto, apresentam baixo número de pivôs (2 e 37, pivôs, respectivamente). Maiores médias de área irrigada por pivôs foram encontradas nas bacias hidrográficas do Rio Ibicuí (73,8 ha), Butuí-Icamaquã (70,5 ha) que são bacias hidrográficas com número mais significativo de pivôs. Nestes locais, o relevo mais plano e a estrutura fundiária, com propriedades maiores, possibilitam a instalação de pivôs de maiores dimensões. Aproximadamente 47% dos pivôs no RS apresentam área irrigada entre 20 a 60 ha, ao passo que, a maior frequência de área irrigada por pivôs ocorre na faixa de 20 a 30 ha, e 30 a 40 ha, com 12% e 12,2%, respectivamente.

Figura 2. Localização geográfica dos pivôs centrais em relação às principais bacias hidrográficas do estado do Rio Grande do Sul, 2020.



Pode-se verificar, no atual levantamento, um acréscimo significativo e persistente da área irrigada, quando comparado com dados realizados em mapeamentos anteriores. Em um trabalho realizado por Martins et al. (2016), considerando dados até março de 2015, foram identificados 1753 pivôs e uma área de 111.122,0 ha, área ligeiramente superior ao levantamento da ANA/ EMBRAPA, para o período até 2017 (110.859,0 ha), (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2019). Estas diferenças devem-se a metodologia adotada pela ANA (2019), no qual a interpretação das imagens foi feita por especialistas humanos, usando imagens de

satélites de períodos caracteristicamente mais secos de cada região. Entretanto, essa metodologia, embora confiável, apresenta falhas por não diferenciar cultivos sob pivô central daqueles de sequeiro, sobretudo em safras onde há pouca ou nenhuma ocorrência de deficiência hídrica, a exemplo do que foi verificado entre 2015-2019 no RS. Assim, a identificação precisa do círculo irrigado (ou parcialmente) ainda vai depender de identificações manuais, a partir da interpolação de imagens de satélite de alta resolução, associada ao conhecimento das regiões em estudo. De acordo com Guimarães e Landau (2011), a identificação de pivôs via Google Earth é possível por este

ser resultante da união dos produtos gerados pela Agência Espacial Americana (NASA), que vem sendo constantemente atualizado com imagens de alta resolução.

Na comparação com os dados de Martins et al. (2016), que utilizou metodologia idêntica à deste estudo,

observa-se um incremento de aproximadamente 50% do número de pivôs instalados no estado nos últimos 5 anos (Tabela 2), resultando em um aumento de 70% da área irrigada, com a incorporação de 291 pivôs e de aproximadamente 15.885,0 ha por ano, entre os anos de 2015 e 2020.

Tabela 2. Número de pivôs, área total, área média dos pivôs e crescimento da área irrigada no período 2015-2020 nas bacias hidrográficas do estado do Rio Grande do Sul.

Bacia hidrográfica	N. Pivôs	Área pivôs (ha)				Aumento 2015*/20 (%)
		Total	Média	Maior	Menor	
Alto Jacuí	662	34192,6	51,7	198,6	1,2	44,4
Rio Ijuí	554	34067,2	61,5	205,6	1,5	60,1
Rio Piratinim	511	31424,5	61,5	171,4	5,4	86,8
Turvo-Sta. Rosa-Sto. Cristo	372	21073,8	56,7	172,6	3,8	33,2
Rio Ibicuí	253	18662,7	73,8	206,4	9,7	100,7
Rio Butuí-Icamaquã	184	12970,7	70,5	193,9	3,5	96,7
Rio da Várzea	236	12576,7	53,3	154,7	4,9	98,6
Rio Santa Maria	83	6144,9	74,0	246,0	6,3	172,7
Baixo Jacuí	100	5538,5	55,4	163,4	8,9	70,9
Sistema Mirim - São Gonçalo	37	3069,5	83,0	206,4	22,5	466,3
Rio Passo Fundo	44	2452,8	55,7	134,9	5,8	85,0
Rio Negro	42	2433,9	58,0	144,5	11,7	289,4
Rio Vacacaí - Vacacaí Mirim	47	2074,6	44,1	115,2	1,0	98,9
Rios Apauê-Inhandava	35	1224,3	35,0	101,0	9,9	172,5
Rio Quaraí	15	1124,4	75,0	134,7	31,6	97,9
Rios Taquari-Antas	19	659,4	34,7	121,8	9,8	7,5
Rio Camaquã	6	361,1	60,2	99,9	31,2	
Rio Guaíba	2	193,8	96,9	98,7	95,1	0,0
Rio Pardo	3	155,4	51,8	64,4	37,7	0,0
Rio Gravataí	3	149,7	49,9	71,6	34,2	32,5
Total	3208	190550,3				71,5

*Fonte: Martins et al. (2016)

A grande expansão da área irrigada no estado inicia-se em 2012, a partir dos impactos da estiagem que ocorreu neste ano (NOBRE et al., 2016), alavancada pela aprovação da Lei Estadual de Irrigação, em 2013, e com a instituição da Política Estadual de Irrigação do Rio Grande do Sul, do Plano Diretor de Irrigação no Contexto dos Usos Múltiplos da Água, do Conselho

Gestor da Política Estadual de Irrigação e o Fundo Estadual de Irrigação. Além disso, o Programa Estadual de Expansão da Agropecuária Irrigada visou incentivar a expansão da área irrigada como forma de aumentar a sustentabilidade da produção primária no estado (RIO GRANDE DO SUL, 2017).

A expansão da área irrigada por pivôs centrais no RS também funcionará como uma espécie de seguro agrícola frente aos riscos climáticos, em especial, à ocorrência de veranicos prolongados. O alto grau de automação desses sistemas e a uniformidade na distribuição da água de irrigação, alia redução nos custos operacionais relativos à mão de obra (cada vez mais escassa e cara) e energia (PEREIRA et al., 2015). Os atuais pacotes de aspersores utilizados nos pivôs e o sistema de alinhamento contínuo das torres, que permite o ajuste entre o consumo e a demanda de energia no deslocamento do pivô, são os grandes responsáveis pela otimização da relação eficiência de uso da água e energia. De acordo com Tarjuelo et al. (2015), o uso do alinhamento contínuo pode reduzir em até 35% o uso de energia elétrica, embora isso dependa da marca/modelo do pivô, sistema de bombeamento, das características do terreno, dentre outros fatores.

O Brasil apresentou um expressivo crescimento da área irrigada por pivôs centrais nas últimas décadas, sobretudo a partir de 2010 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2019). Em 1985 havia 363 pontos identificados, irrigando uma área de 31 mil ha. Em 2000, 490,5 mil ha estavam equipados para irrigação em 6.680 pontos, triplicando para 1 milhão e 476 mil ha em 23.181 pontos em 2017. A área atual irrigada por este sistema de irrigação é 47 vezes maior do que a área mapeada em 1985 (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2019). Crescimento semelhante também foi observado por Demarqui e Demarqui (2020) para o estado de Mato Grosso, onde observaram uma variação anual de 8,07% na área irrigada por pivô. Nesse estado, o crescimento foi da ordem de 231,25% para o período de 2004 a 2015, valor muito superior à média brasileira, que foi de 59,09% para o mesmo período.

Outro fator diretamente relacionado à expressiva expansão na instalação de

sistemas de irrigação são as linhas de financiamento destinadas aos custos e investimentos, oferecidas pelos Bancos de Desenvolvimento, uma vez que o setor agrícola exige grande investimento financeiro, segundo Demarqui e Demarqui (2020), além da facilidade de acesso ao crédito. Para Guimarães e Landau (2011), o aumento da área irrigada por pivô central pode ser atribuído à crescente produção agrícola do país, impulsionada pelos altos valores das commodities agrícolas no mercado internacional e aumento da demanda pelo mercado interno.

De acordo com a Agência Nacional de Águas (2017a), os sistemas de aspersão por pivô central devem ser os responsáveis pela maior parte do incremento de área irrigada. Assim, as projeções desse órgão indicam que a participação dos pivôs deverá aumentar de 19,9% para 28,6% em 2030, assumindo a posição de principal sistema de irrigação no Brasil (superando a inundação).

Com o crescente interesse no aumento da produção agrícola, também é provável que o número de pivôs centrais tenha aumentado, consideravelmente, nos últimos anos (GUIMARÃES; LANDAU 2014), sendo importante atualizar periodicamente esse levantamento, de forma a identificar a localização geográfica e a área irrigada por pivôs centrais, visando conhecer melhor a situação da agricultura irrigada e melhorar o planejamento e gestão setorial dos recursos hídricos.

O crescimento da área irrigada resulta em aumento das captações de água, o que gera uma demanda considerável para o uso de tecnologias que otimizem o seu uso, reduzam o consumo de energia e melhorem a qualidade da produção. Portanto, o uso mais eficiente da água passa pela utilização da irrigação por irrigantes, através da contratação de empresas prestadoras de serviços de monitoramento de irrigação. Além do surgimento de novas tecnologias, como sistemas de aquisição de dados e controle da programação da irrigação

(HEDLEY; YULE, 2009; SUI et al., 2020), irrigação a taxa variável (BARKER et al., 2019) ou irrigação a taxa variável com base no sensoriamento remoto (BARKER et al., 2018; SHI, et al., 2019) e ainda a utilização da internet das coisas (IOT) para o gerenciamento inteligente da água em sistemas de irrigação (KAMIENSKI et al., 2019).

6 CONCLUSÃO

O Rio Grande do Sul possui atualmente 3.208 pivôs, irrigando uma área de 190.055,3 ha. A maior concentração de pivôs centrais ocorre nas regiões Noroeste e Sudoeste, nos municípios de Cruz Alta, São Borja, São Luiz Gonzaga, Palmeira das Missões e São Miguel das Missões. Cerca de 87% das áreas irrigadas por pivôs centrais

concentraram-se em sete bacias hidrográficas. A maior área irrigada está concentrada nas bacias hidrográficas de Alto Jacuí (34.192,6 ha) e Ijuí (34.067,2 ha).

Um incremento anual de cerca de 291 equipamentos e de 15.885,0 ha foi observado entre os anos de 2015 e 2020. Se esta tendência de crescimento se mantiver pelos próximos anos, a projeção é que o RS dobre sua atual área irrigada por pivô central num intervalo de 12 anos.

Dificuldades na identificação da área irrigada usando imagens de satélites são observadas no RS, pois o estado não apresenta períodos caracteristicamente secos e safras onde há pouca ou nenhuma ocorrência de deficiência hídrica. Entretanto, a identificação precisa das áreas irrigadas, ainda depende de identificações manuais a partir de imagens de alta resolução.

7 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília, DF: ANA, 2017a.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil (1985-2017)**. 2. ed. Brasília, DF: ANA, 2017b. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/e2d38e3f-5e62-41ad-87ab-990490841073>. Acesso em: 29 fev. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil**. 2. ed. Brasília, DF: ANA, 2019.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22. n. 6, p. 711-728, 2014. DOI: 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: 15 jun. 2021.

BARKER, J. B.; BHATTI, S.; HEEREN, D. M.; NEALE, C. M. U.; RUDNICK, D. R. Variable Rate Irrigation of Maize and Soybean in West-Central Nebraska Under Full and Deficit Irrigation. **Frontiers in Big Data**, Lausanne, v. 2, n. 34, p. 1-15, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fdata.2019.00034>. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7931860/>. Acesso em: 15 jun. 2021.

BARKER, J. B.; HEEREN, D. M.; NEALE C. M. U.; RUDNICK, D. R. Evaluation of variable rate irrigation using a remote-sensing-based model. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 203, p. 63-74, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.02.022>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377418301082>. Acesso em: 15 jun. 2021.

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C. Improvement of soybean resilience to drought through deep root system in Brazil. **Agronomy Journal**, Madison, v. 109, n. 4, p. 1612-1622, 2017. DOI: <https://doi.org/10.2134/agronj2017.01.0023>. Disponível em: <https://access.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2134/agronj2017.01.0023>. Acesso em: 15 jun. 2021.

CARDOSO, L. S.; JUNGES, A. H.; TAZZO, I. F.; VARONE, F.; TAROUÇO, A. K.; OLIVEIRA, A. M. R.; BREMM, C. **Análise da estiagem na safra 2019/2020 e impactos na agropecuária do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: SEAPDR: DDP, 2020. (Circular, 06). Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202011/10163507-14095649-circular-06-cardoso-et-al-para-publicacao.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2021.

CHAKRABORTY, M.; KHOT, L. R.; PETERS, R. T. Assessing suitability of modified center pivot irrigation systems in corn production using low altitude aerial imaging techniques. **Information Processing in Agriculture**, Amsterdam, v. 7, n. 1, p. 41-49, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.06.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214317318302646>. Acesso em: 15 jun. 2021.

DEMARQUI, E. N; DEMARQUI, L. M. B. Análise espaço-temporal da ocorrência de sistemas de irrigação por pivô central em regiões agrícolas no estado de Mato Grosso. **Nativa**, Sinop, v. 8, n. 3, p. 344-351, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v8i4.8931>. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/8931>. Acesso em: 15 jun. 2021.

ENGLISH, M. J.; SOLOMON, K. S.; HOFFMAN, G. J. A Paradigm Shift in Irrigation Management. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 128, n. 5, p. 267-277, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2002\)128:5\(267\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2002)128:5(267)). Disponível em: [https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2002\)128%3A5\(267\)](https://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/(ASCE)0733-9437(2002)128%3A5(267)). Acesso em: 15 jun. 2021.

FEIX, R. D.; LEUSIN JÚNIOR, S. **Painel do agronegócio no Rio Grande do Sul - 2019**. Porto Alegre: SEPLAG, 2019.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAO at World Water Week 2014 Why water and energy matter for agriculture?** Rome: FAO, 2014. Disponível em: <http://www.fao.org/land-water/news-archive/news-detail/en/c/267274/>. Acesso em: 25 out. 2020.

FREITAS, E. P.; ANDRADE, W. A. The center pivot irrigation in Minas Gerais state, Brazil, under the optics of google Earth. **Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 2, p. 249-258, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2017v22n2p249-258>. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/2322/1718>. Acesso em: 14 jun. 2021.

GELATTI, E.; BOBATO, A. M.; FREITAS, C. A.; ZANIN, V.; CORONEL, D. A. Caracterização espacial da modernização agrícola dos municípios do estado do Rio Grande do Sul (2010 e 2017). **Desenvolvimento Regional em Debate**, Canoinhas, v. 10, n. 1, p. 1079-1103, 2020. DOI: <https://doi.org/10.24302/drd.v10i0.2804>. Disponível em: <https://www.periodicos.unc.br/index.php/drd/article/view/2804>. Acesso em: 14 jun. 2021.

GIACOMELI, R.; MARCHESAN, E.; OLIVEIRA, M. L.; MARTIN, T. N.; TELÓ, G. M.; DONATO, G.; SILVA, M. F. Physical Properties and Crop Management for Corn in an Albaqualf. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 41, n. 1, p. 1-14, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcS20160237>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcS/a/DQD4D35mkW4dJtdjGQGw9dJ/?lang=en&format=pdf>. Acesso em: 14 jun. 2021.

GUIMARÃES, D. P.; LANDAU, E. C. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs Centrais no Brasil em 2013**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2014. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 106). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1008950/1/bol106.pdf>. Acesso em: 02 out. 2020.

GUIMARÃES, D. P.; LANDAU, E. C. **Mapeamento das áreas irrigadas por pivôs centrais no estado de Minas Gerais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2011. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 40). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/90277/1/bol-40.pdf>. Acesso em: 02 out. 2020.

HEDLEY, C. B.; YULE, I. J. Soil water status mapping and two variable-rate irrigation scenarios. **Precision Agriculture**, Dordrecht, v. 10, n. 4, p. 342-355, 2009. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11119-009-9119-z>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11119-009-9119-z>. Acesso em: 14 jun. 2021.

IBGE. **Rio Grande do Sul – Malha municipal 2007**. Rio de Janeiro: IBGE, 2007. Disponível em: <https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#mapa201527>. Acesso em: 28 jun. 2021.

IBGE. **Censo Agropecuário 2017: Resultados preliminares**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. v. 7. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3093/agro_2017_resultados_preliminares.pdf. Acesso em: 28 jun. 2021.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DE ARROZ. **Evolução da Semeadura: Safra 2020/21**. 2020. Disponível em: <https://irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202012/28110225-evolucao-da-semeadura-20-21.pdf>. Acesso em: 20 out. 2020.

KAMIENSKI, C.; SOININEN, J.; TAUMBERGER, M.; DANTAS, R.; TOSCANO, A.; CINOTTI, T. S.; MAIA, R. F.; NETO, A. T. Smart Water Management Platform: IoT-Based Precision Irrigation for Agriculture. **Sensors**, Basel, v. 19, n. 276, p. 1-20, 2019. DOI: 10.3390/s19020276. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/2/276>. Acesso em: 14 jun. 2021.

KING, B. A.; WALL, R. W.; KARSKY, T. F. Center-pivot irrigation system for independent site-specific management of water and chemical application. **Applied Engineering in Agriculture**, Madison, v. 25, n. 2, p. 187-198, 2009. DOI: 10.13031/2013.26334. Disponível em: <https://eprints.nwisrl.ars.usda.gov/id/eprint/1313/>. Acesso em: 14 jun. 2021.

LANDAU, E. C.; GUIMARÃES, D. P.; SOUZA, D. L. Concentração de áreas irrigadas por pivôs centrais no estado da Bahia-Brasil. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, 2014, Aracaju. **Anais [...]**. Aracaju: Geonordeste, 2014. p. 249-253. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/119284/1/Concentracao-areas.pdf>. Acesso em: 02 out. 2020.

LANDAU, E. C.; MOURA, L.; GUIMARÃES, D. P.; HIRSCH, A.; PIMENTA, F. M. **Concentração geográfica de pivôs centrais no Brasil**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 69). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/95970/1/bol-69.pdf>. Acesso em: 02 out. 2020.

MARTINS, J. D.; BOHRZ, I. S.; FREDRICH, M.; VERONEZ, R. P.; KUNZ, G. A.; TURA, E. F. Levantamento da área irrigada por pivô central no estado do Rio Grande Do Sul. **Irriga**, Botucatu, v. 21 n. 2, p. 300-311, 2016.

MATZENAUER, R.; RADIN, B.; CARGNELUTTI FILHO, A. Rendimento de grãos de soja e de milho, no Rio Grande do Sul, não difere entre eventos El Niño Oscilação Sul. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v. 26, n. 1, p. 123-129, 2018.

MOLDEN, D. (ed.). **Water and food, Water for life: A comprehensive assessment of water management in agriculture**. London: Earthscan, 2007.

MONTOYA, F.; GARCÍA, C.; PINTOS, F.; OTERO, A. Effects of irrigation regime on the growth and yield of irrigated soybean in temperate humid climatic conditions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 193, p. 30-45, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2017.08.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377417302573>. Acesso em: 14 jun. 2021.

NOBRE, C.; MARENGO, J.; SELUCHI, M.; CUARTAS, L.; ALVES, L. Some Characteristics and Impacts of the Drought and Water Crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015. **Journal of Water Resource and Protection**, Washington, v. 8, n. 2, p. 252-262, 2016. DOI: 10.4236/jwarp.2016.82022. Disponível em:

<https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=63776>. Acesso em: 14 jun. 2021.

PEREIRA, R. M.; ALVES JUNIOR, J.; CASAROLI, D.; SALES, D. L.; RODRIGUEZ, W. D. M.; SOUZA, J. M. F. Viabilidade econômica da irrigação de cana-de-açúcar no Cerrado brasileiro. **Irriga & Inovagri**, Botucatu, v. 1, n. 2, edição especial, p. 149-157, 2015.

RIBEIRO, W. R.; GONÇALVES, M. S.; PINHEIRO, A. Estimativa da demanda hídrica e área irrigada por pivô central no estado do Espírito Santo. **Irriga**, Botucatu, v. 24, n. 2, p. 274-288, 2019.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. **Cartografia: RS** lança primeira cartografia oficial do Estado. Porto Alegre: SEMAI, 2020. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/cartografia>. Acesso em: 10 ago. 2020.

RIO GRANDE DO SUL. Gabinete de Consultoria Legislativa. **Lei nº 14.244, de 27 de maio de 2013**. Institui o Programa Estadual de Expansão da Agropecuária Irrigada – “Mais Água, Mais Renda”. Porto Alegre: Estado do Rio Grande do Sul, 2017. Disponível em: <http://www.al.rs.gov.br/FileRepository/repLegisComp/Lei%20n%C2%BA%2014.244.pdf>. Acesso em: 28 jun. 2021

ROGERS, D. H.; AGUILAR, J.; KISEKKA, I.; LAMM, F. R. Center pivot irrigation system losses and efficiency. *In: ANNUAL CENTRAL PLAINS IRRIGATION CONFERENCE*, 29., 2017, Burlington. **Proceedings** [...]. Colby: CPIA, 2017. p. 1-16. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/314278023_Center_pivot_irrigation_system_losses_and_efficiency. Acesso em: 01 out. 2020.

SANTOS, J. E. O.; NICOLETE, D. A. P.; FILGUEIRAS, R.; LEDA, V. C.; ZIMBACK, C. R. L. Imagens do LANDSAT- 8 no mapeamento de superfícies em área irrigada. **Irriga & Inovagri**, Botucatu, v. 1, n. 2, edição especial, p. 30-36, 2015.

SARAIVA, M.; PROTAS, É.; SALGADO, M.; SOUZA JÚNIOR, C. Automatic mapping of center pivot irrigation systems from satellite images using deep learning. **Remote Sensing**, Basel, v. 12, n. 558, p. 1-14, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12030558>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/3/558>. Acesso em: 14 jun. 2021.

SCHIRMBECK, L. W.; FONTANA, D. C.; SCHIRMBECK, J.; MENGUE, V. P. Uso do índice TVDI e modelo hand para caracterização de condição hídrica. **Irriga & Inovagri**, Botucatu, v. 1, n. 1, edição especial, p. 76-84, 2017.

SHI, X.; HAN, W.; ZHAO, T.; TANG, J. Decision Support System for Variable Rate Irrigation Based on UAV Multispectral Remote Sensing. **Sensors**, Basel, v. 19, n. 2880, p. 1-15, 2019. DOI: 10.3390/s19132880. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/19/13/2880>. Acesso em: 14 jun. 2021.

SILVA, C. O. F. Classificação supervisionada de área irrigada utilizando índices espectrais de imagens landsat-8 com Google Earth Engine. **Irriga**, Botucatu, v. 25, n. 1, p. 160-169, 2020.

SILVA, C. O. F.; MANZIONE, R. L.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L. Large-scale spatial modeling of crop coefficient and biomass production in agroecosystems in Southeast Brazil. **Horticulturae**, Basel, v. 4, n. 4, p. 44-64, 2018.

SILVEIRA, J. M. C.; CÂNDIDO, B. M.; SILVA, A. L. B. O.; PAVÃO, G. C.; XAVIER, M. A.; PIRES, R. C. M. Uso de imagens multiespectrais e termográficas para monitoramento das condições hídricas da cana-de-açúcar. **Irriga & Inovagri**, Botucatu, v. 25, n. 4, p. 689-696, 2020.

SILVEIRA, J. M. C.; LIMA JÚNIOR, S.; SAKAI, E.; MATSURA, E. E.; PIRES, R. C. M.; ROCHA, A. M. Identificação de áreas irrigadas por pivô central na sub-bacia Tambaú-verde utilizando imagens CCD/CBERS. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 4, p. 721-729, 2013.

STRECK E. A.; AGUIAR. G. A.; FACCHINELLO, P. H. K.; JÚNIOR A. M. M.; KRÜGER. T. K.; PARFITT. J. M. B; Desempenho agrônômico de cultivares de arroz sob sistema de irrigação por aspersão e inundação. **Agrária**, Recife, v. 14, n. 3, p. 1-7, 2019. DOI: 10.5039/agraria.v14i3a5661. Disponível em: http://www.agraria.pro.br/ojs-2.4.6/index.php?journal=agraria&page=article&op=view&path%5B%5D=agraria_v14i3a5661. Acesso em: 14 jun. 2021.

SUI, R.; O'SHAUGHNESSY, S.; EVETT, S. R.; ANDRADE-RODRIGUEZ, A.; BAGGARD, J. Evaluation of a decision support system for variable-rate irrigation in a humid region. **Transactions of the ASABE**, Saint Joseph, MI, v. 63, n. 5, p. 1207-1215, 2020. DOI: 10.13031 / trans.13904. Disponível em: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=51740>. Acesso em: 14 jun. 2021.

TARJUELO, J. M.; RODRIGUES-DIAZ, J. A.; ABADÍA, R.; CAMACHO, E.; ROCAMORA, C.; MORENO, M. A. Efficient water and energy use in irrigation modernization: lessons from Spanish case studies. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 162, p. 67-77, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2015.08.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377415300755>. Acesso em: 14 jun. 2021.

UNESCO. **Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos**: não deixar ninguém para trás, fatos e dados. Paris: UNESCO, 2018. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000367276_por. Acesso em: 02 nov. 2020.

UNITED STATES GEOLOGICAL SERVICE. **Earth explorer**. Reston: USGS, 2020. Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 10 ago. 2020.