

ESTIMATIVA DA DEMANDA HÍDRICA E ÁREA IRRIGADA POR PIVÔ CENTRAL NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

**WILIAN RODRIGUES RIBEIRO¹; MORGANA SCARAMUSSA GONÇALVES¹;
ANDRÉ ALVES PINHEIRO¹; RAMON AMARO DE SALES²; REBYSON BISSACO
GUIDINELLE¹ E EDVALDO FIALHO DOS REIS¹**

¹*Departamento de Engenharia Rural, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo - UFES, Alto Universitário S/N, Bairro Guararema, CEP: 29.500.000, Alegre, ES, Brasil, wilianrodrigues@msn.com; morganascg@gmail.com; aalvespinheiro7@gmail.com; rebysonguidinelle@gmail.com; edreis@cca.ufes.br*

²*Departamento de Fitotecnia, Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, Avenida Peter Henry Rolfs, S/N, Campus Universitário, CEP: 36.570.900, Viçosa, MG, Brasil, ramonamarodesales@gmail.com*

1 RESUMO

A geração de informações sobre cenário da agricultura irrigada, representam importante fonte primária para fiscalização e planejamento na gestão dos recursos hídricos. Desta forma, o presente estudo visou quantificar o número de pivôs centrais no Estado do Espírito Santo e sua respectiva área irrigada, objetivando estimar o volume de água (m³) necessário ao suprimento da demanda hídrica nestas áreas. Realizou-se fotointerpretação na escala 1:1.000 para identificação dos equipamentos. Com uma série histórica de dados, estimou-se a evapotranspiração potencial mensal (ETP) e em seguida elaborou-se um balanço hídrico. Os dados foram espacializados por *krigagem*, formando doze mapas, garantindo a determinação do valor mensal de déficit ou excedente hídrico (mm) para cada coordenada, possibilitando a estimativa do volume de água necessário para atendimento da demanda. Foram quantificadas 276 unidades de pivôs centrais, que irrigam uma área próxima a 12.991,76 ha, demandando anualmente entorno de 33.694.344,50 m³ de água para irrigação. A Macrorregião Norte concentra 80,85% desta área irrigada total irrigada no Estado e responde por 89,52% da demanda hídrica, com destaque para o município de Pinheiros. A Interbacia hidrográfica do Rio Itaúnas corresponde a 80,42% da demanda hídrica. Os meses de maio e junho apresentaram maior necessidade de complementação hídrica.

Palavras-Chave: irrigação, fotointerpretação, recursos hídricos.

**RIBEIRO, W. R.; GONÇALVES, M. S.; PINHEIRO, A. A.; SALES, R. A.;
GUIDINELLE, R. B.; REIS, E. F.
ESTIMATE OF WATER DEMAND AND AREA IRRIGATED BY CENTRAL PIVOT
IN THE STATE OF ESPÍRITO SANTO**

2 ABSTRACT

The generation of information on the scenario of irrigated agriculture, represents an important primary source for inspection and planning of management of water resources. Thus, the

present study aimed to quantify the number of central pivots in the State of Espírito Santo and their respective irrigated area, aiming to estimate the water volume (m³) required to supply water demand in these areas. A 1: 1,000 photointerpretation was performed to identify the equipment. With a historical series of data, potential monthly evapotranspiration (ETP) was estimated and then a water balance was elaborated. The data were spatialized by *krigagem*, forming twelve maps, guaranteeing the determination of the monthly value of water deficit or surplus (mm) for each coordinate, making it possible to estimate the volume of water required to meet demand. A total of 276 central pivot units were irrigated, irrigating an area close to 12,991.76 ha, requiring an annual irrigation of 33,694,344.50 m³. The Northern Macroregion concentrates 80.85% of this total irrigated area in the State and accounts for 89.52% of water demand, especially the municipality of Pinheiros. The Itaún River Interbank Basin corresponds to 80.42% of the water demand. In May and June water complementation needs were superior.

Keywords: irrigation, photointerpretation, water resources.

3 INTRODUÇÃO

A prática da irrigação utiliza um conjunto de técnicas e equipamentos a fim de suprir a deficiência da precipitação, proporcionando teor de umidade adequado ao solo para atender a necessidade hídrica das culturas. Embora o aumento da irrigação resulte em maior uso consuntivo de água (CONAB, 2017), os investimentos neste setor também resultam em aumento substancial da produtividade, diminuindo a pressão pela incorporação de novas áreas para cultivo (GUIMARÃES; LANDAU, 2014; ANA, 2016).

Segundo dados dos Censos Agropecuários realizados pela Agência Nacional de Águas (2016), a irrigação brasileira tem crescido anualmente entre 4,4 e 7,3% desde a década de 1960, partindo de 462 mil hectares equipados em 1960, ultrapassando a marca de 3 milhões de hectares na década de 1990. Estima-se que em 2018 foi superada a marca de 6,0 milhões de hectares utilizando a tecnologia de irrigação.

Dentre os diversos sistemas de irrigação, o método de pivô central, constitui o principal sistema de irrigação por aspersão no Brasil (CASTIONE et al., 2015). CSEI/ABIMAQ (2019) verificou que os métodos de irrigação por pivô central

apresentaram um incremento de 48,0% da área irrigada no país entre os anos 2000 e 2018. ANA (2016) afirma que a irrigação por pivôs centrais teve expansão média de 85 mil ha ano⁻¹ nos últimos cinco anos e 104 mil ha ano⁻¹ no último triênio e, ainda, espera que o novo Censo Agropecuário, apresente participação ainda maior dos pivôs centrais. O sistema foi o que mais cresceu no país nos últimos anos (TOLEDO; MORAES, 2018), principalmente em função das várias vantagens, como economia de mão de obra e uniformidade de aplicação (SILVEIRA et al., 2013).

A irrigação é considerada altamente exigente em termos de volume de água (MANKE et al., 2017). O uso da técnica por pivô central em algumas regiões agrícolas tem gerado alta demanda dos mananciais devido ao grande número de equipamentos instalados, aumentando a preocupação em relação ao meio ambiente (BRAGA; OLIVEIRA, 2005), tornando-se fundamental levantamentos sobre a agricultura irrigada nestas áreas.

O levantamento terrestre é a maneira mais precisa para monitorar a expansão destes sistemas, contudo, esta metodologia se torna inviável quando necessários levantamentos frequentes e em grandes áreas (FARG et al., 2016). Desta forma, o

sensoriamento remoto surge como uma alternativa ágil e de baixo custo para identificação e quantificação de áreas irrigadas por pivô central.

Dentre as várias maneiras para obtenção destas informações via sensoriamento remoto, o emprego do Software Google Earth™ tem se mostrado muito eficaz, pois possui ótima qualidade de imagem, praticidade de uso e vasto potencial de aplicação. No Brasil o programa foi utilizado para levantamento sobre o cenário irrigado por pivôs centrais no Triângulo Mineiro (FERREIRA et al., 2018), nos Estados do Rio Grande do Sul (MARTINS et al., 2016), Minas Gerais (FREITAS; ANDRADE, 2017), pela Embrapa para os Estados de Goiás (LANDAU; GUIMARÃES; REIS, 2013), São Paulo (LANDAU et al., 2014), Bahia (GUIMARÃES; LANDAU; SOUZA, 2014) e também pela ANA (2016), que afirma utilizar as imagens para melhor identificação de equipamentos e delimitação de áreas.

Segundo Guimarães e Landau (2014), apesar da existência de tecnologias de sensoriamento remoto, o levantamento

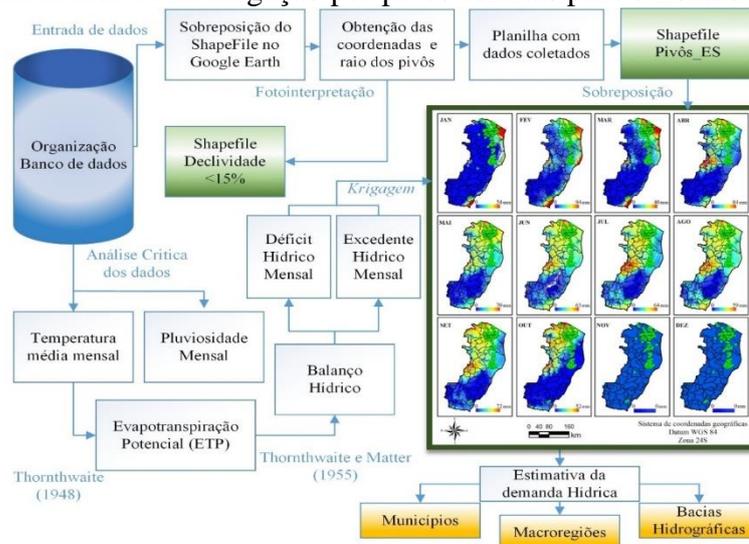
de dados sobre pivôs centrais não tem sido realizado por ser um estudo trabalhoso e demorado. O mapeamento das unidades de pivô central já foi realizado em vários Estados, porém não há levantamentos detalhados e atualizados para o Estado do Espírito Santo.

Devido à falta de informações referente à agricultura irrigada por esta tecnologia no Estado, objetivou-se com esse estudo identificar o número de pivôs centrais, assim como suas respectivas áreas irrigadas e sua demanda hídrica, gerando bases de informações que representarão importante fonte primária para subsidiar a fiscalização, tomada de decisão de estratégias e planejamento do uso dos recursos hídricos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A primeira etapa consistiu na obtenção e criação de um banco de dados. Para melhor compreensão dos processos metodológicos, elaborou-se um fluxograma, como demonstrado na Figura 1 e descritos abaixo.

Figura 1. Etapas metodológicas para obtenção da localização, raio, área irrigada e estimativa da demanda hídrica na irrigação por pivôs centrais para o Estado do Espírito Santo.



O levantamento da área irrigada por pivô central foi realizado mediante o uso do programa Google Earth™ Pro, na escala de 1:1.000. Para aumentar a precisão da fotointerpretação, foi realizada a sobreposição do arquivo vetorial dos limites municipais e estadual, no formato de arquivo shapefile, sobre a imagem de satélite disponível no programa. Em seguida realizou-se a fotointerpretação, em cada município do Estado, coletando o número de pivôs, localização geográfica, seguida da medição do raio de cada equipamento.

Os dados obtidos foram lançados em planilha eletrônica onde por fórmula geométrica calculou-se por meio do raio a área de ocupação do equipamento e para os pivôs que apresentavam forma de semicírculo a área foi dividida pela metade. As coordenadas geográficas (graus, minutos e segundos) foram transformadas em coordenadas geográficas decimais, para posterior importação e plotagem em shapefile, possibilitando confeccionar a distribuição espacial dos pivôs centrais no Estado.

As coordenadas geográficas de localização de cada pivô foram lançadas em arquivo shapefile da divisão de Macrorregiões de planejamento e por bacia hidrográfica otto nível 04 ambos disponibilizados pelo Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN) gerando pontos representativos das unidades operacionais.

Para aferir os resultados as coordenadas dos pivôs foram plotadas em um modelo de declividade do Estado. O modelo criado destacou as áreas com até 15% de desnível, considerado limite para implantação do equipamento (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006), gerando um novo mapa para demonstração da concentração de pivôs centrais exatamente em regiões de planícies com relevo pouco acidentado.

As imagens aéreas atualizadas e a alta resolução espacial do Google Earth™

Pro, forneceram perfeita qualidade visual e juntamente com sua funcionalidade, permitiram identificar e levantar, as áreas irrigadas, e medição dos pivôs com alta precisão.

Posteriormente, realizou-se a caracterização mensal da disponibilidade hídrica com dados pluviométricos coletados em postos da Agência Nacional de Águas (ANA) e estimativa da evapotranspiração potencial a partir de uma série histórica de dados dos últimos trinta anos (1985 a 2015). Nesta fase foi aplicado o método estatístico denominado crítica dos dados, com objetivo de encontrar e corrigir falhas, para não comprometer os resultados.

A evapotranspiração potencial foi estimada pelo método de Thornthwaite (1948), o qual trata-se de um método empírico baseado na temperatura média do ar e nas coordenadas geográficas do local. Este método foi adotado em função da disponibilidade dos dados climáticos e por ter sido desenvolvido para regiões de clima úmido, apresentando boas estimativas para as condições do Estado (CASTRO et al., 2010).

Em seguida, foi elaborado um balanço hídrico agroclimatológico mensal pelo modelo proposto por Thornthwaite e Matter (1955), assumindo-se uma capacidade máxima de armazenamento de água no solo (CAD) igual a 100 mm, gerando um banco de dados das variáveis de déficit e excedente hídrico do solo mensal.

Os valores foram interpolados através do método da *Krigagem*, como descrita por Santos et al. (2015) onde, escolheu-se o modelo com base na metodologia proposta por Xavier et al. (2010), gerando doze mapas de espacialização contínua em formato shapefile, atribuindo desta forma valores mensais, contínuos e específicos de déficit ou excedente hídrico para cada pixel do mapa.

Realizou-se nestes mapas a sobreposição da localização dos pivôs. De

forma manual, procedeu-se a busca de valores de déficit hídrico em cada equipamento, para cada mês. Para valores de excedentes hídricos mensais considerou-se não necessária irrigação (0mm). Os valores de déficit (mm) foram extraídos, lançados em planilha eletrônica, multiplicados pela da área de abrangência de seu respectivo pivô (m²), determinando a demanda hídrica.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na demarcação da área irrigada por pivôs centrais para o Estado do Espírito Santo obteve-se como resultado final um total de 276 unidades operacionais, que abrangem uma área irrigada total de 12.991,76 ha (Tabela 1). Essa tecnologia concentra-se em dezesseis municípios. As unidades de pivôs variaram em tamanho ocupando de 4,20 a 123,88 ha, apresentando uma média de 47,07 ha por unidade de irrigação e um desvio padrão de 15,80 ha.

Tabela 1. Número de pivôs centrais e sua respectiva área irrigada nos municípios do Estado do Espírito Santo.

Município	Pivôs (Unid.)	Área (m ²)	Área (ha)	Tamanho médio (ha)
Aracruz	15	7.456.473,20	745,65	49,71
Boa Esperança	20	7.746.258,73	774,63	38,73
Conceição da Barra	02	1.532.368,15	153,24	76,62
Itapemirim	02	959.435,93	95,94	47,97
Jaguare	17	5.634.301,04	563,43	33,14
Linhares	26	13.760.867,96	1.376,09	52,93
Montanha	15	7.101.979,34	710,20	47,35
Mucurici	02	1.046.904,86	104,69	52,35
Nova Venécia	01	431.178,38	43,12	43,12
Pedro Canário	06	3.596.020,09	359,60	59,93
Pinheiros	144	68.243.569,74	6.824,36	47,39
Santa Teresa	01	129.207,22	12,92	12,92
São Mateus	18	9.365.669,48	936,57	52,03
Sooretama	04	1.780.168,72	178,02	44,50
Vila Pavão	01	342.493,56	34,25	34,25
Vila Valério	02	790.751,59	79,08	39,54
Total	276	129.917.648,00	12.991,76	47,07

A maior concentração de pivôs centrais ocorre expressivamente na Macrorregião Norte do Estado, que totaliza de 226 equipamentos, representando 81,88% das unidades operacionais no Estado. Também nesta região obteve-se a maior área irrigada, entorno de 10.504,07 ha, que representa 80,85% das áreas irrigadas por pivôs.

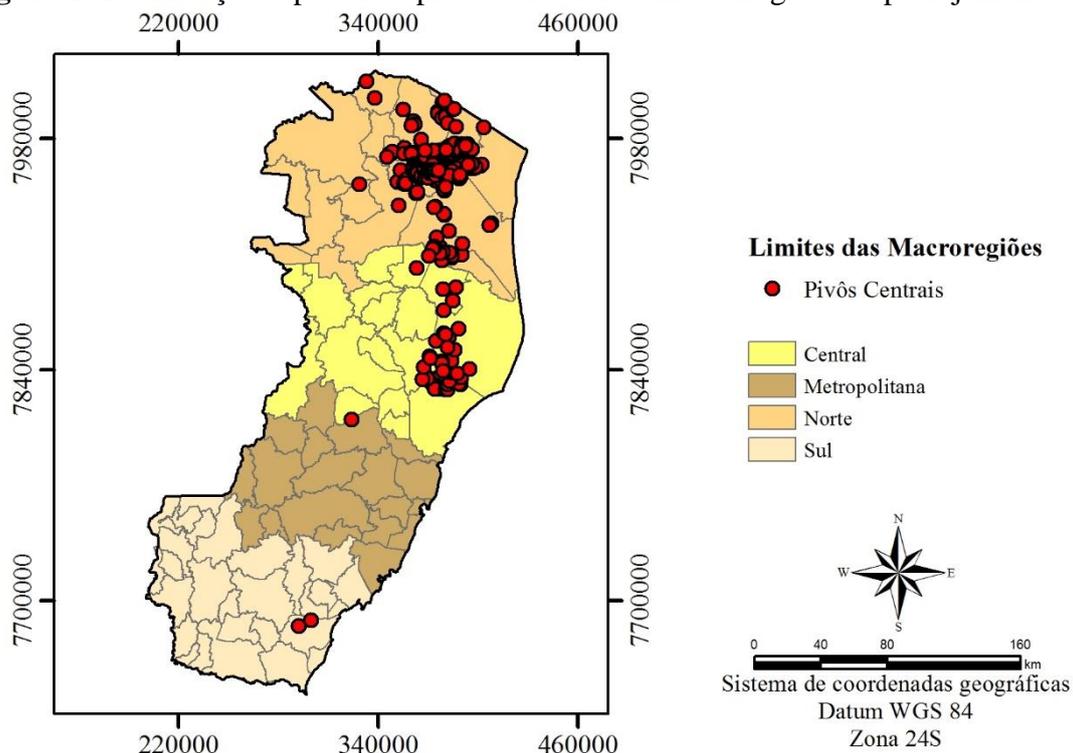
Cinco municípios localizados na Macrorregião Norte totalizam mais de 77,53% do número de pivôs de todo Estado (214 unidades) e 75,71% da área irrigada pela tecnologia de pivôs, abrangendo uma área irrigada total próxima de 9.809,1780 ha. Dentre estes municípios, Pinheiros é o que detém o maior número de pivôs e a maior área irrigada, totalizando 144 unidades e 6.824,36 ha de área irrigada

(Tabela 1), respectivamente. O município é destacado no relatório da Agência Nacional de Águas (2016) como um dos maiores do Estado e com expressividade nacional. Os demais municípios que se destacam são: Boa Esperança, Jaguaré; São Mateus e Montanha.

Apesar do Espírito Santo não estar entre os principais Estados brasileiros que

possuem maiores extensões de áreas irrigadas por pivôs centrais, a Macrorregião Norte destaca-se com esse sistema de irrigação (SOUSA et al., 2011), devido ao grande número de unidades de equipamento por unidade de área. Esta representação encontra-se no mapa da distribuição regional dos pivôs centrais na Figura 2.

Figura 2. Distribuição espacial de pivôs centrais nas macrorregiões de planejamento.



A região Central do Estado é a segunda maior região em números de pivôs e área irrigada, com 17,03 e 18,31% respectivamente, a qual detém de 47 unidades de pivôs, totalizando 1.633,18 ha de área irrigada. O município de Linhares é o de maior expressão com 26 unidades de pivôs centrais e 1.376,09 ha de área irrigada.

A região metropolitana apresentou uma unidade de pivô com 12,92 ha de área abrangente, localizado no município de Santa Teresa. E na região Sul evidenciou-se duas unidades de pivôs centrais no município de Itapemirim que somam uma área irrigada de 95,94 ha. Estas duas regiões

juntas representam 1,08% do número de pivôs e 0,83% da área total irrigada por pivôs centrais no Estado.

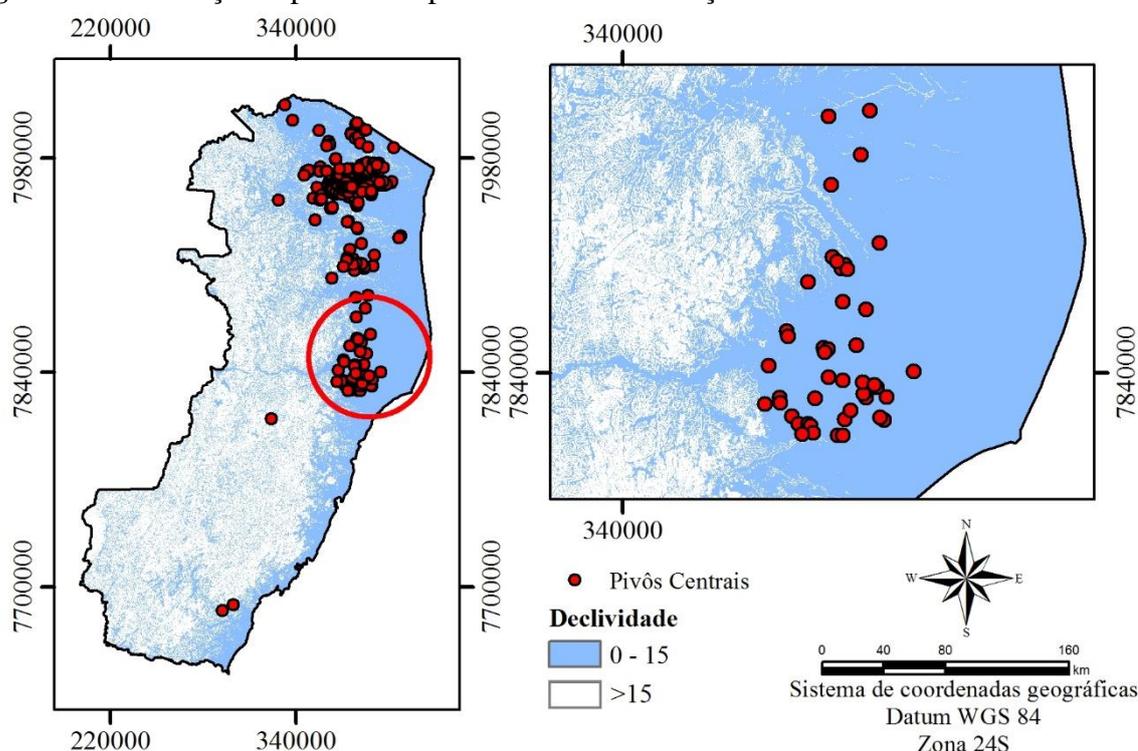
Embora o Estado do Espírito Santo possua menor número de pivôs que algumas unidades federativas, como Rio Grande do Sul com 1.753 unidades (MARTINS et al., 2016), 2.367 em Goiás (LANDAU; GUIMARÃES; REIS, 2013), 2.792 na Bahia (GUIMARAES; LANDAU; SOUZA, 2014) e 4.432 em Minas Gerais (GUIMARÃES; LANDAU, 2011), segundo a ANA (2016) o Estado detém um dos principais polos nacionais de irrigação por pivôs centrais, o Polo Itaúnas – São Mateus.

Fatores relacionados a topografia acidentada e aspectos sociais, são explicações para alta concentração de pivôs em regiões específicas. A grande parte das áreas agricultáveis do Estado localizam-se em regiões com declividade acima de 15%, limite máximo sugerido para implantação deste tipo de sistema, ou não possuem áreas planas extensas o suficiente que justifique tal investimento, sendo o comprimento mais comum e

economicamente viável entre 50 a 113 ha (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006)

Desta forma, na Figura 3 aferiu-se a representação das unidades de acordo com a declividade do terreno. Os equipamentos encontram-se concentrados exatamente nas regiões que apresentam relevo menos acidentado, região norte e nordeste, onde predomina-se o uso de agricultura altamente tecnificada e mecanizada.

Figura 3. Distribuição espacial dos pivôs centrais em função da declividade.



O fator social está diretamente relacionado à agricultura familiar que corresponde a 80% dos estabelecimentos agrícolas e representa 52% da área agricultável do Estado (IBGE, 2009), estas localizam-se em sua maioria em áreas com declividades que não permitem automatização de sistemas. Mesmo em ocasiões de áreas suficientemente planas, muitas das vezes o investimento não é possível ou inviável, devido ao alto custo de implantação.

Os resultados obtidos neste trabalho não corroboram com os resultados

apresentados pela ANA em 2014, tal diferença pode estar correlacionada à aspectos climáticos. O Estado desde 2014 vem passando pela maior crise hídrica de sua história, havendo edição de duas resoluções 005/2015 e 006/2015 pela Agência Estadual de Recursos Hídricos.

Segundo Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo (IDAF, 2015), a Resolução 005/2015, proibiu a construção de novos poços, captação em poços escavados localizados a menos de 300 metros de um corpo hídrico e a perfuração de poços artesianos. A

resolução 006/2015 estabeleceu regras de captação e uso de água em nove municípios, dentre eles Pinheiros onde houve redução significativa do número de pivôs no atual levantamento. Foi suspensa a captação de água para qualquer outro fim que não seja o abastecimento humano e animal, e proibição de irrigação em todo o Estado, no período das 5 às 18 horas.

Em função da elevada demanda hídrica necessária para funcionamento de um pivô central, e diante das diversas

restrições ao uso da água, houve redução no número de pivôs centrais entre os anos de 2014 e 2017, as quais podem estar diretamente relacionadas à desativação ou venda destes equipamentos, devido a inviabilidade do uso.

Na Tabela 2 encontram-se os resultados obtidos do número de unidades de pivôs centrais e área irrigada por bacia hidrográfica, seguindo a divisão de Ottobacias Nível 04.

Tabela 2. Descrição do número pivôs centrais nas Ottobacias Hidrográficas Nível 04 e sua respectiva área irrigada.

Bacia hidrográfica	Área (ha)	Nº De Pivôs	Área Irrigada (ha)
Interbacia do Rio Itaúnas	442.874,00	191	9.041,16
Bacia do Rio São Mateus	823.720,00	14	721,93
Interbacia do Rio Barra Seca	348.966,00	28	1.033,60
Interbacia do Rio do Norte	68.575,00	00	0,00
Bacia do Rio São José	241.848,00	05	276,48
Interbacia do Rio Bananal	208.199,00	10	678,40
Bacia do Rio Pancas	118.060,00	00	0,00
Interbacia Córrego do Ouro	3.743,00	00	0,00
Bacia do Rio St ^a Maria do R. Doce	93.414,00	01	12,92
Interbacia do Rio St ^a Joana	187.133,00	00	0,00
Bacia do Rio Guandu	214.861,00	00	0,00
Bacia do Rio José Pedro	20.222,00	00	0,00
Interbacia do Rio Piraquê-Açu	311.708,00	25	1.131,34
Bacia do Rio St ^a Maria da Vitória	179.960,00	00	0,00
Interbacia do Rio Aribiri	3.088,00	00	0,00
Bacia do Rio Jucu	214.856,00	00	0,00
Interbacia do Rio Benevente	234.887,00	01	21,36
Bacia do Rio Itapemirim	745885,92	01	74,59
Interbacia do Córrego S. Salvador	28.231,00	00	0,00
Bacia do Rio Itabapoana	267.907,00	00	0,00
Total		276	12.991,76

Verifica-se que as 276 unidades de pivôs estão distribuídas em nove bacias e a maior parte concentra-se nas bacias das Regiões Centrais e Norte. Os maiores índices de irrigação por pivô foram constatados na Interbacia do Rio Itaúnas, que atualmente suporta 191 unidades de pivôs centrais (69,20% do total do Estado),

correspondendo a 9.041,16 ha de área irrigada (69,59% da área total irrigada por pivô central no Estado).

Destacam-se também a Interbacia do Rio Barra Seca, Interbacia do Rio Piraquê-Açu, Bacia do Rio São Mateus e Interbacia do Rio Bananal correspondendo a 10,13; 8,70; 5,07 e 3,63% do total de pivôs

centrais do Estado e 7,95; 9,05; 5,55 e 5,24% da área total irrigada, respectivamente.

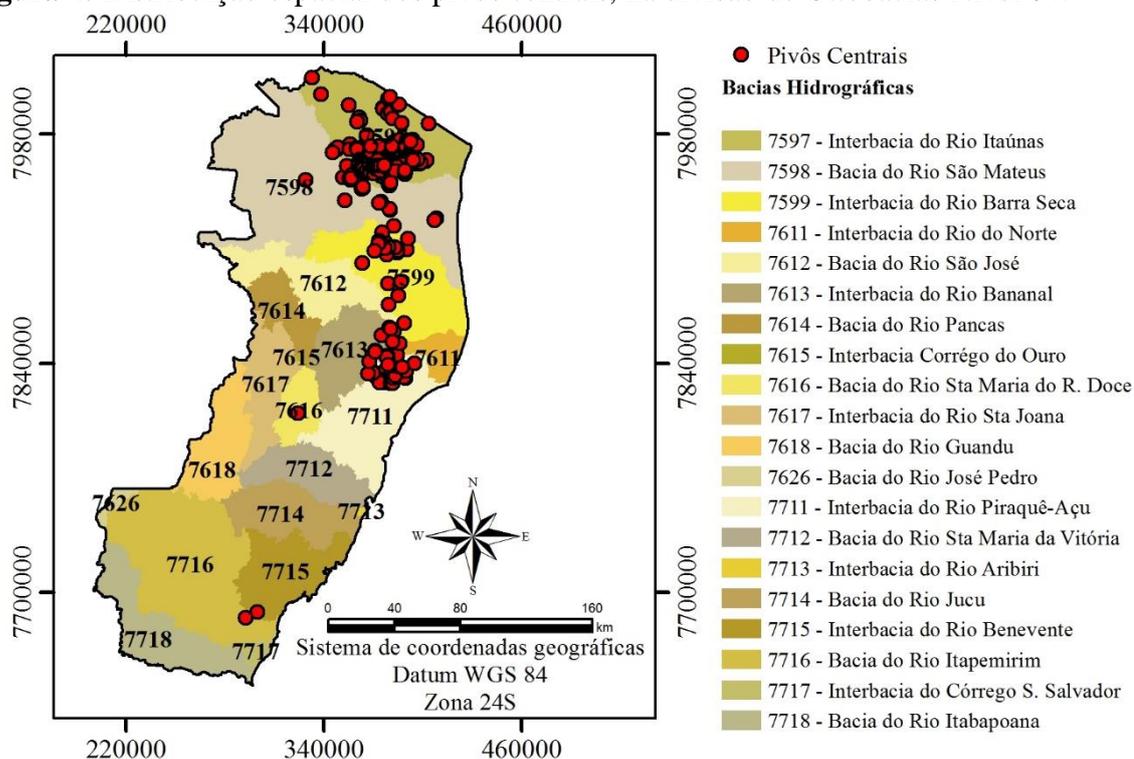
As Bacias do Rio São José, Rio St^a Maria do Rio Doce, Interbacia do Rio Benevente, Bacia do Rio Itapemirim, juntas representam 2,89% do total de pivôs do estado e 2,92% da área total irrigada.

A demarcação destes equipamentos é um importante ponto de partida, pois fornece informações sobre concentração de pivôs centrais em uma determinada região ou bacia hidrográfica, podendo ser usada para investigações aprofundadas sobre estes equipamentos, além de facilitar monitoramentos periódicos pelos órgãos

fiscalizadores e acompanhamento da expansão da área irrigada.

Atualmente a técnica da irrigação é fundamental para agricultura (RIBEIRO et al., 2018), e os investimentos para adoção de tecnologias de pivôs centrais na Interbacia do Rio Itaúnas, confirmam a importância desta técnica para garantir o sucesso da agricultura capixaba. Contudo, estes dados servem de alerta, pois devido a alta concentração de equipamentos por unidade de área (Figura 4), o uso inadequado destes sistemas na irrigação pode promover impactos negativos tanto à agricultura quanto ao meio ambiente (FERREIRA et al., 2018).

Figura 4. Distribuição espacial dos pivôs centrais, na divisão de Ottobacias Nível 04.



Devido a esta rápida expansão da tecnologia de irrigação por pivôs centrais, critérios técnicos e ambientais devem ser adotados para instalação e uso destes equipamentos. Em função das extensas áreas que os equipamentos podem ocupar, o uso indiscriminado pode ocasionar aumento na demanda hídrica e energética (SANTOS et al., 2010; TURCO et al., 2012). Essa

problemática está presente em diversas regiões irrigadas, no Brasil e no mundo. Nos Estados Unidos a tecnologia de pivô central foi muito difundida nos estados de Colorado, Nebraska, Kansas e outros, ocasionando impactos ao meio ambiente (ZHANG et al., 2018).

Neste cenário, para contornar a problemática a adoção de políticas públicas

tornam-se fundamentais, para garantir um crescimento sustentável, evitando expansão desordenada e possíveis desequilíbrios ambientais e uso excessivo da água.

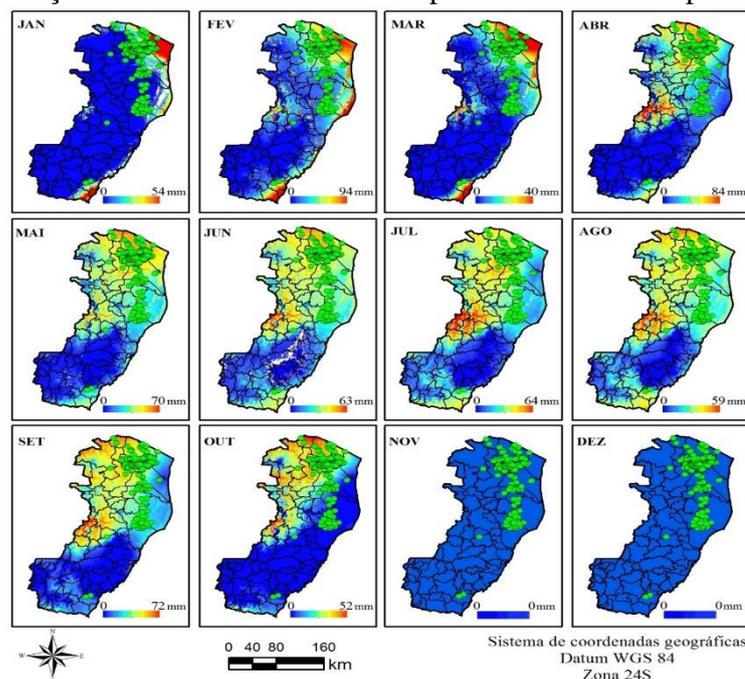
A elaboração de leis que preconizam métodos de fiscalização contínua, podem ser uma alternativa ao aumento da eficiência no uso da água na irrigação. Para isto, seria necessário a exigência na qualidade dos projetos de irrigação, criados a partir de profissionais especializados, visando atender critérios técnicos, para garantir uma eficiência mínima de funcionamento do sistema.

Além disso, se torna necessário a apresentação de um plano de manejo de irrigação juntamente ao produtor, gerando assim práticas que atuam de forma protetora aos recursos hídricos. O

estabelecimento deste tipo de política seria fundamental, pois atualmente no Brasil, a grande maioria dos usuários da agricultura irrigada não adotam qualquer estratégia de manejo de irrigação (BONOMO et al., 2014), e juntamente com os baixos índices de eficiência do sistema, ocasionam uma problemática relacionada ao desperdício de água (BRITO; GOMES; LUDWIG, 2012) e energia. Essa eficiência que podem ser averiguados através de avaliações de desempenho periódicas.

Para possibilitar o levantamento de informações que ajudem a criar bases de conhecimento sobre a demanda hídrica dos municípios e do Estado do Espírito Santo, foi elaborado um balanço hídrico conforme apresentado na Figura 05.

Figura 5. Representação do déficit hídrico mensal para o Estado do Espírito Santo.



Segundo sistema de classificação de Köppen, o Estado apresenta as zonas climáticas A e C, encontrando-se os seguintes subtipos climáticos: Aw, Am, Cf e Cw, e as variações Cfa, Cfb, Cwa e Cwb (LIMA et al., 2016), portanto apresenta considerável variabilidade à aspectos climatológicos entre os municípios.

Portanto, os mapas temáticos obtidos pelo método de *krigagem*, possibilitaram a espacialização do déficit e excedente hídrico e determinação exata dos valores em milímetros das variáveis para todo Estado, na qual cada coordenada obteve um valor específico.

Este processo juntamente com a coleta pontual possibilitou maior exatidão na estimativa da demanda hídrica, obtida pela razão entre o valor do déficit hídrico para a coordenada e área irrigada pelo pivô central, garantindo maior confiabilidade nos dados.

Com as áreas de pivôs delimitadas e o déficit referente a coordenada específica de cada um, obteve-se a demanda hídrica dos equipamentos ao longo dos meses do ano, os resultados que estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Demanda hídrica ($m^3 \cdot 10^5$) dos pivôs centrais para cada município obtida pelo balanço hídrico em função da ETP mensal.

ID	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Σ
01	0,2	1,6	0,1	0,7	1,9	1,7	1,3	1,6	1,5	0,0	0,0	0,0	10,6
02	0,1	2,2	0,8	2,3	3,6	2,8	2,6	2,6	3,3	2,2	0,0	0,0	22,5
03	0,3	0,8	0,4	0,3	0,7	0,5	0,3	0,4	0,3	0,3	0,0	0,0	4,3
04	0,1	0,6	0,1	0,1	0,3	0,3	0,2	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	2,1
05	0,0	0,8	0,2	0,8	1,8	1,5	1,3	1,4	1,4	0,4	0,0	0,0	9,7
06	0,0	1,7	0,3	1,6	3,5	3,2	2,4	2,8	2,9	0,0	0,0	0,0	18,4
07	0,2	2,4	1,3	2,2	3,6	2,8	1,9	2,4	2,8	2,1	0,0	0,0	21,7
08	0,0	0,3	0,1	0,3	0,5	0,4	0,3	0,4	0,5	0,4	0,0	0,0	3,1
09	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	1,2
10	0,4	1,5	0,9	1,1	1,8	1,3	0,9	1,3	1,2	1,0	0,0	0,0	11,3
11	4,7	27,4	11,0	20,2	32,8	24,6	19,3	22,0	25,0	18,4	0,0	0,0	205,2
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,3
13	0,4	2,7	0,8	2,0	3,9	2,8	2,4	2,7	2,8	1,5	0,0	0,0	22,0
14	0,0	0,1	0,1	0,2	0,5	0,4	0,3	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	2,4
15	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,7
16	0,0	0,1	0,0	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	1,5
Σ	6,4	42,1	16,2	32,0	55,3	42,8	33,7	38,9	42,8	26,7	0,0	0,0	336,9

*ID (identificação): 01-Aracruz; 02- Boa Esperança; 03-Conceição da Barra; 04-Itapemirim; 05-Jaguaré; 06-Linhares; 07-Montanha; 08-Mucurici; 09-Nova Venécia; 10-Pedro Canário; 11-Pinheiros; 12-Santa Teresa; 13-São Mateus; 14-Sooretama; 15-Vila Pavão; 16-Vila Valério.

Constata-se que anualmente são gastos 33.694,34 milhões de metros cúbicos de água para atender a demanda hídrica de todos os pivôs do Estado. Os municípios que se destacam com as maiores demandas são: Pinheiros, que corresponde aproximadamente à 60,89% (20.518.385,2 milhões m^3) da água utilizada por irrigação com pivô central no Estado, seguido por Boa Esperança representando 6,6% (2.246.810,1 milhões m^3), São Mateus 6,52% (2.197.313,7 milhões m^3), Montanha 6,43% (2.169.369,7 milhões m^3) e Linhares

5,46% (1.841.267,5 milhões m^3). Os demais municípios somados representam 14,01% do volume total totalizando 4.721.198,32 milhões de m^3 (Tabela 4).

Os meses de maio e junho apresentaram maior demanda hídrica (5.527,10 e 4.281,96 milhões m^3), característica do inverno seco que predomina no Estado. Os meses de novembro e dezembro, apresentam menor demanda, devido ao verão chuvoso, onde os índices pluviométricos mensais são maiores

que os valores da ETP, não havendo déficit hídrico. (Tabela 4).

Em relação a distribuição da demanda por macrorregiões, conclui-se que a macrorregião norte é responsável por mais de 30.165.096,51 milhões de m³ da demanda hídrica dos pivôs centrais, seguida pela região central 3.289.045,13 milhões de m³, região sul 213.586,17 milhões de m³ e, por fim, a região metropolitana total 26.616,69 milhões de m³.

A escassez de água em algumas regiões brasileiras retrata a importância da adequada gestão dos recursos hídricos. Efetuou-se a quantificação da demanda hídrica dos pivôs centrais por bacia hidrográfica. Destacando-se a Interbacia do Rio Itaúnas que apresenta a maior demanda anual de 27.099.033,4 milhões m³ de água, um equivalente à 80,42% da demanda total do Estado. Os resultados estão dispostos na Tabela 5.

Tabela 5. Demanda hídrica por bacia hidrográfica, divisão otto nível 04.

Bacia hidrográfica	Demanda hídrica (m³.10³)
Interbacia do Rio Itaúnas	27.099,03
Bacia do Rio São Mateus	1.726,80
Interbacia do Rio Barra Seca	1.771,47
Bacia do Rio São José	332,10
Interbacia do Rio Bananal	997,16
Bacia do Rio Santa Maria do Rio Doce	26,62
Interbacia do Rio Piraquê-Açu	1.527,57
Interbacia do Rio Benevente	24,13
Bacia do Rio Itapemirim	189,46
Total	33.694,34

Devido crise hídrica em alguns estados brasileiros, a adequada gestão dos recursos hídricos tornou-se fundamental, sendo necessário para seu correto gerenciamento o conhecimento da disponibilidade e demanda hídrica de cada região (MANKE et al., 2017). Devido à falta de estudos relacionados ao aspecto hídrico no Estado, acredita-se que estimativa demanda hídrica e a obtenção da localização geográfica dos pivôs surjam como uma base de informações primárias que servirão como suporte para novas pesquisas e investigações sobre agricultura irrigada, contribuindo assim para o crescimento sustentável de toda região.

6 CONCLUSÕES

As técnicas de fotointerpretação e sensoriamento remoto, auxiliam de forma prática, eficiente e de baixo custo na geração de informações sobre o cenário da agricultura irrigada.

O Estado do Espírito Santo possui um total de 276 unidades de pivôs ativas, responsáveis por uma área irrigada de 12.991,76 ha, e uma demanda média anual 33.694.344,5 milhões de m³ de água.

A maior demanda hídrica ocorre na Macrorregião Norte, cerca de 30.165.096,51 milhões de m³, em função dos 214 pivôs, que abrangem uma área irrigada de 10.504,07 ha.

A Interbacia do Rio Itaúnas possui 191 unidades de pivôs centrais, com demanda anual de 27.099.033,4 m³ e área irrigada 9.041,16 ha.

Os meses de maio e junho apresentaram maior necessidade de complementação hídrica, entorno de 1/3 da demanda anual.

As técnicas descritas neste trabalho podem ser aplicadas para qualquer região, para novas investigações do cenário da agricultura irrigada, auxiliando a gestão dos recursos hídricos.

7 AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Espírito Santo, a Capes e ao GAGEN (Geotechnology Applied to Global Environment).

8 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil – 2014**. Brasília, DF: ANA, 2016.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. Viçosa: UFV, 2006.

BONOMO, D. Z.; BONOMO, R.; PEZZOPANE, J. R. M.; SOUZA, J. M. Alternativas de manejo de água de irrigação em cultivos de conilon. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 4, p. 537-545, 2014.

BRAGA, A. L.; OLIVEIRA, J. C. Identificação e quantificação de áreas irrigadas por pivô central utilizando imagens CCD/CBERS. *In*: SIMPÓSIO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: INPE, 2005. p. 849-856.

BRITO, R. R.; GOMES, E. R.; LUDWIG, R. Uso da água na irrigação. **Fórum Ambiental**, Tupã, v. 8, n. 2, p. 373-383, 2012.

CASTIONE, G. A. F.; SOUZA, Z. M.; SILVA, R. B.; CAMPOS, M. C. C.; DA CUNHA, J. M. Variabilidade espacial da textura do solo em área irrigada por pivô central em diferentes posições na paisagem. **Revista Agro@mbiente On-line**, Boa Vista, v. 9, n. 3, p. 219-226, 2015.

CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. E. M.; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; XAVIER, A. C. Avaliação do desempenho dos diferentes métodos de interpoladores para parâmetros do balanço hídrico climatológico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 8, p. 871-880, 2010.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos – safra 2016/17. Brasília: CONAB, 2017, 166 p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/graos/boletim-da-safra-de-graos?start=20>. Acesso: 17 novembro de 2017.

CSEI/ABIMAQ. Atualização da área irrigada no Brasil. *In*: ABIMAQ. São Paulo, 18 mar. 2019. Disponível em: <http://www.abimaq.org.br/site.aspx/detalhes-imprensa-ultimos-releases?codNoticia=56p7vjbdz2I=>. Acesso: 15 maio 2019.

FARG, E.; ARAFAT, S.; EL-WAHED, M. S. A.; EL-GINDY, A. Evaluation of water distribution under pivot irrigation systems using remote sensing imagery in eastern Nile delta. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences**, v. 20 , n. 1, p. 13-19 , 2016.

FERREIRA, D. S.; RIBEIRO, W. R.; GONÇALVES, M. S.; PINHEIRO, A. A.; SALES, R. A.; REIS, E. F. Cenário da área irrigada por pivô central no Triângulo Mineiro, no Estado de Minas Gerais, Brasil. **Nativa**, Sinop, v. 6, n. 6, p. 613-618, 2018.

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.

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).

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).

GUIMARÃES, D. P.; LANDAU, E. C.; SOUZA, D. L. **Irrigação por pivôs centrais no Estado da Bahia-Brasil**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2014. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 107).

IBGE. **Censo Agropecuário 2006**. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

IDAF. **Cenário de alerta no ES devido à pior crise hídrica da história**. Vitória: IDAF, 2015.

INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES - IJSN. **Base de dados**: Bases geográficas. Vitória: 2017.

LANDAU, E. C.; GUIMARÃES, D. P.; REIS, R. J. **Mapeamento das áreas irrigadas por pivôs centrais no Estado de Goiás e no Distrito Federal**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 77).

LANDAU, E. C.; GUIMARÃES, D. P.; SILVA, P. A. A.; SOUZA, D. L. **Concentração de Áreas Irrigadas por Pivôs Centrais no Estado de São Paulo - Brasil**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2014. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 100).

LIMA, J. S. S.; SILVA, S. A.; BERNARDES, P. M.; FONSECA, A. S.; PEREIRA, J. M. S. Variabilidade espacial dos percentis 75 da precipitação pluvial mensal no estado do espírito santo. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 24, n. 5, p. 393-405, 2016.

MANKE, E. B.; FARIA, L. C.; PEREIRA, M. G.; NÖRENBERG, B. G.; CALDEIRA, T. L.; OLIVEIRA, H. F. E. de. Identificação de áreas irrigadas por pivô central e linear móvel no estado do rio grande do sul. **Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 2, p. 343-352, 2017.

- 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.
- RIBEIRO, W. R; GONÇALVES, M. S; PINHEIRO, A. S; CAPELINI, V. A; FERREIRA, D. S; REIS, E. F. Limitation of Relative Transpiration and Growth of Arabic Coffee in Response to Water Deficit. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 24, n. 1, p. 1-12, 2018.
- SANTOS, C.; LORITE, I. J.; TASUMI, M.; ALLEN, R. G.; FERERES, E. Performance of an irrigation scheme using indicators determined with remote sensing techniques. **Irrigation Science**, New York, n. 28, p. 461-477, 2010.
- SANTOS, A. R.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SEDIYMA, G. C.; PELUZIO, J. B. E.; PEZZOPANE, J. E. M.; BRAGANÇA, R. **Espacialização de Dados Meteorológicos no ArcGIS 10.3 Passo a Passo**. Alegre: CAUFES, 2015.
- 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.
- SOUSA, M. B. A.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, J. G. F.; VICENTE, M. R.; VIEIRA, G. H. S. Análise técnica da cafeicultura irrigada por pivô central no norte do Espírito Santo e extremo sul da Bahia. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 19, n. 5, p. 450-458, 2011.
- THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v. 38, p. 55-94, 1948.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton: Drexel Institute of Technology, 1955.
- TOLEDO, C. E.; MORAES, E. Levantamento e atualização dos sistemas de irrigação por pivô central instalados nos municípios de Paraúna e Palmeiras de Goiás. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 26, n. 3, p. 277-283, 2018.
- XAVIER, A. C. Módulos em MATLAB para interpolação espacial pelo método de *krigagem* ordinária e do inverso da distância. **Revista Brasileira de Cartografia**, Uberlândia, v. 62, p. 67-76, 2010.
- ZHANG, C.; YUE, P.; DI, L.; WU, Z. Automatic Identification of Center Pivot Irrigation Systems from Landsat Images Using Convolutional Neural Networks. **Agriculture**, n. 8, p. 1-19, 2018;