

A blurred background image of a microscope and a rack of test tubes containing various colored liquids (orange, green, blue, red, yellow, green).

**Alan M. Zuffo**  
**Jorge C. Aguilera**  
**Bruno R. de Oliveira**  
**Rosalina E. L. Zuffo**  
**Aris V. Peña**  
Organizadores

# CIÊNCIA EM FOCO

## VOLUME VII

A logo featuring a stylized bird perched on an open book.

Pantanal Editora

2022

**Alan Mario Zuffo  
Jorge González Aguilera  
Bruno Rodrigues de Oliveira  
Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo  
Aris Verdecia Peña  
Organizadores**

**Ciência em Foco  
Volume VII**



Pantanal Editora

2022

Copyright© Pantanal Editora

**Editor Chefe:** Prof. Dr. Alan Mario Zuffo

**Editores Executivos:** Prof. Dr. Jorge González Aguilera e Prof. Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

**Diagramação:** A editora. **Diagramação e Arte:** A editora. **Imagens de capa e contracapa:** Canva.com. **Revisão:** O(s) autor(es), organizador(es) e a editora.

#### Conselho Editorial

Grau acadêmico e Nome	Instituição
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos	OAB/PB
Profa. Msc. Adriana Flávia Neu	Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã
Profa. Dra. Albys Ferrer Dubois	UO (Cuba)
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior	IF SUDESTE MG
Profa. Msc. Aris Verdecia Peña	Facultad de Medicina (Cuba)
Profa. Arisleidis Chapman Verdecia	ISCM (Cuba)
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva	UFESSPA
Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo	UEA
Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu	UNEMAT
Prof. Dr. Carlos Nick	UFV
Prof. Dr. Claudio Silveira Maia	AJES
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos	UFGD
Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva	UEMS
Profa. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos	IFPA
Prof. Msc. David Chacon Alvarez	UNICENTRO
Prof. Dr. Denis Silva Nogueira	IFMT
Profa. Dra. Denise Silva Nogueira	UFMG
Profa. Dra. Dennyura Oliveira Galvão	URCA
Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves	ISEPAM-FAETEC
Prof. Me. Ernane Rosa Martins	IFG
Prof. Dr. Fábio Steiner	UEMS
Prof. Dr. Fabiano dos Santos Souza	UFF
Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez	(Colômbia)
Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles	UNAM (Peru)
Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira	IFRR
Prof. Msc. Javier Revilla Armesto	UCG (México)
Prof. Msc. João Camilo Sevilla	Mun. Rio de Janeiro
Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales	UNMSM (Peru)
Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski	UFMT
Prof. Msc. Lucas R. Oliveira	Mun. de Chap. do Sul
Profa. Dra. Keyla Christina Almeida Portela	IFPR
Prof. Dr. Leandris Argentele-Martínez	Tec-NM (México)
Profa. Msc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan	Consultório em Santa Maria
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann	UFJF
Prof. Msc. Marcos Pisarski Júnior	UEG
Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos	FAQ
Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla	UNAM (Peru)
Profa. Msc. Mary Jose Almeida Pereira	SEDUC/PA
Profa. Msc. Núbia Flávia Oliveira Mendes	IFB
Profa. Msc. Nila Luciana Vilhena Madureira	IFPA
Profa. Dra. Patrícia Maurer	UNIPAMPA
Profa. Msc. Queila Pahim da Silva	IFB
Prof. Dr. Rafael Chapman Auty	UO (Cuba)
Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke	UFMS
Prof. Dr. Raphael Reis da Silva	UFPI
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes	UFG
Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo ( <i>In Memoriam</i> )	UEMA
Profa. Dra. Sylvana Karla da Silva de Lemos Santos	IFB
Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca	UFPI
Prof. Msc. Wesclen Vilar Nogueira	FURG
Profa. Dra. Yilan Fung Boix	UO (Cuba)
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme	UFT

#### Conselho Técnico Científico

- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior

- Esp. Maurício Amormino Júnior
- Esp. Tayronne de Almeida Rodrigues
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Ficha Catalográfica

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

C569      Ciência em foco [livro eletrônico] : volume VII / Organizadores Alan Mario Zuffo... [et al.]. – Nova Xavantina, MT: Pantanal, 2022. 179p.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-81460-22-8

DOI <https://doi.org/10.46420/9786581460228>

1. Ciência – Pesquisa – Brasil. 2. Pesquisa científica. I. Oliveira, Bruno Rodrigues de. II. Zuffo, Alan Mario. III. Aguilera, Jorge González. IV. Peña, Aris Verdecia. V. Zuffo, Rosalina Eufrausino Lustosa.

CDD 001.42

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**



Nossos e-books são de acesso público e gratuito e seu download e compartilhamento são permitidos, mas solicitamos que sejam dados os devidos créditos à Pantanal Editora e também aos organizadores e autores. Entretanto, não é permitida a utilização dos e-books para fins comerciais, exceto com autorização expressa dos autores com a concordância da Pantanal Editora.

Pantanal Editora

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.  
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.  
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).  
<https://www.editorapantanal.com.br>  
[contato@editorapantanal.com.br](mailto:contato@editorapantanal.com.br)

## **Apresentação**

A obra “Ciência em Foco Volume VII” em seus 12 capítulos, apresentam trabalhos relacionados com o desenvolvimento de novas tecnologias principalmente vindas das universidades. Os trabalhos mostram algumas das ferramentas atuais que permitem o incremento a melhoria da qualidade de vida da população, o atendimento no setor público, os impactos no meio ambiente, além da saúde pública, entre outras. A obra, vem a materializar o anseio da Pantanal Editora na divulgação de resultados, que contribuem de modo direto no desenvolvimento humano.

Avanços em diversas áreas do conhecimento, entre elas, nas áreas de Ciências Sociais, Saúde, Educação, entre outras, estão presentes nesses capítulos. Temas associados as fossas rudimentares: uma abordagem agroecológica e jurídica, pegada hídrica da soja no Matopiba: comportamento interanual no período de 1999 a 2018, as tecnologias de informação e da comunicação aliadas à aprendizagem dos alunos com deficiências, análisis filosófico y jurídico del ser humano respecto al control del poder conferido, análise metodológica dos editais e chamadas voltadas à divulgação e popularização da ciência, influência do ciclo lunar no crescimento e rendimento de mandioca, meu cabelo, minha identidade: uma proposta didática no ensino de química para identificar a relação dos estudantes com o seu cabelo, decomposição em valores singulares em multirresolução: introdução e aplicação em eletrocardiograma, vulnerabilidade emocional durante a pandemia de COVID–19: revisão integrativa, o papel do assistente social no atendimento a violência doméstica contra a mulher: revisão de literatura, conhecimento de idosos acerca da infecção pelo HIV e contribuição de enfermeiros na educação em saúde, pedagogia da comunicação e sua relação com o professor e o aluno na sala de aula.

Aos autores dos diversos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos, os agradecimentos dos Organizadores e da Pantanal Editora.

Por fim, esperamos que este livro possa colaborar e estimular aos estudantes e pesquisadores que leem esta obra na constante procura por novas tecnologias. Assim, garantir uma difusão de conhecimento fácil, rápido para a sociedade.

Os organizadores


## Sumário

<b>Apresentação</b> .....	<b>4</b>
<b>Capítulo I</b> .....	<b>6</b>
Fossas Rudimentares: uma abordagem agroecológica e jurídica .....	6
<b>Capítulo II</b> .....	<b>26</b>
Pegada Hídrica da Soja ( <i>Glycine max</i> ) no Matopiba: Comportamento Interanual no Período de 1999 a 2018 .....	26
<b>Capítulo III</b> .....	<b>46</b>
As tecnologias de informação e da comunicação aliadas à aprendizagem dos alunos com deficiências .....	46
<b>Capítulo IV</b> .....	<b>52</b>
Análisis filosófico y jurídico del ser humano respecto al control del poder conferido .....	52
<b>Capítulo V</b> .....	<b>72</b>
Análise metodológica dos editais e chamadas voltadas à divulgação e popularização da ciência .....	72
<b>Capítulo VI</b> .....	<b>87</b>
Influência do ciclo lunar no crescimento e rendimento de mandioca .....	87
<b>Capítulo VII</b> .....	<b>95</b>
Meu cabelo, minha identidade: uma proposta didática no ensino de química para identificar a relação dos estudantes com o seu cabelo .....	95
<b>Capítulo VIII</b> .....	<b>114</b>
Decomposição em Valores Singulares em Multirresolução: Introdução e aplicação em Eletrocardiograma (ECG) .....	114
<b>Capítulo IX</b> .....	<b>131</b>
Vulnerabilidade emocional durante a pandemia de COVID-19: revisão integrativa .....	131
<b>Capítulo X</b> .....	<b>143</b>
O papel do assistente social no atendimento a violência doméstica contra a mulher: revisão de literatura .....	143
<b>Capítulo XI</b> .....	<b>160</b>
Conhecimento de idosos acerca da infecção pelo HIV e contribuição de enfermeiros na educação em saúde .....	160
<b>Capítulo XII</b> .....	<b>167</b>
Pedagogia da comunicação e sua relação com o professor e o aluno na sala de aula .....	167
<b>Sobre os Organizadores</b> .....	<b>177</b>
<b>Índice Remissivo</b> .....	<b>179</b>

## Pegada Hídrica da Soja (*Glycine max*) no Matopiba: Comportamento Interanual no Período de 1999 a 2018

Recebido em: 02/12/2021

Aceito em: 03/12/2021

 10.46420/9786581460228cap2

João Francisco Severo Santos<sup>1</sup> 

### INTRODUÇÃO

De acordo com a Agência Nacional das Águas (ANA, 2016), atualmente, cerca de 70% do uso consuntivo de água doce no Brasil é destinado às demandas do setor agropecuário. Nesse sentido, se as tendências atuais forem mantidas, até 2050 haverá necessidade de dobrar a produção agropecuária, o que resultará em aumento de quatro vezes na demanda por recursos hídricos (Neill et al., 2017; Ran et al., 2017; FAO, 2016). Essa situação é muito preocupante, pois o efeito mais visível das mudanças climáticas que estão em andamento é o aumento da frequência e intensidade de eventos relacionados as enchentes e secas (Nóia Júnior e Sentelhas, 2019; INPE, 2018; Rossato et al., 2017; IPCC, 2014).

De acordo com o Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, o Cerrado apresenta grande vulnerabilidade ao estresse hídrico, pois sua capacidade de armazenar água é altamente dependente das características de sua flora (PBMC, 2014). No Cerrado, a interação planta-solo-atmosfera é intensa no sentido de garantir o equilíbrio hídrico anual, pois o ciclo das águas é marcadamente definido em períodos intranuais secos e chuvosos. Nesse sentido, as raízes profundas da vegetação nativa do Cerrado garantem a percolação e armazenamento eficiente das águas do período chuvoso e sua liberação gradual para a atmosfera e para os rios no período seco (Strasburger et al., 2017; PBMC, 2014).

Essa capacidade de retenção hídrica do Cerrado é de importância estratégica para o país, uma vez que é nesse bioma que são absorvidas e afloram as águas que abastecem três importantes aquíferos e seis grandes bacias hidrográficas brasileiras: Amazônica, do Tocantins, Atlântico Norte-Nordeste, do São Francisco, Atlântico Leste e Paraná-Paraguai. Dessa última depende a sobrevivência do Pantanal, maior planície alagável do planeta (PBMC, 2014; WWF, 2012). Paradoxalmente, esse bioma foi o que sofreu mais alterações antropogênicas a partir da metade do século passado (Da Silva, 2013) e a cultura da soja compete com a abertura de pastagens para a pecuária de corte no sentido de transformar as paisagens do Cerrado sem modificar significativamente o desenvolvimento de seus municípios (Severo Santos, 2020).

<sup>1</sup> Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

\* Autor correspondente: coesuft@gmail.com

A soja (*Glycine max*) hoje representa uma das principais fontes de alimento no cenário mundial e o principal produto agrícola brasileiro destinado à exportação, Além de ocupar a maior área cultivada do país (Severo Santos e Naval, 2021; Araújo et al., 2019; Da Silva et al., 2016). Atualmente, o Brasil é responsável por 27% da produção mundial, sendo segundo maior produtor do mercado internacional de soja (Nóia Júnior e Sentelhas, 2019). Embora apenas cerca de 2% de seus cultivos no Brasil sejam irrigados, as alterações na cobertura e uso dos solos provocados por sua expansão no bioma Cerrado configuram uma das mais importantes fontes de mudanças climáticas locais (Strasburger et al., 2017; Arbuckle et al., 2013). Dessa forma, entender o comportamento da produção de soja em relação à utilização de recursos hídricos no Cerrado constitui uma necessidade estratégica para elaborar respostas diante de incertezas climáticas futuras (Severo Santos e Naval, 2020; Da Silva, 2013; Petter et al., 2012).

Nesse contexto, a Pegada Hídrica (WF) se apresenta como uma ferramenta útil para auxiliar na tomada de decisões no campo das políticas de gestão de recursos hídricos (Hoekstra, 2017). Trata-se de um indicador do uso da água, cujo método possibilita quantificar e mapear o impacto do consumo humano sobre os recursos hídricos em todas as fases da cadeia produtiva, além de avaliar a sustentabilidade dos modelos de produção (Porkka et al., 2016; Vollmer et al., 2016). Sua análise consiste na avaliação de três componentes sinalizados didaticamente pelas cores verde, azul e cinza (Hoekstra et al., 2011). A WF verde representa o volume de água da chuva consumido durante o processo de produção vegetal (Chapagain e Hoekstra, 2011); já a WF azul estima a quantidade de água disponível em reservatórios subterrâneos e superficiais que, em determinado período, foi consumida para irrigar as plantações (García Morillo et al., 2015); finalmente, a WF cinza expressa o volume de água necessário para diluir os efluentes a ponto de torná-los inofensivos à saúde da biota (Leng et al., 2015).

A WF tem sido usada em vários estudos para avaliar o uso e risco de poluição das fontes e reservas de água doce em diferentes setores, como energia (Gerbens-Leenes et al., 2008), construção civil (Solís-Guzmán et al., 2013), turismo (Cazcarro et al., 2014), etc. No entanto, o setor agropecuário recebe cada vez mais atenção (Andreea et al., 2013) por ser o maior consumidor e poluidor de recursos hídricos no planeta. Além disso, como dito antes, as tendências de crescimento populacional exercem pressão sobre esse setor no sentido que garantir a manutenção do atual sistema de produção e consumo de bens industrializados, de crescimento econômico das nações e de acumulação do capital em determinadas regiões e camadas populacionais (Severo Santos, 2021).

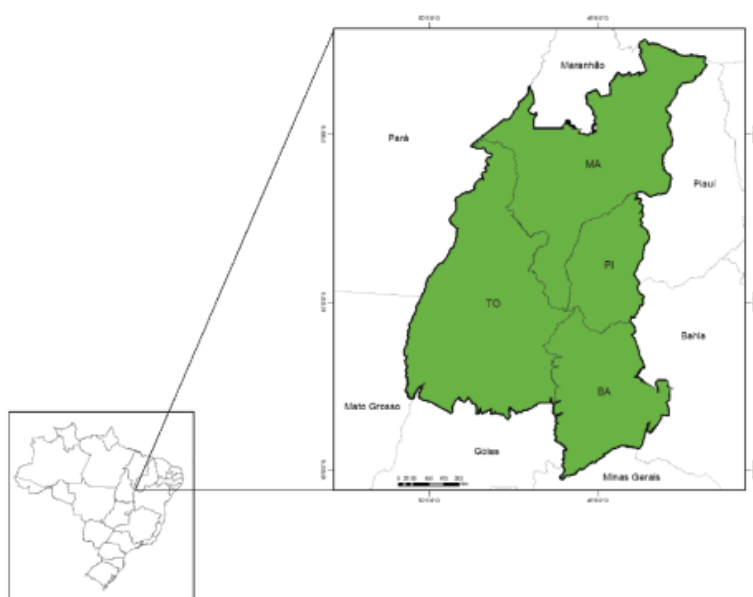
Há muitos estudos que descrevem a WF de alguns cultivos em países europeus e na China (Hoekstra, 2017; Kongboon e Sampattagul, 2012; Bocchiola et al., 2013; Sun et al., 2013), porém poucos que avaliam culturas comerciais nos trópicos, especialmente no bioma Cerrado. Ocorre que, a expansão da cultura da soja em novas áreas do Cerrado brasileiro merece especial atenção dadas as particularidades desse bioma no que tange a necessidade de preparação dos solos para esse cultivo



(Araújo et al., 2019; Lopes e Guimarães, 2016). No entanto, os estudos brasileiros sobre WF não têm focado na expansão agrícola, impulsionada pelo cultivo de soja, nessas novas áreas do Cerrado conhecidas como Matopiba por serem compostas por municípios e bacias hidrográficas contidas nos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia. Portanto, este estudo visa analisar o comportamento interanual da Pegada Hídrica da produção de soja (*Glycine max*) no Matopiba no período de 1999 a 2018. Espera-se com isso, contribuir para que os formuladores e tomadores de decisões a respeito de políticas públicas estratégicas para o desenvolvimento econômico do país possam ter mais subsídios para analisar as consequências futuras do modelo de expansão da mais recente fronteira agrícola do Cerrado das regiões norte e nordeste do Brasil.

## MATERIAL E MÉTODOS

A delimitação territorial deste estudo foi composta por áreas de Cerrado nos estados brasileiros do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, englobando cerca de 320 mil estabelecimentos agrícolas em 337 municípios.



**Figura 1.** Mapa da área de estudo (Miranda et al., 2014).

Para determinar a WF da produção de soja adotou-se o método descrito no manual publicado por Hoekstra et al. (2011), empregando-se três categorias representadas pelas cores verde, azul e cinza. Os dados meteorológicos necessários para o cálculo da WF verde e azul, foram extraídos de 27 estações meteorológicas, localizadas na delimitação territorial desse estudo, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2019) do Brasil. Adicionalmente, informações sobre o calendário agrícola e características dos solos e dos cultivares de soja na região foram adquiridas junto a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2019), ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019) e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2019). respectivamente.

A precipitação acumulada dos meses de cultivo de cada ano, bem como a incidência de radiação solar, temperatura média, umidade relativa, velocidade do vento e características dos solos e dos cultivos foram utilizadas para estimar a evapotranspiração real, potencial e específica da produção de soja por meio do modelo CROPWAT 8.0 (FAO, 2010). Além da evapotranspiração, principal variável do cálculo, dados de rendimento médio da produção (IBGE, 2019) foram aplicados nas Equações 1 e 2, a fim de estimar a PH verde e azul, respectivamente.

$$\text{Green WF (m}^3/\text{t)} = (10 \times \sum_{d=1}^{dpc} ETc/Prod) + AIP \quad (1)$$

$$\text{Blue WF (m}^3/\text{t)} = (10 \times \sum_{d=1}^{dpc} ETc/Prod) + AIP - VRP \quad (2)$$

onde: dpc = duração do período de crescimento do cultivar (dias); d = dia do plantio; ETc = evapotranspiração da cultura (m<sup>3</sup>); prod = produtividade (t/ha); AIP = água incorporada ao produto no dia da colheita (m<sup>3</sup>) e VRP = vazão de retorno (m<sup>3</sup>).

Para a WF cinza, adotou-se para efeito de cálculo, a taxa de aplicação do fertilizante mais comum dessa cultura: o fósforo, cuja estimativa de lixiviação foi de 10% (Franke et al., 2013) e a concentração máxima admitida foi de 10 mg/L em conformidade com a Resolução n° 357 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Brasil, 2005). Os dados sobre consumo de fertilizantes foram obtidos a partir dos relatórios anuais do IBAMA (2017), da Associação Nacional de Difusão de Adubos (ANDA, 2019), dos Indicadores do Desenvolvimento Sustentável (IBGE, 2015), das estimativas de custos de produção da CONAB (2018) para compor a equação 3.

$$\text{Gray WF (m}^3/\text{t)} = \left\{ \frac{FL \times TAQ}{C_{max} - C_{nat}} \right\} / Prod \quad (3)$$

onde: FL = fração de lixiviação (%); TAQ = taxa de aplicação (kg/ha); C<sub>max</sub> = concentração máxima admitida (kg/m<sup>3</sup>); C<sub>nat</sub> = concentração natural do poluente (kg/m<sup>3</sup>).

A pegada hídrica relativa (RWF) da produção de soja foi estimada pelo somatório da pegada cinza com a pegada azul ou verde, conforme os cultivos sejam irrigados (RWF<sub>i</sub>) ou não irrigados (RWF<sub>s</sub>), respectivamente (Equação 5 e Equação 4).

$$RWF_s (\text{m}^3/\text{t}) = \sum \text{green WF} + \sum \text{gray WF} \quad (4)$$

$$RWF_i (\text{m}^3/\text{t}) = \sum \text{blue WF} + \sum \text{gray WF} \quad (5)$$

A pegada hídrica absoluta (AWF) dos estados e da região foi estimada pelo produto da soma entre as RWF e a produção total de soja a cada ano (Equação 6) fornecida pelo IBGE (2019).

$$\text{Total AWF (km}^3\text{)} = (\sum \text{RWF}_s + \sum \text{RWF}_i) \times \text{produção (t)} \quad (6)$$

Os dados de produção total em toneladas do grão ou semente e, produtividade em toneladas por hectare e área plantada a cada ano foram obtidos da Pesquisa Agrícola Municipal – PAM por meio do Sistema de Recuperação Automatizada de Dados – SIDRA (IBGE, 2019). Já as informações sobre a localização e tamanho das culturas irrigadas foram fornecidas pelos Grupos de Coordenação de Estatísticas Agropecuárias – GCEAs de cada estado a partir dos registros do Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – LSPA, coordenado pelo IBGE.

Ferramentas da estatística foram utilizadas para analisar os resultados, adotando-se um nível de significância de 95% para testar as possíveis diferenças espaciais, temporais e de relações entre as variáveis. Para isso, o programa Paleontological Statistics software Package for education and data analysis – PAST foi utilizado para calcular as medidas de tendência central e dispersão, as medidas de associação e as análises de séries temporais, com ajustes polinomiais de curvas de tendência (Levine et al., 2008).

A identificação dos outliers nas séries temporais, especialmente nas de variáveis agregadas de longo intervalo como as da WF e de seus componentes, foi realizada pelo método de Tukey (Ruxton; Beauchamp, 2008), que é menos sensível a valores extremos, já que usa quartis para delimitar a região de normalidade (Equação 7). Lin et al. (2012) advertem que o método de Tukey é vulnerável a series temporais com acentuada variação sazonal repetitiva, uma vez que a diferença entre os quartis (Q3 – Q1), chamada de IQR (Inter Quartile Range) pode permanecer artificialmente inalterada. Toda via, o teste de Mann-Kendall (Anderson, 1994) não revelou sazonalidade estatisticamente significativa, o que possibilita o emprego do método de Tukey para a detecção outliers.

$$\text{Upper and Lower Limit} = ((Q3 - Q1) * 1,5) \pm \mu \quad (7)$$

onde: Q3 é o quartil 3, Q1 é o quartil 1 e  $\mu$  é a média da série temporal do período de estudo.

O tratamento dos outliers foi realizado por substituição do valor observado por um clusterizado pela média ponderada entre os três anos anteriores (Melo; Castro, 2013; Osborne; Overbay, 2004), conforme a proximidade do ano anterior, descrito na equação 8. Esse procedimento não foi efetuado no outlier do componente verde da WF da soja em 2016, pois de acordo com dados do INPE (2018), esse foi o único ano do período estudado em que ocorreu o fenômeno El Niño e, consequentemente, a maior estiagem da região nos vinte anos analisados.

$$X_e = (5(X1) + 3(X2) + 2(X3)) / 10 \quad (8)$$

onde:  $X_e$  = valor imputado;  $X1$  = valor mais próximo;  $X2$  = 2º valor mais próximo;  $X3$  = 3º valor mais próximo.

A significância estatística das tendências temporais foi verificada pelo método de Mann-Kendall (Anderson, 1994) com tendência positiva (MK +) ou negativa (MK -) e o grau de significância (MK > 1,96). O teste Mann-Kendall é muito popular devido a sua grande capacidade de detectar padrões de autocorrelação temporal e sazonalidades em séries temporais anuais. As duas principais vantagens desse método são que ele não requer distribuição normal dos dados e ser pouco influenciado por mudanças abruptas ou séries não homogêneas (Modarre e Sadeghi, 2018).

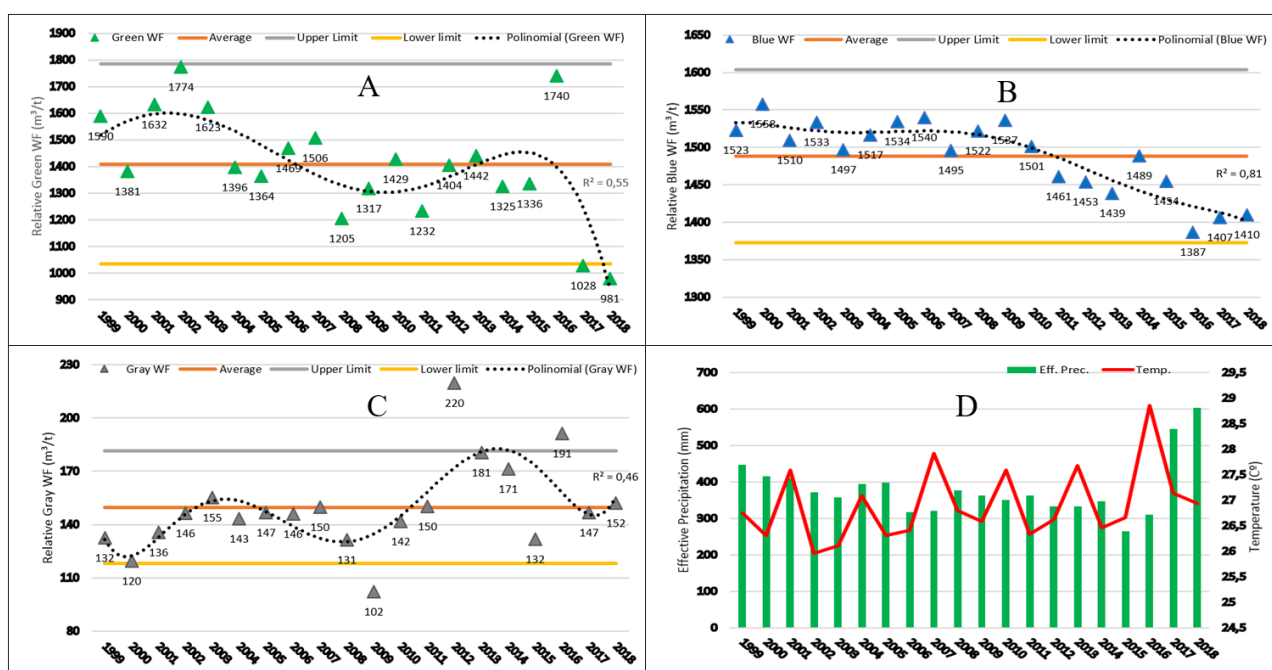
## RESULTADOS

A média<sup>2</sup> dos vinte anos de consumo de água verde (green WF) para a produção de soja na delimitação territorial desse estudo foi de  $1409 \pm 201 \text{ m}^3/\text{t}$ . Sua variabilidade interanual (CV = 14,3%) foi média, embora picos de consumo tenham ocorrido nas safras de 2002 e 2016. A curva de tendência da série temporal ( $R^2 = 0,55$ ;  $p < 0,05$ ), revelou traços de sazonalidade e redução significativa (MK = -72;  $p < 0,05$ ) de consumo do componente verde no período estudado, mesmo que o ano de 2016 tenha apresentado o segundo maior pico de consumo registrado no período (Fig. 2A). Como o IQR ( $249,9 \text{ m}^3/\text{t}$ ) representou cerca de 18% da média desse componente, os limites superior e inferior ( $1784 \text{ m}^3/\text{t}$  e  $1034 \text{ m}^3/\text{t}$ , respectivamente) determinaram uma amplitude reduzida. Dessa forma, as médias anuais de 2017 e 2018 foram identificadas como outliers. Nesse sentido, verifica-se que houve significativo aumento de produtividade no uso desse componente no período estudado, com redução média de  $32,5 \text{ m}^3/\text{t}$  por ano.

O componente azul (Blue WF) da soja nas áreas que compõem o Matopiba apresentou redução média de aproximadamente  $5,95 \text{ m}^3/\text{t}$ . O maior valor registrado ( $1558 \text{ m}^3/\text{t}$ ) no período ocorreu na safra do ano 2000 e o menor ( $1410 \text{ m}^3/\text{t}$ ) em 2016 (Fig. 4). O consumo médio de água proveniente de irrigação ( $1488 \text{ m}^3/\text{t}$ ) nessas áreas teve pouca variabilidade interanual (CV = 3,24%), com uma amplitude de  $171 \text{ m}^3/\text{t}$  no período estudado. Nenhum outlier foi identificado em decorrência do baixo IQR ( $77,1 \text{ m}^3/\text{t}$ ), que representou apenas 5,18% da média desse componente. Dessa forma, apesar de os limites superior e inferior ( $1604 \text{ m}^3/\text{t}$  e  $1373 \text{ m}^3/\text{t}$ , respectivamente) determinarem reduzida amplitude de normalidade, nenhuma média anual extrapolou esses limites. Assim, considerando o ajuste polinomial da curva de tendência interanual ( $R^2 = 0,81$ ;  $p < 0,01$ ), verificou-se que, apesar da baixa variabilidade, houve redução significativa (MK = -114;  $p < 0,01$ ) do componente Azul no período (Fig. 2B).

<sup>2</sup> CV é a mais comum medida de instabilidade de uma variável. Contudo, sua classificação é problemática em razão da necessidade de adequação às características específicas do comportamento da variável. A classificação aqui adotada foi baseada em Gomes (1985).

O componente Cinza (Gray WF) apresentou média interanual bruta de  $150 \pm 25 \text{ m}^3/\text{t}$  e maior variabilidade ( $\text{CV} = 16,75\%$ ) em relação demais componentes, no período estudado. Constatou-se que houve aumento significativo da quantidade de água necessária para diluir os resíduos de fosforo aplicados nas lavouras de soja no período estudado ( $\text{MK} = +66; p < 0,05$ ). A curva de tendência ( $R^2 = 0,46; p < 0,05$ ) revelou que, apesar da grande variação, a média de aumento desse componente foi de  $1,3 \text{ m}^3/\text{t}$  ao ano e houve marcada sazonalidade. Dessa forma, a quantidade de água necessária para proteger os recursos hídricos dessas áreas subiu de  $132 \text{ m}^3/\text{t}$  em 1999 para  $152 \text{ m}^3/\text{t}$  em 2018 (Fig. 2C). Observou-se picos de consumo nos anos civis de 2012 e 2016, sendo a cinza WF desses anos estimada em 220 e  $191 \text{ m}^3/\text{t}$ , respectivamente. O valor do IQR ( $21,1 \text{ m}^3/\text{t}$ ) representou cerca de 14,1% da média da Gray WF, sendo os valores dos limites superior e inferior iguais a  $181 \text{ m}^3/\text{t}$  e  $118 \text{ m}^3/\text{t}$ , respectivamente. Assim, as médias anuais de 2009, 2012 e 2016 (Fig. 2C) extrapolaram esses limites e foram classificadas como outliers que afetaram significativamente a média interanual. Como os outliers contaminaram 15% da série, houve necessidade de tratá-los de forma que seus valores foram imputados para que uma nova média interanual fosse estimada ( $146 \text{ m}^3/\text{t}$ ).



**Figura 2.** Valores médios anuais dos componentes verde (A), azul (B) e cinza (C) da Pegada Hídrica, bem como das temperaturas e precipitações efetivas (D) dos meses de cultivo da soja na área delimitada para esse estudo.

Em relação as temperaturas médias e a precipitação efetiva do período de plantio da soja nas áreas de recente expansão agrícola no Cerrado, pouca variabilidade foi observada, com amplitude termica interanual de  $3^{\circ}\text{C}$ , aproximadamente (Fig. 2D). Verifica-se também que a média interanual que era de  $26,7^{\circ}\text{C}$  entre 1998 e 1999 aumentou para  $28,8^{\circ}\text{C}$  entre 2015 e 2016. Já a precipitação efetiva

apresentou redução gradual de aproximadamente 11,4 mm por ano até a safra 2015/2016, recuperando-se a partir de então.

A variação interanual da RWF dos cultivos apresentou amplitude de aproximadamente 1.860 m<sup>3</sup>/t e a oscilação entre os valores máximos e mínimos foi dependente do ano e do local de produção (Fig. 3C). Dessa forma, os estados do Tocantins e Piauí apresentaram o menor e o maior percentual de variação de consumo interanual de água (tabela 1), respectivamente, para produzir uma tonelada de soja. Os valores estimados para a RWF dos cultivos sequeiros (Fig. 3A) se revelaram inferiores a média global de aproximadamente 1800 m<sup>3</sup>/t (Zuo et al., 2016; Chapagain; Hoekstra, 2011; Ercin et al., 2011) em 90% da série temporal, embora os picos de consumo dos anos de 2002 e 2016, superando-a. Nesse sentido, a Bahia e o Piauí excederam o valor de 2.700 m<sup>3</sup>/t em 1999 e 2016, respectivamente, sendo que em 2016, apenas o Tocantins não ultrapassou a marca dos 2000 m<sup>3</sup>/t (Fig. 3C).

**Tabela 1.** Pegada Hídrica Relativa (m<sup>3</sup>/t) média da produção de soja no período de 1999 a 2018.

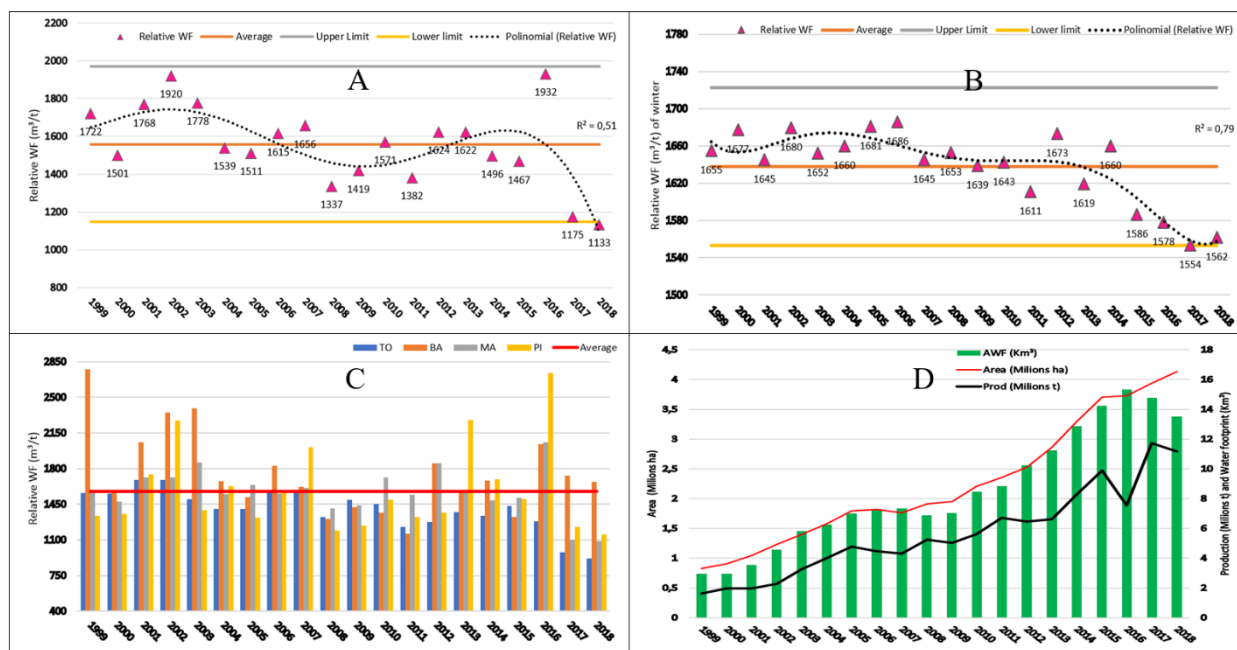
	TO	BA	MA	PI	Região
Média*	1403,9 <sup>A</sup>	1747,5 <sup>B</sup>	1574,8 <sup>B</sup>	1592,1 <sup>AB</sup>	1579,6
DP	198,5	397,2	221,7	414,3	345,4
CV (%)	14,0	22,8	14,1	26,1	21,9
MIN	916,8	1159,5	1089,1	1156,1	916,8
MAX	1691,1	2776,8	2060,2	2736,2	2776,8

Obs. Letras distintas representam diferenças significativas (p<0,05).

As médias interanuais do consumo de água para atender as demandas da produção de soja não irrigada e irrigada (Fig. 3A e 3B), considerando a delimitação territorial desse estudo, foram de 1559 ± 207 m<sup>3</sup>/t e 1637 ± 39 m<sup>3</sup>/t, respectivamente. A variabilidade interanual apresentou diferença substancial entre os cultivos irrigados (CV = 2,39%) e não irrigados (CV = 13,3%), sendo baixa entre os primeiros e média entre os segundos.

A curva de tendência da série temporal (R<sup>2</sup> = 0,51; p<0,05) da RWF dos cultivos não irrigados, revelou traços de sazonalidade e redução significativa (MK = -64; p<0,05) no período estudado (Fig. 3A), com decréscimo médio de 31 m<sup>3</sup>/t por ano. Com IQR de 274,5 m<sup>3</sup>/t e limites superior e inferior de 1970 m<sup>3</sup>/t e 1147 m<sup>3</sup>/t, respectivamente, a RWF dos cultivos não irrigados apresentou apenas um outlier, em 2018, que não afetou significativamente a média interanual. Já a RWF dos cultivos irrigados não revelou traços de sazonalidade e nem de outliers, uma vez que a baixa variabilidade interanual (CV = 2,39%) e o IQR de 46,5 m<sup>3</sup>/t determinam pequena amplitude de normalidade, com limites superior e inferior de 1723 m<sup>3</sup>/t e 1553 m<sup>3</sup>/t, respectivamente. Também se observou forte tendência temporal (R<sup>2</sup> = 0,79; p<0,01), estatisticamente significativa (MK = -96; p<0,05), de redução, com média de 4,9 m<sup>3</sup>/t por ano (Fig. 3B).

Verificou-se que a área ocupada com cultivos de soja foi incrementada anualmente em cerca de 8,99%, de forma contínua, chegando a 4,13 milhões de hectares em 2018, o que representa um incremento de 400% em relação a 1999. Nesse mesmo período, a produção aumentou 584,4%, o que representa uma elevação média de 36,9% no rendimento das lavouras de soja. Com isso, o consumo absoluto de água doce (AWF) destinado a essa produção apresentou aumento médio de 8,81% ao ano, atingindo um crescimento de 358%. Assim, o valor da AWF que era de 2,96 Km<sup>3</sup> em 1999, aumentou para 13,51 Km<sup>3</sup> em 2018 (Fig. 3D). Destaca-se o ano de 2016, marcado pela maior AWF (15,32 Km<sup>3</sup>) e o recorde em queda produção (31%), em relação ao ano anterior (IBGE, 2019).



**Figura 3.** Médias anuais da RWF não irrigada (A), irrigada (B) e geral conforme cada Unidade Federativa (D), assim como, AWF, área cultivada e produção de soja (D) na delimitação territorial desse estudo

A partir dos dados levantados nesse estudo, foi possível elaborar uma matriz de correlações entre as variáveis de influência que podem ser medidas em escalas contínuas: temperatura média, precipitação efetiva, rendimento da safra e RWF (Tabela 2). Dessa forma, foi possível constatar que a RWF apresenta associação positiva com a temperatura e negativa com o rendimento da cultura, ou seja, na medida em que as médias anuais de temperatura foram se elevando, o mesmo ocorreu com a RWF e, na medida em que a precipitação reduz, a RWF se eleva e o rendimento da cultura declina.



**Tabela 2.** Matriz de Correlações entre Temperatura (TEM), Precipitação Efetiva (PRE), Rendimento da Safra (RES), Área Plantada de Soja (APS) e Pegada Hídrica Relativa (RWF).

	TEM	PRE	RES	RWF
PRE	-0,78*	1	---	---
RES	-0,03	-0,07	1	---
RWF	0,58*	-0,43*	-0,78*	1
APS	0,87*	-0,77*	0,16	0,42

\* Estatisticamente significativo ao nível de  $p \leq 0,05$ .

## DISCUSSÃO

A WF é um importante indicador da eficiência produtiva e ambiental no que se refere ao uso da água doce (Hoekstra, 2017). Embora, os componentes de maior influência para a diminuição da WF ainda não estejam definidos (Lu et al., 2016; Xu et al., 2015; Ercin et al., 2011; Chapagain; Hoekstra, 2011), a combinação de elevadas temperaturas com precipitações efetivas reduzidas (Fig. 2D) e mal distribuídas, no tempo e no espaço podem resultar em maiores taxas de evapotranspiração, que é um dos componentes mais relevantes do cálculo que estima a WF verde e azul (Mekonnen; Hoekstra, 2011). Nesse sentido, estudos de Moura et al. (2019) e Filho et al. (2015) constataram que a temperatura média e a umidade relativa do ar são as variáveis climáticas que mais exercem influência sobre a evapotranspiração das culturas e as correlações entre essas variáveis são estatisticamente significativas, como registrado na Tabela 2 desse estudo.

Plantas como a soja e o milho, quando submetidas a altas temperaturas, reduzem a abertura dos seus estômatos e, conseqüentemente, sua capacidade de fotossíntese e carboxilação (Nóia Júnior et al., 2018). Nesse sentido, elevações das temperaturas médias e as reduções das taxas de chuvas (Fig. 2D) durante as últimas décadas nas regiões norte e nordeste do Brasil vem sendo constatadas (Nóia Júnior et al., 2018; Santos et al., 2018; Silvério et al., 2015) e são intensificadas em anos de ocorrência do fenômeno El Niño - Oscilação do Sul (ENSO).

Recentes Análises temporais da distribuição de chuvas no Brasil concluíram que nos anos-safra de 2001/2002 e 2015/2016 foram registradas as menores taxas de precipitação para o período entre 2000 e 2016, devido à intensificação do ENSO que causou valores de precipitação mais baixos do que a média histórica nesses anos (Nóia Júnior e Sentelhas, 2019; INPE, 2018; Battisti et al., 2017; Rossato et al., 2017). Concomitantemente a isso, a produtividade média dos cultivos de soja no Cerrado das regiões norte e nordeste do Brasil também apresentou os menores valores do período nos anos-safra de 2002 e 2016, ou seja, 1879 e 1795 kg/ha, respectivamente (IBGE, 2019).

Os estudos de Nóia Júnior e Sentelhas (2019) e Battisti et al. (2017) avaliaram a influência do ENSO nas variabilidades espaciais e temporais da cultura da soja e constataram que esse fenômeno afeta negativamente o rendimento dessa cultura nas regiões norte e nordeste do Brasil. Nesse contexto, a combinação de fatores adversos favoreceu os picos de RWF da produção de soja não irrigada no



Cerrado nessas regiões em 2002 e 2016 (Fig. 3A), principalmente em razão da elevação do WF verde (Fig. 2A) decorrente de maiores déficits hídricos (Santos et al., 2018, Awange et al., 2016).

O aumento da temperatura média do ar pode estar relacionado com a própria atividade agropecuária (Tabela 2), que acelera os processos de aquecimento local e afeta o mesoclima, alterando a intensidade e distribuição das chuvas e, conseqüentemente, do teor de umidade nos solos (Gosling et al., 2011). Oliveira Ivo et al. (2019) demonstraram que os padrões temporais e espaciais de temperaturas no Cerrado são decorrentes da precipitação, atividades antropogênicas e pelo próprio ciclo fenológico da vegetação. Dessa forma, quando a soja apresenta grande índice de área foliar, as temperaturas nas áreas destinadas as lavouras tendem a ser menores. Silvério et al. (2015) mostraram que as temperaturas das terras cultivadas e de pastagem no norte do Brasil eram superiores às florestas, sendo que o desmatamento ocorrido entre 2000 e 2010 levou a um aumento de 0,3°C na temperatura da bacia avaliada, além do aumento de 1,7°C que ocorreu devido ao desmatamento anterior ao ano 2000.

Outro mecanismo de controle de temperaturas e umidade do solo no Cerrado está relacionado ao sistema radicular da vegetação natural que atinge camadas mais profundas comparado ao dos cultivos. Trata-se de um mecanismo natural de distribuição da radiação que diminui o calor latente e aumenta os fluxos de calor sensível (Lathuillière et al., 2016), além de permitir maior percolação das águas precipitadas durante o período chuvoso para abastecer adequadamente os reservatórios subterrâneos que garantem o fluxo hídrico nos rios da região durante o período de escassez de água (Strassburg et al., 2017). Esse mecanismo natural pode ser afetado pela expansão das áreas agrícolas (Fig. 3D) e suas mudanças podem ter conseqüências importantes nas temperaturas da superfície (Fig. 2D).

A variabilidade temporal e espacial das precipitações configura um aspecto marcante na caracterização do clima do território brasileiro e a irregularidade das chuvas é um fator relevante para o planejamento da produção agrícola que depende, em grande parte, da taxa de umidade do solo durante o crescimento vegetativo das culturas (Marengo; Alves, 2016). Dessa forma, as mudanças intra e interanuais das condições ambientais, resultantes da sazonalidade dos períodos de chuva e seca no Cerrado e da influência da alternância entre os fenômenos La ninã e El ninõ refletem na quantidade de água doce disponível para manter a produção agrícola (Curado et al., 2014). Além disso, o surgimento de epidemias de pragas também pode colaborar para a queda de rendimento das culturas, elevando a RWF. A safra de 2001/2002, por exemplo, foi marcada pela expansão da ferrugem asiática em 60% das regiões produtoras de soja no Brasil, provocando perdas substanciais no desempenho das lavouras (Yorinori, 2006).

Com relação a BWF, poucos são os estudos disponíveis que envolvem a soja irrigada e eles são desenvolvidos principalmente na China e Europa (Hoekstra, 2016; Nunes et al., 2016). Na China, principal comprador internacional da soja produzida no Cerrado brasileiro, Cao et al. (2015)

quantificaram o uso e a produtividade da água em diversas províncias em relação à produção de grãos e constataram que 67% das fazendas eram irrigadas e utilizaram 68% da água doce nacional. Lu et al. (2016) estudaram as mudanças na eficiência do uso da água e na WF da produção de grãos na China, num período de 34 anos, e constataram que a BWF apresentou redução de 43% entre 1980 e 2014. Embora as condições climáticas da China sejam muito diferentes das do Cerrado brasileiro, o estudo de Lu et al. (2016) mostrou que o uso excessivo de água na irrigação ocorreu mais por questões técnicas do que por sazonalidade e eventos climáticos. Corroborando com esses achados, outros estudos realizados na China e Europa sobre o componente azul da WF (Zuo et al., 2016; Cao et al., 2015; Xu et al., 2015; Chapagain; Hoekstra, 2011) demonstram que o componente azul da WF apresenta tendência a redução devido ao desenvolvimento de tecnologias mais eficientes de aproveitamento da água. Os resultados encontrados nesse estudo são compatíveis (Fig. 2B) com os estudos citados.

A soja irrigada nas áreas de recente expansão agrícola no Cerrado é cultivada no período de seca e visa o fornecimento de sementes para a safra de verão (CONAB, 2019; IBGE, 2019, EMBRAPA, 2016). É importante acrescentar que essas sementes são produzidas na época do vazão sanitário – período da entressafra, em que fica proibida a presença de plantas vivas de soja, exceto para a produção de sementes (Tocantins, 2016; Maranhão, 2011) e para pesquisa científica (Bahia, 2017). Para esses cultivos, a irrigação é fundamental, uma vez que eles são realizados durante o outono-inverno no hemisfério sul, caracterizado pela falta de chuvas na região estudada. Ainda assim, nos anos em que há escassez de chuvas, há maior necessidade de irrigação, o que pode explicar, em parte, a variação dos valores do componente azul da WF durante a ocorrência desses fenômenos climáticos (Capellesso et al., 2016; Pfister et al., 2014; Arbuckle et al., 2013; Chapagain; Hoekstra, 2011). Embora a área ocupada com o cultivo da soja irrigada não ultrapasse 2% do total (IBGE, 2019), a Bahia é um dos quatro estados que juntos concentram cerca de 80% da área irrigada no país (ANA, 2016). Segundo estudo realizado pela Agência Nacional das Águas (ANA, 2014), havia na região de recente expansão agrícola no Cerrado cerca de 1.535 pivôs centrais de irrigação, tecnologia essa que apresenta limitações em questão de economia de consumo de água.

Embora muitos fatores adversos tenham ocorrido no período estudado, tanto a RWFs quanto a RWF<sub>i</sub> apresentaram tendência significativa a redução (Fig 3A e 3B). Isso ocorreu, principalmente, devido ao aumento do rendimento médio das culturas nos solos pobres do Cerrado (IBGE, 2019). O aumento de produtividade nessas áreas ocorreu pelo emprego de um pacote tecnológico (Figueiredo, 2016) que permitiu produzir plantas mais resistentes a escassez hídrica (Müller et al., 2018; Battisti et al., 2017b), ao elevado uso de agrotóxicos e fertilizantes (Battisti et al., 2017a; Battisti et al., 2017b; Caires et al., 2017; Carneiro et al., 2016) e as melhores técnicas agrícolas (Battisti et al., 2018a; Battisti et al., 2018b; Bottega, 2013).

Entre os componentes da RWF, a Cinza WF foi o único apresentou aumento significativo no decorrer do tempo (Fig 2C). Isso pode ter ocorrido pelo fato de grande parte do incremento de área destinada ao cultivo de soja no Cerrado do norte e do nordeste do Brasil provenha da conversão de pastagens em campos de cultivo agrícola, o que requer práticas de plantio direto e suplementação (Favaretto et al., 2018; Caires et al., 2017; Carneiro et al., 2016; Bolfe et al., 2016). Além disso, os solos dessa região são naturalmente pobres, sendo a correção e fertilização com gesso e fosforo necessária para tornar os solos menos ácidos e mais produtivos (Buzzato et al., 2018; Carneiro et al., 2016; Bottega et al., 2013). Considerando que tem sido o fósforo é um dos principais indicadores utilizados para estimar a cinza WF (Ayala et al., 2016; Franke et al., 2013; Ercin et al., 2011; Graça, 2011), o aumento desse componente da RWF é consistente na medida em que há expansão de áreas agrícolas no Cerrado.

O consumo relativo de água para produzir soja por unidade de tonelada não apresentou grande variabilidade temporal e tendeu a reduzir na medida em que houve elevação da produtividade (Fig. 3A e 3B), mesmo diante do aumento de temperatura e utilização de fertilizantes (Fig. 2D e 2C). Nesse sentido, a variabilidade interanual da cultura detectada nesse estudo foi similar a identificada na literatura nacional e internacional (Ayala et al., 2016; Zuo et al., 2016; Ercin et al., 2011; Chapagain e Hoekstra, 2011; Aldaya et al., 2010; Chapagain e Hoekstra, 2004). Toda via, a variabilidade especial foi muito acentuada (Tabela 1 e Fig. 3C) e compatível com o estudo de Favaretto et al. (2019) que mapeou os municípios de alta e baixa produtividade de soja na mesma delimitação territorial desse estudo.

Esse resultado sugere que o consumo de água para produzir soja nas recentes áreas de expansão agrícola do Cerrado do norte e nordeste do Brasil tem seguido tendências internacionais. Zhuo et al. (2016), por exemplo, mostraram decréscimo na RWF média da produção de soja de 4395 m<sup>2</sup>/t, em 1978, para 2134 m<sup>2</sup>/t, em 2008, motivado essencialmente pela racionalização da aplicação de agroquímicos e irrigação, o que reduziu os componentes Cinza e Azul da WF, respectivamente. Outros estudos conduzidos na China, França, Canada e Argentina (Lu et al., 2016; Zuo et al., 2016; Cao et al., 2015; Xu et al., 2015; Ercin et al., 2011; Chapagain e Hoekstra, 2011) reforçam a tendência global de redução da RWF.

Os estudos de Lu et al. (2016) e Xu et al. (2015) que constataram uma variação sazonal na PHR da produção de grãos, em resposta às flutuações dos principais fatores climáticos (temperatura e precipitação efetiva) e dos fatores técnicos (insumos agrícolas e técnicas de cultivo). Todavia, as correlações entre o tamanho da área de plantio e temperatura e precipitação (Tabela 2), são preocupantes, pois o Cerrado brasileiro apresenta grande vulnerabilidade às mudanças climáticas (Da Silva, 2013; Strassburg et al., 2017). Ademais, o aumento contínuo de áreas destinadas a essa cultura resulta em maiores demandas absolutas de água doce (Fig. 3D). Essa demanda aumentada e somada a redução das precipitações na região (Fig. 2D), pode resultar em risco a sustentabilidade dessa cultura, já que a quantidade de água disponível para atender todas as necessidades dessa produção tende a se

tornar insuficiente (Tito et al., 2018; Leng et al., 2015; Hoekstra et al., 2011; Chapagain e Hoekstra, 2011).

## CONCLUSÃO

O objetivo desse estudo foi analisar o comportamento interanual da Pegada Hídrica da produção de soja nas áreas de recente expansão agrícola do bioma Cerrado nas regiões norte e nordeste do Brasil, num recorte temporal de 20 anos. Nesse sentido, a análise dos componentes da RWF revelou que a Pegada Verde não apresentou alteração estatisticamente significativa. No entanto, a Pegada Azul apresentou redução acentuada enquanto a pegada Cinza teve aumento significativo, mas não suficiente para elevar a RWF. Assim, tanto a RWF irrigada como não irrigada apresentaram queda significativa no período. Os quatro estados que compõem a delimitação territorial desse estudo apresentaram baixas e médias variabilidades temporais em suas RWF e apenas o Tocantins apresentou valor significativamente inferior aos demais.

As variáveis climáticas tiveram grande influência sobre comportamento da RWF, uma vez que se constatou aumento de aproximadamente 1°C na temperatura média e queda de aproximadamente 100 mm no volume de precipitação efetiva na região, no período estudado. Ademais, o aumento da área total destinada ao cultivo de soja apresentou forte associação positiva com o aumento das médias anuais de temperatura e forte associação negativa com o volume de precipitação efetiva nessas áreas. Soma-se Isso, ao aumento contínuo registrado na AWF decorrente da expansão das áreas de cultivo, o que sinaliza risco a sustentabilidade ambiental da região e, conseqüentemente, risco à produção de soja.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldaya MM et al. (2010). Strategic importance of green water in international crop trade. *Ecological economics journal*, 69(4): 887–894.
- ANA (2016). Agência Nacional de Águas. Ministério do Meio Ambiente (Brazil). Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil. Brasília, DF: ANA.
- Anderson TW (1994). *The Statistical Analysis of Time Series*. New York: Wiley & Sons, 1994.
- Andreea ES et al. (2013). Water footprint assessment in the winemaking industry: a case study for a Romanian medium size production plant. *Journal of Cleaner Production*, 43: 122-135.
- Araújo MLS et al. (2019). Spatiotemporal dynamics of soybean crop in the Matopiba region, Brazil (1990–2015). *Land Use Policy*, 80: 57-67.
- Arbuckle JG (2013). Farmer beliefs and concerns about climate change and attitudes toward adaptation and mitigation. *Climatic Change*, 118: 551–563.
- Ayala LM et al. (2016). Impact of agricultural expansion on water footprint in the Amazon under climate change scenarios. *Science of the Total Environment*, 570: 1159–1173.

- Bahia (2017). Portaria ADAB N°235. 2017. Dispõe sobre as datas do vazão sanitário, plantio e colheita da soja no Estado da Bahia. Salvador, Brasil.
- Battisti R, Sentelhas PC (2017a). Improvement of soybean resilience to drought through deep root system in Brazil. *Agronomy Journal*, 109: 1612-1622.
- Battisti R et al. (2017b). Assessment of soybean yield with altered water-related genetic improvement traits under climate change in southern Brazil. *European Journal of Agronomy*, 83: 1-14.
- Battisti R, Sentelhas PC (2018a). Assessment of different gridded weather data for soybean yield simulations in Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 135(2): 237–247.
- Battisti R et al. (2018b). Soybean yield gap in the areas of yield contest in Brazil. *International Journal of Plant Production*, 12(3): 159-168.
- Bocchiola D et al. (2013). Impact of climate change scenarios on crop yield and water footprint of maize in the Po valley of Italy. *Agric. Water Manager.*, 116: 50–61.
- Bolfe EL et al. (2016). Matopiba em crescimento agrícola Aspectos territoriais e socioeconômicos. *Revista de política Agrícola*, 25(4): 38-62.
- Bottega EL (2013). Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro. *Revista Ciência Agronômica*, 44(1): 1-9.
- Brasil (2005). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre>.
- Caires EF et al. (2017). Phosphate fertilization strategies for soybean production after conversion of a degraded pastureland to a no-till cropping system. *Geoderma*, 308: 120-129.
- Carneiro JS et al. (2016). Diagnóstico da variabilidade espacial e manejo da fertilidade do solo no cerrado. *Scientia Agraria*, 17(3): 38-49.
- Cao X et al. (2015). An evaluation of the water utilization and grain production of irrigated and rain-fed croplands in China. *Science of the Total Environment*, 529 (1): 10-20.
- Capellesso AJ et al. (2015). Economic and environmental impacts of production intensification in agriculture: comparing transgenic, conventional, and agroecological maize crops. *Agroecol. Sustainable Food Systems*, 40(3): 215-236.
- Cazcarro I et al. (2014). The water footprint of tourism in Spain. *Tourism Management.*, 40: 90-10.
- Chapagain AK, Hoekstra AY (2011). The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives. *Ecological Economics*, 70: 749–758.
- Chapagain AK, Hoekstra AY (2004). Water footprints of nations. Value of Water Research Report Series 16. UNESCO-IHE. Delft, the Netherlands.

- CONAB (2018). Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Brasília: CONAB.
- Da Silva V et al. (2016). Water Footprint and Virtual Water Trade of Brazil. *Water*, 8(11): 517-529.
- Da Silva EB (2013). A dinâmica socioespacial e as mudanças na cobertura e uso da terra no bioma Cerrado. (Tese de Doutorado). Goiânia: Universidade Federal de Goiás.
- Ercin AE et al. (2011). Corporate water footprint accounting and impact assessment: the case of the water footprint of a sugar-containing carbonated beverage. *Water Resources Management*, 25(2): 721–741.
- FAO (2016). Food and Agriculture Organization of the UN. *Agriculture Perspectives, 2016-2025*. Paris: OECD Publishing.
- FAO (2010). Food and Agriculture Organization of the UN. CROPWAT 8.0 model. 2010. [www.fao.org/nr/water/infores\\_databases\\_cropwat.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html) (Accessed in Oct. 2018.)
- Favareto A et al. (2019). Há mais pobreza e desigualdade do que bem estar e riqueza nos municípios do Matopiba. *Revista NERA*, 22(47): 348-381.
- Figueiredo PN (2016). New challenges for public research organisations in agricultural innovation in developing economies: evidence from Embrapa in Brazil's soybean industry. *Quarterly Review of Economics and Finance*, 62: 21–32.
- Filho AI et al. (2015). Influência das variáveis climáticas sobre a evapotranspiração. *Gaia Scientia*, 9(1): 62-66.
- Franke NA (2013). Grey water footprint accounting: Tier 1 supporting guidelines. Water Research Report Series n. 65, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- García Morillo J et al. (2015). Linking water footprint accounting with irrigation management in high value crops. *Journal of Cleaner Production*, 87: 594–602.
- Gerbens-Leenes PW et al. (2008). The water footprint of energy from biomass: A quantitative assessment and consequences of an increasing share of bio-energy in energy supply. *Ecological Economics*, 68: 1052-1060.
- Gomes F (1985). Curso de estatística experimental. 11. ed. Piracicaba: ESALQ.
- Hoekstra AY (2017). Water Footprint Assessment: Evolvement of a New Research Field. *Water Resources Management*, 231: 1-21.
- Hoekstra AY (2016). A critique on the water-scarcity weighted water footprint in LCA. *Ecological Indicators*, 66: 564–573.
- Hoekstra AY et al. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. Earth scan, London, UK.
- IBAMA (2017). Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis. 1º Relatório semestral de agrotóxicos, 2017.

- IBGE (2019). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema Integrado de Recuperação Automática de dados - SIDRA, 2017.
- IBGE (2001). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa de Solos do Brasil. - Escala 1:5000.000". Rio de Janeiro: IBGE.
- INMET (2019). Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa.
- INPE (2018). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Monitoramento do El Niño.
- IPCC (2014). Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part B regional aspects Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report. Barros VR et al. (ed). Cambridge: Cambridge University Press.
- Kongboon R; Sampattagul S (2012). The water footprint of sugarcane and cassava in northern Thailand. *Proceedings. Social and Behavioral Sciences*, 40: 451-460.
- Lathuillière MJ et al. (2016). A review of green- and blue-water resources and their trade-offs for future agricultural production in the Amazon Basin: What could irrigated agriculture mean for Amazonia? *Hydrol. Journal of Earth System Science*, 20: 2179-2194.
- Leng G et al. (2015). A modeling study of irrigation effects on global surface water and groundwater resources under a changing climate. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 7: 1285–1304.
- Lin J (2012). Rotation-invariant similarity in time series using bag-of-patterns representation. *Journal of Computer. Information Systems*, 39(2): 287-315.
- Liu J, Savenije HHG (2008). Food consumption patterns and their effect on water requirement in China. *Hydrol. Journal of Earth System Science*, 12: 887-898.
- Lopes AS, Guimarães GLRA (2016). Career perspective on soil management in the Cerrado region of Brazil. *Advances in Agronomy*, 137: 1-72.
- Lu Y et al. (2016). Changes in water use efficiency and water footprint in grain production over the past 35 years: a case study in the North China Plain. *Journal of Cleaner Production*, 116: 71-79.
- Maranhão (2011). Portaria AGED N°638. Dispõe sobre o estabelecimento de ações de caráter técnico-administrativo e medidas fitossanitárias obrigatórias visando à prevenção, controle e erradicação da Ferrugem Asiática da Soja no Estado do Maranhão. São Luís, Brasil.
- Marengo JÁ, Alves LM (2016). Crise hídrica em São Paulo em 2014: seca e desmatamento. *Geosp – Espaço e Tempo*, 19(3): 485-494.
- Mekonnen MM, Hoekstra AY (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrol. Journal of Earth System Science*, 15: 1577-1600.

- Melo DCR, Castro AR (2013). Uma nova abordagem para detecção de outliers em séries temporais: estudo de caso em consumo de energia na região amazônica. *Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics*, 1(1): 1951-54.
- Miranda EE et al. (2014). Proposta de delimitação territorial do MATOPIBA. Nota técnica 1. Campinas: Embrapa.  
[https://www.embrapa.br/gite/publicacoes/NT1\\_DelimitacaoMatopiba.pdf](https://www.embrapa.br/gite/publicacoes/NT1_DelimitacaoMatopiba.pdf).
- Modarre R; Sadeghi S (2018). Spatial and temporal trends of dust storms across desert regions of Iran. *Natural Hazards*, 90(1): 101-115.
- Moura MM et al. (2019). Relation of El Niño and La Niña phenomena to precipitation, evapotranspiration and temperature in the Amazon basin. *Science of the Total Environment*, 651: 1639-1651.
- Müller C et al. (2018). Global patterns of crop yield stability under additional nutrient and water inputs. *PLoS ONE*, 13(6).
- Neill C et al. (2017). Surprisingly Modest Water Quality Impacts From Expansion and Intensification of Large-Scale Commercial Agriculture in the Brazilian Amazon-Cerrado Region. *Tropical Conservation Science*, 10: 1–5.
- Nóia Júnior RDS, Sentelhas PC (2019). Soybean-maize off-season double crop system in Brazil as affected by El Niño Southern Oscillation phases. *Agricultural Systems*, 173: 254-267.
- Nóia Júnior RDS et al. (2018). Ecophysiology of C3 and C4 plants in terms of responses to extreme soil temperatures. *Theoretical and Experimental Plant Physiology* 30: 261–274
- Nunes AC et al. (2016). Agronomic aspects of soybean plants subjected to deficit irrigation. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(7): 654-659.
- Oliveira Ivo I et al. (2018). Influência do desmatamento no índice de área foliar e temperatura da superfície no Cerrado mato-grossense. *Nativa*, 6(4): 364-369.
- Osborne JW, Overbay A (2004). The power of outliers and why researchers should always check for them. *Practical Assessment, Research and Evaluation*, 9(6): 1-18.
- PBMC (2014). Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas 2014: Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas. Rio de Janeiro. Disponível em: [http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos\\_publicos/GT2/GT2\\_volume\\_introducao.pdf](http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos_publicos/GT2/GT2_volume_introducao.pdf).
- Pellicer-Martínez F, Martínez-Paz JM (2016). Grey water footprint assessment at the river basin level: Accounting method and case study in the Segura River Basin, Spain. *Ecological Indicators*, 60: 1173-1183.
- Petter FA et al. (2012). Potencial ambiental e agrônômico em solos de Cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(7): 761-768.



- Pfister S, Bayer P (2014). Monthly water stress: spatially and temporally explicit consumptive water footprint of global crop production. *Journal of Cleaner Production*, 73: 52-62.
- Porkka M et al. (2016). Causes and trends of water scarcity in food production. *Environmental Research Letters*, 11: 1-12.
- Ran Y et al. (2017). Freshwater use in livestock production: to be used for food crops or livestock feed? *Agricultural Systems*, 155: 1-8.
- Rossato L et al. (2017). Impact of soil moisture over Palmer Drought Severity Index and its future projections in Brazil. *Brazilian Journal of Water Resources.*, 22(36): 1-16.
- Ruxton GD, Beauchamp G (2008). Time for some a priori thinking about post hoc testing. *Behavioral ecology*, 19(3): 690–693.
- Severo Santos JF, Naval LP (2020). Spatial and temporal dynamics of water footprint for soybean production in areas of recent agricultural expansion of the Brazilian savannah (Cerrado). *Journal of Cleaner Production*, 251: 119482.
- Severo Santos JF, Naval LP (2021). Soy water footprint and socioeconomic development: An analysis in the new agricultural expansion areas of the Brazilian cerrado (Brazilian savanna). *Environmental Development*, 100670.
- Solís-Guzmán J et al. (2013). Methodology for determining the ecological footprint of the construction of residential buildings in Andalusia (Spain). *Ecological Indicators*, 25: 239-249.
- Strassburg BBN et al. (2017). Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nature Ecology & Evolution*, 1(99): 1-3.
- Sun SK et al. (2013). The virtual water content of major grain crops and virtual water flows between regions in China. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(6): 1427-1437.
- Tito R et al. (2018). Global climate change increases risk of crop yield losses and food insecurity in the tropical Andes. *Global Change Biology*, 24: 592-602.
- Tocantins (2016). Portaria ADAPEC N°164. Dispõe sobre as medidas e ações de profilaxia e controle da praga “Ferrugem Asiática da soja” (*Phakopsora pachyrhizi*) no Estado do Tocantins e estabelece o Vazio Sanitário para a cultura da soja em todo o Estado do Tocantins. Palmas, Brasil.
- Vollmer D et al. (2016). Assessing the sustainability of freshwater systems: A critical review of composite indicators. *Ambio*, 45(7): 765–780.
- Xu Y et al. (2015). Changes in water footprint of crop production in Beijing from 1978 to 2012: a logarithmic mean Divisia index decomposition analysis. *Journal of Cleaner Production*, 87: 180-187.
- Yorinori JT (2006). Agressiva, ferrugem asiática exige manejo integrado. *Visão agrícola*, (5): 96-99.

Zhuo L (2016). The effect of inter-annual variability of consumption, production, trade and climate on crop-related green and blue water footprints and inter-regional virtual water trade: A study for China (1978- 2008). *Water Resources*, 94: 73-85.

WWF (2012). World Wide Fund for Nature. *Water Stewardship*. Gland, Suíça: WWF Brasil.

**Índice Remissivo**

**A**

alunos com deficiências, 5, 45, 47, 48, 49

**B**

Bacia de evapotranspiração, 19

Bacia de Evapotranspiração, 18

Biodinâmica, 93

**C**

Cerrado, 26, 27, 28, 32, 35, 36, 37, 38

Ciência e Tecnologia, 71, 73, 74, 76, 81, 82, 84,  
147

**E**

ECG, 5, 113, 114, 119, 120, 121, 124, 126, 127,  
128, 129, 130

**F**

ferramentas digitais, 47

fossa agroecológica, 17, 20

fossa rudimentar, 6, 13, 14, 15

**J**

Jardim Filtrante, 16, 17, 18, 20

jurídico, 5, 51, 52, 53, 62, 63, 65, 70, 149, 153,  
154

**M**

Matopiba, 28, 31

MRSVD, 113, 117, 118, 119, 120, 121, 123,  
124, 129

Multirresolução, 5, 113, 114, 117, 119, 120, 124,  
129, 130

**P**

Pegada Hídrica, 27, 28, 32, 33, 34, 38

personalidad, 51, 53, 55, 56, 57, 58, 61, 68

poder, 5, 13, 51, 52, 53, 57, 58, 59, 60, 61, 62,  
63, 64, 65, 68, 69, 70, 71, 87, 89, 95, 99, 106,  
108, 124, 138, 144, 155, 168, 169, 170

políticas públicas, 8, 10, 20, 28, 72, 84, 143, 144,  
149

processo ensino-aprendizagem, 45, 46, 49

programación neurolingüística, 52, 53, 68, 70

**S**

saneamento rural, 7, 10, 17, 19, 23

Saneamento rural, 22

**T**

TICs, 45, 46, 47, 48, 49

**V**

valores singulares, 113, 114, 117, 129



**Pantanal Editora**

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000

Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil

Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp)

<https://www.editorapantanal.com.br>

[contato@editorapantanal.com.br](mailto:contato@editorapantanal.com.br)

