

Análise de séries temporais da Soja: Estudo de caso utilizando modelos FAO-56 e ISNA

Anderson Neto da Silva¹ [0000-0002-7970-4945], Élton Carneiro Marinho¹ [0000-0003-0117-0610],
Sérgio Manuel Serra da Cruz^{1,2} [0000-0002-0792-8157], Gustavo Bastos Lyra² [0000-0002-9882-7000]

¹ Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro RJ, Brasil

² Federal Rural University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro RJ, Brasil
anderson.neto.silva@hotmail.com, {elton.marinho,
serra}@ppgi.ufrj.br, serra@ufrrj.br, gblyra@ufrrj.br

Abstract. A disponibilidade de água doce é elemento essencial ao agronegócio. Portanto, o manejo correto desse recurso requer tecnologias que garantam usos racionais por meio do monitoramento e processamento de dados meteorológicos e parâmetros do solo e da cultura a fim de quantificar o balanço hídrico do solo e a evapotranspiração com o objetivo de aumentar a produtividade. O presente estudo tem como objetivo avaliar e analisar séries temporais na cultura da soja, utilizando a plataforma AgroSAD. Essa plataforma é uma ferramenta da área de Agricultura Digital capaz de processar grandes volumes de dados meteorológicos e gerar relatórios, gráficos e indicadores baseados em modelos matemáticos de processos relacionados ao sistema solo-planta-atmosfera. A plataforma adota o modelo do Kc dual [1] e o método de Penman-Montheih para estimativa da evapotranspiração de referência. O estudo de caso utilizou a cultura da soja e séries de dados para avaliação dos modelos computacionais. O processamento dos dados produziu informações que podem ser facilmente consumidas pelos usuários finais sob forma de visualização gráfica e dashboards. Verificou-se que a solução pode auxiliar na tomada de decisão e oferecer as estimativas do balanço hídrico da cultura avaliada.

Keywords: Evapotranspiração de Referência, Agroinformática e Agricultura de Precisão.

1 Introdução

A edição de julho de 2021 de “O Estado da Segurança Alimentar e Nutricional no Mundo” destaca seis caminhos de transformação, como um conjunto coerente de políticas e investimentos para combater a fome e da má nutrição [2]. Um desses caminhos é o uso racional dos recursos hídricos. A demanda por alimentos aumentou progressivamente nas últimas décadas, devido à fatores que variam desde crescimento populacional até mudanças no perfil socioeconômico de várias sociedades.

O aumento do consumo, que cresce de acordo com o aumento da renda, induz desigualdades e, em certos casos, escassez para as classes menos favorecidas, visto que parte das culturas agrícolas são consideradas como commodities, tendo os preços

determinados pelas leis do mercado internacional. Associado a esses, fatores acrescenta-se a expansão populacional das cidades (por crescimento natural ou por migração), além das restrições ao uso da terra [3]. Assim, um grande desafio global é aumentar a produção agrícola sem ampliar as áreas de cultivo e racionalizar o uso de recursos hídricos.

Segundo Massruhá & Leite [4], a ampliação do uso das tecnologias da informação e da comunicação (TIC) aplicados à cadeia do agronegócio auxiliará os produtores e consumidores em várias frentes, desde a gestão de dados, passando pela otimização das etapas da cadeia produtiva, até o consumo de produtos de melhor qualidade. No entanto, não basta somente otimizar a produtividade, é necessário que ele seja mais sustentável, de forma a assegurar produção de alimentos saudáveis para as futuras gerações.

O objetivo desse trabalho é realizar um estudo de caso considerando séries de dados temporais, processados pela plataforma AgroSAD. As informações da cultura da soja e dados meteorológicos foram coletadas no município de Sinop no estado do Mato Grosso – Brasil. A plataforma AgroSAD, desenvolvida por Silva [5], fornece relatórios, gráficos, índices e dashboards sobre séries temporais reais submetidas a modelos agrometeorológicos para o apoiar o suporte a tomada de decisão.

2 Trabalhos relacionados

Segundo NEUMANN [6] vivemos a quarta revolução industrial. No Brasil, há um enfoque com inúmeros investimentos na produção agrícola que incorpora práticas da Agricultura 4.0, também conhecida como agricultura digital. Ela emprega métodos e modelos similares aos aplicados na Indústria 4.0, que englobam automação, robótica, sensores, bigdata, inteligência artificial, entre outros. Tais tecnologias contribuem para aumentar a produtividade e racionalização do uso de água e insumos minerais, redução de custos com mão de obra, entre outros [4].

Para VIAN et al. [7], a instabilidade da produtividade das principais culturas muitas vezes está associada ao déficit hídrico das plantas, por isso, tem se tornado cada vez mais frequente o uso de TIC na irrigação e a agricultura de precisão. O uso de irrigação nas atividades agrícolas apresenta melhores resultados quando consorciadas com as práticas da agricultura de precisão.

Para Carvalho et al. [8] a evapotranspiração de referência (ET_o) é um parâmetro para o cálculo do balanço hídrico. Outro parâmetro necessário para o cálculo do balanço hídrico climatológico de uma cultura é a evapotranspiração (ET_c). Ela pode ser estimada por meio do coeficiente de cultura (K_c), em que a relação direta deste índice com a ET_o fornece o valor de ET_c . Conforme Allen et al. [9], o K_c de uma determinada cultura muda desde a semeadura até a colheita, isto é decorrente das variações na fisiologia da cultura ao longo de seus estádios de crescimento. O estresse hídrico, por excesso ou déficit de água durante o ciclo da cultura, impacta negativamente o crescimento e desenvolvimento e, conseqüentemente, acarretam diminuição na produtividade [10].

Uma das formas de determinar se a cultura está em condições de déficit hídrico é o Índice de Satisfação da Necessidade de Água da cultura (ISNA). Esse índice é calculado

pela razão entre a evapotranspiração real (ETR) e a evapotranspiração da cultura (ETc). O ISNA, ou índice de penalização, varia entre zero e um, essa taxa representa a quantidade de água consumida pela cultura [11].

Este artigo utiliza a plataforma AgroSAD, desenvolvida por Silva [5], no apoio a tomada de decisão ao utilizar modelos para análise de fenômenos atmosféricos. Adotou-se os modelos de Penman-Monteith [1] para estimativa da ETo para o balanço hídrico e o modelo Kc Dual [1], que estima a evaporação na água no solo e da transpiração da cultura e o Índice de Satisfação de Necessidade de Água (ISNA).

3 Materiais e Métodos

Neste trabalho, os utilizamos dados dos processamentos dos modelos que foram obtidos em experimento realizado no município de Sinop no estado do Mato Grosso, na Região Centro-Oeste do Brasil. Com coordenadas geográficas $-11^{\circ} 51' 42,6''$ de Latitude Sul e $-55^{\circ} 36' 45,1''$ de Longitude Oeste, a uma altitude de 370 m acima do nível do mar. O experimento foi conduzido com a cultura da Soja, com dados coletados de setembro de 2014 a janeiro de 2021, entre o plantio e a colheita são em média 120 dias, em regime de sequeiro com sistema de cultivo tradicional.

Os dados meteorológicos históricos de temperatura e umidade do ar, velocidade do vento, radiação solar global e precipitação foram obtidos por estação automática instalada na área de cultivo e foram cedidos pela Embrapa Agrossilvopastoril, em Sinop (MT). Para o processamento das séries de dados meteorológicos foi utilizada a plataforma AgroSAD que é uma plataforma Web que utiliza as linguagens PHP, HTML, JavaScript e Banco de Dados Relacional MySQL e que está disponível em www.agrosad.com.br (Figura 1).

A plataforma apoia o processo decisório dos gestores e recebe dados oriundos de diversas fontes, entre elas, digitação de dados pelo usuário, planilhas eletrônicas, ou ainda, internet por meio de Web Services e APIs.

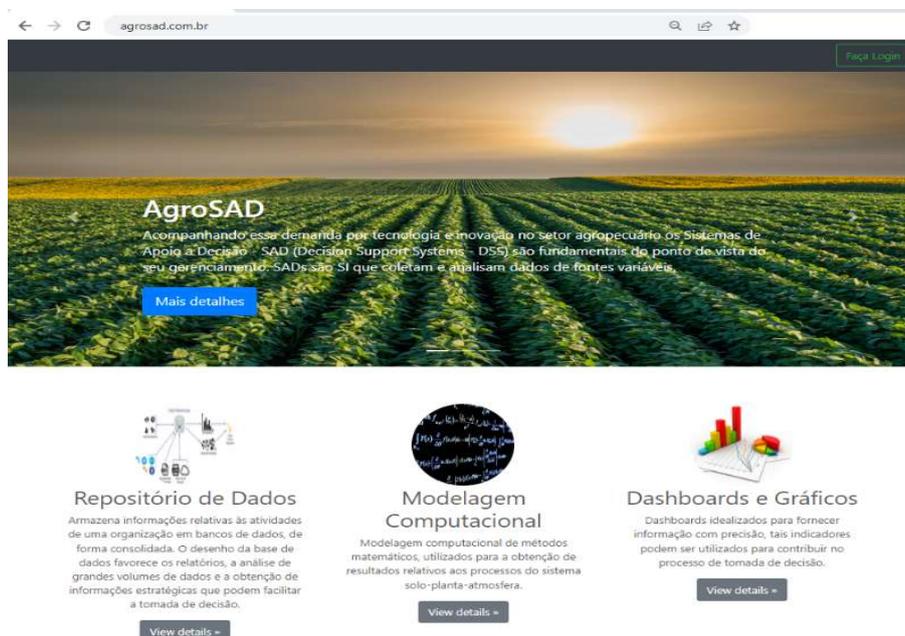


Fig. 1. – Tela inicial do AgroSAD. Fonte: www.agrosad.com.br

AgroSAD implementa os modelos de Penman-Monteith para estimativa da evapotranspiração de referência e o modelo Kc Dual (FAO 56) que estima a evaporação na água no solo e da transpiração da cultura. Os modelos adotados pelo AgroSAD foram previamente validados por Furtado [12] e Costa [13], os autores utilizaram software Scilab, que adota uma linguagem própria de programação de alto nível orientada à análise numérica. Os resultados produzidos pelo AgroSAD foram comparados com aqueles gerados por Furtado [12] e Costa [13] por meio do MS Excel e obteve valores semelhantes a implementados por ambos.

4 Modelos utilizados no experimento para a estimativa do balanço hídrico

Os modelos de balanço hídrico quantificam a diferença entre as entradas e saídas de água na área vegetada, sendo que a chuva representa a principal entrada de água em no sistema. O modelo descrito a seguir proposto por Allen et al [9], considera fatores do solo, clima, da cultura e seus estádios de desenvolvimento.

4.1 Evapotranspiração de Referência

O modelo evapotranspiração de referência foi inicialmente descrito por Allen et al [9]. Ele considera os principais elementos climáticos que afetam a evapotranspiração, a saber: temperatura do ar, velocidade do vento, radiação solar e déficit de pressão de vapor.

A radiação extraterrestre é a radiação solar que atinge a camada superior da atmosfera terrestre em uma superfície horizontal (R_a , MJ m⁻² d⁻¹)

$$R_a = 37,568dr[\omega s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega s)] \quad (1.1)$$

em que, dr é a distância relativa média Terra-Sol[km]; ωs é o ângulo horário [rad]; φ é a latitude [rad]; δ é a declinação solar [rad].

Em um dia sem nebulosidade, é possível estimar a radiação solar (R_{so} , MJ m⁻² d⁻¹) a partir da equação a seguir.

$$R_{so} = (0,75 + 2 * 10^{-5}z)R_a \quad (1.2)$$

em que, z é a altitude [m].

Denomina-se balanço de radiação de ondas curtas (R_{ns} , MJ m⁻² d⁻¹) a parcela da radiação solar que é absorvida pela superfície terrestre, depois de ser refletida.

$$R_{ns} = (1 - \alpha)R_s \quad (1.3)$$

em que, α é o albedo [0,23]; R_s é a radiação solar global (MJ m⁻² d⁻¹).

O fluxo de energia resultante da emissão de radiação da superfície e pela atmosfera para a superfície é chamado balanço de radiação de onda longa (R_{nl} , MJ m⁻² d⁻¹).

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{T_{xk}^4 + T_{nk}^4}{2} \right] (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) \left(1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right) \quad (1.4)$$

em que, σ é a constante de Stefan-Boltzmann [4,903 10⁻⁹ MJ K⁻⁴ m⁻² d⁻¹]; T_x, K é a temperatura do ar máxima diária (K); T_n, K é a temperatura do ar mínima diária (K).

A diferença entre a entrada de radiação de ondas curtas e a saída de radiação de ondas longas resulta no saldo de radiação (R_n , MJ m⁻² d⁻¹).

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (1.5)$$

Para estimar a evapotranspiração de referência foi utilizado o modelo proposto por Penman-Monteith [9].

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_m + 273} \mu_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34\mu_2)} \quad (1.6)$$

em que, ET_o é evapotranspiração de referência (mm d⁻¹); R_n é o saldo de radiação (MJ m⁻²d⁻¹); G é o fluxo de calor do solo (MJ m⁻²); Δ é a inclinação da curva de pressão de saturação em relação a temperatura do ar (kPa °C⁻¹); γ é o coeficiente psicrométrico; T_m é a temperatura do ar média diária [($t_x - t_n$)/2]; μ_2 é a velocidade do vento a 2m de altura (m s⁻¹); e_s é a pressão de saturação do vapor d'água do ar (kPa); e_a é a pressão de vapor d'água do ar (kPa).

A pressão de saturação é a capacidade do ar em armazenar vapor d'água (e_s , kPa).

$$e_s = \frac{\left(0,6108 \exp\left(\frac{17,27t_x}{237,3+t_x}\right) \right) + \left(0,6108 \exp\left(\frac{17,27t_n}{237,3+t_n}\right) \right)}{2} \quad (1.7)$$

em que t_x é a temperatura do ar máxima diária (°C); t_n é a temperatura do ar mínima diária (°C)

$$e_a = \frac{\frac{UR_n}{100} \left(0,6108 \exp \left(\frac{17,27 t_x}{237,3 + t_x} \right) \right) + \frac{UR_x}{100} \left(0,6108 \exp \left(\frac{17,27 t_n}{237,3 + t_n} \right) \right)}{2} \quad (1.8)$$

em que, UR_n é a umidade relativa do ar mínima (%); UR_x é a umidade relativa do ar máxima (%).

A inclinação da curva de pressão de saturação em relação a temperatura do ar (Δ , kPa °C-1) é dada por:

$$\Delta = \frac{4098 \left[0,618 \exp \left(\frac{17,27 t_n}{237,3 + t_n} \right) \right]}{(237,3 + t_n)^2} \quad (1.9)$$

Para estimar a pressão atmosférica (kPa) em relação a altitude local (z, m)

$$P_{atm} = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065z}{293} \right)^{5,26} \quad (1.10)$$

A variação da pressão atmosférica condiciona o coeficiente psicrométrico (γ , kPa °C-1)

$$\gamma = 0,665 * 10^{-3} P_{atm} \quad (1.11)$$

4.2 Método FAO-56

A evapotranspiração da cultura diária é estimada por meio da abordagem dual proposta pelo boletim FAO-56, onde são contabilizados separadamente os efeitos da evaporação do solo e da transpiração da cultura.

$$ET_c = K_c ET_0 = (K_{cb} + K_e) ET_0 \quad (1.12)$$

em que, ET_c é a evapotranspiração da cultura (mm d-1); K_c é o coeficiente que representa os efeitos das características que distinguem as diferentes culturas; K_{cb} é o coeficiente basal da cultura; K_e é o coeficiente de evaporação da água do solo.

A parcela da ET_0 referente a transpiração potencial da cultura, representa-se pelo coeficiente basal da cultura (K_{cb}), quando a camada superficial do solo se encontra seca, tendo, porém, disponibilidade hídrica suficiente no perfil da profundidade efetiva da zona radicular [9].

Neste caso, para determinar o K_{cb} durante os estádios fenológicos da cultura foi utilizada a equação a seguir.

$$\left[\begin{array}{l} K_{cbini} \end{array} \right. \quad \text{para } t < L_{ini} \quad (1.13)$$

$$K_{cb} = \begin{cases} K_{cb_ini} + \frac{(K_{cb_mid} - K_{cb_ini})(t - L_{ini})}{L_{cres}} & \text{para } t < (L_{ini} + L_{cres}) \\ K_{cb_mid} & \text{para } t < (L_{ini} + L_{cres} + L_{mid}) \\ K_{cb_mid} + \frac{(K_{cb_fim} - K_{cb_mid})(t - L_{ini} - L_{cres} - L_{mid})}{L_{fim}} & \text{para } t \leq (L_{ini} + L_{cres} + L_{mid} + L_{fim}) \end{cases}$$

em que, t é o tempo em dias; K_{cb_ini} é o coeficiente basal da cultura no estágio inicial; K_{cb_mid} é o coeficiente basal da cultura no estágio intermediário; K_{cb_fim} é o coeficiente basal da cultura no estágio final de estação; L_{ini} é o estágio inicial da cultura (d); L_{cres} é o comprimento do estágio de crescimento da cultura (d); L_{mid} é o comprimento do estágio intermediário da cultura (d); L_{fim} é o comprimento do estágio final da cultura (d).

Assim, a taxa de transpiração potencial (T_{rp} , mm d-1) pode ser determinada por,

$$T_{rp} = K_{cb}ET_o \quad (1.14)$$

A altura da cultura de acordo com seu estágio fenológico (h, m) foi estimada por,

$$h = \max\left(\left(\frac{K_{cb}}{K_{cb_mid}}\right)hx, 0\right) \quad (1.15)$$

em que, hx é a altura máxima que a cultura pode atingir em m.

Os efeitos que o estresse hídrico inflige na transpiração da cultura são descritos pelo coeficiente de estresse hídrico (K_s), que se relaciona diretamente com a depleção de água na zona radicular (Dr). Em capacidade de campo $Dr = 0$, quando a água é extraída por ET a Dr aumenta até se tornar igual a Água Facilmente Disponível (AFD) levando, em seguida ao esgotamento da água nessa região. Nesse estágio a ET começa a diminuir proporcionalmente a quantidade de água restante na zona radicular [9].

Enquanto $Dr < AFD$, $K_s = 1$, em outro caso esse coeficiente é definido por

$$K_s = \max\left(\frac{CAD - Dr}{CAD - AFD}, 0\right) \quad (1.16)$$

Assim, a taxa de transpiração real (TR, mm d-1) pode ser determinada por,

$$TR = K_s K_{cb} ET_o \quad (1.17)$$

4.3 Índice de Satisfação de Necessidade de Água

O índice de satisfação da necessidade de água (ISNA) é um indicativo de produção de um cultivo que está relacionado aos recursos hídricos durante o período de crescimento da cultura. Esse índice mede a perda relativa à produção devido a ocorrência de estresse hídrico [10].

ETR e ETC diários estimados por esses modelos foram utilizados para o cálculo do ISNA, em cada fase de desenvolvimento da cultura, como expressa a equação

$$ISNA = \frac{ETR}{ET_C} \quad (1.18)$$

em que, ISNA é índice de satisfação da necessidade de água da cultura, que varia entre zero a um. Para a cultura da soja o parâmetro indicado pela literatura como limite para ocorrência de déficit hídrico é 0,55, sendo abaixo de 0,45 a cultura está exposta a risco de produção [14].

Por meio do ISNA é possível determinar a necessidade hídrica do cultivo, de acordo com o meio no qual está inserido. Valores do ISNA para o cultivo da soja dividiram-se em $ISNA > 0,90$ (sem risco); $0,90 \geq ISNA > 0,75$ (risco muito baixo); $0,75 \geq ISNA > 0,50$ (risco baixo); $0,50 \geq ISNA > 0,25$ (risco alto); $ISNA \leq 0,25$ (risco extremo) [15]. Para melhor comparar os modelos foram utilizadas as classes a seguir presente no AgroSAD.

Table 1 – *Valores ISNA para determinação da necessidade hídrica*

AVALIÇÃO	VARIAÇÃO
Risco Extremo	0,00 – 0,25
Risco Alto	0,25 – 0,50
Risco Baixo	0,50 – 0,75
Risco Muito Baixo	0,75 – 0,90
Sem Risco	0,90 – 1,00

5 Resultados e Discussão

Nesse estudo de caso iniciou-se com a importação de uma planilha eletrônica no formato CSV (fornecida pela Embrapa Agrossilvopastoril, em Sinop no estado do Mato Grosso, Brasil) pela plataforma AgroSAD. A planilha contém dados meteorológicos diários de temperatura o ar máxima e mínima, umidade relativa máxima e mínima, precipitação, velocidade média do vento a dois metros de altura e radiação solar global, entre anos de 2014 e 2021. Utilizou-se o modelo do Kc dual [1] e Penman-Montheih (previamente descritos) para estimar a evapotranspiração de referência.

A Fig. 2, extraída do AgroSAD, apresenta os dados do ciclo da soja ano de setembro de 2014 a janeiro de 2015 (a) e setembro de 2016 a janeiro de 2017 (b) com a variação do conteúdo volumétrico de água no solo durante o período de desenvolvimento da cultura, comparada a capacidade de água deste solo e a água facilmente disponível. Observou-se no período setembro de 2014 a janeiro de 2015 um déficit hídrico no início do ciclo da cultura até o estágio intermediário. Contudo, na fase intermediária e final, a ocorrência de déficit foi menor.

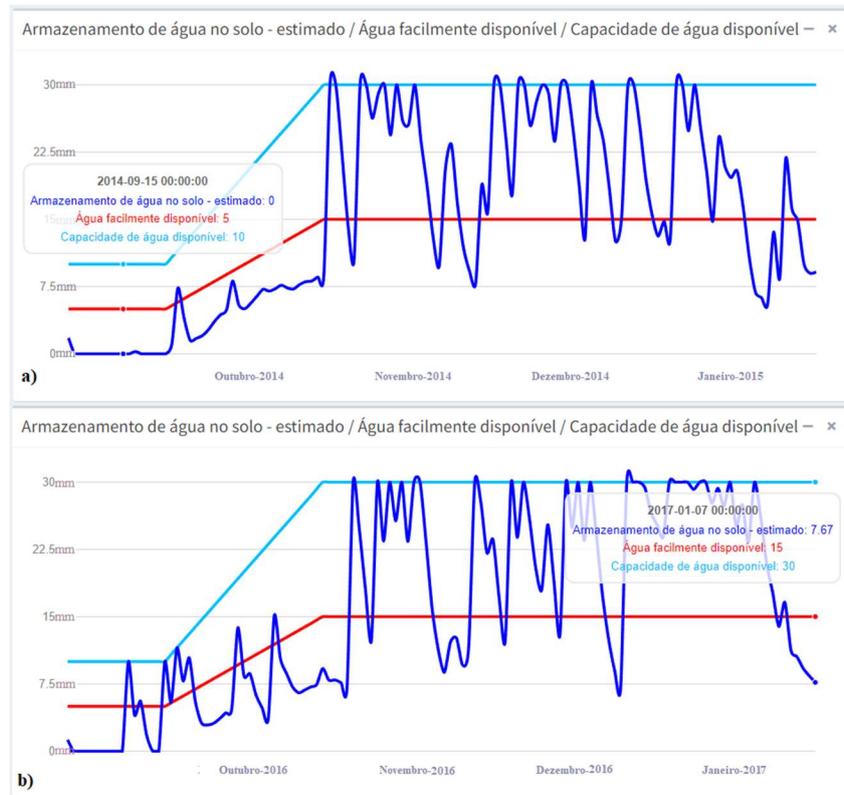


Fig. 2 - Gráfico Armazenamento de água no solo, água facilmente disponível e capacidade de água disponível. a) Período de setembro de 2014 a janeiro de 2015 b) Período de setembro de 2016 a janeiro de 2017. Fonte: www.agrosad.com.br

A Fig. 3, extraída do AgroSAD, ilustra a precipitação ao longo de período de 2014 a início de 2017. Em destaque (azul escuro) os ciclos do plantio da soja. A precipitação acumulada de setembro de 2014 a janeiro de 2015 foi de 810(mm) e setembro de 2016 a janeiro de 2017 de 1350 (mm).

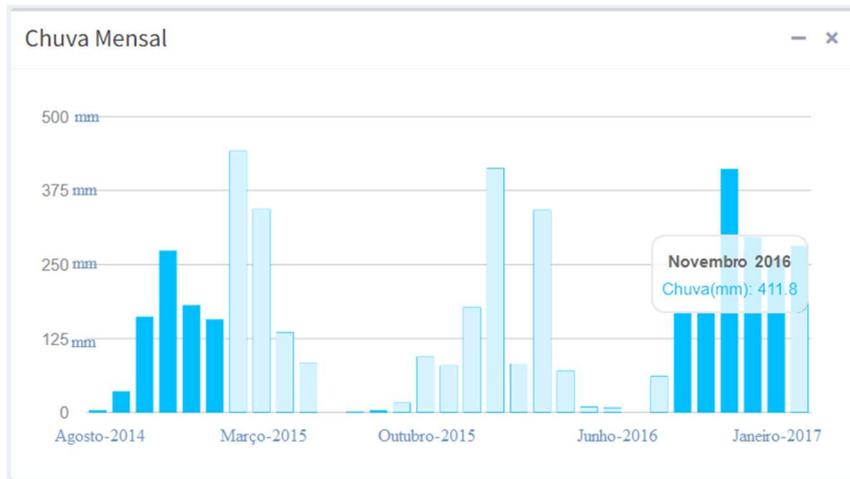


Fig. 3 - Gráficos de Chuva Mensal. Período de setembro de 2014 a janeiro de 2015 b) Período de setembro de 2016 a janeiro de 2017. Fonte: www.agrosad.com.br

A Fig. 4, extraída do AgroSAD, representa a estimativa do ISNA para o período de setembro de 2014 a janeiro de 2015 (a) e setembro de 2016 a janeiro de 2017 (b), para classes de risco de produção, segundo o modelo Kc Dual. Conforme Tabela 1, pode-se observar que, o maior percentual correspondeu a estimativas compreendidas entre 0,90 e 1,00, sendo este um indicativo que não existe risco para a produção. Como discutido anteriormente, na cultura da soja, valores inferiores a 0,50 indicam alto risco de produção. O estudo de 2016 apresentou melhores resultados devido a aumento no índice pluviométrico no fim do ano.



Fig. 4 - Gráficos do ISNA. Período de setembro de 2014 a janeiro de 2015 b) Período de setembro de 2016 a janeiro de 2017. Fonte: www.agrosad.com.br

A Fig. 5, extraída do AgroSAD, ilustra os dados do ciclo da soja ano de setembro de 2018 a janeiro de 2019 (a) e setembro de 2020 a janeiro de 2021 (b) com a variação do conteúdo volumétrico de água no solo durante o período de desenvolvimento da cultura, comparada a capacidade de água deste solo e a água facilmente disponível nele. A

pluviosidade entre os períodos foi semelhante, no ano de 2018 foi de 1317 (mm) e no ano de 2020 de 1297 (mm).

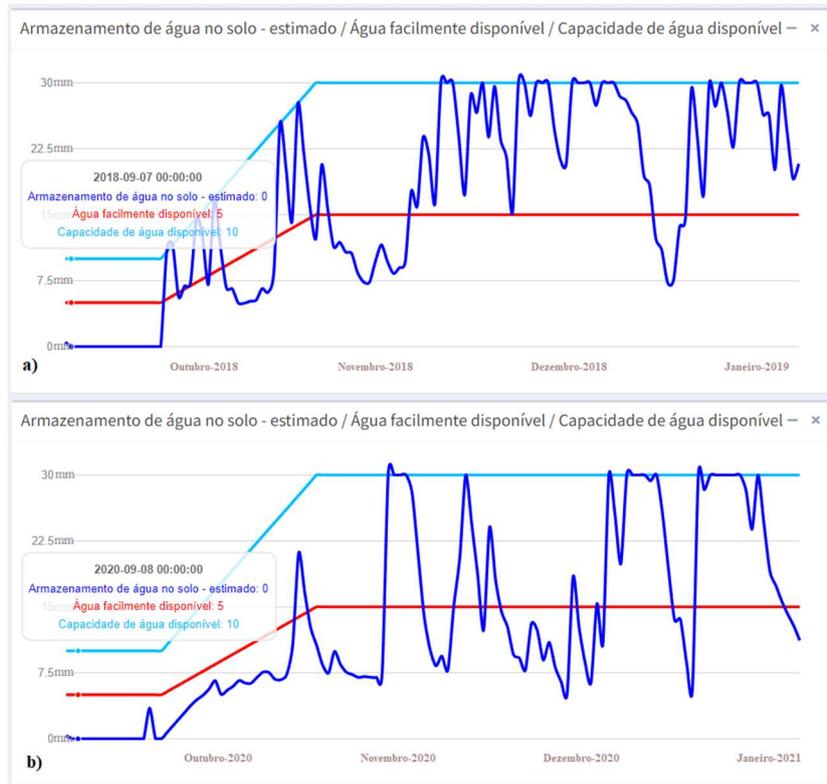


Fig. 5 - Gráfico Armazenamento de água no solo, água facilmente disponível e capacidade de água disponível. a) Período de setembro de 2018 a janeiro de 2019 b) Período de setembro de 2020 a janeiro de 2021. Fonte: www.agrosad.com.br

A Fig. 6, extraída do AgroSAD, apresenta o gráfico de precipitação ao longo de período de setembro de 2018 a janeiro de 2019 e setembro de 2020 a janeiro de 2021. A precipitação acumulada de setembro de 2018 a janeiro de 2019 foi de 1317(mm) e setembro de 2020 a janeiro de 2021 de 1297 (mm). A pluviosidade entre os períodos analisados são semelhantes, sendo que houve uma grande concentração de chuva no mês de dezembro de 2020 totalizando um 645 (mm) contra 421 (mm) em 2018.

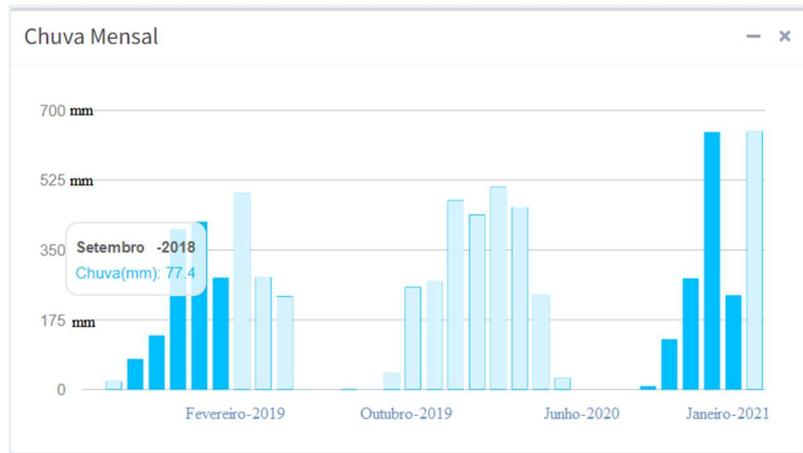


Fig. 6 - Gráfico de Chuva Mensal. Período de setembro de 2018 janeiro de 2019 b) Período de setembro de 2020 a janeiro de 2021. Fonte: www.agrosad.com.br

A Fig. 7, extraída do AgroSAD, apresenta a estimativa do ISNA para o período de setembro de 2018 a janeiro de 2019 (a) e setembro de 2020 a janeiro de 2021 (b), para classes de risco de produção, segundo o modelo Kc Dual. Apesar da pluviosidade no período ser semelhante, ocorreram grandes volumes de chuva em dias específicos, não sendo distribuído ao longo do período. Mesmo com uma maior pluviosidade em dezembro de 2020 o período obteve o maior índice de risco extremo.

Fig. 1.

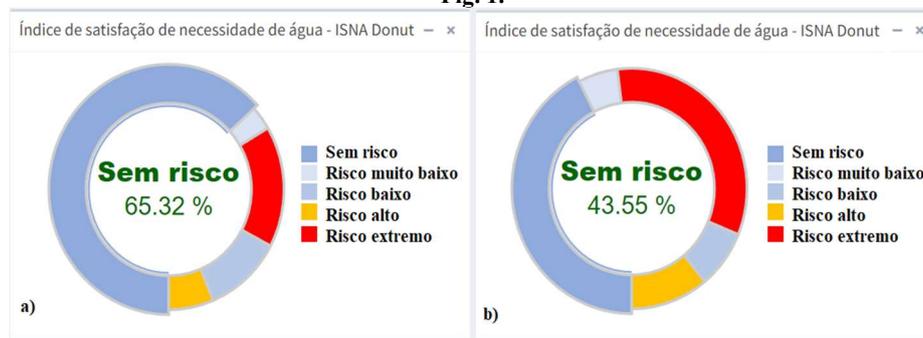


Fig. 7 - Gráfico do ISNA. Período de setembro de 2018 janeiro de 2019 b) Período de setembro de 2020 a janeiro de 2021. Fonte: www.agrosad.com.br

6 Conclusões

O avanço das TICs pode auxiliar na gestão de dados e melhorar a informação em todas as etapas da cadeia produtiva. O AgroSAD se alinha com a temática da Agricultura Digital e se utiliza de diversas TIC para processar diversos modelos

computacionais. Nossos experimentos utilizaram os modelos de Kc dual [1] e Penman-Montheih para estimar o balanço hídrico da cultura da soja no período de setembro de 2014 a janeiro de 2021.

O balanço hídrico de uma cultura varia no tempo e são fenômenos complexos de serem compreendidos e avaliados se considerarmos a ótica dos produtores de grãos, sua implementação demanda sólidos conhecimentos de modelagem computacional e agrometeorologia. No entanto, por meio da plataforma AgroSAD eles podem ser facilmente incorporados ao conjunto de práticas dos produtores.

Na comparação dos primeiros ciclos do cultivo da soja, houve maior volume pluviométrico em setembro de 2016 a janeiro de 2017 e isso foi refletido pelo ISNA. Reduzindo o período em que a cultura ficou em Risco Extremo de 25,81% para 15,32%. No segundo comparativo entre os períodos do cultivo, embora houvesse uma similaridade no volume pluviométrico, o período de setembro de 2020 a janeiro de 2021 obteve maior percentual de Risco Extremo. O ISNA estimado nessa faixa mais que dobrou, passando de 16,13% para 33,87%. Isso se deve a uma grande quantidade de chuva em dias específicos.

Como trabalhos futuros de pretendemos implementar modelos de produtividade agrícola, tais como CERES (Crop Environment Resource Synthesis) e o AquaCrop, modelo de simulação de produtividade de culturas da Food and Agricultural Organization (FAO). Adicionalmente, conectar a plataforma AgroSAD com a plataforma OpenSoils [16].

Referências

1. FAO 56 (1998) FAO Irrigation and Drainage Paper No.56. <https://www.fao.org/3/x0490e/x0490e00.htm>. Accessed 16 ago 2022
2. FAO 2021 THE STATE OF TRANSFORMING FOOD SYSTEMS FOR FOOD SECURITY, IMPROVED NUTRITION AND AFFORDABLE HEALTHY DIETS FOR ALL FOOD SECURITY AND NUTRITION IN THE WORLD THE STATE OF TRANSFORMING FOOD SYSTEMS FOR FOOD SECURITY, IMPROVED NUTRITION AND AFFORDABLE HEALTHY DIETS FOR ALL.
3. Saath KC de O, Fachinello AL (2018) Crescimento da Demanda Mundial de Alimentos e Restrições do Fator Terra no Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural* 56:195–212
4. Massruhá SMFS, Leite MA de A (2017) AGRO 4.0 - rumo a agricultura digital. *JC na Escola Ciência, Tecnologia e Sociedade: Mobilizar o Conhecimento para Alimentar o Brasil* 28–35
5. Silva A (2020) AgroSAD. <http://www.agrosad.com.br/>. Accessed 16 ago 2022
6. Couto MN (2019) AGRICULTURA 4.0: PROTÓTIPO DE UM INTERNET OF THINGS (IoT) NA CULTURA DA LACTUCA SATIVA.
7. Vian AL, Santi AL, Amado TJC, Cherubin MR, Simon DH, Damian JM, Brede-meier C (2016) Variabilidade espacial da produtividade de milho irrigado e sua correlação com variáveis explicativas de planta. *Ciencia Rural* 46:464–471

8. de Paula Carvalho H, Dourado Neto D, Teodoro REF, de Melo B (2011) Balanço hídrico climatológico, armazenamento efetivo da água no solo e transpiração na cultura de café.
9. Allen R, Pereira L, Raes D, Smith M (2006) Parte C. Evapotranspiración del cultivo en condiciones no estándar ET c bajo condiciones de estrés hídrico. Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE 56 48
10. Martin Obermaier AXHMCK (2016) Estimaciones para os índices WRSI e YR para cinco culturas seleccionadas na região NE Do Brasil. In: World Bank. <http://adaptaclima.mma.gov.br/conteudos/153>. Accessed 20 ago 2022
11. ANDRADE JUNIOR AS de BEASMVP da SJJS da MJEB de A Índice de satisfação da necessidade de água do feijão-caupi sob sistema de cultivo convencional e plantio direto.
12. Furtado TF (2017) Comparação De Modelos Para Estimativa Do Conteúdo De Água No Solo Em Cultivo De Milho No Município De Arapiraca, Al.
13. NATHALIE GRIGORIO DA COSTA (2020) Modelo De Feddes Acoplado Ao Modelo Kc Dual Para Simulação Da Dinâmica De Água No Solo Em Cultivos Agrícolas.
14. Brasil Programa Nacional de Zoneamento Agrícola de Risco Climático - Anexo I - Brasil.
15. Araújo-Neto RA, Lyra GB (2020) Sistemas de informações geográficas aplicados ao Índice de Satisfação da Necessidade de Água para cultura do milho em Alagoas estimado por Thornthwaite EVOLUÇÃO DA ARIDEZ NO BRASIL View project Direct and Inverse Problems in the Environment View project.
16. Cruz S, Klinger F, Cruz P, Vieira A, Schmitz E, Marinho E (2020) Desenvolvendo Sistemas Agrícolas de Próxima Geração: Um Estudo em Ciência de Solos. <https://doi.org/10.5753/wcama.2019.6428>