



Produtividade real e potencial da sucessão soja/milho em região de transição Cerrado-Amazônia

Brena Geliane Ferneda¹, Charles Campoe Martim², Suzana Grassi da Silva³, Andréa Carvalho da Silva⁴ e Adilson Pacheco de Souza^{4(*)}

¹Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ-USP). Avenida Pádua Dias, 11, CEP:13418-900 Piracicaba, SP.

E-mail: brenaferneda95@gmail.com

²Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT-Cuiabá). Avenida Fernando Corrêa da Costa, 2367, Bairro Boa Esperança, CEP 78060-900, Cuiabá, MT.

E-mail: charlescampoemartim@gmail.com

³Engenheira Agrícola e Ambiental. Cerejeiras, RO. E-mail: suzanagrassis@gmail.com

⁴Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT-Sinop). Avenida Alexandre Ferronato, 1200 Setor Industrial, CEP 78550-728 Sinop, MT.

E-mails: andcar1007@gmail.com e pachecoufnt@gmail.com

(*) Autor para correspondência.

INFORMAÇÕES

História do artigo:

Recebido em 25 de setembro de 2019

Aceito em 4 de março de 2020

Termos para indexação:

Modelo Zona Agroecológica (FAO)

data de semeadura

produtividade máxima

RESUMO

Objetivou-se determinar os potenciais produtivos para a sucessão soja-milho, em região de transição Cerrado-Amazônia, no município de Sinop-MT. Foi utilizado o Modelo Zona Agroecológica (FAO), o qual foi calibrado a partir de experimentos conduzidos em campo para avaliação da assertividade do modelo foram utilizados os índices estatísticos R^2 e d. Após, utilizando o banco de dados climatológicos do INMET do período de 1998 a 2014 foi simulado, em escala diária (01/10 a 15/11), a semeadura de cultivares de soja de ciclo de 100, 110, 120, 130 e 140 dias, e de milho segunda safra (ciclo de 100, 110, 120 e 130 dias) de 08 de janeiro a 02 de abril. Na calibração do modelo foram obtidos R^2 de 0,997 e 0,822 para as cultivares de soja e milho segunda safra. Para a cultura da soja, a produtividade potencial média para cultivar de 100 dias foi de 5347,60 kg.ha⁻¹ e, para a cultivar de ciclo de 140 dias foi de 3953,41 kg.ha⁻¹. Para as cultivares de milho foram obtidos valores de produtividade potencial entre 8091 kg.ha⁻¹ e 10935 kg.ha⁻¹. O modelo ZAE apresenta bom desempenho para a estimativa da produtividade da sucessão soja-milho e é indicado para trabalhos relacionados a apresentações a produtores, porém, para trabalhos mais assertivos, recomenda-se o uso de modelos que consideram maiores quantidades de dados de entrada para maior assertividade e acurácia.

© 2020 SBAgro. Todos os direitos reservados.

Introdução

O Brasil, devido à sua extensão territorial e localização geográfica é composto por grande diversidade vegetativa e climática, onde a região médio norte do Mato Grosso

compreendida pela transição entre Cerrado e Amazônia tem a produção agrícola como carro chefe da economia. Destacando o avanço da agricultura nessa região, Simon & Garagorry (2005) apresentam dados de acréscimo de 90% de produção de soja considerando o período de 1980 a 2001.

Atualmente, o Brasil produz aproximadamente 235,3 milhões de toneladas de grãos, destes, 114,6 milhões são de soja (Conab, 2019), sendo responsável por 32,5% da produção mundial, e 95,2 milhões de toneladas de milho (FAO, 2019). O estado do Mato Grosso é líder na produção da sucessão soja-milho (Conab, 2019), onde a região médio-norte do estado, por apresentar uma estação chuvosa (outubro a abril) bem definida, supre a necessidade hídrica e luminosa de ambas as culturas (Souza et al., 2013). Porém, apesar da sucessão soja/milho ser conduzida em larga escala na região, seus potenciais produtivos ainda não são atingidos.

Em geral, a produtividade agrícola é dependente de fatores genéticos, nutricionais, climáticos (energéticos e hídricos) e fitossanitários e, uma vez que o clima intervém de forma expressiva nos processos metabólicos das plantas, a disponibilidade hídrica é considerada como principal reguladora da produção (Embrapa, 2011; Zeri et al., 2013). Logo, são conhecidas como fases críticas o período de germinação e o período de floração até o enchimento de grãos para ambas as culturas (Farias et al., 2007; Sans & Guimarães, 2006). Em vista do expressivo impacto climático na produção agrícola, são propostos modelos de simulação de crescimento e produtividade das culturas a fim de estabelecer a eficiência do sistema solo-planta-atmosfera (Da Silva-Fuzzo et al., 2015; Nóia Júnior & Sentelhas, 2019).

A produtividade potencial ou máxima (Pp) de uma cultura é atingida quando a mesma possui características genéticas adaptadas à região na qual está inserida, é submetida a condições ótimas de radiação solar, temperatura do ar, fotoperíodo, necessidade hídrica, fertilidade e manejada adequadamente. Um segundo limite produtivo é obtido quando a cultura é submetida à restrição hídrica, para essa condição denomina-se produtividade atingível (Pa), logo, entre Pp e Pa há uma lacuna produtiva denominada “yield gap” (Marin et al., 2008; Sentelhas et al., 2015; Andrea et al., 2018; Nóia Júnior & Sentelhas, 2019). A determinação desses limites é realizada através de modelos que simulam o crescimento, desenvolvimento e produtividade da cultura através da interação solo-planta-atmosfera e após, correlaciona-se com os resultados obtidos em campo para a avaliação da assertividade das estimativas.

A modelagem matemática voltada a cultivos agrícolas é realizada a partir da calibração e avaliação de modelos simples como o Modelo da Zona Agroecológica (ZAE-FAO), mais robustos, inseridos em plataformas, a exemplo o Agricultural Production Systems Simulator (APSIM) (Keating et al., 2003; Holzworth et al., 2014) e Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) (Jones et al., 2003) ou pelo denominado “multi-modelos”, onde são realizadas as simulações e, a partir da união dos resultados de vários modelos, são diminuídas as incertezas nas estimativas (Battisti et al., 2018). Porém, apesar da melhor acurácia

dos dados obtidos por uso de modelos complexos, os mesmos não são viáveis quando se idealiza apresentar um sistema facilitador do manejo da cultura em campo para o produtor e/ou funcionários da unidade.

Diante do apresentado objetivou-se avaliar o desempenho do modelo da Zona Agroecológica (FAO) na soja e milho em sucessão na cidade de Sinop, estado de Mato Grosso, determinando a produtividade atingível e real das duas culturas, considerando cultivares de diferentes ciclos de desenvolvimento e em distintas épocas de semeadura; e recomendar a melhor data de semeadura para a sucessão, de modo que atinjam a produtividade máxima em condição de sequeiro.

Material e métodos

O trabalho foi realizado com dados climatológicos históricos (1995 a 2014) de uma estação meteorológica automática e convencional localizada no município de Sinop (11,98° S; 55,56° W) pertencente a rede de monitoramento do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet). Os dados foram obtidos na escala diária, na plataforma BDMEP (Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa). A cidade está localizada na região Médio-Norte do estado de Mato Grosso, em região de transição Cerrado-Amazônia.

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é tropical quente e úmido (Aw), com duas estações bem definidas: seca (maio a setembro) e chuvosa (outubro a abril), com precipitações médias anuais entre 1800 e 2000 mm (Souza et al., 2013). Inicialmente, para a calibração do modelo, foram utilizados dados de produtividade de cultivares de soja semeada em quatro épocas nas safras 2013/14 e 2014/15, já para a calibração do milho, foram utilizados dados de produtivos de experimento realizado na safra 2015/16. Ambas as culturas foram cultivadas no Setor de Produção Vegetal do Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Campus de Sinop (-11,98°; -55,56°), com solo classificado como Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (LVAd). As cultivares utilizadas foram para a soja: TMG 132, GB 874, MS 8866 e MS 8757, e para o milho: MG 20A78 PW, BG7049, BG 75 HX e BG 7439, inseridas em arranjo experimental de parcelas subdivididas (época x cultivar) a área ocupada por cada cultivar totalizou 80 m² (5 x 16 m). As atividades de calagem e adubação seguiram as recomendações de Coelho (2006), para ambas as culturas, com considerações preconizadas pela Embrapa (1997), que consideram a composição granulométrica, argila dispersa em água, grau de floculação, pH em água e KCl, Ca²⁺, Na⁺, K⁺, S (cmol.dm⁻³); V%, Al³⁺, H⁺, P disponível (mg.kg⁻¹).

Para as simulações, foram consideradas cultivares de soja de ciclo super-precoce, precoce, semi-precoce, semi-tardio e tardio sendo o período vital destas 100, 110, 120,

130 e 140 dias, respectivamente, e quatro cultivares de milho de ciclo precoce, semi-precoce, normal e tardio sendo o período vital de 110, 120, 130 e 140 dias, respectivamente. A simulação de semeadura da soja foi realizada em escala diária, entre o período de 01/outubro a 15/novembro, a simulação da semeadura do milho segunda safra obedeceu a mesma escala e foi feita com intervalo de três dias após a colheita da soja. O intervalo foi adotado considerando possíveis atrasos na colheita devido a problemas mecânicos ou ocorrência de chuvas.

Empregou-se o balanço hídrico sequencial para estimativa da quantidade de água disponível no solo durante os ciclos das culturas, conforme a metodologia de Thornthwaite & Mather (1955). Nesse caso considerou-se a capacidade de água disponível média de 75,0 mm (profundidade de sistema radicular de 0,40m). A evapotranspiração potencial adotada, foi a da cultura (ETc), obtida pelo produto entre a evapotranspiração de referência (ETo) e o coeficiente da cultura (Kc) determinado por Doorenbos e Kassam, 1994. Para a soja, foram utilizados os seguintes valores de Kc: 0,35 para a fase inicial (senescência à fase vegetativa 2), 0,75 para a fase de desenvolvimento (fase vegetativa 2 à fase reprodutiva 1), 1,15 no período intermediário (fase reprodutiva 1 até a fase reprodutiva 6), 0,75 na fase final do ciclo (fase reprodutiva 6 à fase reprodutiva 8) e 0,45 na colheita; já para a cultura do milho, foram utilizados os valores de: 0,45 para a fase vegetativa, 0,83 para a fase de floração, 1,1 para a fase de enchimento de grãos e 0,55 para a fase de maturação.

A evapotranspiração de referência foi calculada segundo a metodologia proposta por Penman-Monteith, parametrizada pela FAO (Allen et al., 1998):

$$ET_o = \frac{0,408 * s * (RN - G) + \left(\frac{\gamma * 900 * U_2 * (e_s - e_a)}{T + 273} \right)}{s + \gamma * (1 + 0,34 * U_2)} \quad (01)$$

em que: Rn - Radiação líquida total diária (MJ m⁻² d⁻¹); G - Fluxo de calor no solo (MJ m⁻² d⁻¹); - É a constante psicrométrica (0,063 kPa °C⁻¹); T - Temperatura média do ar (°C); U₂ - Velocidade do vento a 2 m. (m s⁻¹); e_s - Pressão de saturação de vapor (kPa); e_a - Pressão parcial de vapor (kPa); s - Declividade da curva de pressão de vapor (kPa °C⁻¹).

$$s = \frac{4098 * e_s}{(T + 237,3)^2} \quad (02)$$

$$e_s = 0,6108 * 10^{(7,5 * T / 237,3 + T)} \quad (03)$$

$$e_a = (e_s * UR) / 100 \quad (04)$$

$$Rn = Q_o(a_n + b_n * n/N) \quad (05)$$

em que: a_n = 0,25611; b_n = 0,48539; n - Insolação (número de horas de brilho solar) no dia e N - Fotoperíodo (horas).

A produtividade atingível da cultura foi calculada segundo o modelo da Zona Agroecológica da FAO, descrita por Doorenbos & Kassam (1994) a qual considera a produtividade bruta de matéria seca corrigida por elementos da planta e do clima (De Wit, 1965) ainda com adaptações propostas por Barbieri & Tuon (1992).

A equação básica da produção de matéria seca da cultura padrão tem como principal variável a radiação solar, porém quando estudada uma cultura agrícola, esta deve ser corrigida por valores relativos às condições edafoclimáticas da mesma. Matematicamente, a produção de matéria seca da cultura foi obtida através da seguinte equação:

$$Pp = PPBp * C_{iaf} * C_r * C_c * ND \quad (\text{Kg ha}^{-1}) \quad (06)$$

em que: PPBp - Produção bruta de matéria seca da cultura padrão (Kg MS ha⁻¹ dia⁻¹); C_{iaf} - Correção em função da área foliar; C_r - Correção em função da respiração (perda de massa por manutenção e conversão); C_c - Correção para a produção de matéria seca em função da umidade; ND - Número de dias do período de desenvolvimento.

A produção bruta de matéria seca foi calculada pela seguinte equação:

$$PPBp = PPB_n + PPB_c \quad (\text{Kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}) \quad (07)$$

$$PPB_n = (31,7 + 0,219 Q_o) * cTn * (1 - n/N) \quad (08)$$

$$PPB_c = (107,2 + 0,36 Q_o) * cTc * (1 - n/N) \quad (09)$$

em que: PPB_n - Condições de período nublado; PPB_c - Condições de período de céu aberto;

Q_o: Radiação solar no topo da atmosfera (cal cm⁻² dia⁻¹); cTn - Correção devido a temperatura, a qual varia em função da taxa fotossintética da planta (ciclo C3 e ciclo C4), para períodos de céu nublado; cTc - Correção para períodos de céu aberto; n - Brilho solar, obtido por heliógrafo; N - Fotoperíodo.

A correção para área foliar é necessária uma vez que a mesma varia durante o ciclo das culturas estudadas e atinge valor máximo de 5. Então a mesma é calculada através da seguinte equação:

$$C_{iaf} = 0,0093 + 0,185 IAF - 0,0175 IAF^2 \quad (IAF \geq 5, CIAF = 0,5) \quad (10)$$

As correções da respiração consideram que durante a fotossíntese e o crescimento, parte dos carboidratos são consumidos na fotorrespiração e parte na manutenção dos tecidos (respiração de manutenção), sendo que esse consu-

mo é fortemente dependente da temperatura do ar (Tar). Dessa forma considera-se que $CR = 0,6$ para $Tar < 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $CR = 0,5$ para $Tar \geq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, utilizando a temperatura média do período analisado. As correções para a parte colhida (CC) consideram apenas a matéria seca total, sendo expressa pelo índice de colheita (IC) que representa a relação entre matéria seca comercial e o rendimento obtido. Os valores de IC foram propostos por Doorenbos & Kassan (1994). Dessa forma, após a obtenção da matéria seca da parte colhida (massa seca total colhida) (PPR) deve-se desconsiderar a umidade residual (U%) para obtenção da produtividade potencial final.

$$PPF = PPR / (1 - 0,01 U\%) \quad (11)$$

Resultados e Discussão

Na Figura 1 são apresentadas as médias mensais de temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), precipitação (mm) e insolação acumulada (horas), para a cidade de Sinop, no período estudado. As temperaturas máximas apresentaram comportamento crescente durante a estação seca (maio a setembro) com variações de $33,8$ a $36,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, e com posterior decréscimo até $32,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ na estação chuvosa (outubro a abril). Já as temperaturas mínimas apresentaram oscilações entre $17,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $20,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ na época de seca e variando até $21,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ na época chuvosa. As temperaturas médias variaram de $24,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $26,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ao longo do ano. As precipitações mensais atingiram 319 mm na época chuvosa, enquanto, de maio e agosto não há registro de chuvas em alguns anos, e quando essas ocorrem giram em torno de $10,0\text{ mm}$ (Figura 1). Os valores médios diários de insolação atingem $8,4$ horas na estação seca, enquanto na estação chuvosa variam de $3,9$ a $5,5$ horas, em função da nebulosidade.

Devido à localização geográfica da região de Sinop, (Médio-Norte do estado de Mato Grosso), a insolação mensal em que normalmente ocorrem a sucessão soja-milho é em média de 150 horas, com temperatura média do ar em torno de $25,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pelo balanço hídrico climatológico, têm-se um excedente hídrico variando entre $6,4$ e 241 mm (Souza et al., 2013), facilitando o cultivo de culturas anuais.

Após o período de vazio sanitário previsto por legislação (até 15/setembro), na região de Sinop, prioriza-se a semeadura antecipada de cultivares de ciclo mais longo ou cultivares precoce ou super-precoce (de 100 a 120 dias) de soja (Figura 2), para que a mesma receba a quantidade de água necessária nas fases críticas, e que a cultura inserida em sucessão usufrua de um período ainda chuvoso também nas suas fases críticas, não demandando irrigação.

As cultivares de soja submetidas a estresse hídrico durante o período reprodutivo apresentam redução qualitativa de biomassa, açúcares e proteína nos grãos (Wijewardana et al., 2019), porém, ainda pode haver um aumento significativo no teor de óleo (Bellaloui, 2012; Wijewardana et al., 2019). A redução de biomassa também é notada em plântulas de milho, além de decréscimo significativo de biomassa (60%) e do enrolamento foliar, afetando o processo fotossintético (Xin et al., 2018). Essas reduções nos processos fisiológicos causam, por consequência, redução na produtividade final de grãos/sementes, como apresentado por (Tian et al., 2019) que notaram redução de até 80% na produção final de grãos, avaliando híbridos de milho submetidos a estresse hídrico nos estágios fenológicos de plântula (V3), formação de espiga (V6) e pendoamento (VT).

Os resultados da calibração do modelo ZAE entre produtividade real (obtida em campo) e produtividade potencial (estimada através do ZAE) apresentaram boas correla-

Figura 1. Variação das temperaturas máxima, média e mínima (A), precipitação pluvial e insolação (B) na região de Sinop, Mato Grosso. (Dados históricos de 1998 a 2014 adquiridas na plataforma BDMEP agrupados e transformados em média diária para um ano).

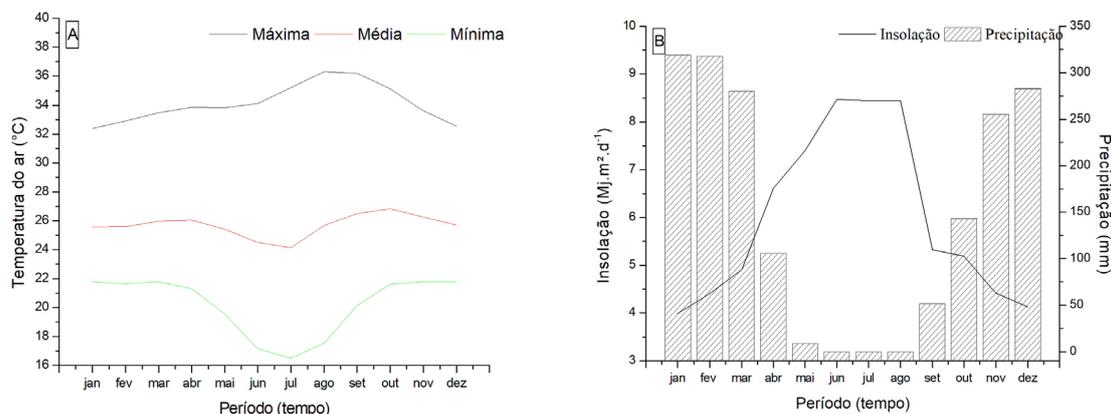
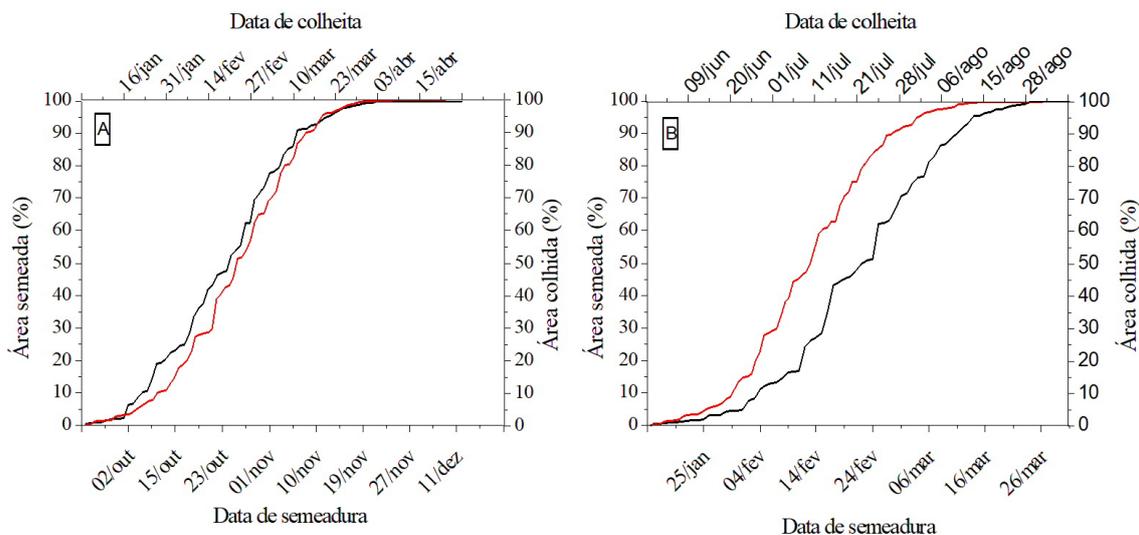


Figura 2. Evolução da área semeada (eixo horizontal primário) e colhida (eixo horizontal secundário), em porcentagem, com soja (A) e milho (B) para os municípios de Lucas do Rio Verde, Sorriso, Ipiranga do Norte, Sinop, Nova Ubiratã e Vera localizados no Médio-Norte de MT (média das safras 2009/10 a 2016/17).



ções, sendo obtidos coeficientes de determinação (R^2) de 0,997 e 0,822 para a soja e milho, respectivamente (Figura 3). Sentelhas et al., (2015) corroboram a assertividade da estimativa produtiva para a cultura da soja no Brasil, enquanto que Bender (2017) também obteve bons resultados para o milho segunda safra, em ambos os casos, empregando o modelo ZAE.

No presente estudo, para a cultura da soja, a produtividade atingível (P_a) e potencial (P_p) máximas foram de 84,4 e 89,2 sc.ha⁻¹, respectivamente para cultivares tardias, com semeaduras realizadas entre 03/outubro e 11/novembro (Tabela 1). Contudo, ressalta-se um aumento e posterior estabilização de P_a a partir do terceiro decêndio de outubro.

Quanto maior a duração do ciclo da cultivar de soja, espera-se um aumento na produtividade potencial (Figura 4). Isso ocorre, pois o modelo considera a massa seca produzida (integrada) durante todo o ciclo da cultura, logo, quanto mais longo o ciclo, maior a produtividade estimada em função da maior quantidade de radiação recebida e processada fotossinteticamente. Destaca-se que, para todos os ciclos simulados, a P_a apresenta maior variação quando comparadas as datas de semeadura, porém, a P_p estável independente da época de semeadura da soja. Esse padrão é esperado em função das datas de culminações zenitais na região, que ocorrem em 20/outubro e 18/fevereiro, indicando que, entre essas datas ocorre pequena variação do ângulo zenital (para um mesmo horário de dias diferentes), que resulta em baixa variação da radiação no topo da atmosfera (variável de entrada do modelo ZAE). Em contrapartida, a radiação global incidente na superfície, para esse período será dependente principalmente da

nebulosidade, refletindo nas variações de P_a .

A produtividade potencial (P_p) da cultura milho apresentou comportamento semelhante para todos os ciclos de crescimento, considerando as simulações de semeadura entre 08 de janeiro (após a soja de 100 dias) e última data de semeadura dia 02 de abril (após soja de 140 dias). Foram obtidos valores de P_p estimada de até 10.935 ± 129,43 kg.ha⁻¹ para o milho de 140 dias semeado no dia 02 de abril, para os demais ciclos, os valores de P_p foram decrescendo na ordem de que, quanto menor o ciclo da cultura, menor a produtividade potencial. A menor P_p foi de 8091 kg.ha⁻¹, simulada para o milho de 110 dias, semeado no dia 08 de janeiro, após soja de 100 dias.

Vários estudos foram realizados acerca da simulação da variabilidade produtiva de culturas, anuais em especial as cultivadas em sucessão. No Brasil, Cicolin & Oliveira (2016) Cicolin & Oliveira (2016) e Nóia Júnior & Sentelhas (2019) são exemplos de estudos recentes a cerca produtividade atingível e estimada para o milho segunda safra. No primeiro estudo, foi obtida produtividade potencial de até 12.600 kg.ha⁻¹ e atingível de 10.000 kg.ha⁻¹ para a cidade de Diamantino, Mato Grosso; já no segundo estudo, foi obtida produtividade atingível próxima a 9.000 kg.ha⁻¹ para milho segunda safra cultivado na cidade de Nova Xavantina (noroeste do estado de Mato Grosso). Esses estudos corroboram com os resultados do presente trabalho, salientando-se ainda que, em ambos os casos foram utilizados modelos mais robustos e/ou um produto denominado “multi-modelos”, diferentemente do modelo ZAE.

Para todos os ciclos de cultivo milho, a produtividade atingível apresentou comportamento decrescente conforme o atraso na data de semeadura. Foram obtidos valores

Figura 3. Relação entre produtividade estimada e observada para as culturas da soja (A) e milho segunda safra (B) para a cidade de Sinop, MT.

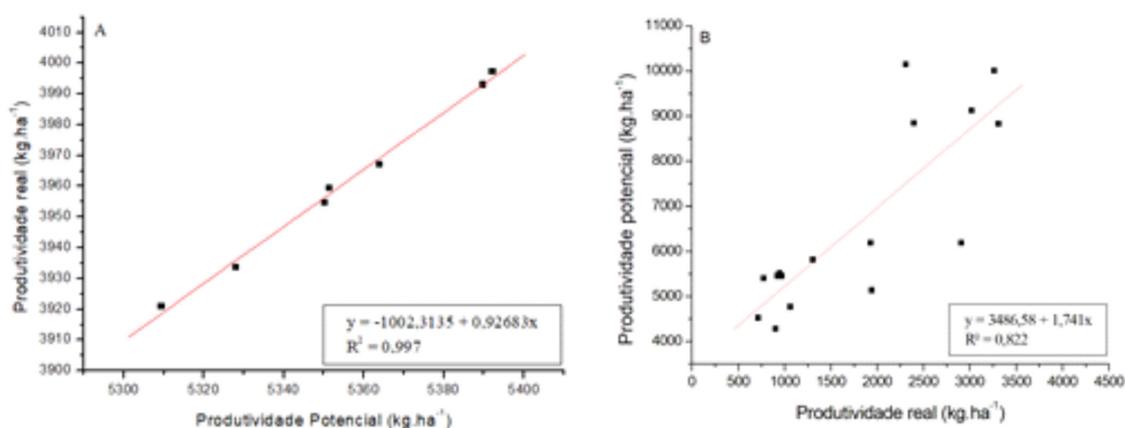
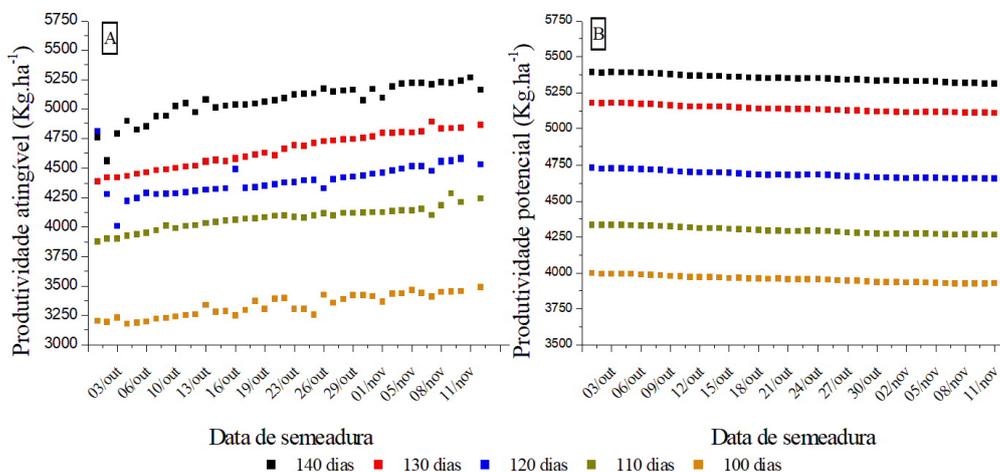


Tabela 1. Produtividade potencial e atingível para cultivares de soja em diferentes ciclos de crescimento, considerando semeaduras realizadas entre 3 de outubro e 11 de novembro.

Produtividade (kg ha ⁻¹)	Ciclo (dias)	Média	DP (%)	Produtividade (sc ha ⁻¹)
Atingível	140	5064,05	152,07	84,4
	130	4643,14	146,25	77,4
	120	4392,70	133,53	73,2
	110	4072,34	92,9	67,9
	100	3347,35	139,15	55,8
Potencial	140	5347,6	26,08	89,1
	130	5134,57	24,91	85,6
	120	4682,48	24,94	78,0
	110	4292,49	24,59	71,5
	100	3953,41	23,67	65,9

Figura 4. Produtividade atingível (A) e Produtividade potencial (B) da cultura da soja, para cultivares de ciclo de 100, 110, 120, 130 e 140 dias, semeadas simultaneamente, pelo modelo ZAE, entre o período de 01 de outubro e 15 de novembro na cidade de Sinop, MT.



médios de produtividade iguais a $5347 \pm 26,08$, $5134 \pm 24,90$, $4682 \pm 24,93$, $4282,47 \pm 24,59$ e $3953 \pm 23,67$ kg.ha⁻¹ para a semeadura realizada após soja de ciclo de 140, 130, 120, 110 e 100 dias, respectivamente (figuras 5 e 6).

A produtividade para a cultivar de milho de ciclo de 110 dias obteve menores médias para todas as semeaduras, com exceção para a semeadura realizada após a soja de 130 dias, na qual estatisticamente obteve produtividade igual ao milho de ciclo de 120 dias. Ainda para esse ciclo, as produtividades de milho obtiveram maiores médias para a semeadura após a soja de ciclo de 100 dias, seguido pela semeadura após a soja de 110, 120, 130 e 140, respectivamente as quais apresentaram diferença significativa entre si (Tabela 2).

Conclusões

A produtividade potencial da soja e milho segunda safra para os diferentes ciclos é decrescente, quanto mais tardia for a semeadura da soja;

A produtividade real estimada pelo modelo da Zona Agroecológica (FAO) para a soja apresenta comportamento linear crescente, enquanto para o milho (em sucessão), quanto mais tardia a semeadura, menor a produtividade esperada;

O período com maior potencial para semeadura de soja, compreende-se do segundo decêndio de outubro e o primeiro decêndio de novembro, quando ocorrer sucessão soja-milho. Não sendo recomendadas semeaduras de mi-

Tabela 2. Produtividade atingível do milho considerando diferentes durações de ciclo, semeado após a soja com diferentes durações de ciclo, para a região de Sinop, MT.

Milho	Soja				
	100	110	120	130	140
110	6757,55 Ba	6097,55 Bb	5932,75 Bb	5726,42 Bb	5870,81 Bb
120	8234,74 Aa	7766,70 Ab	7280,87 Ac	5840,01 Bd	5292,19 Ae
130	8539,41 Aa	7893,06 Ab	7258,17 Ac	6639,12 Ad	6077,91 Ae
140	8612,11 Aa	7985,02 Ab	7331,76 Ac	6753,56 Ad	6207,33 Ae

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na vertical e mesma letra minúscula na horizontal não diferem entre si (Tukey, 0,05).

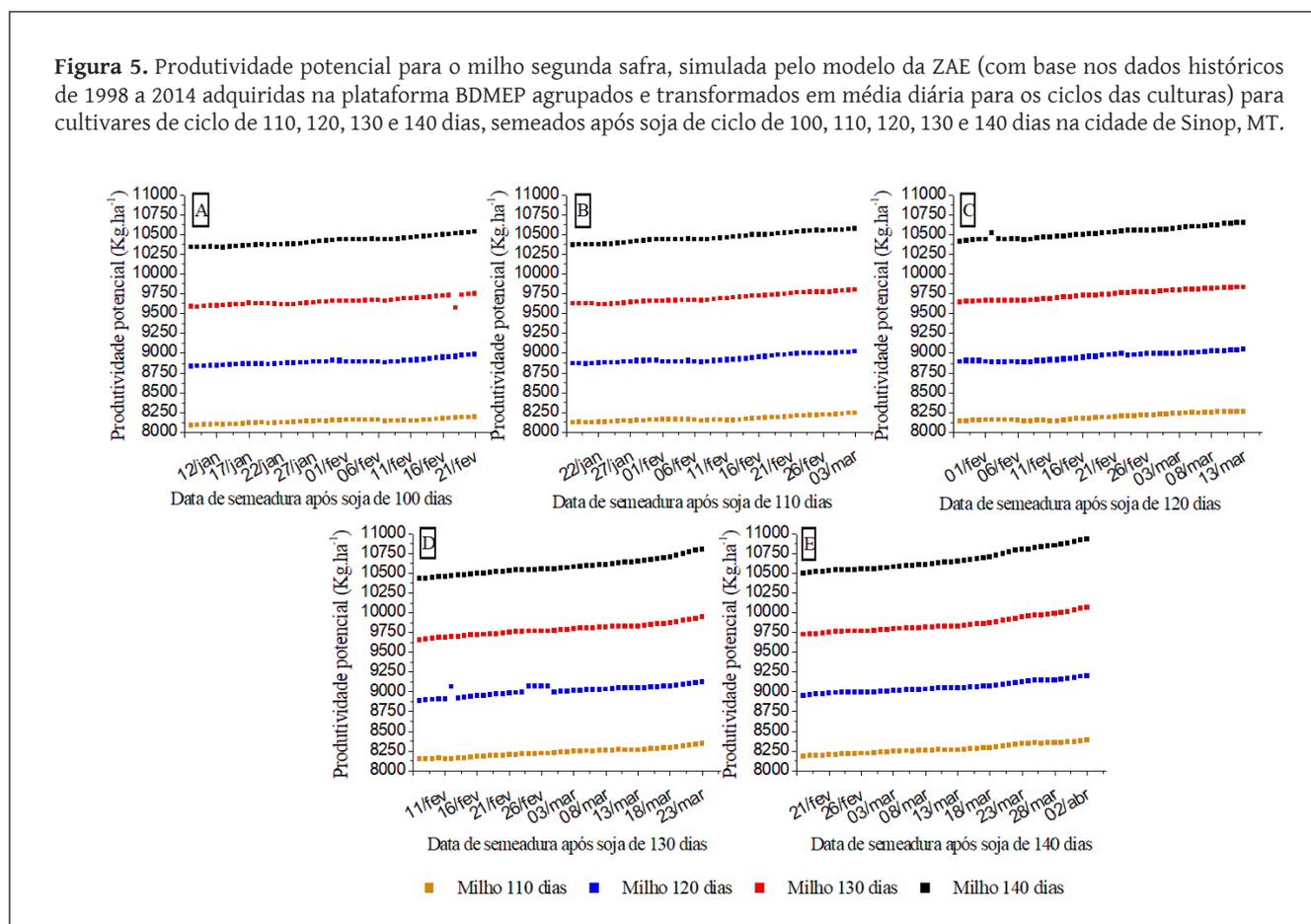
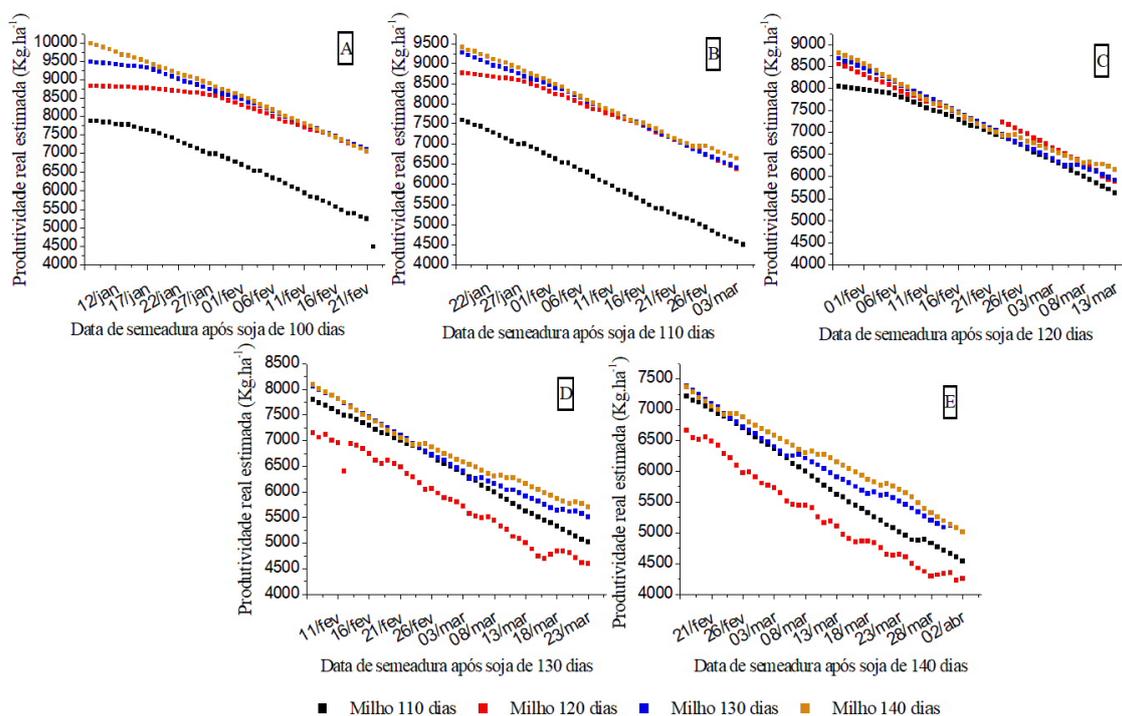


Figura 6. Produtividade atingível final para o milho segunda safra, simulada pelo modelo da ZAE (com base nos dados históricos de 1998 a 2014 adquiridas na plataforma BDMEP agrupados e transformados em média diária para os ciclos das culturas) para cultivares de ciclo de 110, 120, 130 e 140 dias, semeados após soja de ciclo de 100, 110, 120, 130 e 140 dias na cidade de Sinop, MT.



lho a partir do terceiro decêndio de fevereiro, para cultivos em sequeiro;

O modelo da Zona Agroecológica (FAO) é indicado para a determinação da melhor data de semeadura para a sucessão soja/milho.

Agradecimentos

Ao CNPq pelo apoio financeiro (Processo: 461544/2014-8). A Capes (código de financiamento -001).

Referências

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. **FAO Irrigation and Drainage Paper 56**, v. 56, p. 1-15, 1998.

BARBIERI, V.; TUON, R. L. **Metodologia para estimativa da produção potencial de algumas culturas**. DFM/ESALQ/USP, ano (92).

BATTISTI, R.; SENTELHAS, P. C.; BOOTE, K. J. Sensitivity and requirement of improvements of four soybean crop simulation models for climate change studies in Southern Brazil. **International Journal of Biometeorology**, v. 62, n. 5, p. 823-832, 2018.

BELLALOU, N.; MENGISTU, A.; FISHER, D. K.; ABEL C. A. Soybean seed composition constituents as affected by drought and phomopsis in phomopsis susceptible and resistant genotypes. **Journal of Crop Improvement**, v. 26, n. 3, p. 428-453, 2012.

SILVA-FUZZO, D. F. da; PRELA-PANTANO, M.; CAMARGO, M. B. P. de. Uso De dados do satélite trmm para testes de modelos agrometeorológicos de estimativa de produtividade da cultura da soja. **Irriga**, v. 20, n. 3, p. 490-501, 2015.

DICOLIN, L. de O. M.; OLIVEIRA, A. L. R. de. Avaliação de desempenho do processo logístico de exportação do milho brasileiro: uma aplicação da análise envoltória de dados - DEA. **Journal of Transport Literature**, v. 10, n. 3, p. 30-34, 2016.

DE WIT, C. T. Photosynthesis of leaf canopies. **Agricultural Research Reports n.663**, p. 57, 1965.

DRECCER, M. F.; FAINGES, J.; WHISH, J.; OGBONNAYA, F. C.; SADRAS, V. O. Comparison of sensitive stages of wheat, barley, canola, chickpea and field pea to temperature and water stress across Australia. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 248, n. October 2017, p. 275-294, 2018.

EMBRAPA. Tecnologias de Produção de Soja - Região Central do Brasil 2012 e 2013. **Sistemas de Produção**, p. 242, 2011.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Circular Técnica 48 - Embrapa Soja, 2007.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. FAOSTAT: **Agricultural production**. [Database.] FAO, Rome, 2019. Disponível em: <http://www.fao.org>. Acesso em: 21 mai. 2019.

HOLZWORTH, D. P. et al. APSIM - Evolution towards a new generation of agricultural systems simulation. **Environmental Modelling and Software**, v. 62, p. 327-350, 2014.

JONES, J. W. et al. **The DSSAT cropping system model**. [s.l.: s.n.]. v. 18

KEATING, B. A. et al. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. **European Journal of Agronomy**, v. 18, n. 3-4, p. 267-288, 2003.

- ANDREA, M. C. da S.; BOOTE, K. J.; SENTELHAS, P. C.; ROMANELLI, T. L. Variability and limitations of maize production in Brazil: Potential yield, water-limited yield and yield gaps. **Agricultural Systems**, v. 165, p. 264–273, 2018.
- MARIN, F. R.; LOPES-ASSAD, M. L.; ASSAD, E. D.; VIAN, C. E.; SANTOS, M. C. Sugarcane crop efficiency in two growing seasons in São Paulo State, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, p. 1449–1455, 2008.
- NÓIA JÚNIOR, R. de S.; SENTELHAS, P. C. Soybean-maize succession in Brazil: Impacts of sowing dates on climate variability, yields and economic profitability. **European Journal of Agronomy**, v. 103, n. August 2018, p. 140–151, 2019.
- RONDANINI, D.; SAVIN, R.; HALL, A. J. Dynamics of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) exposed to brief intervals of high temperature during grain filling. **Field Crops Research**, v. 83, n. 1, p. 79–90, 2003.
- SANS, L. M. A.; GUIMARÃES, D. P. **Zoneamento Agrícola de Riscos Climáticos Para a Cultura do Milho**. Circular Técnica 82, p. 1–5, 2006.
- SENTELHAS, P. C.; BATTISTI, R.; CÂMARA, G. M. S.; FARIAS, J. R. B.; HAMPF, A. C.; NENDEL, C. The soybean yield gap in Brazil - Magnitude, causes and possible solutions for sustainable production. **Journal of Agricultural Science**, v. 153, n. 8, p. 1394–1411, 2015.
- SIMON, M. F.; GARAGORRY, F. L. The expansion of agriculture in the Brazilian Amazon. **Environmental Conservation**, v. 32, n. 3, p. 203–212, 2005.
- SOUZA, A. P. de; MOTA, L. L.; ZAMADEI, T.; MARTIN, C. C.; ALMEIDA, F. T.; PAULINO, J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. **Nativa**, v. 1, n. 1, p. 34–43, 2013.
- TIAN, L.; LI, J.; BI, W.; ZUO, S.; LI, L.; LI, W.; SUN, L. Effects of waterlogging stress at different growth stages on the photosynthetic characteristics and grain yield of spring maize (*Zea mays* L.) under field conditions. **Agricultural Water Management**, v. 218, p. 250–258, 2019.
- VILANI, M. T.; SANCHES, L.; NOGUEIRAM J. de S.; PRIANTE FILHO, N. Sazonalidade da radiação, temperatura e umidade em uma floresta de transição amazônia cerrado. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3b, p. 331–343, 2006.
- WIJewardana, C.; REDDY, K. R.; BELLALOU, N. Soybean seed physiology, quality, and chemical composition under soil moisture stress. **Food Chemistry**, v. 278, p. 92–100, 2019.
- XIN, L.; ZHENG, H.; YANG, Z.; GUO, J.; LIU, T.; SUN, L.; XIAO, Y.; YANG, J.; YANG, Q.; GUO, L. Physiological and proteomic analysis of maize seedling response to water deficiency stress. **Journal of Plant Physiology**, v. 228, p. 29–38, 2018.
- ZERI, M.; HUSSAIN, M. Z.; ANDERSON-TEIXEIRA, K. J.; DELUCIA, E.; BERNACCHI, C. J. Water use efficiency of perennial and annual bioenergy crops in central Illinois. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 118, n. 2, p. 581–589, 2013.

REFERENCIAÇÃO

FERNEDA, B. G.; MARTIM, C. C.; SILVA, S. G.; SILVA, A. C.; SOUZA, A. P. Produtividade real e potencial da sucessão soja/milho em região de transição Cerrado-Amazônia. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.27, n.1, p.9-18, set 2019.

Declaração: os trabalhos estão sendo publicados nesse número de AGROMETEOROS (v.27, n.1, set 2019) conforme foram aceitos pelo XXI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, realizado de 12 a 16 de agosto de 2019, em Catalão, Goiás, sem revisão editorial adicional da revista.



Actual and potential productivity of soybean/maize succession in Cerrado - Amazon transition region

Brena Geliane Ferneda¹, Charles Campoe Martim², Suzana Grassida Silva³, Andréa Carvalho da Silva⁴ and Adilson Pacheco de Souza^{4(*)}

¹Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ-USP). Avenida Pádua Dias, 11, CEP:13418-900 Piracicaba, SP, Brazil.

E-mail: brenaferneda95@gmail.com

²Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT-Cuiabá). Avenida Fernando Corrêa da Costa, 2367, Bairro Boa Esperança, CEP 78060-900, Cuiabá, MT, Brazil.

E-mail: charlescampoemartim@gmail.com

³Engenheira Agrícola e Ambiental. Cerejeiras, RO, Brazil. E-mail: suzanagrassis@gmail.com

⁴Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT-Sinop). Avenida Alexandre Ferronato, 1200 Setor Industrial, CEP 78550-728 Sinop, MT, Brazil.

E-mails: andcar1007@gmail.com and pachecoufnt@gmail.com

(*)Corresponding author.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 25 September 2019

Accepted 4 March 2020

Index terms:

Agroecological Zone Model (FAO)
date of sowing
maximum productivity

ABSTRACT

A transition region Savanna - Amazon presents a climate and soil favorable to agricultural production. The objective was to determine the potential yield for a soybean-corn succession in a Savanna-Amazonia transition region in the city of Sinop-MT. The Agroecological Zone Model (FAO) was used, which was calibrated from experiments conducted in the field, and to evaluate the assertiveness of the model with the use of statistical indices R^2 and d . After, using the INMET climatological database from 1998 to 2014, a sowing cycle of soybean cultivars of 100, 110, 120, 130 and 100 was simulated on a daily basis (01/10 to 15/11). 140 days of harvest (100, 110, 120 and 130 days) from January 8 to April 2. In the calibration of the model R^2 of 0.997 and 0.822 were obtained for soy and maize cultivars according to the harvest. For the soybean crop, a 100 day average crop species was 5347.60 kg.ha⁻¹ and for a 140-day cycle cultivar was 3953.41 kg.ha⁻¹. Paras as maize cultivars were between 8091 kg.ha⁻¹ and 10935 kg.ha⁻¹. The ZAE model presents good performance for soybean production, and is suitable for publication-related work, but for more assertive work, it is advisable to use larger data models for data entry greater assertiveness and accuracy.

© 2020 SBAgro. All rights reserved.

CITATION

FERNEDA, B. G.; MARTIM, C. C.; SILVA, S. G.; SILVA, A. C.; SOUZA, A. P. Produtividade real e potencial da sucessão soja/milho em região de transição Cerrado-Amazônia. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.27, n.1, p.9-18, set 2019.

Disclaimer: papers are published in this issue of AGROMETEOROS (v. 27, n.1, set 2019) as accepted by the XXI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, held August 12-16, 2019 in Catalão, Goiás State, Brazil, without further revision by editorial board.