

ÉPOCA DE PLANTIO MODULA A PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA CLIMÁTICA DA BATATA-DOCE EM PRESIDENTE PRUDENTE, SP

David Alberto Florian Vargas^{1*}, Elisa Patrícia Ramos de Melo¹, Fernando Tuccilli Maschietto¹, Lucas Bezerra Santos¹, Andrey Lourenço¹, Edgard Henrique Costa Silva¹, Alexandrius de Moraes Barbosa¹

¹Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE), Presidente Prudente, SP, Brasil. *Autor correspondente: daflorianvar@unoeste.edu.br

PROBLEMÁTICA

A época de plantio define as condições meteorológicas às quais a batata-doce é submetida durante seu ciclo e, consequentemente, pode modificar seu desempenho produtivo. Embora a cultura apresente capacidade de adaptação a diferentes ambientes, condições de déficit hídrico podem limitar o crescimento e a produtividade de raízes tuberosas, especialmente quando ocorrem em períodos sensíveis do desenvolvimento (Low et al., 2020; Sapakhova et al., 2023).

No Oeste Paulista, o clima é classificado como tropical com inverno seco (Aw), caracterizado pela concentração de 72,8% da precipitação anual (1.558 mm) entre outubro e março. A temperatura média anual é de 24,3 °C, com maiores médias em dezembro e janeiro (26,6 °C) e menores em junho e julho (20,9 °C) (Barbosa, 2020). Essa sazonalidade modifica as condições térmicas e hídricas experimentadas pela batata-doce ao longo do ciclo, tornando a escolha da época de plantio uma importante decisão de manejo para favorecer a produtividade e a eficiência climática.

CONHECIMENTO PRÉVIO

A batata-doce apresenta ampla adaptação ambiental, com crescimento radicular favorecido por temperaturas próximas de 25 °C. Temperaturas inferiores a 15 °C ou superiores a 35 °C podem paralisar o crescimento das raízes, enquanto temperaturas elevadas podem comprometer o início da tuberização devido à lignificação das raízes adventícias (Erpen et al., 2013). Além disso, a temperatura e o fotoperíodo influenciam a duração da fase de formação das raízes tuberosas, enquanto a radiação solar favorece a produção de fotoassimilados e seu acúmulo nas raízes. O déficit hídrico, por sua vez, pode reduzir a atividade fotossintética, o crescimento e a produtividade da cultura (Sapakhova et al., 2023; Pushpalatha; Gangadharan, 2024).

Uma forma de quantificar essas limitações é comparar a produtividade potencial (Y_p), determinada pelas condições que definem o crescimento da cultura na ausência de restrição hídrica, com a produtividade atingível (Y_a), que incorpora o efeito do déficit hídrico. A diferença entre ambas representa o *Yield Gap* relacionado ao déficit hídrico (Y_{GDH}), enquanto a eficiência climática (EC) expressa a proporção da produtividade potencial que permanece atingível sob limitação hídrica (Battisti et al., 2024). Essa abordagem permite identificar períodos de plantio nos quais as condições meteorológicas favorecem maior aproveitamento do potencial produtivo.

DESCRIÇÃO DA PESQUISA

O estudo foi realizado para as condições climáticas de Presidente Prudente, SP, utilizando simulações de crescimento da batata-doce e dados meteorológicos do período de 1982 a 2023.

Foram avaliadas 18 épocas de plantio distribuídas ao longo do ano, entre 1º de janeiro e 11 de dezembro, totalizando 756 simulações (42 anos $\times$ 18 épocas). O ciclo da cultura foi determinado pelo acúmulo de 1.700 graus-dia, considerando temperatura basal de 12°C e os limites térmicos utilizados na parametrização do Modelo Agrometeorológico Genérico de Produção Vegetal – MAGé (Vianna et al., 2017).

No estudo foram utilizados dados diários de precipitação (mm), temperatura máxima e mínima do ar (°C) e da radiação solar global (MJ m⁻² dia⁻¹). Os dados foram oriundos do Centro Unoeste Clima e do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Para cada combinação de ano e época de plantio foram obtidas a produtividade potencial (Y_p) e a produtividade atingível (Y_a), esta última considerando o efeito do déficit hídrico. A partir dessas estimativas, foram calculados o *Yield Gap* relacionado ao déficit hídrico (Y_{GDH}) (Equação 1) e a eficiência climática (EC, %) (Equação 2).

$$Y_{GDH} = Y_p - Y_a \quad [1]$$

$$EC = \frac{Y_a}{Y_p} \times 100 \quad [2]$$

O efeito da época de plantio sobre Y_p e Y_a foi avaliado por modelos mistos, considerando a época como efeito fixo e o ano como efeito aleatório. Quando detectado efeito significativo, as médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A época de plantio influenciou significativamente tanto a produtividade potencial (Y_p) quanto a produtividade atingível (Y_a) da batata-doce ($p < 0,001$). A Y_p foi menor nos plantios realizados em abril (54,3 Mg ha⁻¹ em 11 de abril) e aumentou progressivamente até 69,8 Mg ha⁻¹ no plantio de 11 de outubro (Figura 1A). Esse comportamento evidencia o efeito da radiação solar e da temperatura do ar sobre o potencial produtivo da batata-doce no Oeste Paulista.

Para Y_a , a resposta sazonal foi ainda mais pronunciada. Os menores valores ocorreram nos plantios de maio a julho, com menor Y_a no plantio realizado em 1º de maio (21,4 Mg ha⁻¹), enquanto os plantios realizados entre novembro e início de janeiro apresentaram maior Y_a , chegando a 44,5 Mg ha⁻¹ em 11 de dezembro (Figura 1B). A diferença entre os padrões de Y_p e Y_a demonstra que uma época favorável ao potencial de produção não necessariamente apresenta a mesma capacidade de expressão desse potencial quando o déficit hídrico é considerado.

Essa resposta é coerente com a elevada sensibilidade da formação e do crescimento das raízes tuberosas à disponibilidade de água e às condições ambientais durante o ciclo (Sapakhova et al., 2023; Pushpalatha; Gangadharan, 2024). Dessa maneira, a irrigação torna-se uma estratégia importante para explorar o potencial produtivo da batata-doce.

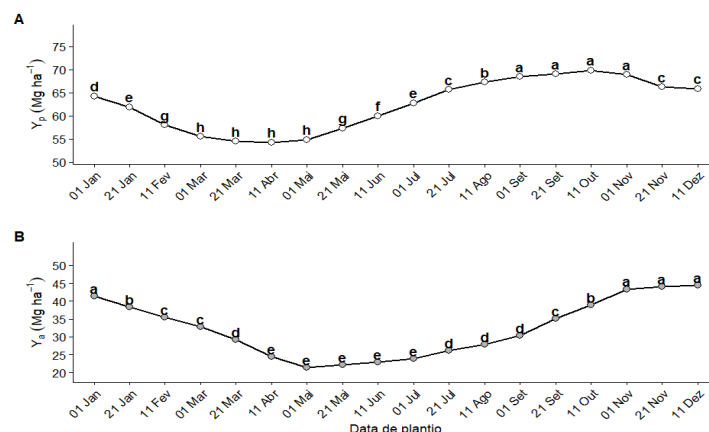


Figura 1. Produtividade potencial (Y_p; A) e produtividade atingível (Y_a; B) da batata-doce em função de 18 épocas de plantio em Presidente Prudente, SP. Valores correspondem às médias do período de 1982 a 2023. Letras indicam o agrupamento das médias pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

O efeito da época de plantio tornou-se ainda mais evidente com a análise do YG_{DH}. O YG_{DH} aumentou nos plantios realizados a partir de março, alcançando 39,4 Mg ha⁻¹ em 11 de agosto, e diminuiu posteriormente até 21,4 Mg ha⁻¹ em 11 de dezembro (Figura 2A). Esse resultado indica uma forte limitação hídrica nos plantios realizados durante o outono e o inverno, devido à redução das chuvas e ao aumento do déficit hídrico (Barbosa, 2022).

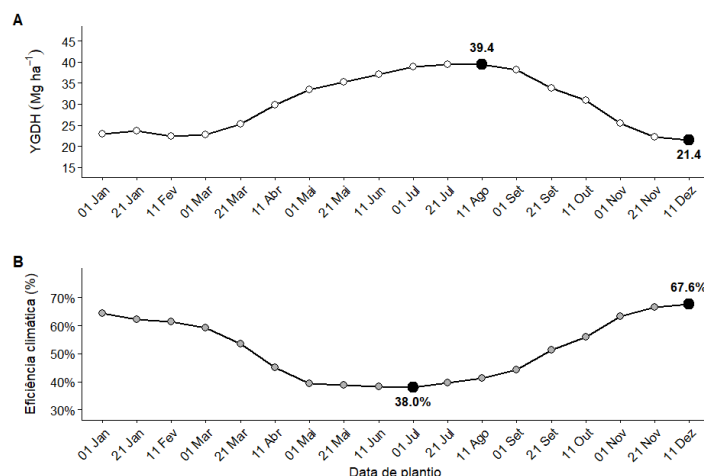


Figura 2. Yield Gap relacionado ao déficit hídrico (YG_{DH}; A) e eficiência climática (EC; B) da batata-doce em função de 18 épocas de plantio em Presidente Prudente, SP, considerando as médias do período de 1982 a 2023.

A eficiência climática, definida pela relação entre as produtividades atingível e potencial (Battisti et al., 2024), apresentou comportamento inverso ao YG_{DH}, diminuindo até 38,0% em 1º de julho e aumentando progressivamente nos plantios subsequentes, até atingir 67,6% em 11 de dezembro (Figura 2B). Portanto, os plantios do final do ano não apenas apresentaram elevada Y_a, mas também permitiram maior aproveitamento do potencial produtivo. Em contraste, o período entre maio e agosto concentrou as maiores limitações climáticas, evidenciando que elevada Y_p, isoladamente, não representa necessariamente maior desempenho, sendo necessário sempre avaliar o impacto da limitação hídrica.

As condições climáticas associadas aos ciclos simulados também apresentaram marcada variação em função da época de plantio (Figura 3). A radiação solar global média foi menor nos ciclos iniciados entre março e abril, atingindo $15,1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, e aumentou progressivamente no segundo semestre, com máximo de $20,9 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ em 11 de outubro (Figura 3A). Esse padrão coincidiu, em grande parte, com o aumento da Y_p observado a partir de maio, evidenciando associação entre a variação sazonal da radiação solar e o potencial produtivo simulado.

A precipitação acumulada estimada durante o ciclo apresentou mínimo de 415,6 mm no plantio de 11 de abril e aumentou acentuadamente nas épocas do segundo semestre, alcançando 944,5 mm em 21 de novembro (Figura 3B). Os maiores volumes de precipitação estimados para os ciclos associados aos plantios do final do ano coincidiram com o aumento da Y_a , a redução do Y_{GDH} e a recuperação da eficiência climática. Esse resultado reforça a importância da disponibilidade hídrica para a expressão do potencial produtivo da batata-doce e é consistente com os efeitos negativos do déficit hídrico sobre o crescimento e a formação das raízes tuberosas descritos para a cultura (Low et al., 2020; Sapakhova et al., 2023).

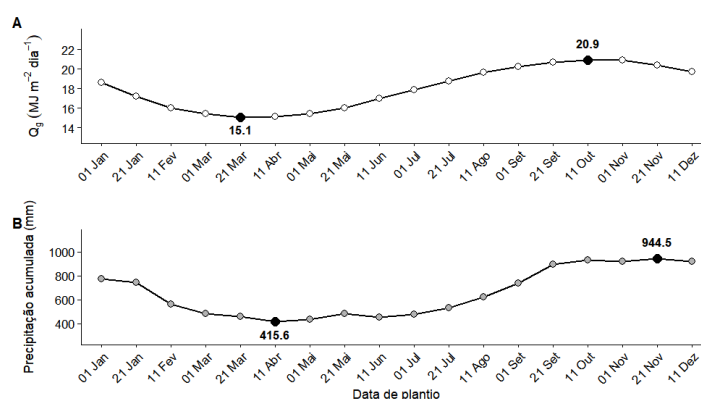


Figura 3. Radiação solar global média (Q_g ; A) e precipitação acumulada estimada (B) durante o ciclo da batata-doce em função de 18 épocas de plantio em Presidente Prudente, SP, considerando as médias do período de 1982 a 2023.

Em conjunto, os resultados demonstram que a época de plantio modifica simultaneamente o potencial produtivo e a eficiência climática da batata-doce em Presidente Prudente. Embora os plantios próximos a outubro tenham apresentado os maiores valores de Y_p , o melhor aproveitamento desse potencial ocorreu entre novembro a início de janeiro, quando o aumento da disponibilidade hídrica favoreceu maiores valores de Y_a e EC e menores valores de Y_{GDH} . Assim, a definição da época de plantio deve considerar não apenas o potencial de produção, mas também a probabilidade de sua expressão sob as condições climáticas predominantes ao longo do ciclo.

APLICAÇÃO PRÁTICA

Os resultados indicam períodos distintos de plantio conforme a condição produtiva considerada. Para a produtividade potencial (Y_p), as melhores épocas de plantio foram 1º de setembro, 21 de setembro, 11 de outubro e 1º de novembro, que constituíram o grupo de maior desempenho pelo teste de Scott-Knott, com máximo de $69,8 \text{ Mg ha}^{-1}$ em 11 de outubro. Para a produtividade atingível (Y_a), considerando o efeito do déficit hídrico, as melhores épocas foram 1º de janeiro, 1º de novembro, 21 de novembro e 11 de dezembro, com máximo de $44,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ em 11 de dezembro.

Na prática, os resultados mostram que o período de setembro a início de novembro favorece a expressão do potencial produtivo da cultura, enquanto, sob condições de disponibilidade hídrica dependente das chuvas, os plantios de novembro a dezembro apresentam desempenho mais favorável, com destaque para 11 de dezembro, que também apresentou a maior eficiência climática (67,6%). Essas informações podem auxiliar na definição da época de plantio em Presidente Prudente.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade do Oeste Paulista (UNOESTE) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pelo suporte institucional à realização deste estudo. Agradecem também à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo apoio financeiro à pesquisa.

LITERATURA CITADA

BARBOSA, A. M. Agrometeorological water balance in the west of São Paulo State. *Colloquium Agrariae*, v. 18, n. 4, p. 1-11, 2022.

BARBOSA, A. M. **Caracterização climática de Presidente Prudente-SP**. Boletim Agrometeorológico, n. 1. Presidente Prudente: UNOESTE, 2020.

BATTISTI, R.; MENDES, J. O.; DAPPER, F. P.; OLIVEIRA, E. C.; SANTOS, T. G. “Yield gap”: convergência de informações para a máxima eficiência na agricultura. *Boletim Agrônômico*, n. 6, p. 8-14, 2024.

ERPEN, L.; STRECK, N. A.; UHLMANN, L. O.; FREITAS, C. P. O.; ANDRIOLO, J. L. Tuberização e produtividade de batata-doce em função de datas de plantio em clima subtropical. *Bragantia*, v. 72, n. 4, p. 396–402, 2013. DOI: 10.1590/brag.2013.050.

GRÜNEBERG, W. J. Nutrient-Dense Orange-Fleshed Sweetpotato: Advances in Drought-Tolerance Breeding and Understanding of Management Practices for Sustainable Next-Generation Cropping Systems in Sub-Saharan Africa. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, v. 4, art. 50, 2020.

LOW, J. W.; ORTIZ, R.; VANDAMME, E.; ANDRADE, M.; BIAZIN, B.; PUSHPALATHA, R.; GANGADHARAN, B. Climate resilience, yield and geographical suitability of sweet potato under the changing climate: A review. *Natural Resources Forum*, v. 48, n. 1, p. 106-119, 2024.

SAPAKHOVA, Z.; RAISSOVA, N.; DAUROV, D.; ZHAPAR, K.; DAUROVA, A.; ZHIGAILOV, A.; ZHAMBAKIN, K.; SHAMEKOVA, M. Sweet Potato as a Key Crop for Food Security under the Conditions of Global Climate Change: A Review. *Plants*, v. 12, n. 13, art. 2516, 2023.

VIANNA, M. S.; MARIN, F. R.; PILAU, F. G. Modelo agrometeorológico genérico de produção vegetal (MAGé). 1. ed. Piracicaba: ESALQ, 2017. 24 p.