



TOLERÂNCIA AO DÉFICIT HÍDRICO DE CULTIVARES BRASILEIRAS DE SOJA IDENTIFICADA POR MEIO DE UM MODELO DE ESTIMATIVA DE PRODUTIVIDADE

RAFAEL BATTISTI¹, PAULO CESAR SENTELHAS²

¹Eng. Agrônomo, Doutorando no PPG em Engenharia de Sistemas Agrícolas, ESALQ-USP, Piracicaba, SP, rafaelbattisti@usp.br.

²Eng. Agrônomo, Prof. Associado, Departamento de Engenharia de Biosistemas, ESALQ-USP, Piracicaba, SP.

Apresentado no XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 06 de setembro de 2013 – Centro de Convenções e Eventos Benedito Silva Nunes, Universidade Federal do Para, Belém, PA.

RESUMO: O objetivo desse trabalho foi identificar níveis de tolerância ao déficit hídrico de cultivares brasileiras de soja e selecionar cultivares preferenciais de semeadura em função da disponibilidade hídrica durante o ciclo de desenvolvimento. Foram obtidos dados de duração de ciclo e produtividade de 101 cultivares de soja para calibrar o coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico (K_y), do modelo da Zona Agroecológica – FAO, por cultivar e fase de desenvolvimento. Os valores de K_y foram utilizados na análise de agrupamento, resultando em quatro grupos de tolerância ao déficit hídrico, definidos em de alta, média - alta, média - baixa e baixa tolerância, respectivamente com valor de K_y de 0,78, 0,88, 0,90 e 0,97 para a fase de floração/enchimento de grão. Observou-se valor médio de coeficiente de colheita (C_C) de 0,35 e 0,31 para o grupo de baixa e alta tolerância, respectivamente, e de 0,33 para os grupos intermediários. Associando os resultados de K_y e C_C , o grupo de baixa tolerância tem semeadura preferencial em condições de boa disponibilidade hídrica, ou seja, com mais de 60% da evapotranspiração potencial da cultura na fase reprodutiva sendo suprida, enquanto que o grupo de alta tolerância para condições de baixa disponibilidade hídrica.

PALAVRAS-CHAVES: *Glycine max*; Zoneamento agrícola; Modelagem agrometeorológica.

DROUGHT TOLERANCE OF BRAZILIAN SOYBEAN CULTIVARS SIMULATED BY A SIMPLE AGROMETEOROLOGICAL YIELD MODEL

ABSTRACT: The aim of this study was identify groups of drought tolerance for the soybean Brazilian cultivars (101 cultivars) and define the best cultivar to sowing in function of available water. Actual yield and phenology data were used to calibrate the water deficit sensitivity index (K_y) from FAO Agro-ecological zone model, for each cultivar and growth phases. The K_y values were used in cluster analysis to split groups of drought tolerance. Soybean cultivars were split in four groups of drought tolerance from cluster analysis, being high, medium high, medium low and low tolerance, with K_y for reproductive phase of 0.78, 0.88, 0.90 and 0.97, respectively. Harvest index (C_C) are different between groups, being of 0.35 and 0.31 for low and high groups of drought tolerance, respectively, and 0.33 for intermediate groups. The obtained values for K_y and C_C show that when considering the place with crop relative evapotranspiration in reproductive phase greater than 0.60, cultivars from





group with low drought tolerance have preferential sowing, however, in condition of crop relative evapotranspiration less than 0.60, cultivars from group with high drought tolerance have preferential sowing.

KEY-WORDS: *Glycine max*; Agricultural zoning; Agrometeorological model.

INTRODUÇÃO

O principal fator climático limitante no Brasil para a obtenção de alta produtividade na cultura da soja é o déficit hídrico, o qual gera redução na produtividade, como por exemplo, na safra de 2011/2012, em que houve reduções de 44, 29 e 10% na produtividade média dos estados do Rio Grande do Sul, do Paraná e do Mato Grosso do Sul (CONAB, 2012), respectivamente, devido aos menores volumes de precipitação pluvial, associada à ocorrência do evento climático “La Niña” (Araújo et al., 2012).

Para reduzir as perdas produtivas ocasionadas pelas condições climáticas, características de cultivares, como a tolerância ao déficit hídrico, pode ser utilizada. Andrioli e Sentelhas (2009) utilizaram o coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico do modelo da Zona Agroecológica – FAO para identificar materiais genéticos de maior tolerância ao déficit hídrico para a cultura do milho no Brasil. Oya et al. (2004) classificaram níveis de tolerância ao déficit hídrico para cultivares de soja com base na relação entre a produtividade obtida em condições de precipitação pluvial natural e irrigada.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi identificar diferentes níveis de tolerância ao déficit hídrico de cultivares brasileiras de soja, utilizando o coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico (Ky) calibrado para o modelo da Zona Agroecológica – FAO, selecionando grupos de cultivares preferenciais de semeadura em função da disponibilidade hídrica.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização desse trabalho foram utilizados dados de produtividade e de duração de ciclo de 101 cultivares de soja, totalizando 984 tratamentos (Cultivar x Local). Os experimentos, desenvolvidos pela Fundação Pró-Sementes, foram realizados entre os anos de 2008 e 2011 com semeadura realizada entre os meses de outubro e dezembro, nos estados do Rio Grande do Sul, de Santa Catarina, do Paraná, de São Paulo e do Mato Grosso do Sul, utilizando o delineamento experimental de blocos ao acaso com três repetições, em parcelas de cinco linhas espaçadas em 0,40 metros com quatro metros de comprimento.

Os diferentes níveis de tolerância ao déficit hídrico para as cultivares foi obtido a partir do coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico (Ky). Para obtenção do Ky primeiramente determinou-se a produtividade potencial da cultura (PPF) pelo método da Zona Agroecológica FAO (Eq. 1):

$$PPF = PPB * C_{IAF_{max}} * C_R * C_C * (1 - C_{Um})^{-1} * ND \quad (1)$$

em que: PPF é dado em kg ha⁻¹ de grãos; PPB é a produtividade potencial bruta (kg de matéria seca por hectare); IAF_{max} é índice de área foliar máximo, para o qual utilizou-se valor estimado em função da duração do período vegetativo da cultura; C_c é o coeficiente de colheita, calibrado de forma iterativa junto com o Ky para cada cultivar; ND é o número de dias do ciclo, obtido através dos resultados experimentais; C_R é o coeficiente de respiração





obtido em função da temperatura do ar e C_{Um} é a umidade residual na parte colhida. Os coeficientes PPB, C_{RESP} e C_{Um} foram estimados como apresentado por De Wit (1965).

Após a determinação da PPF, inclui-se o fator de disponibilidade hídrica ocorrida durante o ciclo, em que o K_y para cada fase de desenvolvimento da cultura e cultivar foi obtido isolando o fator K_y da equação (Eq. 2):

$$PE = PPF * \prod_{i=1}^n \left(1 - K_{y_i} * \left(1 - \frac{ETr_i}{ETc_i} \right) \right) \quad (2)$$

em que: PE é a produtividade estimada ($kg\ ha^{-1}$); K_{y_i} é coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico, obtido para as i fases de desenvolvimento por grupo de tolerância ao déficit hídrico; ETr é a evapotranspiração real da cultura determinada por meio do balanço hídrico de Thorthwaite e Mather (1955) para cada fase i ; ETc é a evapotranspiração máxima da cultura obtida pela multiplicação da evapotranspiração de referência (ETo), calculado pelo método de Priestley e Taylor, pelo coeficiente de cultura (Kc) para cada fase i da cultura da soja: estabelecimento (S-V2: 0,56); crescimento vegetativo (V2-R1: 1,21); floração e enchimento de grão (R1-R5: 1,5) e maturação (R6-R8: 0,9) (Farias et al., 2001). Para o cálculo do balanço hídrico da cultura, considerou capacidade de água disponível no solo variável por local, estimada a partir de funções de pedotransferência (Lopes-Assad et al., 2001; Reichert et al., 2009), classificação do solo e percentuais de areia, silte e argila.

Na etapa inicial de calibração foram empregados valores de K_y de 0,0, 0,2, 0,9 e 0,0, respectivamente para as fases S-V2, V2-R1, R1-R5 e R6-R8, os quais são recomendados por Doorenbos e Kassam (1979). Os valores de K_y foram calibrados de modo a se obter o menor erro absoluto médio entre produtividade real e a estimada (PE) pelo modelo. A partir dos coeficientes de sensibilidade ao déficit hídrico (K_y) calibrado montou-se uma matriz em que as linhas representavam cada uma das cultivares e as colunas os valores de K_y para cada uma das fases de desenvolvimento da cultura da soja. Essa matriz foi utilizada para identificar grupos homogêneos de tolerância ao déficit hídrico por meio da análise de agrupamento.

A análise de agrupamento foi realizada por meio do método de Ward, com o índice da distância euclidiana para diferenciar grupos homogêneos de cultivares, em que quanto menor as diferenças entre as cultivares mais similares tendem a ser entre si (Vicini, 2005; Seidel et al., 2008). Esse método busca formar grupos, neste caso de cultivares, minimizando a variância dentro de cada grupo. Vicini (2005) descreve que não existe um melhor método a ser utilizado para um dado conjunto de dados, por isso o método é adotado em função do dendograma resultante, o qual deve apresentar uma adequada concordância com a realidade. A análise foi realizada com o auxílio do programa estatístico STATISTICA 8.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos valores de K_y calibrado para cada fase de desenvolvimento para as cultivares de soja e por meio da análise de agrupamento obteve-se o dendograma apresentado na Figura 1, em que as cultivares foram divididas em quatro grupos, de alta, média - alta, média - baixa e baixa tolerância ao déficit hídrico. Para a cultura da soja a fase de maior sensibilidade ao déficit hídrico foi a de floração/enchimento de grão (R1-R5), como verificada por inúmeros autores (Karam et al., 2005; Dogan et al., 2007).





**XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – XVIII CBA
2013 e VII Reunião Latino Americana de Agrometeorologia**
Belém - PA, Brasil, 02 a 06 de Setembro 2013
**Cenários de Mudanças Climáticas e a Sustentabilidade
Socioambiental e do Agronegócio na Amazônia**



Para as demais fases de desenvolvimento os valores foram próximos aos recomendados pela FAO. Na fase de estabelecimento (S-V2) e desenvolvimento vegetativo (V2-R1) o valor de k_y foi entorno de 0,05 e 0,20, respectivamente. O baixo valor para estas fases de desenvolvimento para a cultura da soja deve-se a plasticidade fenotípica da cultura, que sob condições de boa disponibilidade hídrica nas fases subsequentes pode ainda manter os altos níveis produtivos (Karam et al., 2005). Para a fase de maturação (R6-R8) o valor de k_y foi em média de 0,07, penalização esta que é igual a 0,0 nos valores originais de Doorenbos e Kassam (1979), mas em cultivares de alto potencial produtivo, estas ainda continuam acumulando matéria seca após o enchimento de grão (Liu et al., 2005).

Com relação aos resultados de K_y para a fase de floração/enchimento de grão (R1-R5) a condição média por grupo foi de 0,78, 0,88, 0,90 e 0,97 para o grupo de alta, média -alta, média - baixa e baixa tolerância ao déficit hídrico. Tais resultados podem ser observados na Figura 2a, que expressa a perda produtiva relativa obtida para cada experimento em função do déficit hídrico relativo durante a floração/enchimento de grão para o k_y calibrado por cultivar.

Observou-se que o grupo de menor tolerância ao déficit hídrico apresentou, em média, maior coeficiente de colheita (C_c) do que o grupo de tolerância alta, sendo 0,35 e 0,31, respectivamente, tendo os demais grupos valores intermediários de C_c (0,33). Quando o C_c é maior, comparando cultivares com mesma produtividade total de matéria seca, há maior PPF. Assim, complementares aos resultados obtidos, experimentos de campo devem ser desenvolvidos para avaliar tal tendência, de que cultivares com menor tolerância ao déficit hídrico apresentam maior PPF e vice-versa, e ainda para avaliar a resposta da cultivar na produção total de matéria seca em função das condições ambientais locais.

Ao se associar os resultados de C_c médio e o K_y médio calibrado para a fase de floração/enchimento de grãos por grupo de tolerância ao déficit hídrico pode-se observar que estratégias de semeadura podem ser realizadas com base nesses resultados, já que em datas com maior probabilidade de ocorrência de déficit hídrico, cultivares do grupo de alta tolerância, tem a semeadura preferencial, dado que a perda relativa de produtividade é menor sob intensos déficit hídrico ($ET_r/ET_c < 0,60$) em relação as cultivares do grupo da baixa tolerância (Figura 2b).



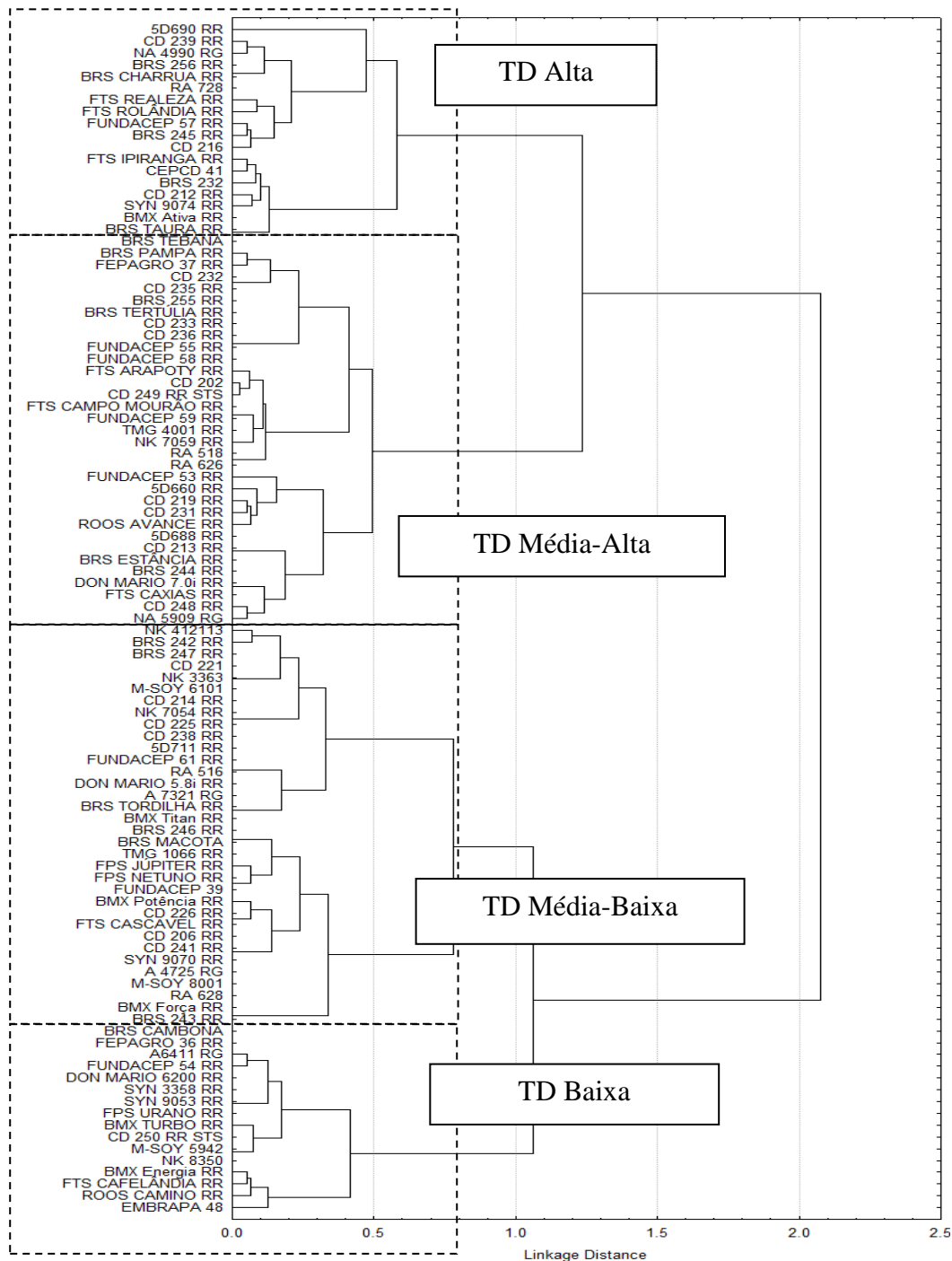


Figura 1 – Análise de agrupamento das cultivares, por meio do método de Ward, considerando-se a distância euclidiana, com base no coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico (Ky) das diferentes fases de desenvolvimento da cultura da soja.

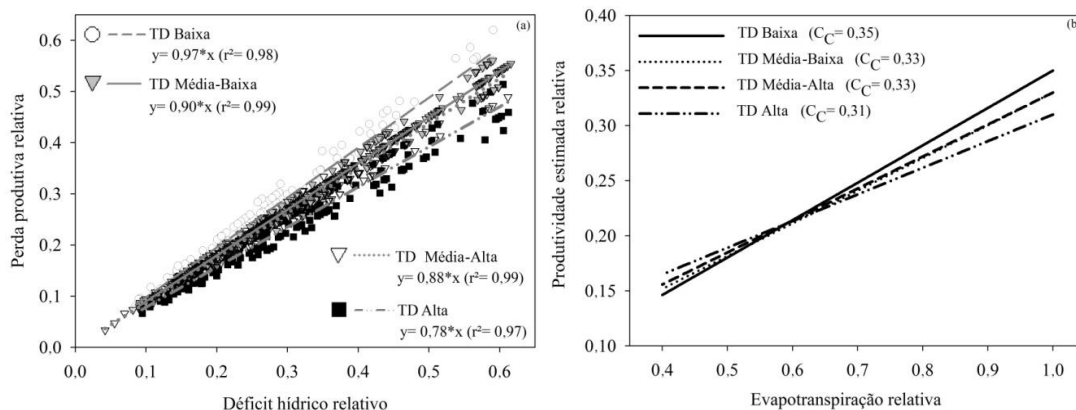


Figura 2 – Relação entre déficit hídrico relativo (1-ETr/ETc) e a perda relativa de produtividade (1-PA/PPF) (a), e a relação entre evapotranspiração relativa (ETr/ETc) e a produtividade atingível relativa (em que PPF é igual ao índice de colheita médio – C_C) (b) durante a fase de floração/enchimento de grão (R1-R5) para os grupos de tolerância ao déficit hídrico (TD).

CONCLUSÕES

Com base nos valores calibrados para o coeficiente de sensibilidade ao déficit hídrico foi possível diferenciar quatro grupos de cultivares com diferentes níveis de tolerância ao déficit hídrico, tendo o grupo de baixa tolerância semeadura preferencial em condições de boa disponibilidade hídrica (ETr/ETc na fase R1-R5 > 0,60), enquanto que o grupo de alta tolerância para condições de baixa disponibilidade hídrica (ETr/ETc na fase R1-R5 < 0,60).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrioli, K.G.; Sentelhas, P.C. Brazilian maize genotypes sensitivity to water deficit estimated through a simple crop yield model. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, p. 653-660, 2009.
- Araújo, P., Féres, J., and Reis, E. Assessing the impacts of ENSO-related weather effects on the Brazilian agriculture. **Conference on Climate Change and Development Policy**. 2011.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Custo de produção: soja**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=>>. Acesso em: 24 jul. 2012.
- De Wit, C.T. **Photosynthesis of leaf canopies**. Wageningen: PUDOC, 1965. 57 p. (Agriculture Research Report, 663).
- Dogan, E.; Kirnak, H.; Copur, O. Deficit irrigations during soybean reproductive stages and CROPGRO-Soybean simulations under semi-arid climatic conditions. **Field Crops Research**, v. 103, p. 154-159, 2007.
- Doorenbos, J.; Kassam, A.M. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1979. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 33).
- Farias, J.R.B.; Assad, E.D.; Almeida, I.R. de; Evangelista, B.A.; Lazzarotto, C.; Neumaier, N.; Nepomuceno, A.L. Caracterização de risco de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja no Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, p. 415-421, 2001.
- Karam, F.; Massad, R.; Sfeir, T. Evapotranspiration and seed yield of field grown soybean under deficit irrigation conditions. **Agricultural Water Management**, v. 75, p. 226-244, 2005.
- Liu, X.; Jin, J.; Herbert, S.J.; Zhang, Q.; Wang, G. Yield components, dry matter, LAI and LAD of soybeans in Northeast China. **Field Crop Research**, v. 93, p. 85-93, 2005.
- Lopes-Assad, M.L.; Sans, L.M.A.; Assad, E.D.; Zullo JR., J. Relações entre água retida e conteúdo de areia total em solos brasileiros. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, p. 588-596, 2001.



XVIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – XVIII CBA
2013 e VII Reunião Latino Americana de Agrometeorologia
Belém - PA, Brasil, 02 a 06 de Setembro 2013
*Cenários de Mudanças Climáticas e a Sustentabilidade
Socioambiental e do Agronegócio na Amazônia*



- Oya, T., Nepomuceno, A. L., Neumaier, N., Farias, J. R. B., Tobita, S., and Ito, S. Drought tolerance characteristics of Brazilian Soybean Cultivars – Evaluation and characterization of drought tolerance of various Brazilian Soybean cultivars in the field. **Plant Production Science**, v. 7, p. 129-137, 2004.
- Reichert, J.M.; Albuquerque, J.A.; Kaiser, D.R.; Reinert, D.J.; Urach, F.L.; Carlesso, R. Estimation of water retention and availability in soil of Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1547-1560, 2009.
- Seidel, E.J.; Moreira Júnior, F. de J.; Ansuji, A.P.; Noal, M.R.C. Comparação entre o método de Ward e o método K-médias no agrupamento de produtores de leite. **Ciência e Natura**, v. 30, p. 7-15, 2008.
- Thornthwaite, C.W.; Mather, J.R. **The water balance**. Nex Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p. (Publications in Climatology, 1).
- Vicini, L. **Análise multivariada da teoria à prática**. Santa Maria: UFSM, 2005. 215 p.

