ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbge

Regime de acoplamento planta-atmosfera em lavouras de milho cultivadas em duas épocas

Tamires Teles de Souza¹, Vitor de Jesus Martins Bianchini², Murilo dos Santos Vianna³, Fábio Ricardo Marin⁴

¹ Engenheira Agrônoma, mestranda em Engenharia de Sistemas Agrícolas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, CEP 13418-900. (19) 3429-4100. tamiresteles@usp.br (autor correspondente). ² Graduando em Engenharia Agrônoma, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, CEP 13418-900. (19) 3429-4100. vitor.bianchini@usp.br. ³ Engenheiro Ambiental e doutorando em Engenharia de Sistemas Agrícolas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, CEP 13418-900. (19) 3429-4100. murilodsv@gmail.com. ⁴ Engenheiro Agrônomo e professor do departamento de Biossistemas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo, Piracicaba, São Paulo, CEP 13418-900. (19) 3429-4100. fabio.marin@usp.br.

Artigo recebido em 12/04/2017 e aceito em 05/08/2017

RESUMO

O milho é considerado uma das culturas mais cultivadas mundialmente porém, rendimento da cultura depende da relação intrínseca estabelecida entre a planta e o ambiente em que se encontra, sendo o acoplamento responsável pela intensidade do fluxo de massa e energia entre a interação planta-atmosfera. Objetivou-se analisar a variação do acoplamento (Ω) de milho cultivado no verão e outono a fim de compreender a interação existente entre vegetação-atmosfera. Foram conduzidos dois experimentos, o primeiro na época do outono e os segundos no verão, ambos instalados no município de Piracicaba-SP. O fator de acoplamento (Ω) foi calculado pela equação proposta por McNaughton e Jarvis (1983) e os dados de transpiração para o período do outono foram estimados por meio do modelo CERES-MAIZE. Verificou-se acoplamento da vegetação com a atmosfera na safra de outono devido à ação conjunta entre os componentes aerodinâmicos e radiativos no controle da troca de vapor de água com a atmosfera; na safra de verão houve desacoplamento devido à ocorrência de temperaturas elevadas, o que favoreceu as atividades metabólicas da planta. Concluiu-se que na safra de outono, o acoplamento das plantas de milho com a atmosfera ocorreu com o aumento da velocidade do vento, redução da resistência aerodinâmica e da camada limite foliar, com queda na transpiração; temperaturas entre 25 a 30 °C favoreceram o desacoplamento das plantas de milho com a atmosfera, na safra de verão. Palavras-chave: transpiração, ceres-maize, estômatos.

Atmosphere plant-coupling scheme in corn harvest in two times

ABSTRACT

Maize is considered to be one of the most cultivated crops worldwide, crop yield depends on the intrinsic relationship established between the plant and the environment in which it is found, and coupling is responsible for the intensity of mass and energy flux between the plant-atmosphere interaction. The objective of this study was to analyze the coupling variation (Ω) of maize grown in summer and autumn in order to understand the interaction between vegetation and atmosphere. Two experiments were conducted, the first in the fall season and the second in the summer, both installed in the municipality of Piracicaba-SP. The coupling factor (Ω) was calculated by the equation proposed by McNaughton and Jarvis (1983) and the transpiration data for the autumn period were estimated using the CERES-MAIZE model. It was verified the coupling of the vegetation with the atmosphere in the fall harvest due to the joint action between aerodynamic and radiative components in the control of the exchange of water vapor with the atmosphere; In the summer crop there was decoupling due to the occurrence of high temperatures, which favored the metabolic activities of the plant. It was concluded that in the autumn harvest the coupling of corn plants with the atmosphere occurred with the increase of wind speed, reduction of aerodynamic resistance and leaf boundary layer, with decrease in transpiration; Temperatures between 25 and 30 °C favored the decoupling of corn plants with the atmosphere in the summer season.

Keywords: Transpiration, ceres-maize, stomata.

Introdução

A cultura do milho é uma das mais importantes do mundo (Kresovic et al., 2014; Asare et al., 2011) devido a sua composição

química, valor nutritivo e o seu potencial produtivo (Fancelli e Dourado-Neto, 2000). Atualmente, sua produção tem-se dividido em duas épocas de semeadura, a de verão ou primeira e semeadura de safrinha ou segunda safra, que se refere ao milho de sequeiro (Garcia et al., 2008). Assim, a cultura

apresenta grande importância econômica por estar entre as culturas que evidenciam crescimento expressivo, tanto em consumo quanto produção (Hirakuri e Lazzarotto, 2014; Xavier et al., 2014).

Apesar de elevada produção fotossintética, o milho apresenta alta sensibilidade a estresses bióticos e abióticos, portanto, o rendimento da cultura depende diretamente da relação intrínseca estabelecida entre a planta e o ambiente em que se encontra (Vieira Junior, 2006). A intensidade do fluxo de massa e energia entre a copa de uma cultura e a atmosfera pode ser interpretada através do acoplamento (Ω) entre os dois sistemas envolvidos (Monteith, 1981). O fator de acoplamento (Ω) proposto inicialmente por McNaughton & Jarvis (1983) e Jarvis & McNaughton (1986) avalia a habilidade das superfícies vegetadas no processo de transferência de vapor d'água para a atmosfera (Marin e Angelocci, 2011).

Conceitualmente, Ω pode ser interpretado pela análise de seus valores extremos. Quando Ω tende à unidade ($\Omega \rightarrow 1$ como $r_s/r_a \rightarrow 0$), significa que a radiação líquida é o único contribuinte para o processo de evapotranspiração; e a vegetação é considerada desacoplada das condições atmosféricas. Para Ω tendendo para zero ($\Omega \rightarrow 0$ como $r_s/r_a \rightarrow \infty$) indica o acoplamento completo da cultura à atmosfera, isto é, o processo de evapotranspiração sofre grande influência do déficit de pressão de vapor e da velocidade do vento (Marin et al., 2016). O desacoplamento é devido principalmente ao aumento da camada limite foliar e da resistência aerodinâmica ou fechamento estomático e, este último se dá na diferença entre os níveis de vapor d'água entre a folha e o ar, o que conseqüentemente eleva a transpiração (Schulze, 1986).

Diante do exposto, objetivou-se neste trabalho analisar a variação do acoplamento de uma cultura de milho cultivada no verão e outono, com atenção para os estágios vegetativo e reprodutivo.

Material e métodos

Foram conduzidos dois experimentos para a consecução deste estudo. O primeiro experimento foi instalado no outono do ano de 2016, com semeadura no dia 07 de maio de 2016, na Fazenda Areão, área experimental do Departamento de Engenharia de Biosistemas da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), município de Piracicaba-SP (latitude 22°42'30" S, longitude 47°38'30" W e altitude de 546 m) numa área atualmente disponível de 3 ha irrigada com pivô central, na qual foi delimitada uma subárea para a implantação do experimento. O segundo

experimento foi conduzido no verão, na safra agrícola de 2016/2017, com semeadura no dia 31 de outubro de 2016, na área localizada próximo ao Posto Meteorológico da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP) em uma área com aproximadamente 500 m², na qual foi delimitada uma subárea para a implantação do experimento.

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa, ou seja, tropical úmido, com chuvas de verão e seca no inverno. O total de chuvas no mês mais seco (julho) é de 26 mm e do mês mais chuvoso (janeiro), 217 mm. Anualmente, chove cerca de 1.270 mm e os meses mais secos são junho, julho e agosto. A temperatura média do mês mais quente (janeiro) é de 24,6 °C, do mês mais frio (julho), de 17,3 °C, com média anual de 21,5 °C. A evaporação total anual é de 1.541 mm, e a umidade relativa média anual é de 72,1% com nebulosidade máxima no verão e mínima no inverno, e com média anual de céu coberto de 0 a 10%, (Cervellini et al., 1966).

O solo da área experimental localizado na Fazenda Areão, ESALQ/USP, é classificado como Argissolo Vermelho Eutrófico e o solo da área experimental localizada próximo ao posto meteorológico é classificado como Nitossolo Vermelho Eutrófico nitossólico. Em ambos os experimentos, o solo foi preparado de maneira convencional, realizado uma aração a 30 cm de profundidade e, em seguida uma gradagem para destorroamento e nivelamento. A adubação mineral de plantio e cobertura foi realizada de acordo a análise do solo, de modo a não permitir a ocorrência de estresses nutricional. A adubação de cobertura foi realizada no estágio V5 a V6 das plantas, ou seja, 5 a 6 folhas totalmente expandidas, com o adubo incorporado a 3 cm de profundidade.

O espaçamento de plantio foi de 0,45 m entre linhas de plantas com população de 66.000 plantas por hectare. A semeadura foi realizada utilizando cerca de 10% a mais do número de sementes em razão das possíveis falhas de germinação, ataque de pragas e outros fatores de redução de estande. Foi utilizado o híbrido P4285YH, selecionado entre o mais comercializado pelos produtores da região, com elevado potencial produtivo e adaptado às condições edafoclimáticas da região. Além de ser considerado excelente opção para silagem, qualidade de grãos e colmo, possui elevada produtividade, estabilidade e sanidade foliar e, alta tolerância ao acamamento e quebramento.

A cultura recebeu todos os tratamentos culturais necessários para que o genótipo expressasse seu máximo potencial produtivo, incluindo controle de pragas e doenças. A irrigação realizada no

experimento localizado na Fazenda Areão foi do tipo aspersão, via pivô central; e no segundo experimento, aspersores instalados no local, efetuada com base no balanço hídrico climatológico. Os dados de velocidade do vento (m.s-1) e temperatura (°C) foram coletados a cada 15 minutos em estações meteorológicas localizadas próximas às áreas experimentais.

O fator de acoplamento (Ω) foi calculado pela equação 1, proposta por McNaughton e Jarvis (1983), conforme descrito abaixo:

$$\Omega = \frac{1}{1 + \left[\frac{\gamma}{(s+\gamma)} \cdot \frac{r_s}{r_a} \right]} \quad (1)$$

em que r_s é a resistência estomática ao vapor, medida por porômetro de estado estacionário (s m-1); s é a inclinação da curva de pressão de vapor de saturação (kPa °C-1); r_a é a resistência aerodinâmica do milho (s m-1); e γ é a constante psicrométrica ($\gamma = 0,063$ kPa °C-1).

A resistência difusiva foliar (r_s) foi determinada nos estádios vegetativo e de produção para o milho no outono e verão, utilizando o porômetro de equilíbrio dinâmico (modelo Delta T, AP4) devidamente aferido. A r_s foi medida em três folhas expostas de três plantas diferentes de 09:00 h a 18:00 h (hora local), em intervalos de aproximadamente 2 horas sendo os dados considerados errôneos descartados. A média dos valores de r_s foi utilizada para calcular o fator de acoplamento (Ω).

A estimativa da resistência aerodinâmica da cobertura vegetal (r_a) foi calculada com base na equação geral do fluxo-gradiente, apresentada por Pennan e Long (1960), conforme equação 2.

$$r_a = \frac{\ln \left[\frac{(z-d)}{z_0} \right]^2}{u \cdot k^2} \quad (2)$$

em que r_a é dada em s m-1; u é a velocidade do vento; z é a altura de medida de u (m); d é o deslocamento do plano zero (m), sempre menor que a altura (h , m); z_0 é o comprimento da rugosidade da superfície (m); e k é a constante de von Kármán.

Para a estimativa da transpiração da cultura do milho na safra de outono, foi utilizado o modelo CERES-MAIZE na plataforma DSSAT. O

experimento foi devidamente cadastrado; foi construído o perfil de solo de acordo com as análises química e física; e inserido os dados climáticos no período do experimento para que a simulação fosse de acordo com as condições reais do experimento. Posteriormente, realizou-se a análise de sensibilidade do modelo, visando efetuar as estimativas otimistas e pessimistas sobre um grupo de variáveis que tem impacto na calibração do modelo.

Para este estudo, utilizou-se o híbrido DKB 333, já cadastrado no modelo DSSAT/CERES-MAIZE, por apresentar características semelhantes ao híbrido utilizado no experimento. O modelo DSSAT/CERES-MAIZE necessita ter seus coeficientes calibrados para produzir o crescimento e desenvolvimento do milho (Oliveira, 2015), ajustados às condições experimentais, considerando os valores médios dos parâmetros genéticos representativos da área experimental. Para isso, a calibração foi realizada manualmente por ajuste visual entre as curvas simuladas e os pontos de observações, através dos coeficientes genéticos P1, P2 e P5 que definem a fenologia da cultura, e G2 e G3, relacionados com o rendimento do grão (Hoogenboom et al., 1994).

Resultados e discussão

Observou-se nos no experimento com a cultura do milho, conduzido na safra de outono, que o fator de acoplamento (Ω) foi próximo a 0 (zero) (Tabela 1), indicando acoplamento da vegetação com a atmosfera. Assim, além da radiação, a velocidade do vento e o déficit de pressão de vapor atmosférico contribuíram para a evapotranspiração da cultura, pois em culturas acopladas, os componentes aerodinâmicos e radiativos agem conjuntamente na demanda por água e, por este motivo, a cultura apresenta um controle da troca de vapor de água com a atmosfera (Marin e Angelocci, 2011; Nassif et al., 2015). Uma folha perfeitamente acoplada com a atmosfera também indica que a concentração adequada de CO₂ do ambiente se encontra em sua superfície (Steduto. P.; Hsiao, 1998).

Na safra de verão houve tendência ao desacoplamento vegetação-atmosfera, provavelmente devido à ocorrência de temperaturas elevadas, o que favorece as atividades metabólicas da planta, em perder água por transpiração através do fechamento estomático.

Tabela 1. Fator de acoplamento (Ω) para a cultura do milho na época de outono e verão

Outono			Verão		
DAS*	Hora	Ω	DAS*	Hora	Ω
89	08h50	0,18	54	08h00	0,24
	11h50	0,24		10h00	0,02
	14h50	0,11		12h00	0,05
	17h00	0,01	78	09h00	0,09
108	09h25	0,15		10h00	0,11
	11h00	0,06		12h00	0,10
	16h00	0,02		14h00	0,18
	17h00	0,01	103	08h00	0,05
				10h00	0,14
				12h00	0,20
				14h00	0,28
				16h00	0,19
				18h00	0,18

*DAS = Dia após semeadura.

Na safra de outono, aos 89 DAS, fase vegetativa da cultura do milho, observou-se baixo acoplamento da vegetação (elevado Ω) no horário das 8:50 h e 11:50 h. Às 8:50 h, pode-se observar reduzida velocidade do vento e temperaturas abaixo de 16°C e, no horário das 11:50 h, houve acréscimo na velocidade do vento e na temperatura, porém, esta não foi superior a 25°C (Figura 1). Elevada resistência aerodinâmica (r_a) foi observada no início do dia, no horário das 8:50 h com atmosfera desacoplada da vegetação, principalmente devido uma camada limite mais espessa e ao fechamento estomático que responde ao déficit de pressão de vapor entre a camada limite foliar e atmosfera turbulenta (Aphalo e Jarvis, 1991). Esses resultados se assemelham com os obtidos por Turner (1974) com as culturas de sorgo, milho e fumo, em que os estômatos se fecharam antecipadamente pela manhã, devido ao baixo potencial da água no solo, pois nessa condição a abertura do estômato não é função da radiação incidente e sim, do potencial da água na

folha, que é dependente da umidade do solo (Dubé et al., 1974).

Ao longo dos 89 DAS, a partir das 9:00 h, houve acréscimo da velocidade do vento, consequentemente, uma camada limite menos espessa e temperaturas em torno de 15 a 20 °C (Figura 3) o que provavelmente, pode ter ocasionado redução na condutância estomática a fim de evitar a desidratação da parte aérea (Sales et al., 2012). Pela Figura 2 percebe-se um aumento significativo da resistência estomática a partir das 14:00 h, portanto pode ter ocorrido um desequilíbrio entre a taxa de perda por transpiração e o suprimento hídrico das folhas, havendo queda no nível de hidratação das células-guarda, com redução do poro estomático e da taxa de transpiração. Nos horários 14:50 h e 17:00 h a vegetação estava acoplada com a atmosfera, por apresentar baixos valores de Ω , próximos a 0, alta resistência estomática e baixa r_a .

Figura 1. Valores médios horários de temperatura do ar e velocidade do vento. Experimento 1, outono, referente ao dia 89 (DAS), Fazenda Areão ESALQ/USP.

Figura 2. Valores médios da resistência aerodinâmica (ra) e resistência estomática (rf). Experimento 1, outono, referente ao dia 89 (DAS), Fazenda Areão ESALQ/USP.

Na avaliação realizada no período reprodutivo da cultura, aos 108 DAS, na safra de outono, pôde-se observar alta sensibilidade da vegetação ao ambiente, com resposta dos estômatos ao microclima da copa, devido a maior rugosidade da cultura, em relação à fase vegetativa, o que ocasiona acentuado padrão de resposta às variações atmosféricas. No horário das 09:25h, a vegetação estava levemente desacoplada da atmosfera, apresentando valor de Ω igual a 0,15, acoplando-se totalmente nos horários 11:00h, 16:00h e 17:00h com valores de Ω iguais a 0,06,

0,02 e 0,01 respectivamente. No período matutino que compreende o intervalo das 07:00h às 11:00h observou-se elevação da velocidade do vento, porém, não superior a 3 m.s⁻¹ e temperatura em 15 e 20°C, conforme Figura 3. Consequentemente houve redução da ra (Figura 4) com uma camada limite menos espessa e aumento nos valores de resistência estomática. Baixos valores de Ω também estão relacionada no estágio em que a cultura se encontra totalmente desenvolvida e a interação com a atmosfera pode ser induzida pelos fatores aerodinâmicos (Nassif et al., 2015)

Figura 3. Valores médios horários de temperatura do ar e velocidade do vento. Experimento 1, outono, referente ao dia 108 (DAS), Fazenda Areão ESALQ/USP.

Figura 4. Valores médios da resistência aerodinâmica (ra) e resistência estomática (rf). Experimento 1, outono, referente ao dia 108 (DAS), Fazenda Areão ESALQ/USP.

De acordo com os resultados observados na safra de outono, quanto menores os valores de Ω , mais acoplada à vegetação esta com a atmosfera e, menores são as taxas de transpiração (Nassif et

al., 2015) conforme Figura 5 para o período vegetativo (89 DAS) e reprodutivo (108 DAS) da cultura do milho.

Figura 5. Transpiração diária do milho simulada pelo modelo CERES-MAIZE. Experimento 1, outono, Fazenda Areão ESALQ/USP.

Na safra de verão, aos 54 DAS, período vegetativo da cultura, observou-se desacoplamento da vegetação com atmosfera no período das 08:00h com o valor de Ω igual a 0,24 e, acoplamento (baixos valores de Ω) no período das 10:00h e 12:00h. As 08:00h, a velocidade do vento permaneceu em torno de 1 m.s⁻¹ e a temperatura 16°C, porém, ambos apresentaram acréscimos no horário das 11:00h e 12:00h (Figura 6). Observou-

se redução da ra no período das 08:00h às 12:00h e baixa rf as 08:00h com um pico de acréscimo até as 10:00h (Figura 6). A resistência aerodinâmica (ra) superior foi observada no início do dia, no horário das 8:00h, com decréscimo até as 12:00h. Assim, a atmosfera estava acoplada com a vegetação, provavelmente devido uma camada limite reduzida, baixa ra e ao fechamento estomático (Figura 7).

Figura 6. Valores médios horários de temperatura do ar e velocidade do vento. Experimento 2, verão, referente ao dia 54 (DAS), área próximo ao posto meteorológico, ESALQ/USP.

Figura 7. Valores médios resistência aerodinâmica (r_a) e resistência estomática (r_f). Experimento 2, verão, referente ao dia 54 (DAS), área próximo ao posto meteorológico, ESALQ/USP.

Aos 78 DAS, fase vegetativa da safra de verão, no horário das 09:00h a vegetação estava acoplada com a atmosfera, sendo observado um acréscimo no Ω a partir das 10:00h, que pode estar relacionado com a baixa velocidade do vento (Figura 8) e baixa r_a (Figura 9). O pico de resistência foliar à difusão de vapor medida ocorreu em torno das 14:00h, conforme Figura 9 e, devido ao horário com temperaturas elevadas,

favorecendo as atividades metabólicas da planta, ao fixar mais CO_2 e perder mais água por transpiração através do fechamento estomático parcial sob alto déficit de pressão de vapor (DPV), que pode ocorrer frequentemente próximo ao meio-dia sendo um mecanismo fisiológico da planta para o controle e uso mais eficiente da água disponível (Yang et al., 2012).

Figura 8. Valores médios horários de temperatura do ar e velocidade do vento. Experimento 2, verão, referente ao dia 78 (DAS), instalado próximo ao posto meteorológico, ESALQ/USP.

Figura 9. Valores médios resistência aerodinâmica (r_a) e resistência estomática (r_f). Experimento 2, verão, referente ao dia 78 (DAS), área próximo ao posto meteorológico, ESALQ/USP.

Aos 103 DAS, período em que a cultura se encontrava na fase reprodutiva, a atmosfera estava acoplada com a atmosfera as 08:00h com aumento no valor de Ω no decorrer do dia. O Ω foi superior no período das 12:00h e 14:00h provavelmente devido ao horário com as maiores temperaturas e baixa velocidade do vento (Figura 10) e, neste período houve reduzida r_a com uma elevação apenas as 16:00h (Figura 11), consequentemente uma camada limite menos espessa e maior

interação da vegetação com atmosfera. De acordo com Jarvis (1985), o Ω tende a ser gradualmente menor em culturas ásperas e altas devido a uma redução da resistência aerodinâmica do dossel causada por uma mistura de ar forte e uma elevada rugosidade da cultura. O fechamento dos estômatos em resposta a alta DPV provoca equilíbrio entre a perda de vapor de água da transpiração e o fluxo de água para as células de guarda (Yang et al., 2012).

Figura 10. Valores médios horários de temperatura do ar e velocidade do vento. Experimento 2, verão, referente ao dia 103 (DAS), instalado próximo ao posto meteorológico, ESALQ/USP.

Figura 11. Valores médios resistência aerodinâmica (ra) e resistência estomática (rf). Experimento 2, verão, referente ao dia 103 (DAS), área próximo ao posto meteorológico, ESALQ/USP.

Conclusões

O acoplamento das plantas de milho com a atmosfera ocorreu com o aumento da velocidade do vento, redução da resistência aerodinâmica e da camada limite foliar, com queda na transpiração, na safra de outono.

Temperaturas entre 25 a 30 °C favoreceram o desacoplamento das plantas de milho com a atmosfera, na safra de verão.

Agradecimentos

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo (ESALQ/USP) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), processo número 2016/06363-6.

Referências

- Aphalo, P.J. and Jarvis, P.G. 1991. Do stomata respond to relative humidity?. *Plant Cell Environment* 14, 127-132.
- Asare, D. K.; Frimpong, J. O. Ayeh, E., O. Amoatey, H. M. 2011. Water use efficiencies of maize cultivars grown under rain-fed conditions. *Agricultural Sciences* 2, 125-130.
- Cervellini, A.; Salati, E. Godoy, H. 1996. Estimativa da distribuição da energia solar no Estado de São Paulo. *Bragantia* 25, 31-40.
- Dubé, P. A.; Stevenson, K. R. Thurtell, G.W. 1974. Comparison between two inbred corn lines for diffusive resistances, photosynthesis and transpiration as a function of leaf water

potential. *Canadian Journal Plant Science* 54, 765-70.

- Fancelli, A.L. e D. Dourado-Neto. 2000. *Produção de Milho*. Editora Agropecuária, Guaíba.
- Garcia, C. J. Mattoso, J. M., Duarte, O. J., Cruz, C. J., Padrão, A. G. Aspectos econômicos da produção e utilização do milho. 2008. IN: Cruz, C. J., Karam, D. Monteiro. R.A.M.; Magalhães. C.P. *A Cultura do Milho*. Editora ,Sete Lagoas, pp. 23-41.
- Hirakuri e Lazzarotto. 2014. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro. *Embrapa soja*, inistério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, p. 37.
- Hoogenboom, G., White, J.W., Jones, J.W., Boote, K.J. 1994. Beangro: A process-oriented dry bean model with a versatile user interface. *Agronomy Journal* 86, 182-190.
- Jarvis, P. G. 195. Coupling of transpiration to the atmosphere in horticultural crops: the ômega fator. *Acta Horticulturae* 171, p. 187-205.
- Jarvis, P.G., Mcnaughton, K.G., 1986. Stomatal control of transpiration: scaling up from leaf to region. *Adv. Ecol. Res.* 15, 1-49.
- Kresovic, et. al. 2014. Irrigation as a climate change impact mitigation measure: An agronomic and economic assessment of maize production in Serbia. *Agricultural Water Management* 139. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2014.03.006>.
- Marin, F. R., Angelocci, L. R., Nassif, D. S. P., Costa, L. G., Vianna, M. S., Carvalho, K.S. 2016. Crop coefficient changes with reference evapotranspiration for highly canopy-

- atmosphere coupled crops. *Agricultural Water Management* 163, 139-145.
- Marin, F.R., Angelocci, L.R. 2011. Irrigation requirements and transpiration coupling to the atmosphere of a citrus orchard in Southern Brazil. *Agricultural Water Management*. 1091–1096.
- Mcnaughton, K. G., Jarvis, P. G. 1983. Predicting effects of vegetation changes on transpiration and evaporation. In: Koslowski, T.T. (Ed.), *Water Deficit and Plant Growth*, 7. Academic Press, New York, 1–47.
- Nassif, D. P. 2015. Evapotranspiração, transpiração e trocas gasosas em canavial irrigado. Tese (Doutorado). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”- Universidade de São Paulo.
- Oliveira, L. A. de. 2015. Manejo da irrigação no cultivo da cana-de-açúcar e milho sob cenários futuros: aplicação dos modelos DSSAT / CANEGRO e CERES-MAIZE. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo.
- Penman, H. L.; Long, I. F. 1960. Weather in wheat: an essay in micro-meteorology. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 86, 17-50.
- Sales, C. R. G.; Ribeiro, R. V.; Machado, D. F. S. P.; Machado, R. S.; Dóvis, V. L.; Lagôa, A. M. M. A. 2012. Trocas gasosas e balanço de carboidratos em plantas de cana-de-açúcar sob condições de estresses radiculares. *Bragantia*, 319-327.
- Schulze, E. D. 1986. Whole-plant responses to drought. *Australian Journal of Plant Physiology* 13, 127-141.
- Steduto, P., Hsiao, T. C., 1998. Maize canopies under two soil water regimes III. Variation in coupling with the atmosphere and the role of leaf area index. *Agricultural and Forest Meteorology* 89, 173–188.
- Turner, C.N. 1974. Stomatal behavior and water status of maize, sorghum, and tobacco under field conditions. *Plant Physiology* 53, 360-365.
- Xavier, A., D.; Furtado, F.G.; Júnior, S.R.J.; Sousa, M. E.J.; Andrade, G.M.E. 2014. Produção de fitomassa do milho sob lâminas de irrigação e adubação nitrogenada, *Revista Verde* 9, 144-148.
- Vieira Junior, P. A. 2006. Previsão de atributos do clima e do rendimento de grãos de milho na região Centro Sul do Brasil. Tese (Doutorado). Piracicaba-SP, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo.
- Villa Nova, N. A. 2003. Dados meteorológicos do Município de Piracicaba. Piracicaba: ESALQ/Departamento de Ciências Exatas.
- Yang, Z.; Sinclair, T. R.; Zhu, M.; Messina, C. D.; Cooper, M.; Hammer, G. L. 2012. Temperature effect on transpiration response of maize plants to vapour pressure deficit. *Environmental and Experimental Botany* 78, 157–162.