

EVAPORAÇÃO DA ÁGUA DE UM ARGISSOLO EM CONDIÇÕES DE CHUVA NATURAL

L. R. Neto¹, M. R. Rocha, M. T. Petry³, R. Carlesso³, M. S. A. Báez⁴, G. Spolaor⁵

RESUMO: A evaporação da água (E_s) da camada superficial do solo é um dos fatores que mais impacta o balanço de água do solo próximo à superfície. A presença de uma camada de resíduos na superfície aumenta a conservação da água no solo pela supressão da E_s . Esse trabalho teve o objetivo de quantificar o efeito de três quantidades de resíduos vegetais na E_s . As três quantidades de resíduos vegetais mantidos na superfície foram: 0; 2 e 4 t ha⁻¹ de massa seca de aveia preta, em um Argissolo, com o uso de microlisímetros (ML), com 0,10 m de profundidade e 0,10 m de diâmetro, instalados em uma área em pousio e outra cultivada com soja. A massa dos ML foi medida diariamente, às 18 horas, no período de novembro de 2015 até abril de 2016. A redução de E_s , em função do nível de cobertura, ocorreu principalmente na fase inicial, logo após o umedecimento do solo, entretanto, não se observou diferenças entre os níveis na E_s acumulada em um ciclo de secagem. Quando o índice de área foliar da soja é máximo, a redução de E_s pode chegar a mais de 50%, em relação a uma área em pousio.

PALAVRAS-CHAVE: Balanço Hídrico do Solo, Perdas de Água, Evaporação da água no solo.

SOIL WATER EVAPORATION OF AN ULTISOL IN NATURAL RAIN CONDITIONS

ABSTRACT: The water evaporation (E_s) of the topsoil is one of the factors that have more impact on the soil water balance near the surface. The presence of a crop residue layer on the surface increases the water conservation in the soil by the suppression of E_s . The main objective of this paper was to quantifying the effect of three amounts of crop residues in the E_s . The three amounts of crop residues maintained on the soil surface were: 0; 2 e 4 t ha⁻¹ of dry black

¹ Doutoranda do Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), CEP 97105-900, Santa Maria, RS. Fone (55) 996904388. e-mail: lethiciariosaneto@hotmail.com;

² Doutora em Engenharia Agrícola, UFSM, Santa Maria, RS;

³ Professores do Departamento de Engenharia Rural, UFSM;

⁴ Mestre em Engenharia Agrícola, UFSM;

⁵ Graduando em Agronomia, UFSM.

oatmass, in an Ultisol, using microlysimeters (ML), with 0,10 m depth and 0,10 m of diameter, assembled in a fallow area and another cropped with soybean. The ML mass was measured daily, at 6:00 p.m., during November 2015 until April 2016. The E_s reduction due to the covering level, occurred mainly in the initial phase, right after the soil moistening, however, considering the E_s accumulated in a drying cycle, the different levels of mulch did not differed from one another. As the soybean leaf area index is maximum, E_s the reduction can reach more than 50%, in relation to a fallow area.

KEYWORDS: Soil Water balance, Water loss, Soil evaporation.

INTRODUÇÃO

A evaporação (E_s) de água no solo é um dos principais fatores que compõe o balanço hídrico. Embora a E_s não seja considerada benéfica, ela pode influenciar diretamente a disponibilidade de água para a transpiração (SINGH et al., 2014). Estima-se que 50 a 70% da precipitação anual retorna a atmosfera sem ser utilizada pelas plantas (JALOTA & PRIHAR, 1990), sendo a disponibilidade de energia um dos principais fatores que influenciam nesse processo. Em consequência disso, a alteração da temperatura do solo afeta a umidade modificando o perfil vertical de temperatura do ar e perda de água na superfície.

O processo de evaporação e o de transpiração ocorre simultaneamente, porém podem ser tratados como fatores isolados. A evaporação da água é um fenômeno que utiliza energia externa do ambiente e a transforma em calor latente podendo ser dividida em três fases distintas. Ritchie (1971) determinou que a evaporação durante o estágio 1 está relacionada ao processo de secagem do ar. Em contraste, a evaporação no estágio 2 ocorre em taxas determinadas pela condutividade hidráulica do solo. Para Allen et al. (2006), nesta fase a evaporação decresce a medida que a umidade no perfil do solo diminui. O terceiro estágio ocorre quando a superfície do solo está praticamente seca, sendo dependente do fluxo de calor do solo. Neste caso, o efeito da manutenção dos resíduos na superfície do solo e sua influência na E_s devem ser melhor compreendidos.

A manutenção dos resíduos em superfície é uma alternativa promissora para a redução do processo de evaporação. Muitos estudos reportam a elevada capacidade dos resíduos em modificar os regimes de temperatura e água no solo. Contudo, a influência dos resíduos na dinâmica da água no solo tem gerado resultados conflitantes. Alliaume et al. (2017), verificaram

que após uma pequena precipitação grande parte da água que é interceptada pelos resíduos, pode ser evaporada mesmo antes de atingir a superfície do solo.

O processo de evaporação da água no solo, o de transpiração e a redistribuição de água ao longo do perfil ocorrem simultaneamente dificultando a obtenção de resultados precisos. A literatura relata muitos valores superestimados, os quais violam a lei da conservação de massa e energia a qual governa os processos da evaporação e transpiração (ALLEN et al., 2011). Muitos experimentos foram realizados para compreender o processo de E_s e medir a eficácia do uso dos resíduos vegetais na redução da evaporação, conduzidos em solos cultivados e, portanto, seus resultados foram influenciados pela evidente dificuldade em separar a evaporação do solo da transpiração da cultura (ZRIBI et al., 2015).

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi quantificar o efeito dos resíduos culturais sobre a evaporação da água de um Argissolo em condições naturais em área de pousio e sob a cultura da soja, durante um ciclo de cultivo.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na área experimental do Departamento de Engenharia Rural, localizada no campus da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, situada em Latitude de 29°41'24"S e Longitude de 53°48'42"W. O clima da região é do tipo "Cfa" subtropical úmido, segundo a classificação de Köppen (KOTTEK et al., 2006). O solo é classificado como Argissolo Vermelho Distrófico arênico (EMBRAPA, 2006), com uma camada superficial de textura franca e um horizonte Bt, de textura argilosa.

A E_s foi determinada de maneira direta, com o uso de ML, no período entre 15 de novembro de 2015 a 10 de abril de 2016. Foram avaliados três níveis de cobertura do solo: 0, 2 e 4 t ha⁻¹ massa seca (MS) de aveia preta, em três repetições. Os ML foram distribuídos aleatoriamente em duas áreas, uma área em pousio (sem o cultivo de plantas) e outra na entrelinha de uma área cultivada com soja, com espaçamento de 45 cm. A área de bordadura de cada ML era de aproximadamente 1 m².

Os ML foram confeccionados em tubos de PVC de 100 mm de diâmetro e com 100 mm de profundidade, inseridos perpendicularmente à superfície do solo, com o auxílio de uma marreta de borracha, de forma que a estrutura do solo fosse preservada. Na base dos ML foi fixada uma tela de nylon com malha fina (com fita adesiva na face externa), para impedir a perda de solo e facilitar a drenagem da água, a qual foi coletada por um copo de PVC (tampão), colocado abaixo do ML. Os ML foram instalados de maneira que a borda dos mesmos ficasse

ao nível da superfície do solo, dentro de uma estrutura também de PVC, com diâmetro superior ao ML, fixada no solo, para proteção. A massa seca de aveia preta foi pesada e fixada sobre o solo nas unidades experimentais mantidas com resíduos na superfície.

A E_s (mm) foi obtida pela diferença de massa diária dos ML, pesados às 18 h, exceto nos dias em que ocorreram chuvas. A diferença entre o dia n-1 e o dia atual (n) representa a evaporação do dia n. A evaporação da água no solo foi calculada pela equação abaixo, citada por Dalmago (2004):

$$E_s = \frac{M_{n-1} - M_n}{\pi r^2} \quad (1)$$

Em que:

E_s (mm dia⁻¹) é a evaporação da água do solo, M (g) é a massa do ML dos dias “n-1” e “n” respectivamente, e r (m) é o raio do ML. A E_s acumulada foi calculada para diferentes ciclos de secagem do solo, considerado um ciclo como o intervalo de tempo entre chuvas.

O manejo fitossanitário da área cultivada de soja foi realizado seguindo as recomendações técnicas para a cultura. A área foliar (AF) foi quantificada aos 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100 dias após a semeadura, utilizando a metodologia descrita por Richter et al. (2014), de medição indireta e não destrutiva, tomando-se as medidas de largura (L) e comprimento (C) da folha central de cada trifólio da planta e utilizando a equação geral: $AF=2.0185.(C.L)$. Dessa maneira o AF é a estimativa da área foliar do trifólio, C é o comprimento e L a largura do folíolo central. O índice de área foliar (IAF) das plantas foi obtido pela razão entre a área foliar fotossinteticamente ativa e a área superficial de solo ocupada pela planta (RICHTER et al., 2014).

A evapotranspiração de referência (ET_o) foi estimada pela equação FAO-56 Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998), com os parâmetros meteorológicos obtidos pela estação do INMET, instalada aproximadamente a 250 metros do experimento.

A análise estatística foi realizada utilizando-se o pacote estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM), determinando-se a análise de variância e comparando os tratamentos por meio dos testes F e Shapiro-Wilk para verificar a normalidade dos dados de evaporação de água do solo, em nível de 5% de probabilidade de erro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O experimento foi conduzido em ano de El-Niño, resultando em um acumulado de chuvas superior às médias climatológicas históricas para Santa Maria e uma ET_o inferior às médias mensais para o período no qual o experimento foi conduzido. Durante os 148 dias de duração do experimento (15 de novembro de 2015 a 10 de abril de 2016), foram registrados um total acumulado de 951 mm de chuva. As temperaturas máximas observadas foram ligeiramente inferiores ($27,9^{\circ}\text{C}$) à média histórica do período ($28,6^{\circ}\text{C}$), enquanto que as temperaturas mínimas foram superiores ($18,9^{\circ}\text{C}$) à média histórica ($17,8^{\circ}\text{C}$) para esse período.

Na figura 1 são apresentadas os valores de E_s diária e acumulada da água do solo nos diferentes ciclos de secagem, para os tratamentos com 0; 2 e 4 t ha^{-1} de resíduos vegetais em uma área em pousio e outra cultivada com soja, determinada em ML. O IAF da cultura da soja foi determinado a partir do trigésimo dia após a semeadura (Tabela 1). Os valores de IAF apresentados são uma média do valor obtido no ciclo de secagem, determinado pela função: $y = -58031 + 0,2672 x - 0,0017 x^2$ ($r^2=98$), onde x representa número de dias após a semeadura.

Analisando os resultados obtidos na área em pousio, observa-se que, em todos os ciclos de secagem, a ET_o foi sempre superior a E_s , nos tratamentos com e sem resíduos na superfície. Não se observou diferença significativa na E_s para os diferentes tratamentos. Ao todo foram observados 12 ciclos de secagem, com duração mínima superior a 3 dias. Na maioria dos ciclos de secagem foi observada uma maior relação E_s/ET_o (Tabela 1) para o tratamento com 2 t ha^{-1} de MS, indicando que, além da quantidade de resíduos presentes na superfície ou a espessura da camada, a distribuição dessa sobre a superfície pode influenciar significativamente a E_s , uma vez que a reduzida área superficial do ML pode ter afetado estes parâmetros.

KLOCKE et al. (2009) observaram que, o incremento em massa seca de resíduo nem sempre apresenta correlação positiva com o índice ou fração de cobertura. Uma das razões para a menor E_s observada no solo descoberto (0 t ha^{-1} de MS) pode estar relacionada ao tamanho da parcela (aproximadamente 1 m^2 de área ao redor do ML), fazendo com que os fatores advectivos tivessem importância minimizada no processo de evaporação.

A E_s foi mais expressiva no estágio “1” de evaporação, quando os fatores meteorológicos atuando sobre a superfície úmida, com maior conteúdo de água no solo, potencializam as perdas por evaporação (Figura 1a). Entretanto, como a E_s foi semelhante entre os tratamentos, parece ter havido uma contribuição significativa do fator solo na evaporação acumulada do estágio “2”, principalmente nos tratamentos com resíduos na superfície, indicando que a quantidade de resíduos não foi eficiente em reduzir a E_s . Esses dados são semelhantes aos encontrados por

DALMAGO (2010), onde o solo com resíduos teve uma evaporação acumulada maior ao final do ciclo do milho, em comparação ao sistema de cultivo convencional.

A razão entre E_s/ET_o foi maior nos primeiros dias após o umedecimento do solo, com exceção nos 5º e 6º ciclos de secagem, quando a maior E_s ocorreu no segundo dia. Essa reduzida E_s pode ter sido ocasionada em função da menor demanda evaporativa (ET_o baixa). Não se observou diferenças na taxa diária de E_s entre os tratamentos mantidos com 0 a 4 t ha⁻¹ de resíduos na superfície, indicando que as quantidades avaliadas de massa seca não influenciaram diretamente a E_s .

Uma maior E_s em relação à ET_o era esperada, em função do grande número de eventos que umedeceram a superfície do solo (chuva). Entretanto, o excesso de chuva também reduziu a ET_o diária, afetando dessa forma os demais fatores meteorológicos responsáveis pela perda de água para a atmosfera. Embora a relação E_s/ET_o tenha variado ao longo de todo o período de avaliação, dentro de um mesmo ciclo de secagem a razão foi semelhante. KLOCKE et al. (2009) avaliaram a efetividade de resíduos culturais de trigo e milho, e encontram que, num ano, os resíduos de trigo foram 100% mais eficientes em reduzir a E_s do que os resíduos de milho. Os autores atribuíram a maior eficiência dos restos culturais de trigo na redução da evaporação à maior rugosidade superficial da palhada de trigo, em relação à de milho, a qual se apresenta melhor distribuída e aderida à superfície do solo.

Analisando a evaporação na área cultivada com soja, em 5 ciclos de secagem (Figura 1), observa-se que tanto a taxa de E_s diária como a acumulada decresceram com o aumento do dossel vegetativo da soja. Assim, a relação E_s/ET_o também foi reduzida na mesma proporção (Tabela 1). Durante os estádios iniciais do ciclo de desenvolvimento da soja observou-se maior E_s no tratamento mantido sem resíduos, enquanto que, nos tratamentos mantidos com 2 a 4 t ha⁻¹ de resíduos, a E_s foi semelhante. A maior relação E_s/ET_o foi observada nos primeiros ciclos de secagem (1º e 2º), para o tratamento solo descoberto (0 t ha⁻¹), próximo dos 30 dias após a semeadura da soja, quando está ainda não sombreava completamente a superfície do solo e no período de alta demanda evaporativa da atmosfera, como indicada pela relação E_s/ET_o no primeiro ciclo de secagem.

Uma primeira aproximação visando separar a contribuição dos fatores meteorológicos e do dossel vegetativo das plantas no processo de evaporação foi desenvolvida por RITCHIE e BURNETT (1971). Segundo esses autores, quando o IAF for menor que 2,7; a E_s é fortemente influenciada pela demanda evaporativa da atmosfera.

O momento a partir do qual o dossel vegetativo é completo depende do espaçamento entre as linhas de plantas. Menores taxas de E_s foram observados no final do período vegetativo e

durante o estágio reprodutivo, período em que a cultura apresentava IAF máximo (Figura 1b, Tabela 1). Esses resultados corroboram os de ODHIAMBO & IMAK (2012) e KLOCKE et al. (2009), que encontraram maior contribuição da E_s em relação a ET_c e ET_o nos estádios iniciais e finais, da soja e milho, respectivamente.

A extração de água pelas raízes é normalmente desconsiderada com o uso dos ML, resultando em um maior teor de água no solo no ML em relação à área circundante, particularmente no final de um ciclo de secagem sob um dossel de cultura; por tanto, as medidas de evaporação diária podem estar superestimando a E_s (WEI et al., 2015; ZHAO et al., 2013). TODD et al. (1991) concluíram que, o uso de resíduos vegetais como cobertura morta no cultivo de milho reduziu a evaporação em comparação com o solo descoberto e esta redução foi menor em áreas de sequeiro do que em áreas irrigadas, com maior disponibilidade de água.

Com os resultados observados nesse trabalho comprova-se que a manutenção dos resíduos sobre o solo pode modificar o movimento da água aplicada por aspersores ou chuva. É usualmente documentado na literatura que a maior importância da manutenção de resíduos na cobertura do solo é no início do ciclo de crescimento das culturas (SINGH et al., 2014; WEI et al., 2015; ODHIAMBO et al., 2015). Entretanto, a combinação do uso de resíduos com sombreamento do dossel obteve os maiores valores de conteúdo de água no ML em todo o ciclo da cultura, representado pelo tratamento 4 t ha⁻¹ de resíduo sob o cultivo de soja. Ainda, pode-se observar que as perdas por E_s no tratamento sem resíduos sob cultivo de soja foram similares as observadas na área em pousio com 4 t ha⁻¹ (Figura 1) entretanto, estatisticamente, não houve diferença entre os tratamentos nos diferentes ciclos de evaporação.

CONCLUSÃO

A taxa de evaporação da água do solo, dentro de uma mesmo ciclo de secagem, foi maior no solo mantido com 2 t ha⁻¹ de resíduos na superfície na área em pousio (relação E_s/ET_o), indicando que a fração de solo exposta aos fatores meteorológicos influencia significativamente a evaporação. O sombreamento provocado pela área foliar da soja reduz significativamente a relação E_s/ET_o em relação aos solos em pousio, devido a atenuação da radiação solar pelo dossel das plantas.

Os microlisímetros podem ser uma ferramenta importante na medição direta da evaporação do solo, desde que seja observada adequada bordadura.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G. et al. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. *Agricultural Water Management*. 98 (6), 899–920. 2011.
- ALLEN, R.G, PEREIRA, L. S., RAES, M., SMIDTH, D. Evapotranspiration del cultivo: guías para determinación de los requerimientos de aguas de los cultivos. Estudio FAO Riego y Drenaje n. 56. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2006.
- ALLEN, R.G. et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. (Paper, 56). Roma: FAO - Irrigation and drainage, p.301. 1998.
- ALLIAUME, F., ROSSING, W. A. H., TITTONEL, P., DOGLIOTTI, S. Modelling soil tillage and mulching effects on soil water dynamics in raised-bed vegetable rotations. *European Journal of Agronomy*. 82: 268-281.
- DALMAGO, G. A. Dinâmica da água no solo em cultivos de milho sob plantio direto e preparo convencional. 2004. Tese. (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 245p. Porto Alegre, RS. 2004.
- DALMAGO, G. A. et al. Evaporação da água na superfície do solo em sistemas de plantio direto e preparo convencional. *Pesq. Agropec. bras.*, Brasília, v.45, n.8, p.780-790. 2010.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. 306p. Rio de Janeiro, RJ. 2006.
- HILLEL, D. Soil and water. *Physical Principles and Processes*, academic Press, New York, 288 pp.1971.
- JALOTA, S. K., PRIHAR, S. S. Effect of straw mulch on evaporation reduction in relation to rates of mulching and evaporativity. *J. Indian Soc. Soil Sci.* 38, 728–730. 1990.
- KLOCKE, N. L. et al. Soil water evaporation and crop residues. *American Society of Agricultural and Biological Engineers. Trans. ASABE* 52(1): 103-110, St. Joseph, Michigan www.asabe.org. 2009.
- KOTTEK, M. et al.. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol. Z.*, 15, 259-263, 2006.

ODHIAMBO, L.; IRMAK, S. Relative Evaporative Losses and Water Balance in Subsurface Drip and Center Pivot-Irrigated Soybean Fields. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 04015020-1. 2015.

RICHTER, G. L. et al. Estimativa da área de folhas de cultivares antigas e modernas de soja por método não destrutivo. *Bragantia*. 2014, vol.73, n.4, pp.416-425. ISSN 1678-4499. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0179>.

RITCHIE, J. T; BURNETT, E. Dryland evaporative flux en subhumid climate, II Plants influences, *Agron. J.*, 63:56-62. 1971

SINGH, R.; et al. Estimation of water requirement for soybean (*Glycine max*) and wheat (*Triticum aestivum*) under vertisols of Madhya Pradesh. *Indian Journal of Agricultural Sciences* 84, 2, 190–7, 2014.

SINGH, B., EBERBACH, P.L., HUMPHREYS, E. Simulation of the evaporation of soil water beneath a wheat crop canopy. *Agricultural Water Management*, 135: 19-26.

TODD, R. W. et al. Evaporation from soil influenced by crop shading, crop residue and wetting regime. *Trans. of the ASAE*. 34, 2, 461-466. 1991.

WEI, Z. et al. Modelling transpiration, soil evaporation and yield prediction of soyben in North China Plain. *Agricultural Water Management*. 147, 43-53. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2014.05.004>

ZHAO, N. et al. Dual crop coefficient modelling applied to the winter wheat–summer maize crop sequence in North China Plain: Basal crop coefficients and soil evaporation component. *Agricultural Water Management*. 117. 93 – 105. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2012.11.008>

ZRIBI, W. et al. Efficiency of inorganic and organic mulching materials for soil evaporation control. *Soil and Tillage Research*, 148, 40-4. 2015.

Tabela 1: Razão entre evaporação de água do solo e evapotranspiração de referência (E_s/ET_o) observada durante nos 12 ciclos de secagem do solo na área em pousio e cultivada com soja, nos diferentes níveis de cobertura do solo (0; 2 e 4 t ha⁻¹) e índice de área foliar da soja (IAF), entre Novembro de 2015 e Abril de 2016.

Ciclo de secagem	Período	ET _o (mm dia ⁻¹)	E _s /ET _o						IAF
			Área em pousio			Área com soja			
			0 t ha ⁻¹	2 t ha ⁻¹	4 t ha ⁻¹	0 t ha ⁻¹	2 t ha ⁻¹	4 t ha ⁻¹	
1°	20 a 25/11	4,98	0,30	0,32	0,31				
2°	28 a 30/11	5,62	0,14	0,13	0,15				
3°	03 a 07/12	4,72	0,52	0,60	0,51				
4°	30/12 a 02/01	3,75	0,63	0,72	0,66	0,69	0,54	0,56	1,2
5°	06 a 10/01	2,95	0,59	0,66	0,58	0,41	0,26	0,28	2,3
6°	12 a 23/01	6,31	0,16	0,17	0,16	0,17	0,15	0,15	3,3
7°	04 a 07/02	4,70	0,46	0,51	0,47	0,12	0,09	0,11	4,5
8°	20 a 22/02	4,48	0,48	0,63	0,60	0,12	0,12	0,11	4,6
9°	27 a 29/02	4,29	0,22	0,25	0,23	0,23	0,16	0,18	4,4
10°	05 a 07/03	4,23	0,47	0,52	0,50	0,23	0,15	0,23	4
11°	12 a 17/03	3,95	0,34	0,42	0,38	0,20	0,21	0,18	3,3
12°	28 a 31/03	3,38	0,53	0,61	0,55	0,34	0,38	0,37	1,4

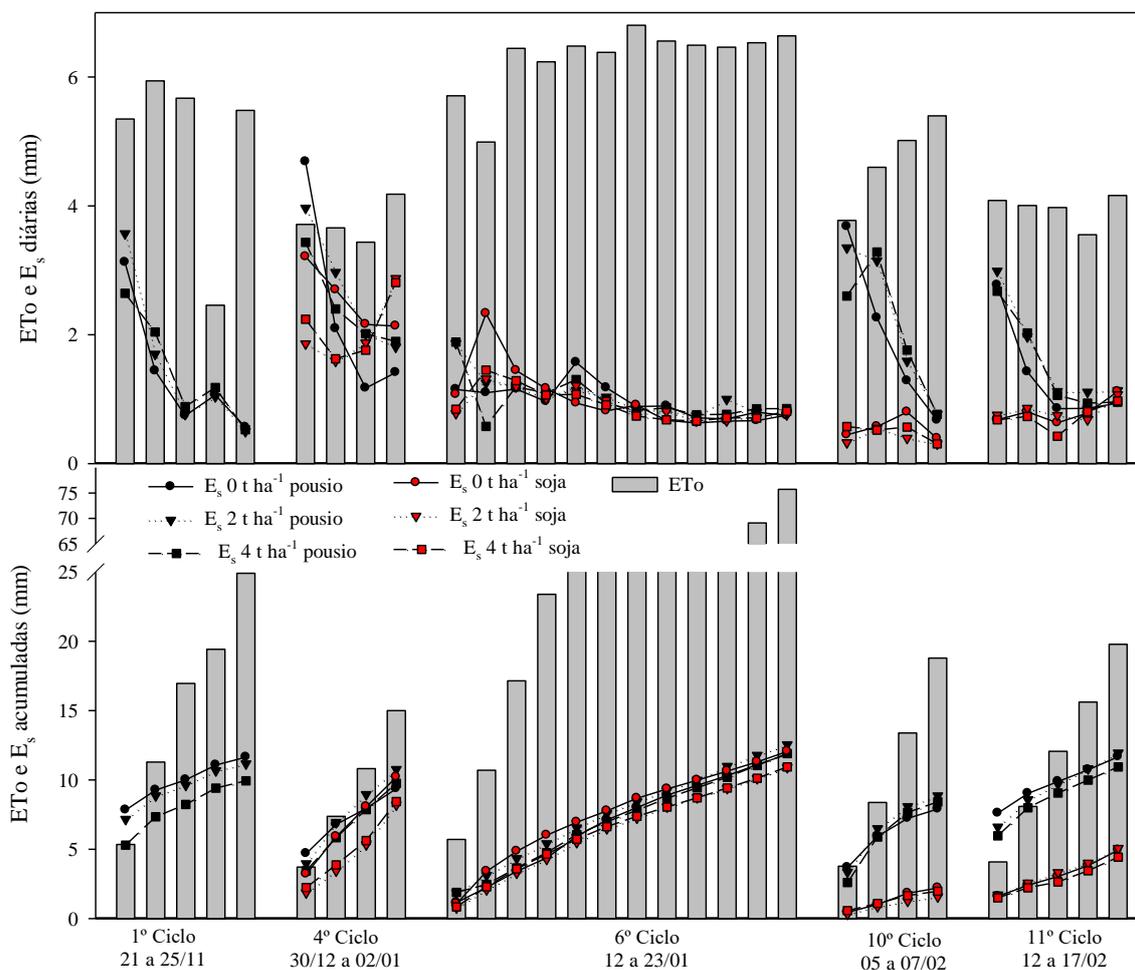


Figura 1: Evapotranspiração de referência (E_{To}) evaporação de água no solo (E_s) diárias e acumuladas nos tratamentos 0; 2 e 4 t ha⁻¹ de resíduos na superfície do solo, em cinco ciclos de secagem do solo: 1º (21 a 25/11/2015); 4º (30/12/2015 a 02/01/2016); 6º (12 a 23/01/2016); 10º (05 a 07/02/2016) e 11º (12 a 17/02/2016) em área em pousio e sob o cultivo de soja.