

Efeito da cobertura de resíduos de culturas na evaporação direta da água do solo

Paulo Sérgio Lourenço de Freitas^{1*}, Everardo C. Mantovani², Gilberto C. Sediya² e Luiz Cláudio Costa²

¹Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil.

²Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: psfрейtas@uem.br

RESUMO. No presente trabalho analisou-se a influência dos resíduos das culturas do milho, feijoeiro e trigo nas demandas evaporativas e duas classes texturais de solos. Os tratamentos constaram de três taxas de resíduos de culturas, 0, 50 e 100% da matéria seca produzida pelas culturas em sistemas irrigados; e três demandas evaporativas de 3, 6 e 8mm d⁻¹ e duas classes texturais de solos, areia franca e muito argiloso, contendo 84% de areia e 76% de argila respectivamente. O experimento foi conduzido em laboratório, com o solo acondicionado em colunas. A taxa de evaporação da água do solo descoberto apresentou comportamento distinto para as três demandas evaporativas utilizadas. Para a demanda evaporativa de aproximadamente 3mm d⁻¹ em tratamentos com resíduos da cultura do milho e do trigo para as taxas de 50 e 100% de matéria seca permaneceram no primeiro estágio de evaporação, enquanto para o tratamento com 50% de matéria seca produzida pela cultura do feijoeiro isto não ocorreu. Para a taxa de resíduos de 100% da matéria seca, para a cultura do feijoeiro, a demanda evaporativa influenciou a taxa de evaporação da água do solo, e a relação entre a evaporação para o tratamento com 100% de matéria seca e as demandas evaporativas de 7,0, 5,0 e 2,5mm d⁻¹ foi de 46, 41 e 47%, respectivamente.

Palavras-chave: demanda evaporativa, evaporação, textura do solo.

ABSTRACT. Effect of crops residues used as soil surface mulching to control water direct evaporation. The influence of corn, bean and wheat crops residues used as soil surface mulching to control the water evaporation demands, for two soils textural classes, was analyzed in the present work. The treatments consisted of three layers of crop residues, corresponding to 0, 50 and 100% of dry matter produced by irrigated cropping systems, and three water evaporative demands of 3, 6 and 8mm d⁻¹, for two soil textural classes, silty sand and heavy loamy soils, with 84% of sand and 76% of clay, respectively. The experiment was carried out in laboratory, with the soil sample conditioned in a 45-cm high and 20-cm nominal diameter PVC pipes columns. The water evaporation rate from the bare soil column presented different behavior for the three water evaporation demands tested. For water evaporative demand of approximately 3mm d⁻¹, the treatments with corn and wheat crops residues, which represented mulching layer of 50 and 100% of dry matter, the water evaporation rate reached only the first evaporation stage. For treatment with 50% of dry matter with residues produced by bean crop, the evaporation stage moved beyond the first evaporation stage. Finally, for mulching with 100% of bean crop dry matter, the rate of soil water evaporation was influenced by the evaporative demand tested. The relationship among evaporation rate for treatment with 100% of dry matter and the water evaporative demands of 7,0, 5,0 and 2,5mm d⁻¹ were 46, 41 and 47%, respectively.

Key words: evaporation demands, evaporation, soil texture.

Introdução

A taxa de evaporação da água do solo pode ser agrupada em diferentes estádios. O primeiro estágio pode durar de um a três dias, conforme a magnitude da taxa de evaporação, que, nesta fase, depende das condições atmosféricas externas, sendo esta de

aproximadamente 90% da demanda evaporativa. A duração do primeiro estágio é influenciada pela taxa de evaporação, pela profundidade do solo e pelas propriedades hidráulicas do solo. Durante o segundo estágio, a superfície torna-se seca e a evaporação ocorre abaixo da superfície. O vapor d'água alcança a

superfície por difusão molecular e por fluxo de massa, causado pela flutuação da pressão do ar (Jensen *et al.*, 1990).

Para calcular a evaporação da água do solo, Ritchie (1972) estabeleceu os índices U e α . O primeiro refere-se à quantidade de água evaporada no primeiro estágio, portanto, depende dos atributos do solo, já o segundo corresponde à taxa de evaporação da água do solo no segundo estágio. Quando medido em campo, o valor de U varia de aproximadamente 5mm, para solo arenoso, a 14mm, para solo de textura mais argilosa (Ritchie e Jonhson, 1990).

O modelo de Ritchie considera as fases da evaporação da água do solo descritas por Philip (1957). Na fase 1, a superfície do solo está úmida. A evaporação apresenta valor constante e limitado apenas energia disponível, e já na fase 2, a superfície do solo está seca e a evaporação é dependente dos parâmetros físicos do solo e a fase 3 o solo está suficientemente seco para não haver crescimento e desenvolvimento da cultura.

Bond e Willis (1970) estudaram a influência da demanda evaporativa na duração do primeiro estágio e na magnitude da evaporação acumulada. O experimento foi conduzido em laboratório, utilizando colunas com solo franco-arenoso. Os tratamentos constaram de seis demandas evaporativas que variaram de 4,7 a 13,4mm d⁻¹. Com o aumento da demanda evaporativa, a quantidade de água evaporada no primeiro estágio diminuiu. Entretanto, a quantidade de água evaporada nos 25 dias seguintes, após ter cessado o primeiro estágio, aumentou com a elevação da demanda evaporativa. Quando esta é superior a 10mm d⁻¹, a duração do primeiro estágio é muito curta, isto é, de aproximadamente dois dias, enquanto para uma demanda de aproximadamente 1mm d⁻¹ a duração do primeiro estágio é de mais ou menos 50 dias, fato este também constatado por Hillel (1971).

Lascano e Van Bavel (1986) avaliaram um modelo de evaporação de água do solo. Para tanto, instalaram um experimento em campo com microlisímetros de pesagem, para três ciclos de secamento do solo. Para os dois primeiros ciclos, a evaporação decresceu de 8 para 0,7mm d⁻¹. No entanto, no terceiro ciclo a taxa de evaporação permaneceu constante em 4mm d⁻¹, para os três primeiros dias, e depois decresceu para 0,4mm d⁻¹. Também Rodrigues (1996), utilizando metodologia dos microlisímetros descrita por Boast e Robertson (1982) para determinação dos parâmetros U e α da equação de Ritchie (1972), encontrou o valor de 6,04 para o valor de U .

Prihar *et al.* (1996) estudaram o efeito de resíduos da cultura do trigo, utilizados de várias maneiras, nas perdas por evaporação de água em colunas de solos, para três tipos de solos e dois regimes de evaporação. Os valores de U e α da equação de Ritchie foram obtidos. O valor de U foi independente da taxa de resíduo, mas bastante afetado pelo tipo de solo, enquanto os valores de α decresceram com as taxas de resíduo e de evaporação e com a textura do solo.

A evaporação da água do solo, com coberturas de resíduos culturais, é função do tipo de resíduo. Unger e Parker (1976) trabalharam com resíduos de várias culturas, em diferentes quantidades, e constataram que, para reduzir a evaporação da água de um solo para o mesmo nível de evaporação com resíduos da cultura do trigo de 8.000kg ha⁻¹ foram necessários 32.000kg ha⁻¹ de resíduos de algodão e 16.000kg ha⁻¹ de resíduos da cultura do sorgo.

O presente trabalho teve como objetivo analisar a influência dos resíduos das culturas do milho, do trigo e do feijoeiro nas fases de evaporação da água do solo para duas classes texturais de solos.

Material e métodos

O experimento foi realizado no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Agrícola, pertencente à Universidade Federal de Viçosa, Estado de Minas Gerais. As coordenadas geográficas locais são 20°45'S, longitude 42°51'W e altitude de 651m.

As colunas de solo foram construídas com 45cm de altura, utilizando tubos de PVC com 20cm de diâmetro nominal. As colunas foram perfuradas nas bases, para possibilitar a drenagem da água do solo. Foram construídas 39 colunas de PVC, sendo três destas sem perfurações nas bases. Depois de construídas, cada coluna foi pesada sem solo, numa balança com capacidade mínima de 50g, máxima de 32.100g e precisão de 1g.

No experimento foram utilizadas duas classes texturais de solos, um procedente de Janaúba-MG (projeto Gorutuba, pertencente à CODESVAF-Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco) e o outro da Estação Experimental de Coimbra-MG (pertencente à Universidade Federal de Viçosa). Os solos foram destorroados, peneirados e secos ao ar, antes de serem colocados dentro das colunas. Os dois solos utilizados foram classificados, de acordo com sua textura, como muito argiloso e areia franca, cuja composição granulométrica está apresentada na Tabela 1. Os solos foram colocados nas colunas em camadas e, então, agitadas manualmente, para melhor acondicionamento do solo. Após o preenchimento das colunas, realizou-se

outra pesagem, objetivando determinar o peso das colunas com solo, para efetuar o cálculo da densidade média de cada solo.

Tabela 1. Análise granulométrica.

Solo	Areia Grossa (%)	Areia Fina (%)	Silte (%)	Argila (%)
Areia franca	25	59	11	5
Muito argiloso	6	3	15	76

A densidade média do solo muito argiloso foi de 0,98 e a do solo areia-franca, de 1,19. As curvas de retenção da água no solo estão apresentadas na Figura 1.

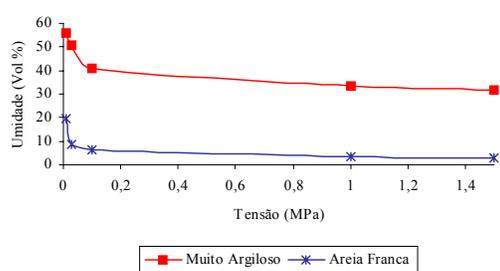


Figura 1. Curvas de retenção para duas classes de solos: areia franca e muito argiloso.

Cada fileira constou de 13 colunas: 12 colunas foram preenchidas com solo (6 contendo solo muito argiloso e as outras 6, solo areia franca) e um recipiente com água, para determinação da demanda evaporativa.

Visando promover a evaporação somente nas superfícies dos solos e da água, construíram-se três suportes para lâmpadas. Cada suporte tinha 7m de comprimento e 15 bocais, com lâmpadas de mesma potência; 13 destes para evaporar água e dois dispostos nas extremidades para uniformizar a demanda atmosférica naquelas colunas de solo das extremidades. Foram adotados um espaçamento de 0,5m entre as lâmpadas e uma distância de 1,0m entre as fileiras. Sobre cada uma das fileiras de colunas posicionou-se um suporte, onde cada lâmpada foi colocada acima do centro de cada coluna. O bocal foi instalado na estrutura, distando 57cm do piso, de modo que as lâmpadas distassem 10cm da superfície evaporante. As demandas evaporativas de 3, 6 e 8mm d⁻¹ foram obtidas ao utilizar lâmpadas com 40, 100 e 150 watts de potência. O sistema era acionado por um temporizador, que permitia que as lâmpadas permanecessem acessas por 12 horas durante o dia e fossem desligadas à noite.

Delineamento experimental

O experimento foi composto por 39 colunas de PVC, sendo 36 colunas preenchidas com duas classes de solo (18 colunas com solo muito argiloso e as demais com o solo areia franca) e três colunas de PVC cheias com água, para determinar a demanda evaporativa. O experimento foi em fatorial de 3 x 3 x 2, sendo os tratamentos constituídos de três demandas evaporativas, três taxas de resíduos de culturas e duas classes de solo. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com duas repetições. As colunas foram distribuídas ao acaso, de modo que o centro delas estivesse situado abaixo da respectiva lâmpada incandescente.

Para definição das taxas de resíduos, considerou-se uma produtividade média das culturas do milho, do trigo e do feijoeiro produzidas em sistemas irrigados. Considerou-se que as culturas do milho, do trigo e do feijoeiro produzem, em média, 10.000, 7.000 e 3.000kg ha⁻¹ de resíduos, cujo valor médio depende de muitos fatores, como genéticos, edáficos, práticas culturais e climáticos.

Utilizou-se no experimento 50% e 100% da quantidade de resíduos das culturas. Em condições experimentais, torna-se difícil trabalhar com quantidades de resíduos da ordem de t. ha⁻¹. Entretanto, com o valor da área de seção transversal das colunas de PVC (314,16cm²), pode-se converter a quantidade de resíduos existentes em 1 ha em gramas por coluna. Para as culturas do milho, trigo e feijoeiro, obtiveram-se 15,7 e 31,4; 11,78 e 23,56; e 9,4 e 4,7g de resíduos por coluna, respectivamente, o que corresponde a 50% e 100% da quantidade da cobertura de resíduos disposta sobre o solo.

Antes de serem colocados nas colunas, os resíduos foram dispostos na plataforma de colheitadeira, para obter as condições de campo, e depois distribuídos em suas superfícies de modo uniforme, recobrando igualmente os solos. As superfícies dos solos para os tratamentos com e sem resíduos situaram-se 2cm abaixo da borda da coluna de PVC. Em seguida, procedeu-se à saturação das 36 colunas de solo, que foram tapadas com plástico, para não permitir perdas por evaporação, e deixadas em repouso por cinco dias, de modo que a água excedente fosse drenada. No momento da saturação, os tratamentos sem resíduos na superfície foram protegidos com um disco de feltro, com o objetivo de reduzir o impacto direto da água, o que conseqüentemente causaria desprendimento de argila e ocasionaria o selamento do solo.

Decorrido o período de drenagem, acionou-se o sistema de lâmpadas, que permaneciam em funcionamento por 12 horas, visando simular o

fotoperíodo.

Obtenção dos dados

A coleta de dados foi realizada durante um período de 28 dias. Com a finalidade de obter maior regularidade e precisão nos resultados, fixou-se um horário para a coleta de dados (8 horas da manhã). Diariamente, cada coluna de solo foi pesada, individualmente, numa balança com precisão de 1,0g, e nas colunas destinadas à determinação das demandas evaporativas realizou-se a reposição da água evaporada.

Aplicação de lâmina d'água simulando uma irrigação ou precipitação pluvial

Durante 21 dias avaliou-se a evaporação da água do solo com e sem resíduos, para diferentes demandas evaporativas (3, 6 e 8mm d⁻¹), para a condição de solo saturado e deixado drenar por cinco dias. Visando estudar o comportamento dos distintos tratamentos perante a condição de simulação de irrigação, aplicaram-se lâminas d'água nas superfícies das colunas de solo. As colunas de solo com e sem resíduos da cultura do milho receberam lâminas d'água de 20mm, isto é, um volume de 628ml.

Medição da temperatura do solo

Para obtenção da temperatura do solo, foram construídas duas colunas de PVC, com as mesmas características das utilizadas no experimento descrito anteriormente. Termopares foram inseridos em orifícios perpendiculares à parede da coluna de PVC, até o centro desta, a uma distância de 1, 3, 5, 10, 20 e 30cm da superfície do solo sem resíduos. Cada coluna foi preenchida com uma classe de solo, cujo acondicionamento seguiu o mesmo procedimento das demais colunas. Logo após, os solos foram saturados e cobertos com plástico. Depois de cinco dias de drenagem, as colunas de solo foram submetidas a uma demanda evaporativa de aproximadamente 8mm d⁻¹.

A aquisição dos dados de temperatura foi realizada automaticamente, por meio de uma aquisidora de dados acoplada a um computador. A temperatura foi medida em intervalos de 1 hora, em um período de 24 horas. Em seguida, o sistema foi desligado por um período de 24 horas, e religado novamente.

Umidades dos solos nas colunas no primeiro dia de pesagem

A umidade em cada coluna foi determinada pelas diferenças de pesos das colunas sem solo, do solo seco ao ar e do peso desta no primeiro dia do início

da evaporação da água do solo.

Resultados e discussão

Resíduos da cultura do milho

Demanda evaporativa de 8mm d⁻¹

A evaporação da água do solo ocorrida no tratamento de demanda evaporativa de 8mm d⁻¹ mostrou-se distinta para solos areia franca e muito argiloso, sem resíduos na superfície.

Em solo areia franca, para os primeiros dias, a evaporação foi superior à ocorrida em solo muito argiloso. Neste a evaporação decresceu acentuadamente nos primeiros dias, enquanto para o solo areia franca esta se manteve em níveis elevados até o quinto dia (Figura 2), quando comparada à demanda evaporativa, e então ocorreu uma redução acentuada.

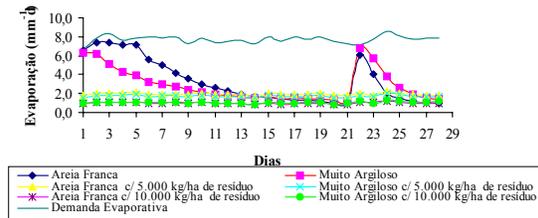


Figura 2. Evaporação da água do solo sem e com resíduos da cultura do milho, para uma demanda evaporativa em torno de 8mm d⁻¹.

A evaporação da água no solo areia franca foi superior à do solo muito argiloso, até o 15º dia, mas a partir deste dia ocorreu o inverso. O solo muito argiloso, após dois dias do início da evaporação, passou a apresentar fendas que promoveram a redução da evaporação da água do solo.

Os dois solos permaneceram no primeiro estágio de evaporação nos primeiros três dias, época em que esta depende somente da demanda evaporativa; após esse período a evaporação da água do solo passou para o segundo estágio, época em que ela depende das características hidráulicas do solo.

A redução na taxa de evaporação da água do solo para a demanda evaporativa de 8mm d⁻¹ (Figura 2), ocorrida nos primeiros dias, é igual à obtida por Lascano e Van Bavel (1986).

A evaporação nos tratamentos sem resíduos, para a demanda evaporativa de 8mm d⁻¹, foi superior à do tratamento com 5.000kg ha⁻¹ de resíduos até o 1º dia; a partir deste dia a evaporação do tratamento sem resíduo apresentou valores inferiores.

A temperatura do solo elevou-se com o decréscimo de sua umidade, sendo a temperatura máxima para o solo muito argiloso de 54º C e para

areia franca de 42,7 °C, para a profundidade de 1cm; para as profundidades de 3, 5 e 10cm, as diferenças de temperatura foram de aproximadamente 3 °C. Para as profundidades de 20 e 30cm, as temperaturas do solo areia franca foram superiores à do muito argiloso em aproximadamente 1 °C. A baixa umidade na superfície solo faz que a transferência de água das camadas abaixo da superfície para atmosfera se processe por difusão de vapor, o que ocorre no solo muito argiloso desde o segundo dia do início do processo de evaporação.

No vigésimo primeiro dia simulou-se uma irrigação, aplicando uma lâmina d'água de 20mm em todos os tratamentos. Nos tratamentos com 10.000kg ha⁻¹ de resíduos, para os solos areia franca e muito argiloso, ocorreu drenagem nas colunas de solo, portanto os dados foram descartados para este dia. Para os tratamentos com 5.000kg ha⁻¹ de resíduos, não ocorreu drenagem e, após a aplicação da lâmina d'água, não ocorreu aumento significativo da evaporação, como aconteceu para os solos sem resíduos, o que pode ser observado na Figura 2, pois os valores da evaporação foram próximos aos do início do processo em que o solo foi saturado. No entanto, a evaporação do solo muito argiloso foi superior à do solo areia franca, situação esta distinta do processo no início, quando o solo estava saturado.

Demanda evaporativa de 6mm d⁻¹

A evaporação da água do solo para demanda evaporativa de 6mm d⁻¹ (Figura 3) apresentou diferenças no comportamento, quando comparada com a demanda de 8mm d⁻¹ (Figura 2). No período inicial, as evaporações ocorridas nos dois solos foram praticamente iguais até o sexto dia, porém, a partir deste dia, a evaporação da água no solo areia franca superou a evaporação no solo muito argiloso, até o 20º dia, enquanto para a demanda evaporativa de 8mm d⁻¹ a evaporação no solo areia franca foi superior à do solo muito argiloso (Figura 2). A evaporação dos tratamentos sem resíduos foi superior à do tratamento com 5.000kg ha⁻¹ de resíduos, para todo o período.

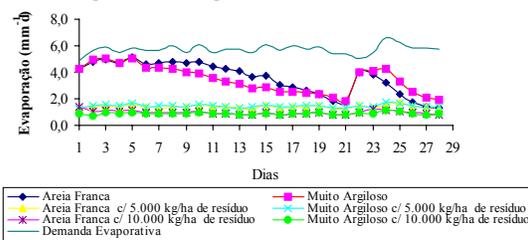


Figura 3. Evaporação da água do solo sem e com resíduos da cultura do milho, para uma demanda evaporativa em torno de 6mm d⁻¹

Após a aplicação da lâmina d'água de 20mm no 21º dia, a evaporação do solo muito argiloso foi superior à do solo areia franca, o que contrasta com o período inicial do experimento, quando o solo foi saturado e deixado drenar por cinco dias, tendo o solo areia franca apresentado evaporação superior.

Demanda evaporativa de 3mm d⁻¹

Para a demanda evaporativa de 3mm d⁻¹ (Figura 4), observou-se que a evaporação da água no solo permaneceu no primeiro estágio de evaporação, no período de coleta de dados do experimento, que foi de 21 dias; esses resultados são concordantes com os de Reichardt (1968) e Bonds e Willis (1970).

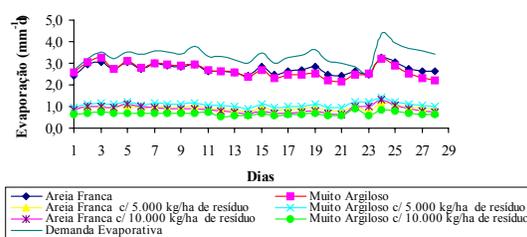


Figura 4. Evaporação da água do solo sem e com resíduos da cultura do milho, para uma demanda evaporativa em torno de 3mm d⁻¹.

A taxa de evaporação nos tratamentos com solo descoberto foi aproximadamente três vezes a dos tratamentos com coberturas de resíduos. O tratamento com 10.000kg ha⁻¹ de resíduos e solo areia franca apresentou valores superiores aos dos demais tratamentos com resíduos, nos primeiros dias do experimento, pelo fato de nessas colunas de solo a drenagem não ter cessado após os cinco dias da saturação.

A taxa de evaporação da água do solo descoberto para demandas evaporativas reduzidas em torno de 3mm d⁻¹ aproxima-se do valor da demanda evaporativa.

Analisando a Tabela 2, nota-se que a demanda evaporativa influenciou a quantidade de água evaporada em cada tratamento, considerando o solo descoberto e a quantidade de água evaporada nas colunas de solo, nos primeiros 21 dias. No tratamento com demanda evaporativa de 8mm d⁻¹, verificou-se uma quantidade de água evaporada menor, quando comparada à do tratamento com demanda evaporativa de 6mm d⁻¹. Para o solo muito argiloso, as quantidades de água evaporada nos tratamentos com demandas evaporativas de 8 e 3mm d⁻¹ foram aproximadamente iguais.

Considerando o tratamento com 5.000kg ha⁻¹ de resíduos da cultura, observou-se que a demanda evaporativa influenciou a quantidade de água evaporada

durante o período do experimento. A quantidade de água evaporada nos tratamentos com demandas evaporativas de 6 e 3mm d⁻¹ correspondeu a 71 e 47%, respectivamente, da quantidade evaporada no tratamento com a demanda de 8mm d⁻¹.

Tabela 2. Taxas médias de evaporação nos tratamentos com relação às demandas evaporativas.

Tratamentos	Demanda Evaporativa (mm d ⁻¹)					
	8	6	3	8	6	3
Solos e Taxas de Resíduos	Taxas (%)		Taxa de Evaporação (mm d ⁻¹)			
Areia franca	85	85	86	6,6	4,7	2,8
Muito argiloso	59	84	88	4,6	4,7	2,9
Areia franca com 5.000kg há ⁻¹ de resíduos	25	25	29	2,0	1,4	1,0
Muito argiloso com 5.000kg há ⁻¹ de resíduos	22	26	33	1,7	1,5	1,1
Areia franca com 10.000kg há ⁻¹ de resíduos	13	19	29	1,0	1,1	1,0
Muito argiloso com 10.000kg há ⁻¹ de resíduos	13	15	21*	1,0	0,9	0,7

*A drenagem não cessou após o início das pesagens.

Considerando o tratamento com 10.000kg ha⁻¹ de resíduos da cultura, verificou-se que a demanda evaporativa não influenciou a quantidade de água evaporada durante o período do experimento, para as demandas evaporativas de 8 e 6mm d⁻¹. Para a demanda evaporativa de 3mm d⁻¹, para o solo areia franca, a quantidade de água evaporada foi muito superior à do tratamento com solo muito argiloso, isto em razão de nos primeiros dias de pesagem nas colunas de solo areia franca a drenagem do solo ter sido pequena. No entanto, a drenagem continuava ocorrendo, pois a parte externa do fundo das colunas estava úmida.

Segundo o conceito U, estabelecido por Ritchie (1972), a evaporação da água do solo se processa no primeiro estágio, até atingir o valor de U para determinado solo. Após o início do segundo estágio, a evaporação não foi observada para a demanda evaporativa de 3mm d⁻¹, que permaneceu no primeiro estágio por todo o período de coleta de dados, cuja duração foi de 21 dias. A lâmina de água evaporada no período para as duas classes texturais de solos, no tratamento com solo descoberto muito argiloso e areia franca, foi de 56,4 e 57,2mm, respectivamente, para a demanda de 3mm d⁻¹ (Tabela 3).

Tabela 3. Lâmina d'água evaporada em cada tratamento em 21 dias, em experimento com resíduos da cultura do milho.

Tratamentos	Demanda evaporativa		
	8mm d ⁻¹	6mm d ⁻¹	3mm d ⁻¹
Solos e Taxas de Resíduos			
Areia franca	74,22	82,0	57,2
Muito argiloso	56,4	74,2	56,4
Areia franca com 5.000kg ha ⁻¹ de resíduos	40,2	28,9	19,0
Muito argiloso com 5.000kg ha ⁻¹ de resíduos	35,7	30,1	22,2
Areia franca com 10.000kg ha ⁻¹ de resíduos	20,4	19,8	18,6
Muito argiloso com 10.000kg ha ⁻¹ de resíduos	21,1	18,1	13,6
Demanda evaporativa	160,8	119,1	69,6

Prihar (1996) encontrou que o valor de U foi

independente da taxa de resíduos. Mas para o experimento em questão, nas evaporações da água do solo nos tratamentos com resíduos, o valor de U não foi atingido, pois não ocorreu mudança de fase.

Resíduos da cultura do trigo

Demanda evaporativa de 7mm d⁻¹

Os valores apresentados na Tabela 5 foram obtidos por meio da soma das evaporações, no experimento com resíduos da cultura do trigo, até 21 dias.

Como no tratamento com resíduos da cultura do milho e demanda de 8mm d⁻¹ é difícil observar a mudança na taxa de evaporação da água do solo, mas percebe-se na Figura 5 uma pequena mudança na inclinação das curvas de evaporação da água do solo para o solo areia franca a partir do quarto dia e para a classe de solo muito argiloso a partir do segundo dia. Para os tratamentos com resíduos não se observou mudança brusca na taxa de evaporação da água do solo, não ocorrendo a mudança de estágio de evaporação, resultados estes também concordantes Reichardt (1968) e Bonds e Willis (1970).

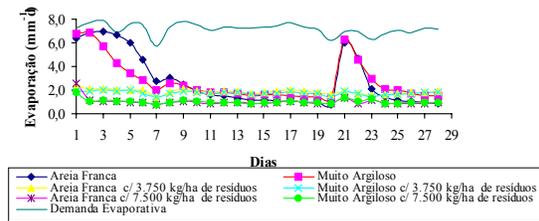


Figura 5. Evaporação da água do solo sem e com resíduos da cultura do trigo, para uma demanda evaporativa em torno de 7mm d⁻¹.

Demanda evaporativa de 5,2mm d⁻¹

Para o tratamento com resíduos de trigo e demanda evaporativa de 5,2mm d⁻¹, em média, observa-se na Figura 6 que nos tratamentos com solo descoberto a mudança na taxa de evaporação da água do solo ao longo do período apresenta uma pequena variação a partir do sexto dia. Para os demais tratamentos com resíduos da cultura do trigo na superfície do solo, para as taxa de resíduos de 3.500 e 7.000kg ha⁻¹, não ocorreram mudanças nas taxas de evaporação da água do solo não ocorrendo mudança de fase.

Demanda evaporativa de 3,0mm d⁻¹

Para os tratamentos com resíduos da cultura do milho e trigo não ocorreram diferenças entre os comportamentos das evaporações para os dois tratamentos com resíduos e as duas classes texturais

de solos, o que pode ser comprovado nas Figuras 4 e 7. O que ocorre é uma diferença nos valores da evaporação para as duas taxas de resíduos, tanto para a cultura do trigo como do milho, devendo-se ressaltar que o aumento na taxa de resíduos de 50% para 100% da produção média da matéria seca provoca uma redução na evaporação de aproximadamente 2,0 para 1,0mm d⁻¹, respectivamente.

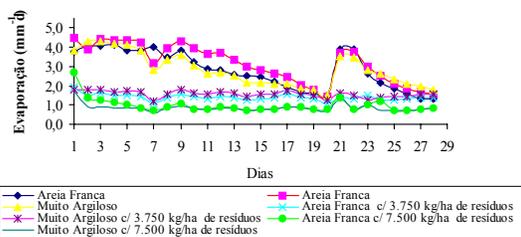


Figura 6. Evaporação da água do solo sem e com resíduos da cultura do trigo, para uma demanda evaporativa em torno de 5,2mm d⁻¹.

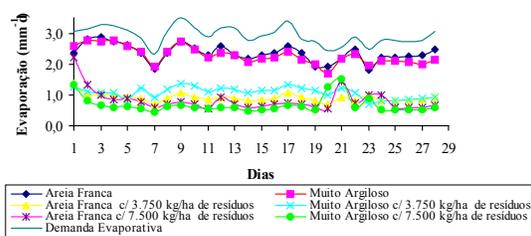


Figura 7. Evaporação da água do solo sem e com resíduos da cultura do trigo, para uma demanda evaporativa em torno de 3,0mm d⁻¹.

As relações entre as taxas de evaporação para os tratamentos com as demandas evaporativas estão na Tabela 4. As relações dos tratamentos com solo descoberto e resíduos da cultura do trigo com a demanda evaporativa foram, aproximadamente, iguais para os dados coletados com resíduos da cultura do milho (Tabela 2).

Tabela 4. Taxas de evaporação nos tratamentos com relação às demandas evaporativas.

Tratamentos	Demanda Evaporativa (mm d ⁻¹)					
	7		5,2		3	
Solos e Taxas de Resíduos	Taxas (%)		Taxa de Evaporação (mm d ⁻¹)			
Areia franca	79	79	84	5,7	4,1	2,5
Muito argiloso	63	74	85	4,6	3,9	2,5
Areia franca com 3.500kg ha ⁻¹ de resíduos	28	29	33	2,0	1,5	1,0
Muito argiloso com 3.500kg ha ⁻¹ de resíduos	25	32	35	1,8	1,7	1,1
Areia franca com 7.000kg ha ⁻¹ de resíduos	17	24	37	1,2	1,3	1,1
Muito argiloso com 7.000kg ha ⁻¹ de resíduos	16	18	24	1,1	1,0	0,7

A redução na quantidade e na taxa da água evaporada foi acentuada com a adição das duas taxas

de resíduos sobre a superfície do solo (Tabelas 2 e 4). A redução na demanda evaporativa, para os tratamentos com 100% da matéria seca, promoveu uma pequena redução na evaporação da água do solo, para estas condições.

Tabela 5. Lâmina d'água evaporada em cada tratamento em 21 dias, em experimento com resíduos da cultura do trigo.

Tratamentos	Demanda evaporativa		
	7mm d ⁻¹	5,2mm d ⁻¹	3mm d ⁻¹
Solos e Taxas de Resíduos			
Areia franca	59,2	68,0	47,9
Muito argiloso	54,7	59,0	46,9
Areia franca com 3.500kg ha ⁻¹ de resíduos	38,0	28,4	18,5
Muito argiloso com 3.500kg ha ⁻¹ de resíduos	35,2	32,0	22,8
Areia franca com 7.000kg ha ⁻¹ de resíduos	20,6	20,0	16,5
Muito argiloso com 7.000kg ha ⁻¹ de resíduos	20,3	17,1	13,1
Demanda evaporativa	144,9	104,8	59,9

As quantidades de água evaporada nos tratamentos com as duas taxas de resíduos, 50 e 100% da produção de matéria seca, para as culturas do milho e do trigo, a despeito da pequena diferença entre as demandas evaporativas nos dois períodos de coleta de dados, foram semelhantes (Tabelas 3 e 5).

Resíduos da cultura do feijoeiro

Demanda evaporativa de 7mm d⁻¹

As demandas evaporativas diminuíram, quando comparadas com as do tratamento com resíduo da cultura do milho, pois a temperatura média do ar no período em que os dados com resíduos da cultura do feijoeiro foram coletados foi menor. Porém, esse decréscimo na demanda evaporativa de aproximadamente 8 para 7mm d⁻¹ não alterou o comportamento da evaporação da água do solo sem resíduos, para este tratamento (Figura 8), quando comparado com o tratamento com demanda evaporativa de 8mm d⁻¹ para cultura do milho (Figura 4). No entanto, a evaporação da água do solo muito argiloso foi inferior à ocorrida na areia franca até 13º dia, enquanto no período de coleta dos dados com resíduos da cultura do feijoeiro (Figura 8) foram necessários apenas oito dias para atingir a igualdade. Pelo fato de a cultura do feijoeiro produzir menor quantidade de matéria seca, quando comparada com a cultura do milho, a evaporação da água do solo descoberto a partir do quinto dia foi inferior à evaporação do tratamento com uma taxa de 3.000kg ha⁻¹ de resíduos da cultura do feijoeiro, enquanto no tratamento com cobertura de resíduos da cultura do milho (Figura 4) a evaporação da água do solo descoberto foi sempre superior à do tratamento com matéria seca de 100% da produção, isto é, 10.000kg ha⁻¹ de resíduos da cultura do milho.

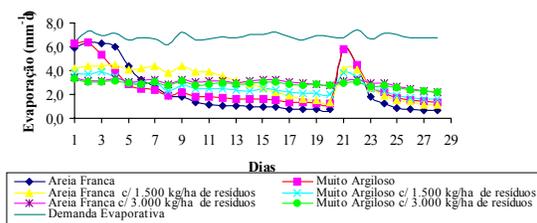


Figura 8. Evaporação da água do solo sem e com resíduos da cultura do feijoeiro, para uma demanda evaporativa em torno de 7mm d^{-1} .

Demanda evaporativa de 5mm d^{-1}

O comportamento da evaporação da água do solo sem resíduos foi o mesmo para os dois períodos analisados, com resíduos da cultura do milho e resíduos da cultura do feijoeiro (Figuras 5 e 9), respectivamente. Mas a evaporação da água do solo descoberto, a partir do 15º dia, foi inferior à evaporação da água do solo nos tratamentos com resíduos.

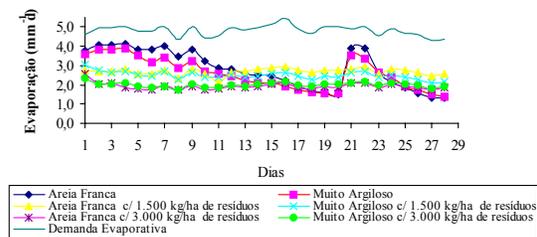


Figura 9. Evaporação da água do solo sem e com resíduos da cultura do feijoeiro, para uma demanda evaporativa em torno de 5mm d^{-1} .

A evaporação da água do solo sem resíduos na superfície, após a aplicação de uma lâmina d'água de 15mm , a 20 dias do início da coleta de dados, apresentou um comportamento diferente do observado na Figura 4, provavelmente em razão da formação de uma crosta na superfície da classe textural areia franca, que reduziu a taxa de infiltração, fazendo que a evaporação da água do solo, neste caso, aumentasse, pois a após aplicação da lâmina d'água o sistema de lâmpadas foi ligado novamente, não permitindo que a água atingisse maiores profundidades nas colunas com o solo areia franca.

Demanda evaporativa de $2,5\text{mm d}^{-1}$

A evaporação da água do solo para esta demanda evaporativa (Figura 10) não apresentou diferença de comportamento, quando comparada à apresentada na figura 4. Porém, a evaporação no tratamento com resíduos da cultura do feijoeiro foi maior que a evaporação ocorrida no tratamento com resíduos da

cultura do milho, mesmo para uma demanda evaporativa baixa.

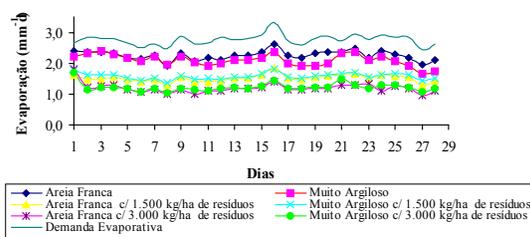


Figura 10. Evaporação da água do solo sem e com resíduos da cultura do feijoeiro, para uma demanda evaporativa em torno de $2,5\text{mm d}^{-1}$.

Segundo o conceito U, estabelecido por Ritchie (1972), a evaporação da água do solo se processa no primeiro estágio, até atingir o valor de U para determinado solo. Para as demandas evaporativas de 3 e $2,5\text{mm d}^{-1}$, a evaporação da água do solo permaneceu no primeiro estágio por todo o período de coleta de dados, cuja duração foi de 21 dias (Figuras 4, 7 e 11). A lâmina d'água evaporada no período para as duas classes texturais de solos, no tratamento com solo descoberto muito argiloso e areia franca, foi de $56,4$ e $57,2\text{mm}$, respectivamente, para a demanda de 3mm d^{-1} (Tabela 3); para a demanda evaporativa de $2,5\text{mm d}^{-1}$ (Tabela 6) ela foi de $42,2$ e $45,1\text{mm}$, respectivamente.

Tabela 6. Lâmina d'água evaporada em cada tratamento em 21 dias, em experimento com resíduos da cultura do feijoeiro.

Tratamentos Solos e Taxas de Resíduos	Demanda Evaporativa		
	7mm d^{-1}	5mm d^{-1}	$2,5\text{mm d}^{-1}$
Areia franca	48,8	60,3	45,1
Muito argiloso	50,6	53,7	42,2
Areia franca com 1.500kg há^{-1} de resíduos	67,0	53,5	30,2
Muito argiloso com 1.500kg há^{-1} de resíduos	54,3	50,5	31,4
Areia franca com 3.000kg há^{-1} de resíduos	62,0	38,5	23,8
Muito argiloso com 3.000kg há^{-1} de resíduos	58,9	39,7	24,4
Demanda evaporativa	136,6	97,3	55,0

Conclusão

A taxa de evaporação da água do solo descoberto apresentou comportamento distinto para as três demandas evaporativas.

Para a demanda evaporativa de aproximadamente 3mm d^{-1} , o tratamento com solo descoberto permaneceu no primeiro estágio de evaporação, pelo período de 21 dias do experimento.

O conceito U, estabelecido por Ritchie (1972) para definir o final do primeiro estágio, não foi observado para as demandas evaporativas de $2,5$ e 3mm d^{-1} , para o experimento em colunas de solo, realizado em laboratório. Para estas demandas, o solo permaneceu no primeiro estágio de evaporação durante o período de coleta de dados, ou seja, 21

dias.

Os tratamentos com resíduos da cultura do milho e do trigo para as taxas de 50 e 100% de matéria seca permaneceram no primeiro estágio de evaporação, enquanto para o tratamento com 50% de matéria seca produzida pela cultura do feijoeiro isto não ocorreu.

Para a taxa de resíduos de 100% da matéria seca, para as culturas do milho e do trigo, a demanda evaporativa teve pequena influência na redução na evaporação da água do solo, que foi de aproximadamente 20% da evaporação ocorrida no tratamento com solo descoberto, para as duas classes de solo.

Para a taxa de resíduos de 100% da matéria seca, para a cultura do feijoeiro, a demanda evaporativa influenciou a taxa de evaporação da água do solo, e a relação entre a evaporação para o tratamento com 100% de matéria seca e as demandas evaporativas de 7,0, 5,0 e 2,5mm d⁻¹ foi de 46, 41 e 47%, respectivamente.

A redução na evaporação da água do solo promovida pelos resíduos de culturas dispostos sobre a superfície do solo, em sistema irrigado em plantio direto, permitiria uma aplicação de lâmina d'água menor, no início do crescimento da cultura, propiciando uma economia de água e energia.

Referências

- BOAST, C.W.; ROBERTSON, T.M. A "micro-lysimeter" method for determining evaporation from bare soil: description and laboratory evaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v.46, p.686-696, 1982.
- BOND, J.J.; WILLIS, W.O. Soil water evaporation: first stage drying as influenced by surface residue and evaporation potential. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v.34, p.924-928, 1970.
- HILLEL, D. *Soil and water: physical principles and processes*. New York: New York Academic press, 1971.
- JENSEN, M. *et al.* Evapotranspiration and irrigation water requirements. New York: ASCE, 1990. (Manuals and reports on engineering practice, 70).
- LASCANO, R.J.; VAN BAVEL, C.H.M. Simulation and measurement of evaporation from a bare soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v.50, p.1127-1133, 1986.
- PHILIP, J.R. Evaporation and moisture and heat fields in the soil. *J. Meteorol.*, Bournemouth, v.14, p.354-366, 1957.
- PRIHAR, S.S. *et al.* Residue management for reducing evaporation in relation to soil type and evaporativity. *Soil Use Manag.*, Wallingford, v.12, p.150-157, 1996.
- REICHARDT, K. *Estudo do processo da evaporação da água do solo*. 1968. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1968.
- RITCHIE, J.T. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. *Water Resour. Res.*, Washington, DC, v.8, n.5, p.1204-1213, 1972.
- RITCHIE, J.T.; JONHSON, B.S. Soil and plant factors affecting evaporation In: *Irrigation of Agricultural Crops, Agronomy Monograph*, 30, p.363-390, 1990.
- RODRIGUES, L.N. *Análise e teste do modelo de Ritchie: estudo de caso para a determinação da evapotranspiração do feijoeiro (Phaseolus Vulgaris L.) irrigado*. 1996. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1996.
- UNGER P.W.; PARKER, J.J. Evaporation reduction from soil with wheat, sorghum, and cotton residues. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v.40, p.938-48, 1976.

Received on September 19, 2003.

Accepted on March 23, 2004.