

CONDUTÂNCIA HIDRÁULICA E TEMPO DE RESPOSTA DE TENSIÔMETROS UTILIZADOS EM CULTIVOS FERTIRRIGADOS

HYDRAULIC CONDUCTANCE AND RESPONSE TIME OF TENSIOMETERS USED IN CULTIVATIONS UNDER FERTIRRIGATION

Olívio José Soccol¹, Denis Cesar Cararo², Ênio Farias de França e Silva³, Mario Nestor Ullmann⁴

Recebido em: 22/09/2004; aprovado em: 11/10/2005.

RESUMO

O tensiômetro tem sido largamente utilizado como ferramenta no manejo da irrigação, tendo em vista sua praticidade, baixo custo e satisfatória precisão na determinação da tensão de água do solo. Com a tendência crescente do uso da fertirrigação, não se dispõe de dados a respeito das possíveis interações desta prática na condutância hidráulica e no tempo de resposta das cápsulas de cerâmica utilizadas nos tensiômetros. O trabalho procurou avaliar possíveis alterações na condutância hidráulica (CH) e no tempo de resposta (TR) de cápsulas de cerâmica após as mesmas terem sido submetidas aos seguintes tratamentos: (a) imersão pelo período de 30 dias em solução fertilizante com concentrações iônicas crescentes; (b) utilização no monitoramento da disponibilidade hídrica da cultura do pimentão cultivado em solo arenoso e argiloso, sob irrigação e fertirrigação. Verificou-se aumento da condutância hidráulica e redução dos tempos de resposta com o aumento da concentração da solução a que as cápsulas foram imersas; redução da condutância hidráulica após o período de cultivo do pimentão; não influência do acréscimo de fertilizantes à água de irrigação nas características avaliadas; não influência da textura do solo na condutância hidráulica e no tempo de resposta a tensão de 60 kPa.

PALAVRAS-CHAVE: condutância, tensiometria, cápsulas porosas.

SUMMARY

The tensiometer has been largely used for proper irrigation scheduling due to its simplicity, low cost and satisfactory precision. Although there is an increasing tendency of using fertirrigation, experimental data relating this practice to the cup hydraulic conductance and response time of the tensiometer are not available. The present study aimed to evaluate the changes on the hydraulic conductance (CH) and on the response time (TR) of ceramic cups after the cups were submitted to the following treatments: (a) immersion for 30 days in fertilizer solution with increasing concentrations; (b) use to monitor water availability to pepper grown in sandy and clay soils under irrigation and fertirrigation. CH increased and TR decreased accordingly to the increasing fertilizer solution concentration after immersion; CH decreased after the field trial with pepper; fertilizers added to the irrigation water did not influence CH and TR; soil texture did not affect CH and TR at 60 kPa tension.

KEY WORDS: conductance, tension, porous cups.

INTRODUÇÃO

O manejo adequado da irrigação consiste na aplicação de água em momento oportuno e em quantidade suficiente para atender às necessidades hídricas das culturas. Procedimento esse que é de fundamental importância para obtenção de altas produtividades com economia de água e energia (FARIA e COSTA, 1987). Isto é imperativo nos dias de

¹ Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor do Departamento de Engenharia Rural -CAV/UEDESC, CP 281, 88.520-000, Lages, SC. E-mail: soccol@cav.udesc.br

² Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor do Departamento de Engenharia - UFLA;

³ Engenheiro Agrícola, Pesquisador Bolsista, EMBRAPA Meio-Norte;

⁴ Professor do Departamento de Engenharia Rural CAV/UEDESC.

hoje, em que a escassez da disponibilidade de água e racionamento de energia é uma realidade.

Existem na literatura numerosos métodos de campo disponíveis para a programação da operação dos sistemas de irrigação. Saad e Libardi (1992) citam que todas elas são baseadas no conhecimento de alguma propriedade do solo, da planta ou da atmosfera. Dentre essas podemos destacar a tensiometria que se baseia no conhecimento das propriedades físico-hídricas do solo tem sido bastante utilizada dado a sua praticidade, precisão satisfatória e baixo custo (FARIA e COSTA, 1987).

O tensiômetro, salvo algumas modificações, consiste de um tubo de PVC, cheio com água, com uma cápsula de cerâmica fixada em sua extremidade inferior, uma vedação na parte superior do tubo e um indicador de vácuo, o qual pode ser um vacuômetro de coluna de mercúrio, um vacuômetro metálico tipo Bourdon ou digital, fixo ou móvel, também conhecido como tensímetro de punção (HILLEL, 1982; CASSEL e KLUTE, 1986; FARIA e COSTA, 1987; SAAD e LIBARDI, 1992).

Segundo Libardi (2000) e Hillel (1982) o tensiômetro possibilita, na prática, a medida da tensão da água no solo, também chamado potencial mátrico, na faixa de tensão de 0 - 80 kPa, que, segundo Hillel (1982), abrange a maior parte da medida de umidade do solo e em muitos solos agrícolas o tensiômetro alcança porcentagens maiores de que 50% do montante da água disponível para as plantas e em solos de textura grosseira mais de 75%.

Apesar de Faria e Costa (1987) e Saad e Libardi (1994) relatarem que o tensiômetro fornece leituras instantâneas, há necessidade da transferência de certo volume de água entre a cápsula porosa e o solo, conforme afirmam Richards e Gardner (1936). Essa quantidade de água necessita de certo tempo para a transferência, denominado tempo de resposta, o qual, segundo Klute e Gardner (1962), está sujeito à sensibilidade do medidor de vácuo, à condutância da cápsula e à condutividade hidráulica do solo no qual o instrumento está instalado. Para Cassel e Klute (1986) o tempo de resposta de um tensiômetro é a medida de sua sensibilidade às mudanças de sucção da água no solo junto à superfície

externa da cápsula. Os autores chamam a atenção para o fato, de que, se a condutividade hidráulica do solo ao redor da cápsula é suficientemente baixa, poderá ser um fator limitante à resposta do instrumento. É importante salientar que o tempo de resposta dos tensiômetros é inversamente proporcional a condutividade hidráulica do solo e a condutância da cápsula de cerâmica.

Em relação às cápsulas de cerâmica, Cassel e Klute (1986) afirmam que duas características são importantes: a pressão de borbulhamento e a condutância da cápsula. A pressão de borbulhamento é a pressão requerida para forçar a passagem de ar através da cápsula de cerâmica imersa em água, sendo o valor mínimo adequado para um bom funcionamento do tensiômetro igual a 100 kPa.

A condutância hidráulica é definida como a quantidade de água que passa através da cápsula de cerâmica, por unidade de tempo e por unidade de diferença de pressão. Maiores valores de condutância são interessantes visto que, juntamente com a sensibilidade do medidor de vácuo, determina o tempo de resposta do tensiômetro, como mostrado por Klute e Gardner (1962) e Towner (1980).

Condutâncias, no mínimo, da ordem de 0,001 mm² s⁻¹ e tempos de resposta da ordem de 1 minuto são adequados para a maior parte das aplicações no campo. A sensibilidade de medida do vácuo de um tensiômetro com vacuômetro tipo coluna de mercúrio e Bourdon são de 0,1 a 0,2 kPa e 1 a 2 kPa, respectivamente (CASSEL e KLUTE, 1986). Segundo os mesmos autores, em casos especiais em que há necessidade de tempos de resposta rápidos, o tensiômetro pode ser construído com cápsulas especiais de alta condutância, da ordem de 0,1 mm² s⁻¹.

Contudo, não se dispõe de dados relacionados à condutância e tempo de resposta de cápsulas utilizadas a campo, tão pouco, das possíveis alterações destas características em virtude do uso de práticas agrícolas tais como a fertirrigação. A utilização de soluções com concentrações iônicas relativamente altas pode proporcionar interferências na composição do material cerâmico formador das cápsulas. Outro fator importante, a ser analisado, seria o efeito de partículas físicas presentes no solo agirem como

material obstrutor dos poros da cápsula.

Sendo assim, esse trabalho teve como objetivo verificar possíveis alterações na condutância hidráulica e no tempo de resposta de cápsulas de tensiômetros submetidos a diferentes concentrações de fertilizantes utilizados na fertirrigação, bem como, sob fertirrigação a campo em solos de diferentes texturas.

MATERIAL E MÉTODOS

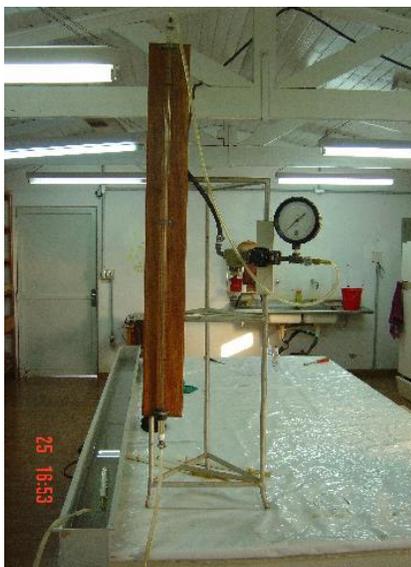
O experimento foi conduzido no Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", ESALQ/USP, Piracicaba, SP.

Inicialmente foram tomadas aleatoriamente 16 cápsulas de cerâmica da linha de fabricação, com as quais foram construídos 16 tensiômetros, conforme recomendação feita por Henderson e Rogers (1963). Em seguida o experimento foi dividido em três etapas subsequentes: a avaliação do instrumento novo, após imersão em solução com concentrações iônicas crescentes e após fertirrigação à campo. Tais avaliações consistiram de testes de condutância hidráulica e de tempo de resposta entre a tensão no meio externo à cápsula e a tensão medida por um tensiômetro de punção, calibrado e com capacidade de leitura de 1 kPa.

Para o teste de condutância foram utilizados um compressor, um manômetro e o dispositivo mostrado nas Figuras 1a e 1b. Para o teste de tempo de resposta foram utilizados um kitassato de 500 mL conectado à uma bomba de vácuo e um cronômetro com capacidade de leitura de 1/100 de segundo, além do tensiômetro de punção, conforme se observa na Figura 1c.

Na primeira etapa, realizou-se um ensaio de borbulhamento, o qual consistiu da saturação das cápsulas dos tensiômetros pela imersão em água destilada por 24 horas e aplicação de ar à pressão de 100 kPa, conforme descrito por Cassel e Klute (1986).

Na imersão foram utilizadas soluções com concentrações iônicas crescentes, adicionando-se água destilada os seguintes fertilizantes: cloreto de potássio, nitrato de cálcio, sulfato de amônio, sulfato de magnésio e ácido fosfórico, em proporções iônicas de modo a fornecer, via fertirrigação, os nutrientes necessários ao crescimento e desenvolvimento da cultura de pimentão. As quatro concentrações foram: 0%, 75%, 100% e 125% da extração dos nutrientes daquela cultura, correspondendo às condutividade elétrica na solução de 0,01 (água destilada), 1,27, 1,57 e 1,85 dS m⁻¹.



(a)



(b)



(c)

Figura 1. Equipamentos utilizados durante o ensaio de condutância hidráulica (a) e (b) e do tempo de resposta(c).

Os tratamentos consistiram da imersão de 4 cápsulas por solução em recipientes encobertos por um filme de polietileno preto, de modo a evitar a proliferação de algas, por um período de 30 dias.

Durante a fertirrigação à campo, quatro tensiômetros por tratamento permaneceram instalados à profundidade de 20 cm em um ambiente protegido, pelo período de 175 dias, ocasião em que foi monitorada a disponibilidade hídrica para a cultura do pimentão híbrido "Elisa", sob duas condições de solo: um franco-arenoso (Latossolo Vermelho Amarelo) e outro franco-argiloso (Terra Roxa Estruturada), submetidos à fertirrigação e somente à irrigação.

Os testes de condutância das cápsulas de cerâmica, foram realizados submetendo-as mesmas à pressão de ar de 100 kPa, cronometrando-se o tempo necessário para que o nível de água de um tubo transparente (seção transversal de 1,13 cm²), descesse de uma carga inicial H₁, para uma carga final H₂. A partir disso, calculou-se a condutância para cada cápsula seguindo a Equação 1 descrita por Libardi (2000).

$$C = \frac{a \cdot \ln\left(\frac{H_1}{H_2}\right)}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

em que,

C - condutância hidráulica, em cm² S⁻¹;

a - área da seção transversal do tubo transparente, em cm²;

H₁ e H₂ - carga hidráulica na cápsula porosa nos tempos 1 e 2, em cm;

t₂-t₁ - intervalo de tempo que o menisco de água leva para ir de H₁ para H₂, em minuto.

Os testes de tempo de resposta, realizados logo após cada teste de condutância, consistiram na introdução das cápsulas em kitassato com fixação de tensões de 40 kPa e 60 kPa na bomba de vácuo e registro do tempo para o vacuômetro atingir as tensões correspondentes. As tensões utilizadas no ensaio foram tomadas levando-se em consideração os limites médios da faixa de medição dos tensiômetros em campo.

A análise dos resultados foi realizada após aplicar-se a estatística aos dados utilizando-se o teste de Tukey a 5 % de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados médios dos ensaios foram submetidos ao teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. A Figura 2 apresenta os valores médios da condutância hidráulica das cápsulas novas e após permanecerem imersas, pelo período de 30 dias, em solução com concentrações iônicas crescentes. Os valores médios da condutância para as cápsulas novas não diferiram entre si estatisticamente, variando de 0,113 mm² s⁻¹ a 0,130 mm² s⁻¹, sendo que a média geral das cápsulas novas foi igual a 0,124 mm² s⁻¹. Para as cápsulas após a imersão os valores variaram de 0,07466 mm² s⁻¹ a 0,14998 mm² s⁻¹, sendo a média geral igual a 0,1174 mm² s⁻¹. Em ambos os casos, os valores foram superiores ao padrão de 0,003 mm² s⁻¹, recomendado por Cassel e Klute (1986).

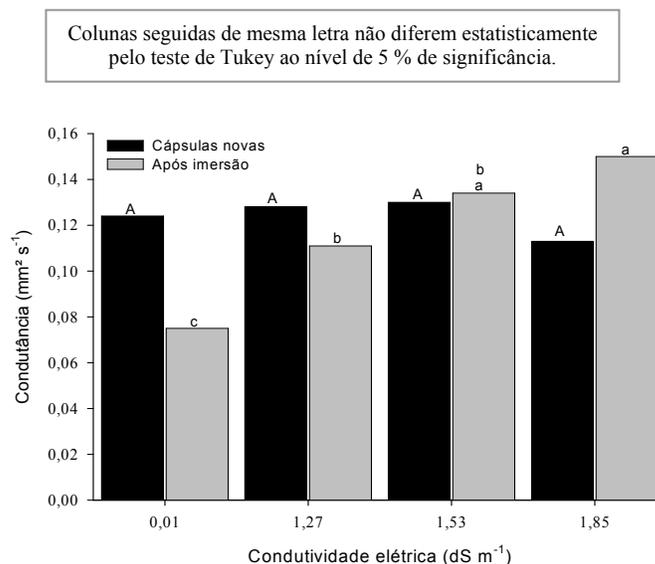


Figura 2- Condutância hidráulica média das cápsulas de cerâmica novas e após imersão na solução com concentrações crescentes.

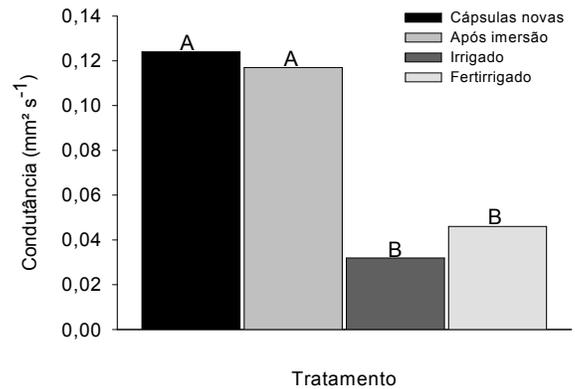
Os valores médios de condutância hidráulica das cápsulas após a imersão variaram de 0,075 mm² s⁻¹ a 0,150 mm² s⁻¹, tendo como valor médio geral 0,118 mm² s⁻¹. Houve diferença significativa entre o tratamento com condutividade elétrica de 0,01 dS m⁻¹ (água destilada) e os demais tratamentos. Com o aumento da condutividade elétrica, verificou-se o au-

mento da condutância hidráulica, portanto, houve incremento na condutância hidráulica em concordância com o aumento nas concentrações da solução. Isso pode ser explicado, haja visto, que as soluções foram preparadas utilizando-se ácido fosfórico e sulfato de magnésio, cujo pH é relativamente ácido, entre 6,70 e 4,90 para a solução com condutividade elétrica de 0,01 e 1,85 dS m⁻¹, respectivamente. Assim a solução pode ter proporcionado pequena corrosão na interface da cápsula, resultando no aumento da condutância hidráulica. Não houve diferença significativa entre os valores médios de condutância hidráulica das cápsulas novas e após imersão em solução.

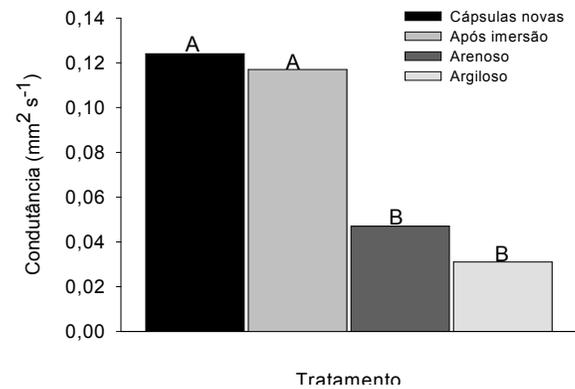
Os valores de condutância das cápsulas apresentaram redução significativa estatisticamente após o cultivo em relação às cápsulas quando novas (Figura 3), sendo que os valores médios variaram entre 0,046 mm² s⁻¹ a 0,031 mm² s⁻¹ e 0,051 mm² s⁻¹ a 0,034 mm² s⁻¹ para os tratamentos com fertirrigação e irrigação, e solo arenoso e argiloso, respectivamente. Mesmo com a redução, permaneceram dentro do limite mínimo aceitável segundo Cassel e Klute (1986). Não houve diferença significativa entre as cápsulas novas e após imersão e, entre as cápsulas submetidas ao cultivo irrigado e fertirrigado (Figura 3a). No entanto, observou-se redução na condutância hidráulica das cápsulas submetidas à irrigação e fertirrigação em relação às cápsulas quando novas, o que pode ser explicado pelo fato de que, por ocasião da instalação das placas no solo, ocorreu incrustação de solo nos poros das mesmas, fazendo com que a condutância hidráulica diminuísse independentemente, da textura do solo nas quais as cápsulas foram submetidas (Figura 3b).

Os valores médios do tempo de resposta das cápsulas novas e após a imersão na solução fertilizante em diferentes concentrações, mostraram tendência decrescente com o aumento da concentração iônica, para as duas tensões de ensaio, sendo essa diferença significativa estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade (Figura 4). Observa-se ainda, que houve aumento do tempo de resposta médio das cápsulas após a imersão, relativamente à condição de nova, excetuando-se o tratamento com a solução de maior concentração. O aumento do tempo de resposta pode ser explicado pela diminuição da

Colunas seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de significância.



(a)



(b)

Figura 3- Condutância hidráulica média das cápsulas de cerâmica: (a) novas, após imersão na solução, submetidas aos tratamentos de irrigação e de fertirrigação, e (b) novas, após imersão na solução, submetidas a

condutância hidráulica das submetidas aos tratamentos com soluções de concentrações crescentes, já discutido anteriormente.

Os valores médios do tempo de resposta das cápsulas novas e submetidas à imersão e posteriormente instaladas sob condições de irrigação e fertirrigação (Figura 5), mostraram comportamentos semelhantes para as duas tensões testadas. Verificou-se que não houve diferença significativa no tempo de resposta das cápsulas novas e submetidas a imersão, como também, entre as cápsulas irrigadas e fertirrigadas. Observou-se diferença significativa entre as cápsulas novas e imersas com relação às cápsulas submetidas à irrigação e fertirrigação, que pode ser explicado pela redução nos valores da condutância

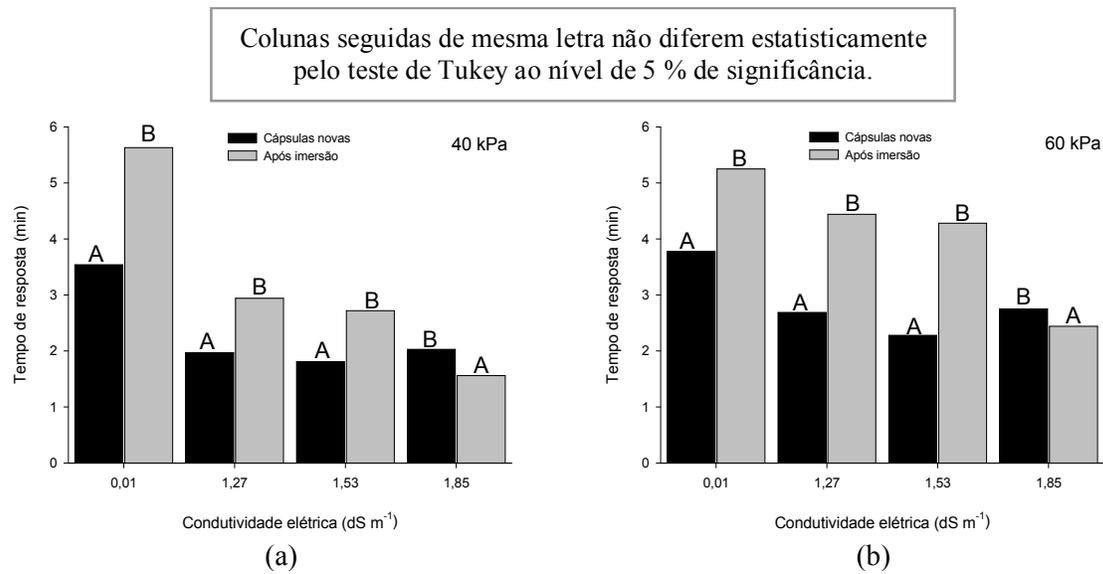


Figura 4- Tempo de resposta médio das cápsulas novas e após a imersão na solução com diferentes concentrações, para as tensões 40 kPa (a) e 60 kPa (b).

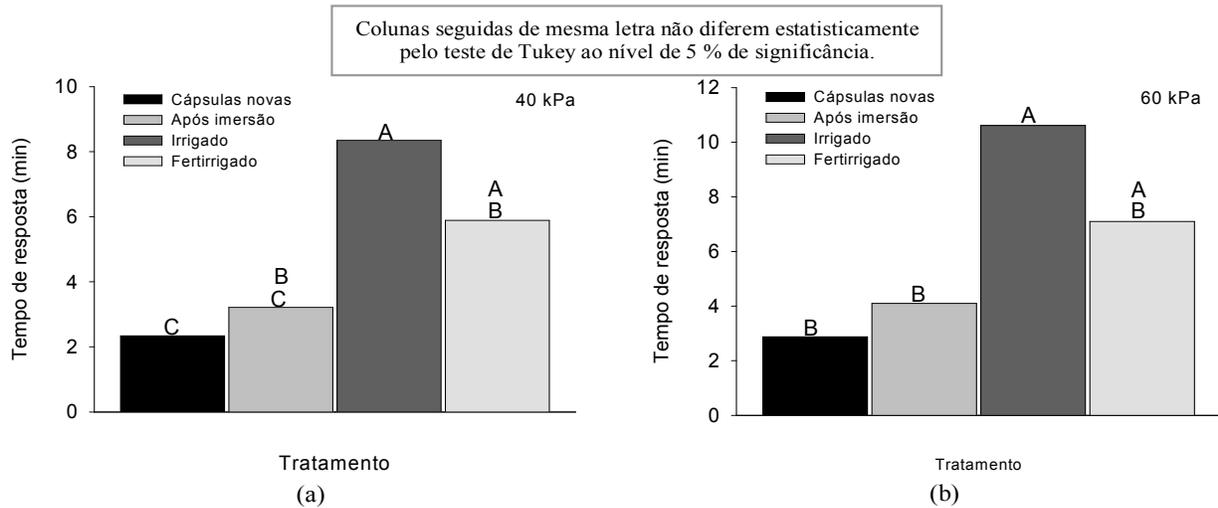


Figura 5- Tempo de resposta médio das cápsulas novas, após imersão na solução, para os tratamentos com irrigação e fertirrigação, nas tensões 40 kPa (a) e 60 kPa (b).

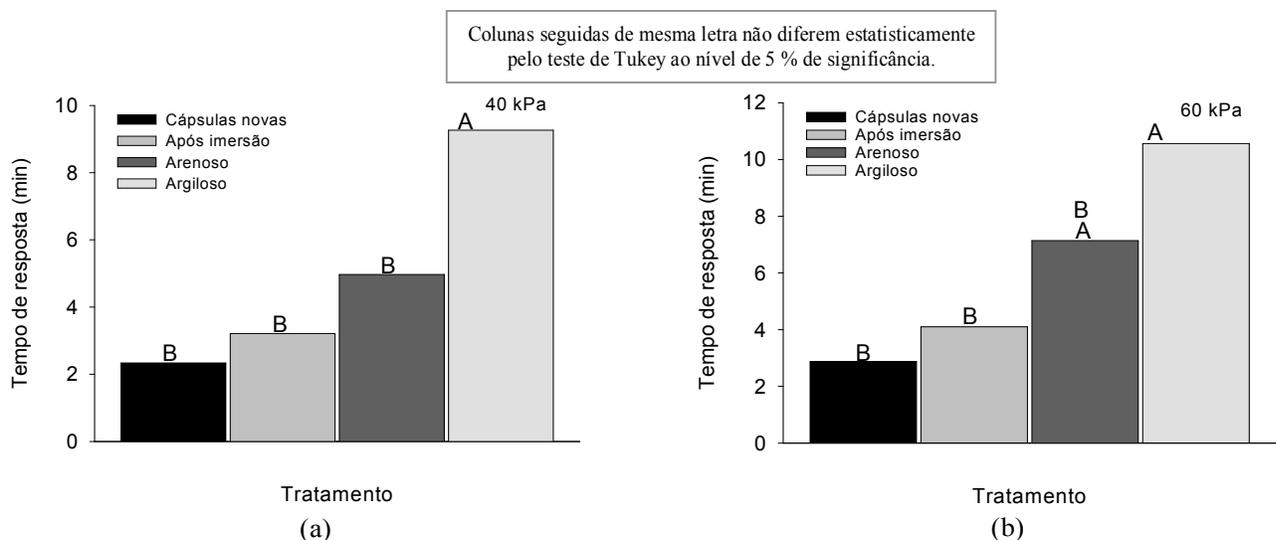


Figura 6- Tempo de resposta médio das cápsulas novas, após imersão na solução, para os tratamentos com solos de diferentes texturas, nas tensões de 40 kPa (a) e de 60 kPa (b).

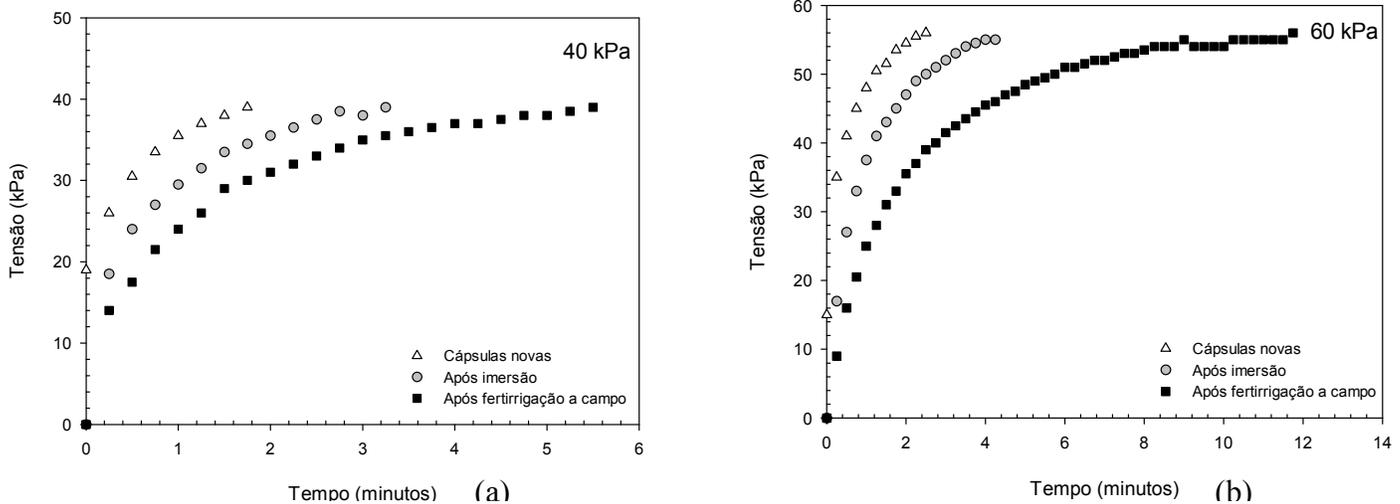


Figura 7- Variação de tensão em função do tempo para cápsulas novas e que sofreram imersão em solução fertilizante ou foram instaladas em campo sob fertirrigação, submetidas às tensões de 40 kPa e 60 kPa.

hidráulica destas, em consequência da obstrução dos poros das cápsulas, provocada pelas partículas físicas do solo.

Na Figura 6 são apresentados os valores médios do tempo de resposta das cápsulas, novas, após a imersão e instaladas em solo arenoso e argiloso. Observou-se comportamento semelhante para as duas tensões de ensaio, sendo o menor tempo de resposta obtido para as cápsulas novas. O maior tempo foi encontrado para as cápsulas instaladas em solo argiloso, seguida das médias para cápsulas instaladas no solo arenoso e cápsulas que sofreram apenas imersão.

Na Figura 7 apresentam-se as curvas de tensão em função do tempo para se atingir os dois patamares de tensão preconizados no estudo para os diferentes tratamentos.

CONCLUSÕES

As cápsulas porosas dos tensiômetros, quando novas, apresentaram condutâncias hidráulicas adequadas para a maior parte das aplicações em campo, enquanto que após uso no campo, apresentaram valores inferiores aos recomendados. Tensiômetros instalados em solo argiloso submetidos a tensão próxima a 40 kPa apresentaram maior tempo de resposta comparado àqueles instalados em solo arenoso, quando submetidos a tensões próximas de 60 kPa o tempo de resposta não apresentou diferença para ambas as texturas de solos.

A utilização de soluções fertilizantes ácidas possibilitou aumento na condutância hidráulica e conseqüente redução no tempo de resposta dos tensiômetros. O acréscimo de fertilizantes à água de irrigação, nos limites utilizados no presente trabalho, não interferiu na condutância hidráulica e tempo de resposta das cápsulas cerâmicas.

A textura do solo não influenciou os valores de condutância hidráulica e tempo de resposta das cápsulas cerâmicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CASSEL, D. K.; KLUTE, A. Water potential: tensiometry. In: KLUTE, A. (Ed.) **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, 1986. p.563-596. Second Edition.
- FARIA, R.T.; COSTA, A.C.S. **Tensiômetro: construção, instalação e utilização; um aparelho simples para se determinar quando irrigar**. Londrina, IAPAR, 1987, 24p. (IAPAR, Circular, 56).
- HENDERSON, D.W.; ROGERS, E.P. Tensiometer construction with plastic materials. **Soil Science Society of America - Proceeding**, v.27, p.239-240, 1963.
- HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. San Diego: Academic Press, 1982. 364p.

KLUTE, A; GARDNER, W.R. Tensiometer response time. **Soil Science**, v.93, n.1, p.204-207, 1962.

LIBARDI, P.L. Dinâmica de água no solo. 2.ed. Piracicaba, 2000. 509p.

RICHARDS, L.A; GARDNER, W. Tensiometers for measuring the capillary tension of soil water. **Journal of the American Society of Agronomy**, v.28, n.1, p.352-358, 1936.

SAAD, A.M.; LIBARDI, P.L. **Uso prático do tensiômetro pelo agricultor irrigante**. São Paulo: IPT, 1992, 27p. (IPT, Comunicação Técnica).

SAAD, A.M.; LIBARDI, P.L. **Aferição do controle da irrigação feito pelos agricultores utilizando tensiômetros de faixas**. São Paulo: IPT, 1994, 15p. (IPT, Comunicação Técnica).

TOWNER, G.D. Theory of time response of tensiometers. **Journal of Soil Science**, n.31, p.607-621, 1980.