



# UMS 2014

VI CONGRESSO SOBRE USO E MANEJO DO SOLO  
Recife (Pernambuco, Brasil), de 19 a 21 de março de 2014

## DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE TRANSPORTE DO ÍON SÓDIO UTILIZANDO O MODELO STANMOD

**Carolynne Wanessa Lins de Andrade<sup>(1)</sup>; Suzana Maria Gico Lima Montenegro<sup>(2)</sup>;  
Abelardo Antônio de Assunção Montenegro<sup>(1)</sup>; Jarbas Honório de Miranda<sup>(3)</sup>**

<sup>(1)</sup> Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE; Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos - CEP: 52171-900 - Recife/PE; E-mail: carolynelins200@gmail.com; <sup>(2)</sup> Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco. Av. Prof. Moraes Rego, 1235, Cidade Universitária, Recife, PE, CEP 50670-901; <sup>(3)</sup> Departamento de Engenharia de Biossistemas/USP-ESALQ, Avenida Pádua Dias, 11 - Piracicaba, SP, CEP: 13418-900.

### RESUMO

Nas últimas décadas, tem se observado o crescimento e os avanços tecnológicos da agricultura no Brasil. Com isso, o uso de fertilizantes, herbicidas, pesticidas e outras substâncias químicas aumentou, e aliado a pouca atenção dada aos possíveis impactos causados ao meio ambiente, transformou a natureza na principal destinatária dos resíduos gerados. Objetivou-se determinar os parâmetros de transporte do íon sódio através de Breakthrough Curves (BTC) e modelagem matemática utilizando o modelo STANMOD. O trabalho foi realizado em condições de solo saturado e regime permanente, via aplicação de uma solução de sódio na concentração de 300 mg.L<sup>-1</sup>. O experimento foi conduzido no Laboratório de Solos e Qualidade de Água, do Departamento de Engenharia de Biossistemas da ESALQ/USP, em Piracicaba-SP. Os parâmetros de transporte do sódio foram obtidos a partir de um ajuste numérico utilizando o software STANMOD. Pelos resultados obtidos, pôde-se verificar que houve interação entre o soluto e o solo, uma vez que o R foi superior a 1. O P foi inferior a 10 para todos os blocos, indicando que o transporte predominante foi por convecção. Houve um bom ajuste do modelo STANMOD aos dados observados em laboratório. O valor mais alto de D foi encontrado no primeiro bloco.

**Palavras-chave:** deslocamento miscível, fator de retardamento, coeficiente de difusão-dispersão.

### INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, tem se observado o crescimento e os avanços tecnológicos da agricultura no Brasil. Com esse desenvolvimento, o uso de fertilizantes, herbicidas, pesticidas e outras substâncias químicas aumentou, e aliado a pouca atenção dada aos possíveis impactos causados ao meio ambiente, transformou a natureza na principal destinatária dos resíduos gerados.

Os produtos químicos adicionados deliberadamente nas áreas agrícolas podem provocar uma contaminação tanto na superfície quanto nas camadas mais profundas do solo. Além disso, podem-se acrescentar as perdas econômicas, uma vez que o movimento dos solutos para as camadas mais profundas do solo torna-os indisponíveis para as culturas. De acordo com Santos et al. (2010), parte dos solutos pode ser absorvida pelas plantas, outra

perdida para as camadas mais profundas do solo por percolação e outra pode ser precipitada, quando a sua concentração excede a capacidade de solubilidade.

A concentração em que um determinado íon se encontra no solo também pode ser um fator que influencia a sua maior ou menor mobilidade. O manejo adequado do solo com a utilização correta dos produtos químicos pode auxiliar a maximizar os efeitos dos íons na zona radicular e a minimizar o deslocamento dos mesmos para as camadas profundas, que causa a contaminação das águas subterrâneas.

Segundo Alcântara & Camargo (2010), os modelos de simulação resultam de soluções da equação do transporte de solutos em relação ao avanço da interface entre o líquido deslocador e o deslocado, e se fundamentam no movimento por fluxo de massa, dispersão, difusão e retardamento dos solutos no solo. Os parâmetros de transporte mais relevantes a serem estimados são a velocidade de água no poro, o coeficiente de difusão-dispersão e o fator de retardamento (SILVA et al., 2012).

Programas computacionais que aplicam os modelos aos dados obtidos experimentalmente constituem-se em ferramentas para o estudo dos processos de transporte de solutos no solo. Existem vários softwares, como o STANMOD (SIMUNEK et al., 1999). O programa é capaz de simular os dados observados e verificar o ajuste entre os dados, além de fornecer parâmetros importantes do transporte de solutos.

O objetivo deste trabalho consiste na determinação dos parâmetros de transporte do íon sódio (fator de retardamento (R), número de Peclet (P), velocidade de água no poro (v), coeficiente de dispersão-difusão (D) e dispersividade ( $\lambda$ )) na concentração de 300 mg.L<sup>-1</sup>, através de curvas de distribuição de efluentes (Breakthrough Curves (BTC)) e modelagem matemática utilizando o software STANMOD.

### MATERIAL E MÉTODOS

#### Área de Estudo

O experimento foi conduzido no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Engenharia de Biossistemas da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - ESALQ/USP, situada em Piracicaba/SP. O solo foi coletado no distrito de Mutuca, município de Pesqueira -

PE (Figura 01), com coordenadas geográficas de 8°16'46" e 36°34'22" de latitude e longitude, respectivamente.

### Amostragens

O solo foi coletado na profundidade de 0 a 20 cm em quatro blocos distintos (Bloco 1, Bloco 2, Bloco 3 e Bloco 4). Os blocos existentes na área de estudo diferiam apenas na declividade do terreno, com valor de 6%, conforme Miranda (2010).

### Construção das Breakthrough Curves (BTC)

Para obtenção dos parâmetros de transporte de solutos no solo foram feitas, em laboratório, as Breakthrough Curves (BTC), ou seja, as curvas de distribuição do íon em relação ao volume de solução aplicada.

Foram utilizadas duas colunas de acrílico com 28 cm de comprimento e 6 cm de diâmetro interno, resultando em um volume de 791,68 cm<sup>3</sup>. Na parte inferior das colunas foi colocado um círculo de manta sintética sobre uma tela, definidos por um "cap".

Para iniciar o teste, primeiramente, a coluna foi saturada com água deionizada, processo esse realizado de forma lenta, por capilaridade, colocando-a em um balde e em seguida, adicionando a água por gotejamento ao longo das paredes do balde, até cerca de 2/3 da altura da coluna. Daí em diante, o conjunto foi mantido em repouso durante um período de 24 horas para completar a saturação. Após 24 horas em repouso (saturado), o processo de "lavagem" do solo foi iniciado, consistindo na passagem de água deionizada através da coluna por um período de 24 horas, com o objetivo de remover, por percolação da água, todos os íons presentes na solução do solo e do complexo de troca. Após a lavagem, verificou-se, em cada unidade experimental, se o fluxo estava em condição de regime permanente. Comprovada a condição de fluxo constante, deu-se início à passagem das soluções (pelas colunas de solo), com concentração de 300 ppm. A partir deste momento, os efluentes foram coletados sequencialmente em frascos com volume de 20 ml.

### Obtenção dos parâmetros de transporte pelo STANMOD

A partir dos dados experimentais obtidos em laboratório, foram construídas as BTC's para cada bloco estudado, sendo possível a determinação dos parâmetros de transporte pelo software STANMOD (versão 1.0), desenvolvido por Simunek et al. (1999). Os parâmetros calculados pelo modelo são fator de retardamento (R) e o número de Peclet (P). A umidade volumétrica do solo no ponto de saturação ( $\theta_{sat}$ ), a velocidade da água nos poros (v), o coeficiente de difusão-dispersão (D) e a dispersividade ( $\lambda$ ) foram calculados a partir dos valores de R e P.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da Figura 02 pode-se observar as curvas de distribuição do sódio (Breakthrough Curve (BTC)) na concentração de 300 mg.L<sup>-1</sup>, obtidas experimentalmente para cada bloco.

O desenvolvimento e a forma das curvas de distribuição de determinado íon caracteriza o

deslocamento miscível da solução aplicada; assim, indica a existência ou não de interação entre o soluto e o solo.

Em todas as BTC's do solo estudado foram atingidos pelo menos 80% da concentração inicial aplicada. A dificuldade em se atingir 100% da concentração inicial pode estar relacionada à baixa quantidade do sódio presente na solução, o que retardou o processo de lixiviação do soluto.

As setas presentes nas curvas de distribuição do sódio indicam o volume de solução aplicada pelo volume de poros da coluna (VP) em que a concentração relativa (C/C<sub>0</sub>) foi igual a 0,5. De acordo com Nielsen & Biggar (1962), um primeiro indicativo de que existe interação entre o soluto e solo é o número de volume de poros correspondente à concentração relativa de 0,5. Quando o valor do número de volume de poros correspondente à concentração for igual a 1, significa que não há interação entre o soluto e solo; quando for maior do que 1 significa há interação, ou seja, quando a solução passa no solo, parte do soluto é adsorvido pelo mesmo. Assim, como mostram as setas nas curvas, os valores de VP para C/C<sub>0</sub>=0,5 foram superiores a 1, indicando que para todas as concentrações estudadas houve interação entre o soluto e o solo.

Os parâmetros de transporte do sódio nos blocos com concentração de 300 ppm e as características das colunas estão apresentados na Tabela 01.

Verificou-se que para todas as concentrações nos quatro blocos, os valores correspondentes ao número de Peclet (P) foram menores que 10, indicando que o transporte predominante ocorreu por dispersão.

Observa-se que os valores de R estimados pelo STANMOD (Tabela 01) foram relativamente próximos dos valores indicados pelas setas nos gráficos, para todas as concentrações estudadas, indicando um bom ajuste do modelo.

O fator de retardamento (R) é um parâmetro que indica as interações que ocorrem entre as fases líquida e sólida durante o processo de percolação da solução no solo. De acordo com Melo et al. (2006), o R retrata a capacidade do solo em reter solutos enquanto o fluxo de massa avança. Foram encontrados valores elevados de R para todos os blocos estudados, sendo os maiores para os blocos 1 e 2.

Valores mais altos do coeficiente de difusão-dispersão (D) estão ligados às menores inclinações das BTC's e, conseqüentemente, ao aumento da faixa de mistura entre as soluções deslocadora e deslocada no perfil do solo (NIELSEN & BIGGAR, 1962). Observa-se que o valor mais alto de D foi para o bloco 1; verifica-se ainda que a BTC desse bloco está menos inclinada em relação as demais curvas. As amostras de solo submetidas à concentração de 300 ppm, em geral, apresentaram maiores valores de coeficiente de dispersão, caracterizando assim um efeito mais pronunciado da dispersão nesse solo. Essas amostras, também, apresentaram menores valores do número de Peclet (P), o que indica uma dispersividade mais importante do que nas demais concentrações.

Observou-se que valor do fluxo da solução de sódio na concentração de 300 ppm foi inferior no bloco 2; esse resultado pode ser explicado pelo processo de preenchimento das colunas.

## CONCLUSÕES

O modelo STANMOD obteve de maneira eficiente os parâmetros de transporte do sódio, o que auxiliará no entendimento da sua dinâmica no solo. Para todos os blocos estudados houve interação entre o soluto e o solo, havendo uma maior interação nos blocos 1 e 2. Para todos os blocos o transporte predominante ocorreu por dispersão. Houve um efeito mais pronunciado da dispersão no solo estudado.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal Rural de Pernambuco, a Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP, ao CNPq e a FACEPE.

## REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, M. A. K.; CAMARGO, O.A. Movimentação de nitrato em horizonte superficial e subsuperficial de Latossolo e Nitossolo com cargas variáveis. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.45, n.1, p.81-88, jan. 2010.

MELO, R. F.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; RUIZ, H. A.; OLIVEIRA, L. B. Deslocamento miscível de cátions básicos provenientes da água residuária de mandioca em colunas de solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.10, n.2, p.456-465, 2006.

MIRANDA, R. J. A. Lâminas de irrigação com água residuária e adubação orgânica na cultura do algodão BRS Safira. 2010. 84p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Campina Grande.

NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. Miscible displacement: II. Behavior of tracers. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v. 26, n. 2, p. 125-128, 1962.

SANTOS, J. S.; LIMA, V. L. A.; BORGES JÚNIOR, J. C. F.; SILVA, L. V. B. D.; AZEVEDO, C. A. V. Mobilidade de solutos em colunas de solo com água residuária doméstica e de suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.14, n.11, p.1226–1233, 2010.

SILVA, N. F.; LELIS NETO, J. A.; TEIXEIRA, M. B.; CUNHA, F. N.; MIRANDA, J. H.; COELHO, R. D. Distribuição de solutos em colunas de solo com vinhaça. *Irriga, Botucatu, Edição Especial*, p. 340 - 350, 2012.

ŠIMŮNEK, J., M. TH. VAN GENUCHTEN, M. ŠEJNA, N. TORIDE, AND F. J. LEIJ, The STANMOD computer software for evaluating solute transport in porous media using analytical solutions of convection-dispersion equation. Versions 1.0 and 2.0, IGWMC - TPS - 71, International Ground Water Modeling Center, Colorado School of Mines, Golden, Colorado, 32 pp., 1999.

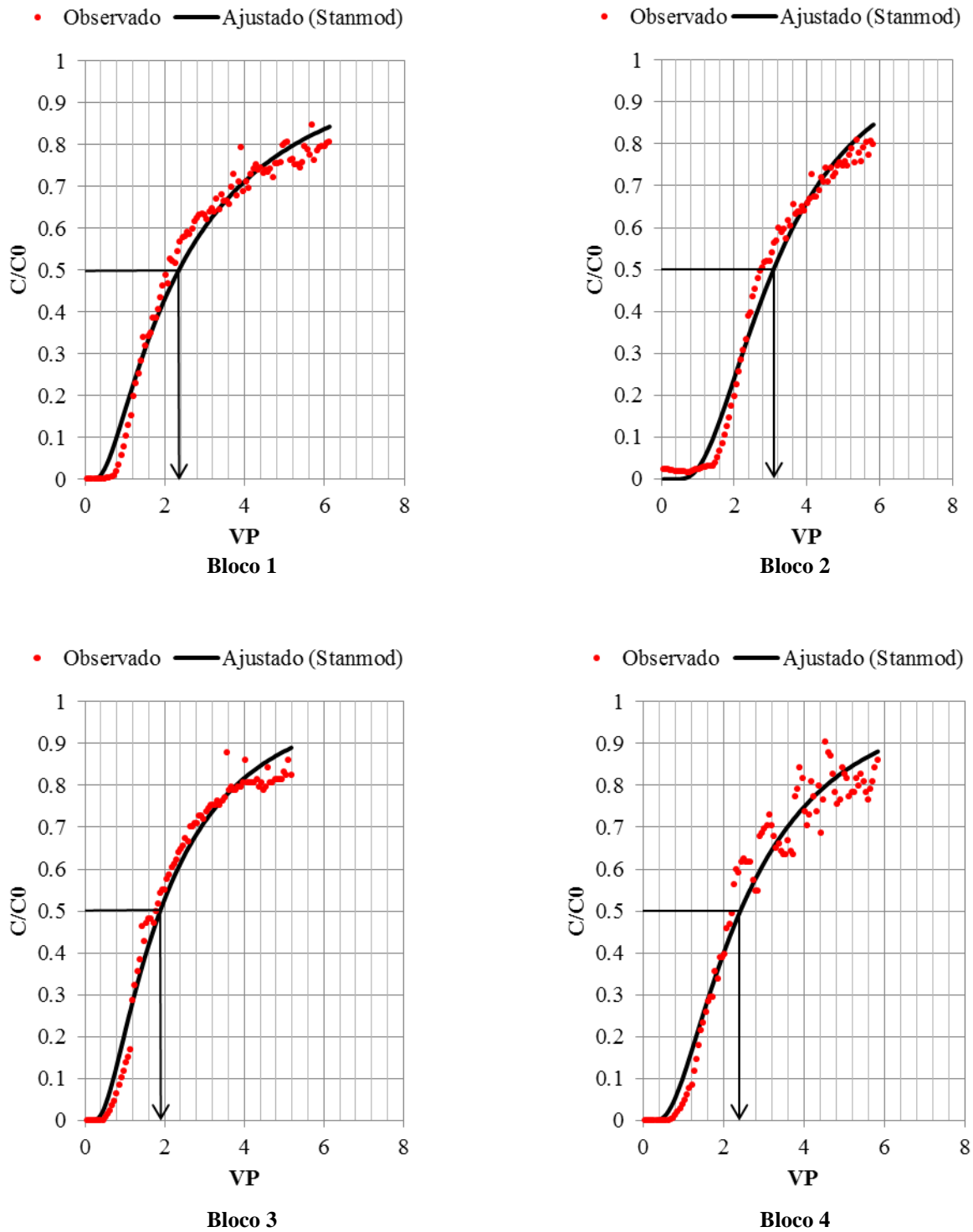
**Tabela 1.** Parâmetros de transporte do sódio nas amostras com concentração de 300 ppm para os quatro blocos estudados.

Bloco	P Média ± DP*	R Média ± DP*	v (cm min <sup>-1</sup> )	λ (cm)	D (cm <sup>2</sup> min <sup>-1</sup> )	q (cm min <sup>-1</sup> )	ρ (kg dm <sup>-3</sup> )	α (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	Vp (cm <sup>3</sup> )
1	1,76 ± 0,11	3,62 ± 0,07	0,62	15,88	9,93	0,26	1,55	0,4125	326,57
2	4,63 ± 0,27	3,73 ± 0,05	0,21	6,05	1,29	0,08	1,61	0,3898	308,59
3	2,46 ± 0,16	2,62 ± 0,05	0,58	11,37	6,65	0,26	1,48	0,4387	347,33
4	3,09 ± 0,24	3,18 ± 0,06	0,81	9,05	7,30	0,35	1,49	0,4329	342,69

\*DP é o desvio padrão do software STANMOD na estimativa dos parâmetros



**Figura 01.** Área de coleta do solo estudado, Distrito de Mutuca, Pesqueira-PE.



**Figura 02.** Curvas de distribuição de sódio para a concentração de 300 ppm, observadas e ajustada pelo STANMOD para os quatro blocos (em que  $C/C_0$  é a concentração relativa e VP é o volume da solução dividido pelo volume de poros da coluna).