

## **ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO MODELO “MIDI” APLICADO AO DESLOCAMENTO DE NITRATO EM COLUNAS VERTICAIS DE SOLO NÃO SATURADO**

**José J. dos Santos<sup>1</sup>, Sergio N. Dumont<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof. Doutor, Departamento de Ciências Exatas, Escola Superior de Agronomia “Castro Alves”, Alegrete -RS, (447)8429-4283-R:210, e-mail:

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Químico, Chefe de Divisão de Meio Ambiente, Companhia Energético-Ambiental do Norte do Pará, Belém-PA,

**3<sup>o</sup> Encontro Técnico-Científico da 7<sup>a</sup> Ecolatina  
16 a 19 de outubro de 2007 - Belo Horizonte - MG**

**RESUMO:** O estudo do transporte de água e solutos em solo não saturado é importante tanto do ponto de vista do ambiente quanto do econômico e, dentro desse contexto, o uso da modelagem computacional assume papel importante, ao permitir de maneira precisa e rápida a previsão do deslocamento de solutos. O presente trabalho traz como objetivo avaliar os parâmetros de entrada (dispersividade e fator de retardamento) do modelo MIDI mediante uma análise de sensibilidade a fim de verificar a resposta na quantificação da concentração de nitrato em uma coluna vertical de solo não saturado. Os parâmetros de entrada do modelo MIDI avaliados nesse trabalho, dispersividade e fator de retardamento, sofreram variações de -90 a + 90 % e tais efeitos foram analisados calculando-se o erro padrão. Pelos resultados obtidos, os parâmetros de entrada do modelo, dispersividade e fator de retardamento, apresentaram influência na determinação da concentração de nitrato. Dentre estes dois parâmetros aquele mais sensível às variações foi o fator de retardamento, principalmente às variações negativas.

**PALAVRAS-CHAVE:** nitrato, fator de retardamento, dispersividade

### **SENSIBILITY ANALYSIS OF THE MIDI MODEL APPLIED TO THE NITRATE DISPLACEMENT IN VERTICAL COLUMNS OF NON-SATURATED SOIL**

**ABSTRACT:** The study of solute and water transport in non saturated soil is important by the environmental and economical conditions, so the use of computational models assumes important function, when allowing to preview the miscible displacement in a accurate and fast way. The objective of this work was evaluating the MIDI parameters (dispersivity and retardation factor) by a sensibility analysis in order to verify the consequence in the nitrate concentration in a vertical column of non saturated soil. The MIDI parameters (tirar a vírgula) evaluated in this work, dispersivity and retardation factor, were submitted to variations of -90 the + 90% and such effects were analyzed and the standard error was determined. For the obtained results, the model parameters, dispersivity and retardation factor, presented influence in the determination of the nitrate concentration. Among these two parameters the more sensitive was the retardation factor, mainly to the negative variations.

**KEYWORDS:** nitrate, retardation factor, dispersivity

**INTRODUÇÃO:** O uso de modelos matemáticos para prever o transporte de água e solutos apresenta uma aplicabilidade de fundamental importância para os ramos da pesquisa que têm esses elementos como fonte de estudos. Dentro desse aspecto, podemos encontrar uma vasta

citação literária dessas rotinas computacionais e que são utilizados para tal objetivo. Dentre as rotinas podem-se citar alguns modelos, como o MIDI (MIRANDA, 2001) o modelo proposto por Rivera (2004), sendo este último aplicado para fontes puntiformes. Sabe-se que os altos custos envolvidos nas pesquisas de campo e os avanços computacionais estão fazendo com que os modelos matemáticos, aliados às técnicas numéricas, se constituam em aplicativos bastante viáveis pois possibilitam uma predição do destino e do comportamento da água e dos solutos na área de irrigação. Entretanto, para o sucesso da simulação e resolução das equações que permitem prever o deslocamento de solutos no solo, é necessário uma determinação realista dos parâmetros de transporte que influenciam na relação solo-soluto (Miranda, 2004). Dentre esses parâmetros pode-se citar: 1) a dispersividade que é um parâmetro obtido pela relação entre o coeficiente de dispersão e a velocidade da água no poro do respectivo solo; quanto maior a dispersividade, maior a diferença entre a velocidade média da solução nos poros e a velocidade da solução dentro de poros individuais, ou seja, a frente de lixiviação torna-se mais dispersa; 2) o fator de retardamento que também é chamado de coeficiente de partição pois representa a razão entre a concentração dos solutos nas fases sólida e líquida. Nesse sentido, o presente trabalho traz como objetivo apresentar uma análise de sensibilidade do modelo matemático MIDI a fim de verificar a influência dos parâmetros de entrada dispersividade e fator de retardamento na quantificação da concentração de nitrato em uma coluna vertical de solo não saturado.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O modelo computacional "MIDI" (Miranda, 2001) foi desenvolvido visando a simulação da dinâmica de solutos no solo por meio de soluções numéricas das equações diferenciais que descrevem esse transporte. O modelo matemático implementado consiste na solução de duas equações diferenciais parciais de segunda ordem, ou seja, a equação do movimento de água no solo, que descreve a variação da distribuição de umidade e a equação do transporte de solutos, que permite estimar as mudanças na concentração de solutos no solo com o tempo. O modelo computacional foi desenvolvido em linguagem de programação Visual Basic 6.0 e resolve a equação diferencial geral que rege o movimento de água no solo, também chamada de equação de Richards (Eq. 1), e a equação diferencial de difusão-convecção do transporte de solutos (Eq. 2), que permite estimar a concentração de solutos no solo. Estas equações são resolvidas numericamente em um sistema de volumes de controle finitos, uma após a outra, a cada incremento de tempo "Δt" de simulação.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ K(\theta) \frac{\partial \phi}{\partial z} \right] \quad (1)$$

em que:

$\theta$  = umidade volumétrica,  $L^3 L^{-3}$ ;

$t$  = tempo, T;

$z$  = distância, L;

$K(\theta)$  = condutividade hidráulica do solo não-saturado,  $L T^{-1}$ ; e

$\frac{\partial \phi}{\partial z}$  = gradiente do potencial total da solução na direção vertical, adimensional.

$$R \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial X^2} - v \frac{\partial C}{\partial X} \quad (2)$$

em que,

$R$  = fator de retardamento, adimensional;

$C$  = concentração do soluto na solução do solo,  $M L^{-3}$ ;

$D$  = coeficiente de dispersão hidrodinâmico longitudinal,  $L^2 T^{-1}$  (Bear, 1972);

$X$  = distância, L; e

$v$  = velocidade da água no poro ( $q/\theta$ ),  $L T^{-1}$ .

A análise de sensibilidade do modelo foi feita para verificar o efeito da variação dos parâmetros de entrada sobre as simulações do modelo com relação aos perfis de concentração de nitrato em uma coluna de solo não saturado.

Os parâmetros de entrada sofreram variações de  $-90$  a  $+90$  %, e os efeitos foram analisados calculando-se o erro padrão (eq. 3) variando-se, individualmente, os seguintes parâmetros de entrada: dispersividade e fator de retardamento do solo na coluna. Esses resultados simulados pelo modelo, após as variações de cada parâmetro de entrada para o perfil de umidade e concentração de nitrato na coluna, foram comparados com aqueles obtidos com os dados experimentais para o solo em questão.

$$e = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_m(i) - y_s(i))^2}{N}} \quad (3)$$

em que,

- $e$  = erro padrão;
- $y_m(i)$  = valor padrão simulado pelo modelo;
- $y_s(i)$  = valor simulado pelo modelo variando o parâmetro de entrada; e
- $N$  = número de dados da simulação.

Nas análises realizadas anteriormente a concentração da solução de nitrato aplicada apresentava-se menor que a concentração de nitrato no solo. Assim, a fim de verificar um efeito contrário à lixiviação do nitrato, o modelo foi submetido finalmente a uma análise de sensibilidade no sentido de prever aplicações de soluções de nitrato que apresentassem concentração superior às apresentadas pelo solo que preencheu a coluna.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os parâmetros de entrada do modelo, dispersividade e fator de retardamento, apresentaram influência na determinação da concentração de nitrato. Com relação à simulação da concentração de nitrato observa-se na Figura 1 que dentre estes dois parâmetros aquele mais sensível às variações foi o fator de retardamento, principalmente às variações negativas ( $-90$  %).

Aplicando-se variações positivas tanto na dispersividade quanto no fator de retardamento, até o valor máximo de  $+90$  %, praticamente não houve diferenças entre os valores simulados. Mesmo para variações negativas a dispersividade apresentou valores baixos de erro padrão, mostrando que o modelo não é sensível às variações deste dado de entrada. Já o fator de retardamento mostrou-se bastante sensível às variações negativas as quais provocaram uma elevação considerável do erro padrão.

Na Figura 2A, nota-se que o aumento da dispersividade causou um ligeiro aumento da lixiviação junto à frente de umedecimento. Aumentando-se o fator de retardamento aumenta-se a adsorção, o que pode ser notado pela ligeira diminuição da concentração de nitrato nos primeiros anéis da Figura 2B. De forma inversa, quando o fator de retardamento diminui e assume valores menores que 1, há uma passagem de soluto adsorvido para a fase líquida, o que pode ser evidenciado pelo aumento da concentração de nitrato nos primeiros anéis, principalmente naquele localizado a 35 cm de profundidade.

**CONCLUSÕES:** Os resultados obtidos pelas simulações da concentração de nitrato na coluna preenchida com solo não saturado, permitiram as seguintes conclusões: a) variações no fator

de retardamento e na dispersividade não interferiram na simulação do perfil de umidade do solo; b) quanto à simulação da concentração de nitrato na coluna o modelo mostrou-se bastante sensível às variações negativas no fator de retardamento; c) as variações na dispersividade tiveram um pequeno efeito sobre a simulação do perfil de concentração de nitrato.

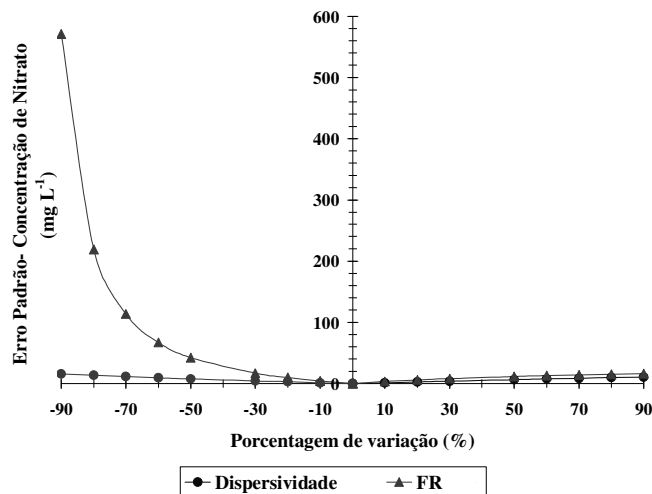


Figura 1 . Representação esquemática da análise de sensibilidade do modelo em relação à simulação da concentração de nitrato, aplicando de -90 % a +90 % de variação nos parâmetros de entrada, dispersividade e fator de retardamento

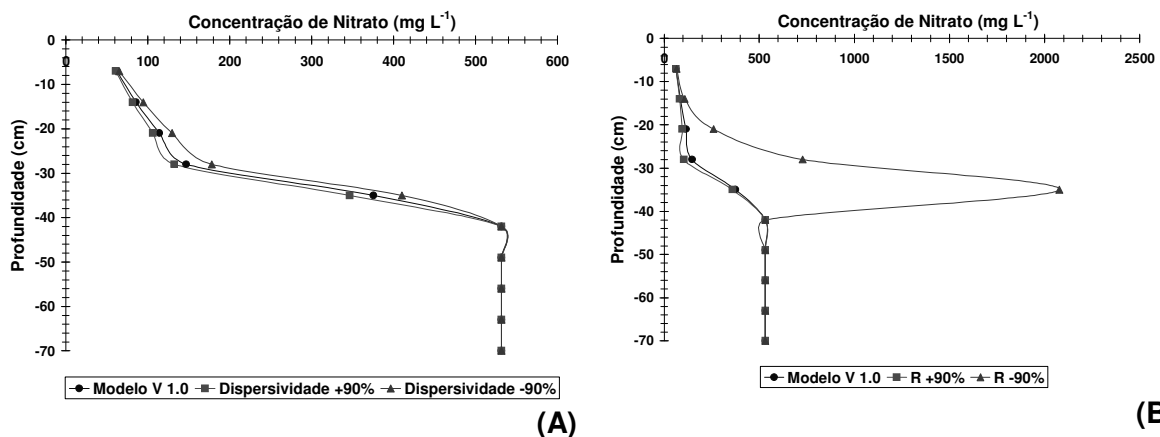


Figura 2 . Representação do perfil de concentração de nitrato simulado para o Solo 2 comparado com outras duas simulações aumentando e reduzindo de 90 % o parâmetro de entrada umidade volumétrica do solo saturado

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro à pesquisa

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- BEAR, J. Dynamics of fluids in porous media. New York: American Elsevier, 1972. 764 p.
- MIRANDA, J.H. Modelo para simulação da dinâmica de nitrato em colunas verticais de solo não saturado. Piracicaba, 2001. 79p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- MIRANDA, J.H.; DUARTE, S.N.; LIBARDI, P.L.; FOLEGATTI, M.V. Simulação do deslocamento de potássio em colunas verticais de solo não saturado. In: XXXIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2004, São Pedro. CD-Rom XXXII Congresso

Brasileiro de Engenharia Agrícola. Jaboticabal-SP: SBEA - Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2004. p. 1-4.

RIVERA, R.N.C. Modelagem da dinâmica da água e do potássio na irrigação por gotejamento superficial. Piracicaba, 2004. 89p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.