

# USO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARA A SUSTENTABILIDADE DA PEQUENA AGRICULTURA NO SEMI- ÁRIDO DO NORDESTE DO BRASIL

**Abelardo A. de A. MONTENEGRO**

*Professor do Departamento de Tecnologia Rural- Universidade Federal Rural de Pernambuco. Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n. Dois Irmãos, Recife, Brasil, +55 81 33021273, monte@hotlink.com.br.*

**Suzana M. G. L. MONTENEGRO**

*Professora do Departamento de Engenharia Civil- Universidade Federal de Pernambuco, Av. Acad. Hélio Ramos, s/n. Cidade Universitária, Recife, Brasil, +55 81 21268709, suzanam@ufpe.br*

**Tháísa A. de ALMEIDA**

*Mestranda do Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco. ,Av. Acad. Hélio Ramos, s/n. Cidade Universitária, Recife, Brasil, +55 81 21267216, thaisaa@terra.com.br*

**Manoel L. COSTA NETTO**

*Assistente de Pesquisa do Departamento de Tecnologia Rural da Universidade Federal de Pernambuco, Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n. Dois Irmãos, Recife, Brasil, +55 81 33021273, manolcostanetto@bol.com.br.*

A Região Nordeste ocupa 18,27% do território brasileiro, com uma área de 1.561.177,8 km<sup>2</sup>. Deste total, 962.857,3 km<sup>2</sup> situam-se no Polígono das Secas. O Polígono é caracterizado por compreender áreas sujeitas repetidamente aos efeitos das secas. Já o Semi-Árido ocupa 841.260,9 km<sup>2</sup> de área no Nordeste e outros 54.670,4 Km<sup>2</sup> em Minas Gerais e caracteriza-se por apresentar reservas insuficientes de água em seus mananciais. No Polígono das Secas e no Semi- Árido nordestino existem enormes desafios de convivência com escassez de recursos hídricos, buscando- se o desenvolvimento de atividades produtivas para evitar o êxodo rural e diminuir o quadro de pobreza do enorme contingente populacional da área. Nesse sentido, o desenvolvimento da pequena agricultura ou agricultura familiar se destaca com sua importância para a produção de alimentos, geração de renda e manutenção do homem no campo. Embora de importância estratégica, a pequena agricultura carece de elementos fundamentais para que seja desenvolvida de forma sustentável como tecnologias apropriadas e orientação do pequeno agricultor para o manejo de maneira a minimizar impactos ambientais e incrementar a produtividade. No semi-árido do Agreste do estado de Pernambuco (Brasil) três áreas foram adotadas como piloto para estudo da utilização de águas subterrâneas na pequena agricultura. Esse trabalho enfoca a importância do conhecimento do tipo de solo para avaliação da tendência à salinização de áreas sob uso agrícola em regiões semi- áridas utilizando águas subterrâneas. São adotados dados de campo das áreas piloto e ferramentas estatísticas e geostatísticas. Os resultados indicam que áreas com solos francos são mais susceptíveis a salinização que áreas de textura franco-arenosa.

Palavras-chave: semi-árido, aluvião, irrigação familiar, indicador de solo, salinização.



## 1- Introdução

O semi-árido do Nordeste brasileiro enfrenta cenários de secas freqüentes, distribuição irregular de terras e pobreza rural. Todos esses aspectos contribuem para migração em massa da região. Índices anuais típicos de precipitação estão em torno de 500mm, com cerca de 80% dessa precipitação ocorrendo durante a estação úmida entre dezembro e maio. As freqüentes secas, notadamente em anos de El Niño, limitam a expansão da atividade rural contribuindo para a pobreza rural.

Nesse cenário, a pequena agricultura ou a agricultura familiar vem se constituindo importante fonte de renda em pequenas comunidades pobres e contribuindo para diminuir o êxodo rural. Diversas culturas de subsistência vêm sendo implantadas. No entanto, dada às condições climáticas adversas com concentração da precipitação em um período curto ao longo do ano, a prática da irrigação se torna imperiosa para o desenvolvimento da agricultura. Com escassos recursos hídricos de superfície, e mais susceptíveis às variações climáticas, os recursos hídricos subterrâneos vêm sendo mais utilizados para a prática da pequena agricultura irrigada, ao mesmo tempo em que outros usos, como o abastecimento doméstico e a dessedentação animal são dependentes dessa fonte, quando os recursos superficiais se esgotam (COSTA *et al*, 2003; SILVA, 2000).

Os vales aluviais do semi-árido apresentam bom potencial para a pequena agricultura irrigada, embora sejam susceptíveis a processos de acúmulo de sais (MONTENEGRO *et al*, 2000; MONTENEGRO *et al*, 2001). A irrigação nestas áreas pode incorrer em impactos ambientais, quanto ao solo e à água subterrânea. Para minimizar esses impactos, é necessária a adoção de taxas de aplicação e lâminas de lavagem adequadas.

Devido a fatores climáticos, aos métodos de irrigação utilizados, e a condições edáficas, os sais dissolvidos contidos na água de irrigação e na água do aquífero podem-se acumular progressivamente. Tal acumulação pode comprometer a qualidade do solo e, em consequência (através do ciclo da água no sistema), contribuir para a degradação da água subterrânea.

A presença de lençol livre próximo à superfície está não só associada a uma drenagem reduzida, mas também à utilização de sistemas de irrigação ineficientes. O acúmulo excessivo de sais na zona não-saturada, devido à ascensão capilar, é denominado salinização secundária (GUI, 1987). As regiões saturadas de um perímetro, onde os fluxos ascendentes predominam, são conhecidas como regiões de descarga (SALAMA *et al*, 1993).

Um adequado entendimento dos mecanismos de recarga e descarga em perímetros irrigados é essencial para o desenvolvimento sustentável da agricultura, particularmente em regiões semi-áridas. Infiltração, recarga, evapotranspiração, ascensão e salinização são fenômenos dependentes de processos de fluxo e de transporte nas zonas não-saturada e saturada dos solos.

O presente trabalho foi desenvolvido em três áreas-piloto onde se pratica a pequena agricultura irrigada em vales aluviais. A região está localizada no Agreste do Estado de Pernambuco, em condições de clima semi-árido. As áreas estudadas localizam-se em três bacias distintas. Busca-se caracterizar as três áreas em termos de da qualidade da água para agricultura e outros usos, além da dinâmica hidro-salina, de modo a se estabelecer práticas sustentáveis de uso.

O projeto é atualmente financiado pelo DFID – Department for International Development (Reino Unido), e está inserido no programa KAR (Engineering Knowledge and Research Programme) com premissas de existência de componentes de pesquisa e transferência de tecnologias para comunidades rurais visando a redução da pobreza.

## 2 - Áreas de estudo

As áreas estão localizadas na zona fisiográfica do Agreste, no município de Pesqueira, região semi-árida do estado de Pernambuco (Figura 1). A caracterização climatológica foi realizada baseada nos dados da estação de Pesqueira, localizada a aproximadamente 15 Km das áreas em discussão. As chuvas são distribuídas desuniformemente, concentrando-se no primeiro semestre (janeiro a julho), quando ocorre, em média, mais de 75% da precipitação total dos 12 meses. A pluviometria média anual esta em torno de 630 mm, com coeficiente de variação anual (CV), superando, frequentemente, o valor de 0,30.

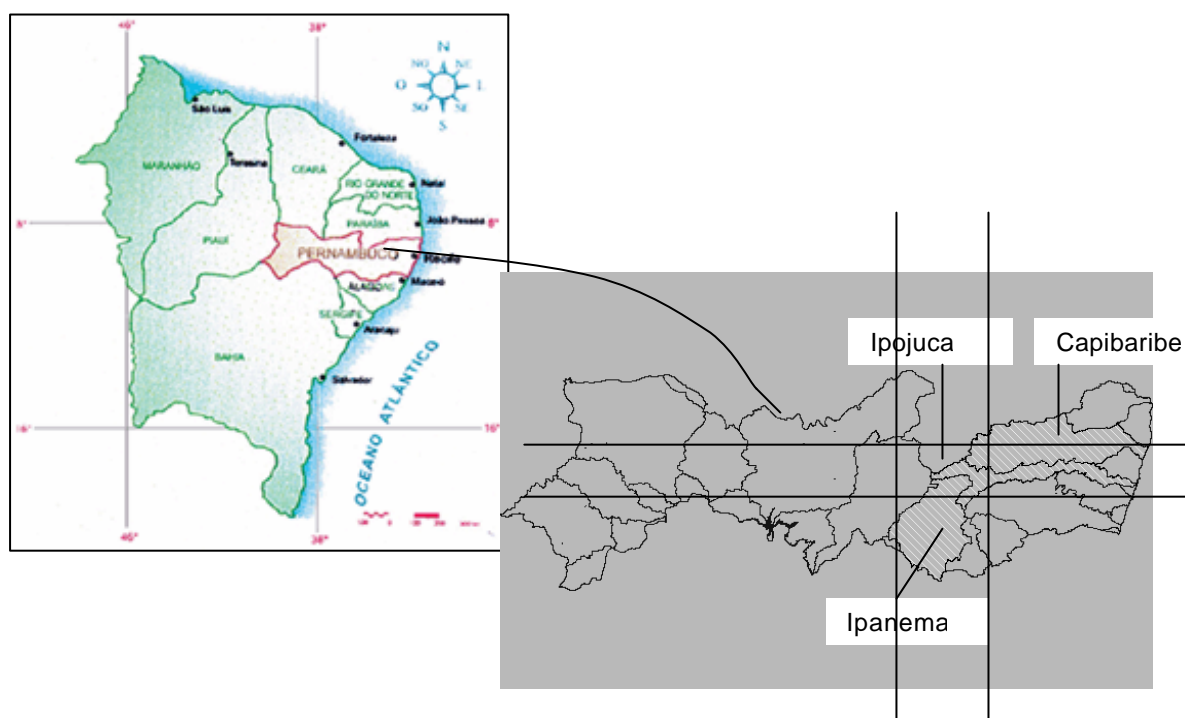


Figura 1. Mapa do estado de Pernambuco, com destaque para as bacias hidrográficas estudadas.

Considerando o período de 12 meses como representativo do ciclo do regime hidrológico, nota-se que na região o ano hidrológico não coincide com o ano civil convencional. O primeiro pode ser identificado como correspondente ao período de outubro e setembro do ano seguinte.

A região estudada, assim como todo semi-árido nordestino, apresenta elevadas taxas de evaporação, provocando grandes perdas hídricas nas reservas superficiais. Utilizando-se dados do tanque classe A, constatou-se que a sua evaporação média anual é da ordem de 2.400mm (Arcoverde) e 2.111 mm (Caruaru). Nota-se que o período de estiagem (setembro/ janeiro) responde por cerca de 49% da evaporação anual em Caruaru e 51% em Arcoverde.

A temperatura da região mostra a realidade do semi-árido do Nordeste, com valores elevados e amplitudes pequenas, constituindo a característica típica do regime térmico desta região, com temperatura máxima média anual de 29°C e mínima média anual de 17,9°C.

A umidade relativa média anual é de 75%, onde os valores mais elevados situam-se logo após a estação chuvosa (maio/ julho) e as mais baixas na estação seca (setembro/ novembro).

Com relação à variável insolação, verifica-se que atinge, na região, um valor próximo de 2400 horas anuais, o que significa uma incidência solar média diária em torno de 5 horas. A insolação se apresenta menor nos meses chuvosos, com média mínima um pouco superior a 4,8 horas/dia. Cerca de 19% da insolação anual ocorre no trimestre de maio a julho, enquanto que no trimestre de outubro a dezembro, ocorre mais de 30% concentração equivalente a um valor de insolação em torno de 8,5 horas /dia de radiação solar. (PROTECS, 1991 ; MONTENEGRO, 1997). Em seguida, apresenta-se uma descrição das três áreas-piloto.

## 2.1 - Hidrogeologia das áreas piloto

### 2.1.1- Mimoso ( Fazenda Nossa Senhora do Rosário)

A área localizada a 220Km de Recife – capital do Estado de Pernambuco nas proximidades das coordenadas geográficas 080 24' 11" de latitude Sul e 370 48' 54" de longitude Oeste. A Fazenda Nossa Senhora do Rosário localiza-se na bacia do rio Ipanema, sobre um aquífero aluvial que constitui a fonte de suprimento de água para o desenvolvimento da agricultura irrigada. A Fazenda está situada a uma altitude média de 630 m acima do nível do mar e possui área total de 606,24 ha (CISAGRO, 1991), com cerca de 110 ha localizados sobre aquífero aluvial, parcela que constitui a área de estudo.

Nessa área, a agricultura irrigada vem sendo desenvolvida desde 1991, utilizando água do aquífero aluvial do vale fluvial formado pelos riachos temporários Mimoso, Jatobá e Ipaneminha. Um assentamento na área foi implementado pelo Governo do Estado de Pernambuco, promovendo a divisão da área com potencial para agricultura irrigada em lotes com aproximadamente 2 ha, para famílias locais. O aquífero apresenta um declive topográfico natural de aproximadamente 0,3 % (Oeste- Leste), possuindo em suas margens granito e gnaisses da formação cristalina. O aquífero aluvial é relativamente raso, com aproximadamente 10 m de profundidade, 300 m de largura e 15 km de comprimento (CONESP, 1988). Os solos predominantes nessa área, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999) são Neossolos Flúvicos, também estando presentes Neossolos Regolíticos e Neossolos Litólicos.

O projeto original de irrigação compreendeu a instalação de quatro poços de grande diâmetro (tipo Amazonas) perfurados no período de instalação do assentamento, no entanto aproximadamente 30 outros poços de grande diâmetro foram construídos pela comunidade local individualmente em seus lotes para a captação de água do aquífero e emprego na prática de irrigação. CISAGRO (1991) apresenta os perfis litológicos correspondentes aos pontos de sondagem em torno dos poços. Para cada poço foram realizadas oito sondagens, quatro dispostas em um raio de 2,5 m, e quatro em um raio de 5 m de distância da parede do poço. Os perfis são bastante diferenciados evidenciando a heterogeneidade espacial na área. Atualmente existem cacimbões na área da Fazenda. No vale aluvial existem outros poços de grande diâmetro que são utilizados para diversos fins.

Estudos anteriores mostraram que a condutividade elétrica da água subterrânea na área é influenciada pelas suas características pedológicas, pelo fluxo subterrâneo regional e por contribuições de escoamento das encostas do vale, onde predominam solos rasos com rochas aflorantes (MONTENEGRO *et al*, 2001). A Figura 2 apresenta a salinidade e profundidade do lençol aluvial, entre Outubro e Janeiro de 2005.

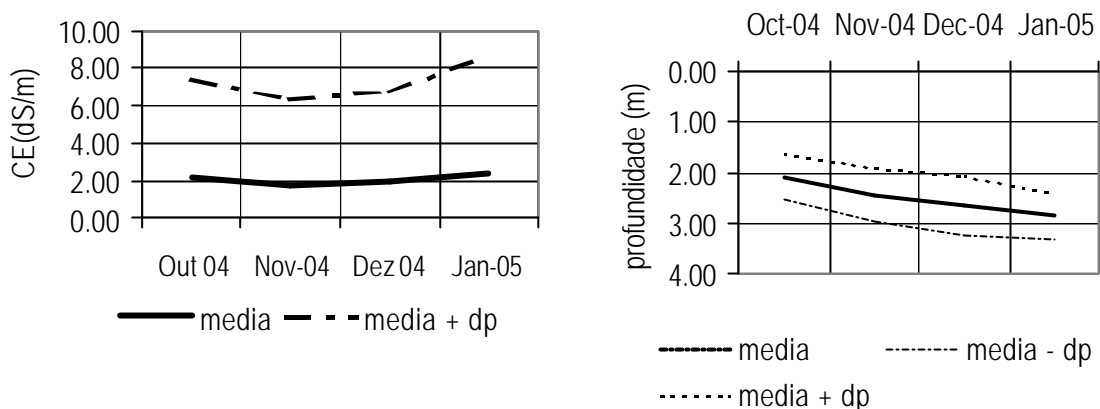


Figura 2- Condutividade elétrica e profundidade do lençol em 63 piezômetros, em Rosário.

### 2.1.1 - Campo Alegre

O assentamento de Campo Alegre foi resultado de um programa de assentamento do governo no ano de 1991. Neste programa estava previsto o desenvolvimento de agricultura familiar entre os assentados, estabelecendo uma barragem galgável como a fonte de alimentação para o projeto de irrigação da área. Essa fonte hídrica encontra-se localizada no rio Ipojuca, a 12 km a jusante da atual barragem Pão de Açúcar, a qual alimenta a pequena barragem galgável através de uma descarga de fundo (PROTECS, 1991). Atualmente, este manancial de abastecimento está localizado em uma reserva indígena, a 1,5 km do povoado de Pão de Açúcar, nos limites dos municípios de Pesqueira e Poção, o que pode potencialmente vir a levar a conflitos de gerenciamento desses recursos.

A barragem de Pão de Açúcar foi construída em 1992 com uma capacidade de 41 milhões de metros cúbicos com a finalidade de contenção de cheias e outrora serviu ao abastecimento das cidades circunvizinhas. Entretanto, desde 1996 a barragem de Pão de Açúcar vem sofrendo com as consequências da escassez de chuvas tendo sua função de abastecimento suspensa por permanecer com volume inferior a 10% até janeiro de 2004. Por conseguinte, a pequena barragem galgável teve também seu período de seca, levando a população local buscar a solução para a falta de água nas águas subterrâneas com a perfuração de poços rasos, nas margens do rio.

Quanto ao relevo a área de Campo Alegre apresenta relevo predominantemente suave ondulado e ondulado, com elevações de topo esbatido e vales geralmente em 'V', com ocorrência de estreita faixas de aluviões. O relevo foi moldado pelas forças morfogenéticas que formaram a unidade geomorfológica da Borborema, proveniente do cretáceo superior e com reativação no terciário, quando se iniciou a deformação da superfície cretácica. Dentro da Borborema a área se situa em sua subdivisão das plataformas aplainadas mais próximas dos níveis elevados, neste caso, representados pela Serra do Ororobá próxima ao local.

As rochas que constituem o material de origem da maioria dos solos são plutônicas ácidas, sendo principalmente encontradas saprólitos de biotita-granito. Sedimentos predominantemente arenosos de natureza aluvio-coluvial, atribuídos ao Holoceno, dão origem aos solos que ocupam as estreitas faixas de terras planas nas margens do rio. A Figura 3 apresenta a salinidade e profundidade do lençol aluvial, entre

Outubro e Janeiro de 2005, período que coincidiu com liberação de aportes superficiais de montante (Barragem de Pão de Açúcar).

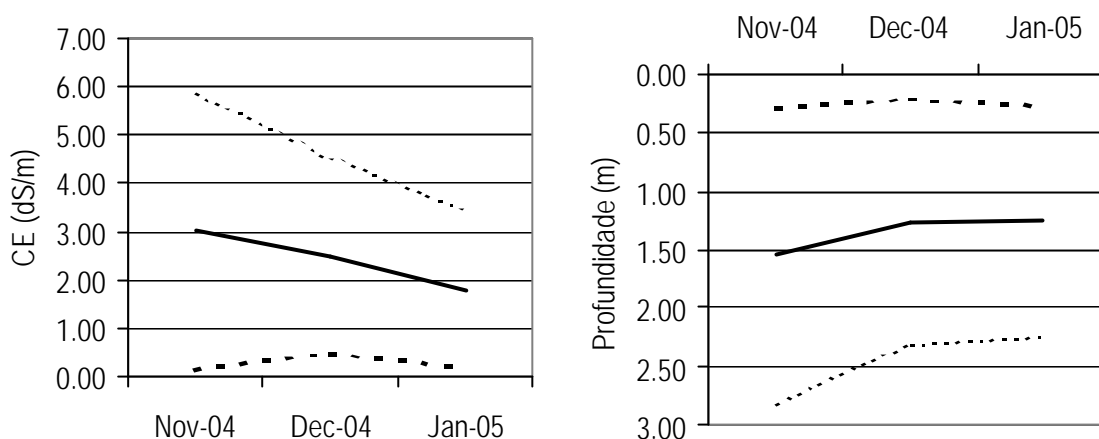


Figura 3- Condutividade elétrica e profundidade do lençol em 27 piezômetros, em Campo Alegre.

### 2.1.3- Mutuca

Mutuca é um distrito do Município de Pesqueira, localizado próximo à região rural onde são encontradas 19 barragens subterrâneas construídas ao longo do Riacho Mimoso, na bacia do Rio Capibaribe, como resultado de parceria entre o Ministério do Meio Ambiente e a Secretaria Estadual de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco – SECTMA, até o ano de 1998. A região de Mutuca foi escolhida para implementação das barragens subterrâneas por ter solos relativamente profundos, condição importante para esse tipo de obra. A localização das barragens foi feita por geólogos com base em critério estritamente técnico e a construção foi feita por uma empresa contratada. As barragens subterrâneas construídas no local são de média a grande profundidade (3,8 a 10 metros) e extensão (30 a 110 metros), constituindo-se em principal fonte hídrica da região.

A função das barragens subterrâneas é a de incrementar as condições de armazenamento de água no solo, ao mesmo tempo em que se diminui o efeito da evaporação, embora ofereça impedimento à circulação hídrica na zona saturada. A Figura 4 apresenta a salinidade e profundidade do lençol aluvial, entre Outubro e Janeiro de 2005, no vale de Mutuca.

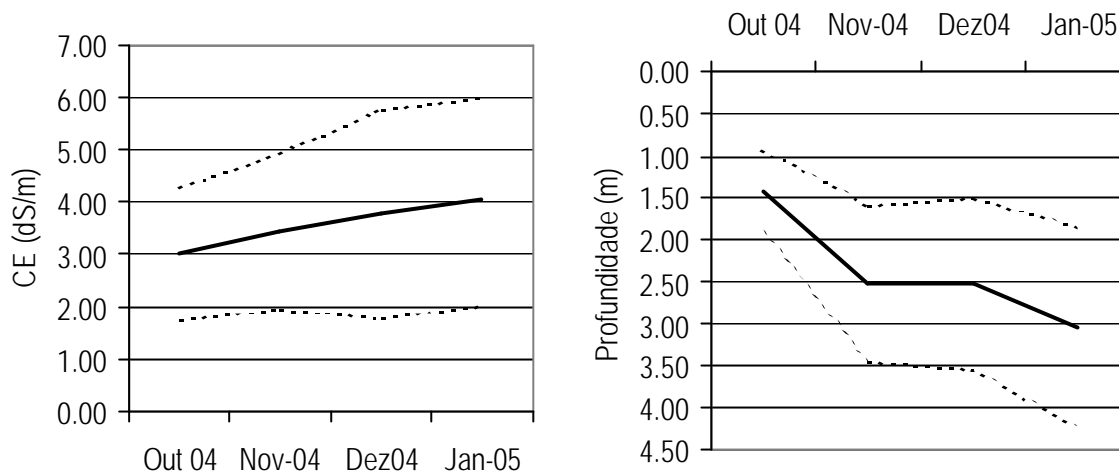


Figura 4- Condutividade elétrica e profundidade do lençol em 69 piezômetros, em Mutuca.

## 2.2- Características dos solos

Com base em levantamento de campo para caracterização hidráulica do aluvião de Rosário (MONTENEGRO *et al.*, 2003), 70 amostras de solo deformadas e indeformadas foram coletadas em três profundidades do aluvião. Solos francos e franco arenosos (segundo classificação triangular proposta pelo Serviço de Solos dos Estados Unidos) são dominantes, representando ao todo 75% do total de amostras analisadas. MONTENEGRO e MONTENEGRO (1997) descrevem metodologia indireta para cálculo das propriedades hidráulicas dos solos do aluvião Mimoso, baseada em dados de textura das amostras coletadas. Utilizando metodologia geostatística indicadora, pode-se construir mapa dos solos dominantes (e contrastantes) no aluvião (MONTENEGRO, 1997). Esta técnica tem sido aplicada em geologia e em hidrologia, em particular na avaliação de semi-variogramas experimentais a partir de perfis de sondagem (JOHNSON & DREISS, 1989; JOHNSON, 1995), e para representar regiões contrastantes de alta e baixa permeabilidade em solos (DESBARATS, 1987). JOHNSON (1995) destaca que a aproximação indicadora considera as características estruturais em escalas relevantes para investigação de processos de contaminação e manejo de solos.

Investigações preliminares nas outras duas áreas piloto indicam composição edáfica semelhante, igualmente com predominância de solos franco arenosos e francos.

## 3- Estimativas de fluxo e transporte

A dinâmica hidrológica do aluvião em resposta a eventos de evapotranspiração, de precipitação pluviométrica e de irrigação é investigada neste estudo com base em modelagem integrada das zonas saturada e não-saturada. Em virtude da variabilidade temporal de eventos climáticos e hidrológicos típica do semi-árido Nordeste, a profundidade do lençol freático no domínio em estudo apresenta marcante sazonalidade, com variações anuais superiores a 3 metros (MONTENEGRO *et al.*, 2003). Tais oscilações têm grande importância na duração de eventos de recarga e na magnitude de fenômenos capilares. A depender das concentrações salinas presentes na franja capilar, significativos aportes podem ocorrer em

direção à rizosfera, provenientes de lençol freático raso. Com efeito, tais contribuições oriundas da zona saturada são passíveis de ocorrer mesmo durante a estação seca, devido aos reduzidos conteúdos de umidade na subsuperfície do aluvião. Com a lixiviação, estes sais retornam para o aquífero, e degradam as reservas hídricas subterrâneas, caso não haja eficiente circulação na zona saturada.

De modo a simular a potenciometria do aluvião em resposta aos componentes de recarga e descarga, bem como às explorações através de cacimbões, o modelo PARADIGM (MACKAY, 1993), desenvolvido na Universidade de Newcastle - Inglaterra, foi selecionado, tendo em vista sua potencialidade em simular eficientemente variabilidade temporal de eventos hidrológicos e variabilidade espacial de propriedades hidráulicas de meios porosos.

Para previsão de componentes hídricos e de sais na zona não-saturada, adotou-se modelo simplificado, baseado em discretização espacial do solo em três células (célula de sub-superfície, célula radicular e célula capilar), o qual apresentou adequado comportamento quando comparado a modelos numéricos tradicionais baseados na Equação de Richards (MONTENEGRO *et al.*, 2002).

Os fluxos capilar e de recarga difusa para os solos francos e franco arenosos, dominantes do aluvião, foram avaliados de acordo parâmetros hidráulicos propostos por RIJTEMA (1969), incluindo a curva característica tensão-umidade.

A Figura 5 apresenta os fluxos de ascensão capilar para os dois tipos de solo, conforme discutido por RIBEIRO *et al.* (2003).

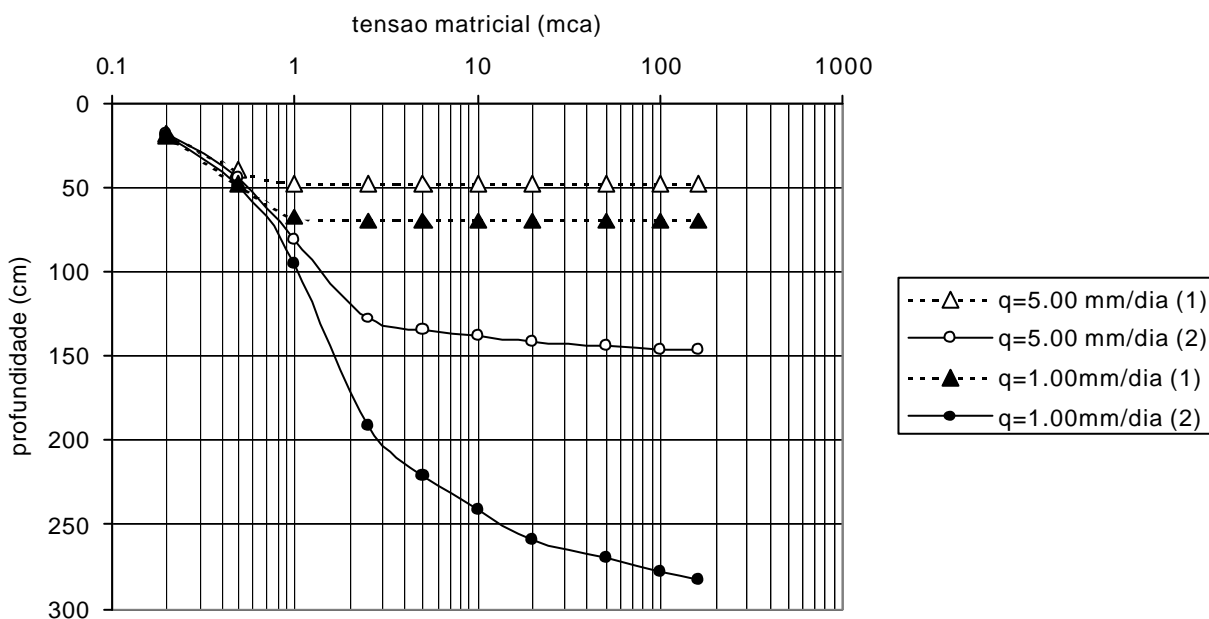


Figura 5- Comparação entre taxas de ascensão capilar em solos francos arenosos (1) e franco siltosos (2)-  
Fonte: RIBEIRO *et al.* (2003).

O modelo simplificado foi integrado e acoplado ao modelo PARADIGM para fluxo e transporte em meios saturados. Distribuições de salinidade e carga hidráulica no aluvião foram simuladas, considerando a variabilidade espacial de solos (através de geostatística indicadora), a distribuição espacial dos lotes



irrigados e a variabilidade de condutividade hidráulica da zona saturada (através de geoestatística aplicada a 63 slug tests).

Utilizando-se dados climáticos locais, simulou-se dinâmica de sais na zona não-saturada e saturada do aluvião, tomando-se por base as informações disponíveis para o aluvião Mimoso. Condições de equilíbrio foram adotadas como inicialização da modelagem. A modelagem foi então inicialmente conduzida por um período de seis anos, de modo a inicializar perfis de umidade e salinidade da zona não saturada. Calendário agrícola sugerido por CISAGRO (1991) foi adotado, com cultivo de beterraba de Setembro a Novembro, com cenários reais de precipitação e evapotranspiração. Adotou-se coeficiente de lixiviação de 1,20, conforme recomendação da CISAGRO (1991). Fluxos e transporte de sais foram simulados na zona não saturada, considerando as aplicações hídricas apresentadas na Figura 6.

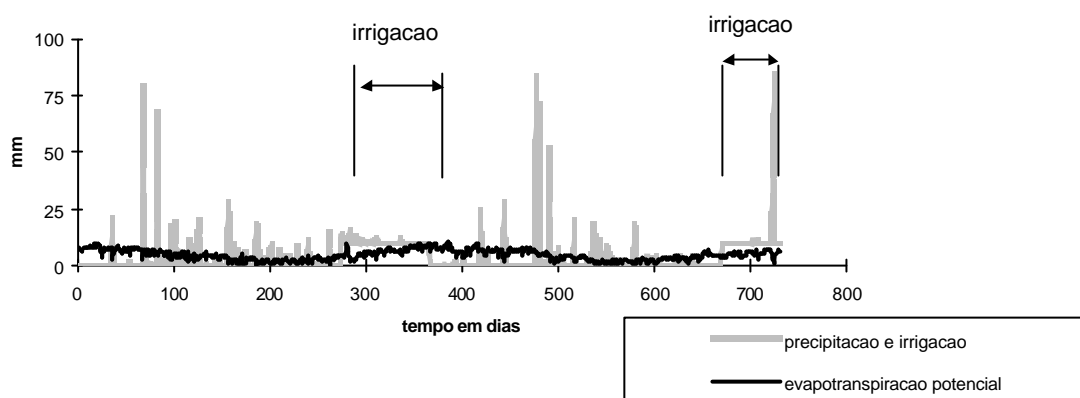


Figura 6- Dados climáticos da estação de Pesqueira, para dois anos consecutivos.

#### 4 - Resultados e discussão

A partir da análise dos resultados simulados, áreas críticas exibindo altos conteúdos de sais podem ser identificadas, as quais são consistentes com observações de campo. Tais áreas críticas estão situadas na parte média e baixa do aluvião, para onde se concentram os sais aplicados ao sistema através do contorno superior e dos lotes irrigados.

A distribuição de sais no aquífero apresenta forte correlação com o tipo de solo. Quando lençol freático raso ocorre em regiões de solos finos, uma região de descarga distribuída pode-se estabelecer, e produzir acúmulo de soluto e reconcentração na zona saturada. Com efeito, conforme destacado em SALAMA *et al.* (1993), a distribuição de sais em aquíferos livres está intimamente ligada à distribuição espacial e temporal das zonas de descarga e recarga. A Figura 7 apresenta os cenários de condutividade elétrica e de profundidade simulados para o sistema aquífero, os quais são compatíveis com os medidos nas 3 áreas piloto (Figuras 2, 3 e 4). A Figura 8 apresenta os fluxos entre as zonas saturada e não-saturada, para um período de simulação de 50 meses após implementação da irrigação. As regiões de descarga (valores positivos) predominam nas áreas de solos francos, enquanto as de descarga (valores negativos) predominam nos solos franco-arenosos.

Durante 50 meses de irrigação no vale, pode-se verificar as distintas dinâmicas de salinidade dos solos contrastantes. Os solos francos exibem via de regra maiores condutividades elétricas, conforme apresentado na Figura 9, seja devido às menores taxas de infiltração (e graus de lavagem), e/ou a predominância de fluxos de ascensão que tendem a concentrar sais no perfil não saturado.

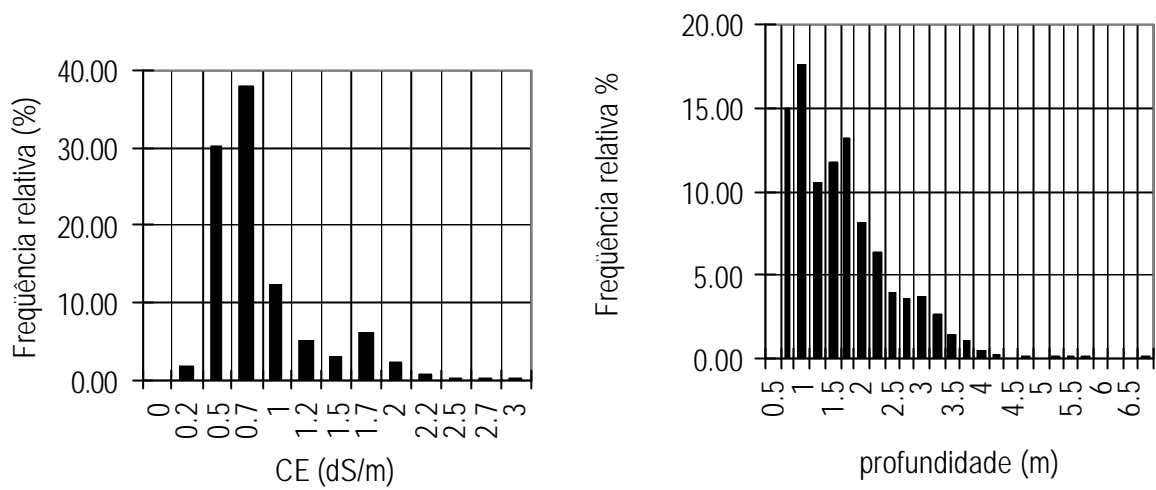


Figura 7- Cenários de condutividade elétrica e de profundidade do lençol subterrâneo, gerado pelo modelo.

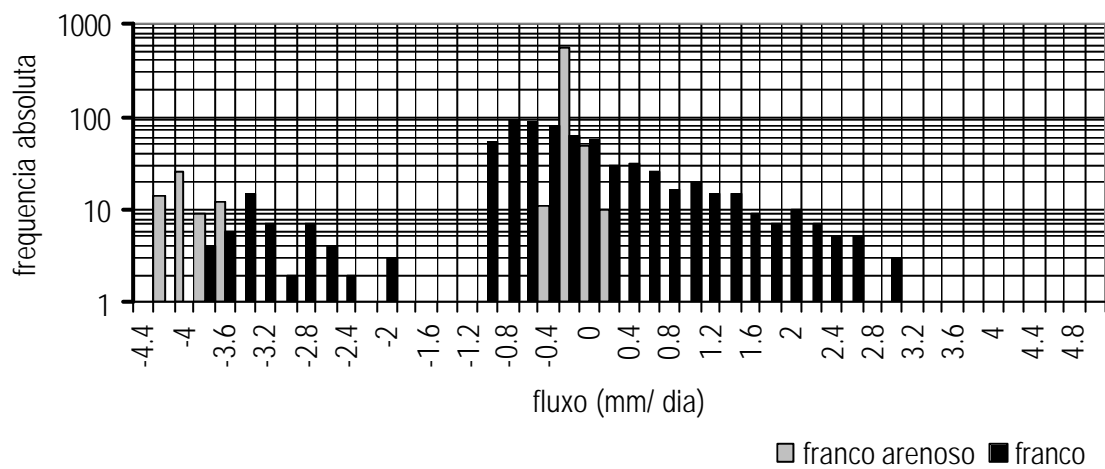


Figura 8. Fluxos de recarga (negativo) e ascensão (positivo) para os solos indicadores, gerados pelo modelo.

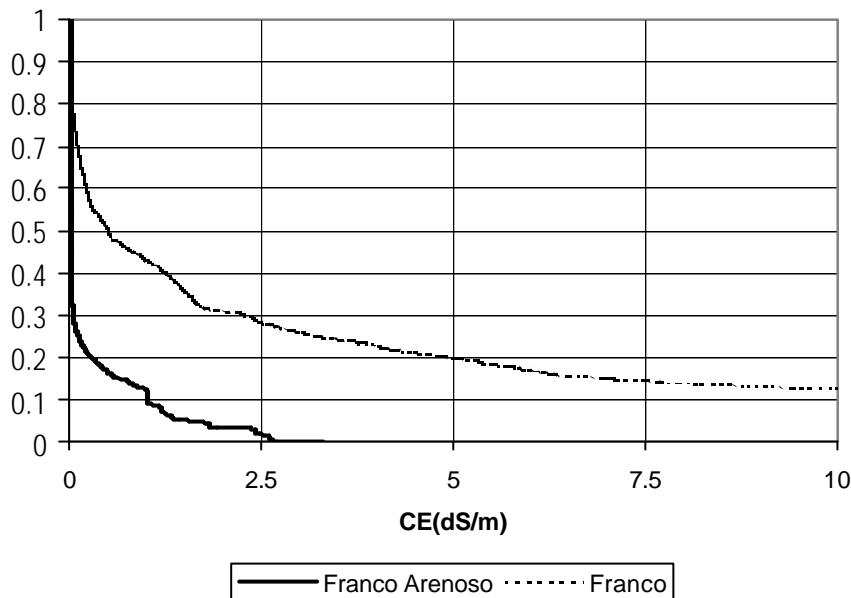


Figura 9 Distribuição de frequência acumulada das concentrações de sais na zona não-saturada, para solos contrastantes.

## 5 - Conclusões

Este estudo apresenta aplicação de ferramentas computacionais que acoplam as zonas saturadas e não saturadas, quando se deseja estudar a salinização de aquíferos aluviais em regiões semi-áridas, e com lençol freático relativamente raso. Pode-se extrair desse estudo as seguintes conclusões:

- A ocorrência de lençol freático raso, em áreas de solos finos (francos), desempenham forte controle hidráulico à recarga difusa, e os sais se acumulam nos perfis de solo;
- A salinização secundária é o principal mecanismo de salinização dos vales aluviais no semi-árido, particularmente onde predominam solos de textura fina (francos);
- Os cenários de salinidade dos solos simulados tendem a representar os valores de condutividade elétrica para as três áreas de estudo. Se, por um lado, a modelagem tende a subestimar as concentrações pelo fato das profundidades medidas no período seco serem maiores que as do cenário simulado, por outro as salinidades do cenário simulado são inferiores às medidas em campo.
- Com o andamento dos estudos, validações de campo serão produzidas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico- **CNPq**- Brasil, do DFID- Inglaterra, do Banco do Nordeste, e da **FACEPE**, Fundação de Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco. O suporte logístico da Universidade Federal Rural de Pernambuco- **UFRPE**, da Universidade Federal de Pernambuco- **UFPE**, e da **EMATER- PE** foram fundamentais para realização dessa pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CISAGRO (Companhia Integrada de Serviços Agropecuários). "Projeto de Irrigação da fazenda Nossa Senhora do Rosario-Pesqueira-PE". Pernambuco, Recife-PE. 1991.
- CONESP (Companhia Nordestina de Sondagens e Perfurações). 1988. "*Relatório Final de Pesquisa de Manancial – Nossa Senhora do Rosário, Pesqueira – PE.*" Recife, PE, Brasil.
- COSTA, M.R., MONTENEGRO, S.M.G.L, CIRILO, J.A., MAIA, A., COSTA NETTO, M.L.. 2003. "*Avaliação da qualidade da água em fontes superficiais e subterrâneas da região semi-árida do Nordeste.*". In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2003, Curitiba. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Porto Alegre: ABRH. v.1, p. 463.
- DESBARATS, A. J.. "Numerical estimation of effective permeability in sandshale formations". Water Resources Research, v.23 (2): p.273-286, 1987
- EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). 1999. "*Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos.*" Brasília, DF. 141pp.
- GUI, C.X. "Effects of irrigation on the chemical balance in the ecological environment of water and soil", In: Proceedings of the Vancouver Symposium of the IAHS, Publ. n. 169, Wallingford, GB. 1987.
- JOHNSON, N.M. "Characterization of alluvial hydrostratigraphy with indicator semivariograms", Water Resour. Res., v. 31 (12): p. 3217-3227, 1995.
- JOHNSON, N.M. e DREISS, S.J. "Hydrostratigraphic interpretation using indicator geostatistics". Water Resour. Res., v.25 (12): p.2501-2510, 1989.
- MACKAY, R. "A Study of the effect of the extent of site investigation of radiological performance", Volume 1- Development of the synthetic site model, Report No. DoE/HMIP/RR/93.052, Water Resource Systems Research Unit, Newcastle University, UK. 1993.
- MONTENEGRO, S.M.G.L., MONTENEGRO, A.A.A "Uso de Funções de Transferência Hidropedológica em uma Área Irrigada do Estado de Pernambuco Visando Modelagem espacial Estocástica"; XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Vitória- ES. 1997.
- MONTENEGRO, A.A.A. "Stochastic Hydrogeological Modelling of Aquifer Salinization from Small Scale Agriculture in Northeast Brazil", University of Newcastle upon Tyne. Inglaterra. 231p. 1997 (Tese de Doutorado).
- MONTENEGRO, S.M.G.L., MONTENEGRO, A.A.A., ALMEIDA, T.A., CORRÊA, M.M. 2000. "*Qualidade da água em aquífero aluvial sob uso agrícola no agreste do estado de Pernambuco.*". Anais do V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Natal. 10p. CD.
- MONTENEGRO, S.M.G.L., MONTENEGRO, A.A.A., RIBEIRO, M. R., CORRÊA, M.M., ALMEIDA, T.A., MAIA, F.M.V.L. 2001. "*Análise da variabilidade espacial da salinidade em área irrigada e do nível d'água em aluvião sob uso agrícola na região semi-árida do Nordeste Brasileiro.*". Anais. XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos / V Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa. Aracaju. 13p. CD.
- MONTENEGRO, A. A. de A.; MACKAY, R.; MONTENEGRO, S. M. G. L. "Coupled unsaturated saturated modelling of salinization risk in na alluvial irrigated área of North-East Brazil." *Acta Universitatis Carolinae Geologica*, v. 46, n. 2/3, p. 593- 594, 2002.
- MONTENEGRO, S.M.G.L; MONTENEGRO, A.A.A.; MACKAY, R.; OLIVEIRA, A.S.C. "Dinâmica hidrosalina em aquífero aluvial utilizado para a agricultura irrigada familiar em região semi-árida." *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre- RS, v. 8, n. 2, p. 85-92, 2003.

PROTECS (Projetos Técnicos Ltda). 1991. *"Estudo de Pré-variabilidade do Projeto de Irrigação e Drenagem de Campo Alegre."* Pesqueira. 150p.

RIBEIRO, M.R.; FREIRE, F. J.; MONTENEGRO, A.A.A.. "Solos Halomórficos no Brasil: Ocorrência, Gênese, Classificação, Uso e Manejo sustentável." In: SBCS. (Org.). Tópicos especiais em ciência do solo. Viçosa-MG, v. 01, p. 165. 208. 2003.

RITJEMA, P. E.. "Soil moisture forecasting". Nota 513. Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding. Wageningen. The Netherlands. 28p. 1969.

SALAMA, R. B.; FARRINGTON, P.; BARTLE, G A.; WATSON, G. D.. "Distribution of recharge and discharge areas in a first-order catchment as interpreted from water level patterns". Journal of Hydrology, v.143: p.259-277, 1993.

SILVA, S. M. P. da. 2000. *"A distribuição espacial das reservas subterrâneas do nordeste e a Transposição do rio São Francisco"* In: V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. 2003, Natal. Anais do V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Porto Alegre: ABRH. v. 1.