

Dinâmica Hidro-salina em Aquífero Aluvial Utilizado para Agricultura Irrigada Familiar em Região Semi-árida

Suzana Maria Gico Lima Montenegro

*Departamento de Eng. Civil - UFPE - Av. Acad. Hélio Ramos, s/n - Cidade Universitária
50710-470 Recife, PE - suzanam@ufpe.br*

Abelardo Antônio Assunção Montenegro

Departamento de Tecnologia Rural - UFRPE - Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos - Recife, PE

Rae Mackay

*School of Earth Sciences - University of Birmingham
r.mackay@bham.ac.uk*

Alisson Sanguinetti Cruz de Oliveira

Departamento de Tecnologia Rural - UFRPE

Recebido: 12/01 - revisão: 09/02 - aceito: 04/03

RESUMO

O presente trabalho contempla a dinâmica hidro-salina de área aluvial irrigada sob risco de salinização no Agreste de Pernambuco. Com base em monitoramento quantitativo e qualitativo, em termos de salinidade, das águas subterrâneas, verifica-se que o sistema responde significativamente a eventos de precipitação, com alterações relevantes na quantidade e concentração total de sais. A sazonalidade da salinidade é acentuada, com águas de melhor qualidade durante a estação chuvosa devido à intensa recarga. A condutividade hidráulica do aquífero é fator determinante na dinâmica salina na área. Os resultados da investigação com medidas de campo confirmam que áreas com menor circulação hídrica são mais susceptíveis à salinização. Os resultados são importantes para o gerenciamento da irrigação visando a preservação do sistema, incluindo a diminuição dos riscos de salinização. O sistema estudado é representativo de vários outros que ocorrem em regiões semi-áridas.

Palavras-chave: salinização, aluvião, semi-árido, irrigação.

INTRODUÇÃO

O semi-árido do Nordeste do Brasil é caracterizado por distribuição irregular da precipitação no tempo, altas taxas de evaporação, solos rasos, rios intermitentes e escassos recursos hídricos subterrâneos. Essas características climáticas, pedológicas e hidrológicas constituem condicionantes para a utilização regular dos recursos hídricos, notadamente para o desenvolvimento da agricultura, que, em razão do regime irregular de chuvas, depende da irrigação para o suprimento de água para as culturas. Com a predominância da área localizada sobre formações do tipo cristalino, com solos pouco profundos e de baixa capacidade de infiltração e armazenamento, a ocorrência de águas subterrâneas nessas regiões está limitada a fraturas e fissuras nas rochas e a zonas de aluviões dos rios, formadas pela deposição de sedimentos fluviais. A água armazenada nos aquíferos aluviais vem constituindo a principal fonte de suprimento para o desenvolvimento da agricultura de pequena escala, também conhecida como agricultura familiar, que constitui importante atividade, não apenas do ponto de vista de sub-

sistência, mas contribuindo para o equilíbrio sócio-econômico da região, na medida em que reduz a tendência ao êxodo rural (Silva, 2000; Costa, 1984). Em outras regiões semi-áridas do mundo, as águas de aquíferos aluviais também vêm sendo empregadas na agricultura de pequena escala, ao mesmo tempo em que pesquisas são desenvolvidas para atestar a sustentabilidade dessa prática (Lovell et al., 1992).

Por outro lado, a prática da irrigação em áreas de domínio de aquíferos aluviais rasos, associada a condições climáticas e edáficas desfavoráveis, pode incorrer em impactos ambientais adversos ao solo e à própria água subterrânea, como a concentração excessiva de sais. A água utilizada na irrigação, ainda que de boa qualidade, contém sempre uma certa concentração de sais solúveis. Ao penetrar no perfil do solo por infiltração, essa água ainda carrega os sais presentes naturalmente no solo, ou resultantes de um processo de acumulação pelo uso do solo. A retirada da água do perfil do solo para satisfazer a demanda da atmosfera e da cultura, pelo processo de evapotranspiração, deixa os sais mais concentrados no perfil do solo. Ainda, na ocorrência de aquífero freático raso, e dependendo das características hidráulicas

Tabela 1. Dados climáticos do município de Pesqueira (PE). Médias mensais de 30 anos.**(P - precipitação média; T - temperatura média; ETP - evapotranspiração potencial); fonte: Hargreaves (1974).**

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
P (mm)	51	91	86	121	101	81	72	37	23	19	18	29	60,75
T (°C)	25	24	24	23	22	21	20	20	22	23	24	24	22,67
ETP (mm)	164	147	153	133	122	106	110	125	140	159	160	163	140,17

desse solo, a ocorrência de ascensão capilar tende a transportar os sais para a zona não saturada do solo, contribuindo para o incremento nas concentrações, que, com novo aporte de água na superfície por precipitação ou evaporação, podem retornar à água subterrânea, incrementando a sua salinidade. Esse ciclo pode promover a degradação do solo e da água subterrânea. A ocorrência da salinização está condicionada aos processos de evaporação e ascensão capilar, que, por sua vez, dependem das características climáticas e hidráulicas do solo, e da profundidade do lençol. Como a prática da irrigação tende a elevar o nível do lençol freático e conseqüentemente favorecer a evaporação e ascensão capilar, também pode ocasionar um processo de salinização, dita secundária.

A salinização secundária decorrente da irrigação afeta grandes extensões de áreas em regiões áridas e semi-áridas de todo o planeta (Ghassemi et al., 1991). No Nordeste, uma área correspondendo a 10% do semi-árido é afetada de forma muito grave pela desertificação por salinização. Um total de 980.711,58 km² é considerado área susceptível à desertificação localizada na região Nordeste e norte do estado de Minas Gerais (Projeto BRA 93/036, 1993).

As áreas aluviais irrigadas tendem a exibir dinâmica sazonal de sais (Audry e Suassuna, 1995). Essa dinâmica está intimamente relacionada com o uso agrícola, com as características de recarga e descarga subterrânea, e com as taxas de bombeamento. A análise da dinâmica hidro-salina do sistema é a base para o estabelecimento do manejo da irrigação, de forma a prevenir e controlar a salinização e contribuir para o desenvolvimento sustentável da agricultura de pequena escala. Focalizando uma área irrigada de aquífero aluvial no estado de Pernambuco, este trabalho apresenta uma análise dos resultados de monitoramento quantitativo e qualitativo da água subterrânea freática. A importância desse sistema está relacionada com suas características hidrogeológicas e climáticas, que o torna um paradigma para um certo número de sistemas similares na região.

Os dados de monitoramento de quantidade e qualidade, em termos de salinidade, de água subterrânea devem também ser usados em conjunto com modelos matemáticos de fluxo e transporte em meios porosos (saturado e não saturado) que permitem, além do entendimento da dinâmica hidro-salina, a simulação de cenários futuros do comportamento do sistema em função de diferentes condições de uso da água subterrânea para irrigação, conforme ressalta

Ghassemi et al. (1991). Na área em estudo, dados de monitoramento de campo em conjunto com características hidrodinâmicas do sistema, determinadas em campo ou em laboratório também foram aplicados à modelagem determinística e estocástica de fluxo de água e transporte de sais na zona não saturada e na zona saturada (Montenegro et al., 2002a; Montenegro et al., 2002b; Coppard, 2001).

A análise da dinâmica hidro-salina do sistema também deve enfatizar aspectos relacionados à interação água superficial - água subterrânea. Na área em estudo, esses aspectos também foram investigados (Wright, 2001).

DESCRIÇÃO DA ÁREA

Este estudo foi desenvolvido na Fazenda Nossa Senhora do Rosário, município de Pesqueira, Agreste Pernambucano. De acordo com a classificação de Köppen, o clima na região é do tipo BSsh (extremamente quente, semi-árido). A Tabela 1 apresenta valores representativos mensais da precipitação, temperatura e evapotranspiração potencial. Os dados climatológicos são de uma estação distante cerca de 15 km da Fazenda N. Sra. do Rosário, situada aproximadamente na mesma altitude. Pode-se observar o comportamento sazonal da evaporação potencial, com valores mais reduzidos nos meses de maio, junho e julho (época de inverno).

O aquífero aluvial sobre o qual a área estudada está assentada pertence a uma bacia hidrográfica relativamente plana. A altitude média da área é 630 m, e a declividade média é de 0,3%. O aquífero está inserido na bacia do rio Ipanema (Figura 1). A rede de drenagem da sub-bacia do aquífero é composta pelos riachos Mimoso, Ipaneminha e Jatobá, em que o primeiro, embora intermitente, é o principal curso de água da sub-bacia e está conectado ao aquífero em toda a sua extensão. A água subterrânea é o único recurso disponível para a irrigação durante boa parte do ano, situação comum em áreas do semi-árido.

O aquífero possui profundidade média em torno de 10,0 m, cerca de 15,0 km de extensão e 300 m de largura. Segundo dados de levantamentos anteriores (Acqua-Plan, 1985), o solo na área é predominantemente do tipo aluvial (Neossolo Flúvico), constituindo um depósito heterogêneo de areia com granulometria de fina a média e contendo algum material fino (silte e argila). A textura dos solos e a

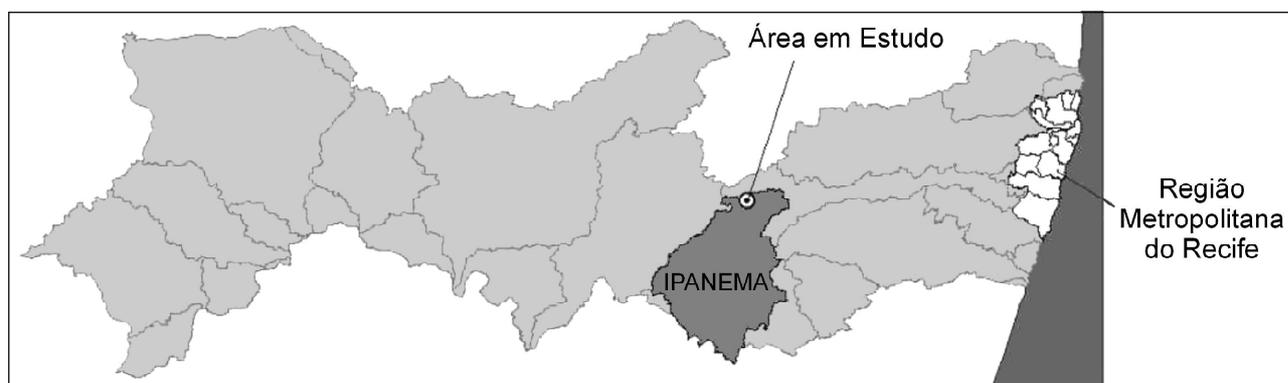


Figura 1. Mapa do estado de Pernambuco com divisão de bacias hidrográficas e identificação da área em estudo.

baixa declividade dos terrenos no vale limitam as condições de escoamento superficial e favorecem a infiltração nas áreas arenosas. O projeto de irrigação iniciou suas atividades em dezembro de 1991, utilizando quatro poços públicos de grande diâmetro (do tipo amazonas) com ponteiros radiais e instalações de irrigação por aspersão. Ao longo dos anos, outros catorze poços de grande diâmetro foram construídos pela própria comunidade para incrementar a extração de água do aquífero. Esses poços construídos de maneira artesanal são chamados de cacimbões. As principais culturas exploradas nos lotes são pimenta, cenoura, beterraba, repolho, pimentão e tomate, com duas a três colheitas por ano. A cultura de pimenta é irrigada por sulcos de superfície, e as demais por aspersão. Em geral, irriga-se uma vez por dia, em um sistema de rodízio, em intervalos de uma a quatro horas, conforme ocorrência de chuvas. Não há controle da aplicação da irrigação em função da exigência hídrica da cultura, a não ser pelo empirismo estabelecido pelos agricultores.

CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DA ZONA SATURADA

Caracterização hidráulica da zona saturada *in situ* foi realizada utilizando testes de recuperação (“*slug test*”), com três réplicas (Mackay e Montenegro, 1996). A condutividade hidráulica varia de 0,02 m/dia até 187 m/dia, com média igual a 28,36 m/dia, e desvio-padrão de 41,71 m/dia, avaliada em 65 locações no campo, a uma profundidade média de 5,0 m. As condutividades hidráulicas seguem tendência log-normal (Montenegro, 1997).

MONITORAMENTO QUANTITATIVO E QUALITATIVO

Foram instalados, na área, 80 piezômetros, para fins de caracterização da dinâmica hidro-salina e caracterização hidráulica da zona saturada *in situ* (Mackay e Montenegro, 1996). A Figura 2 ilustra esquematicamente a área do alu-

vião sob a fazenda com a locação dos poços públicos, dos poços artesanais construídos pelos agricultores, denominados cacimbões, e dos piezômetros. Os piezômetros possuem profundidades que oscilam entre 5 e 8 m. Com periodicidade mensal, à exceção de alguns períodos de interrupção, vem sendo realizada a avaliação do nível de água nos piezômetros desde a instalação em 1995. O monitoramento da qualidade da água subterrânea compreende a determinação da condutividade elétrica e do pH em amostras de água coletadas nos piezômetros e nos poços, em períodos coincidentes com a determinação dos níveis piezométricos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dinâmica hidro-salina

Os parâmetros e variáveis caracterizadores da qualidade e da quantidade da água subterrânea são reconhecidamente dinâmicos, mesmo em áreas pequenas e em intervalos de tempo mensal. A premente necessidade de irrigação para o desenvolvimento agrícola na área, devido a suas características climáticas, deve ser criteriosamente analisada considerando-se elementos como drenagem natural dos solos, profundidade do lençol freático, e salinidade da água, fator condicionante para o desenvolvimento das culturas. Essa análise é essencial para o controle do equilíbrio do sistema e para manutenção de um balanço adequado de água e sais. Na Figura 3, observa-se, a partir dos níveis medidos nos quatro poços públicos instalados na área para irrigação, a característica de lençol freático relativamente raso (profundidade inferior a 6 m), onde é evidenciada a flutuação piezométrica, em função do período do ano e ocorrência de precipitação. Os poços localizados ao longo do eixo longitudinal do domínio exibem aproximadamente a mesma dinâmica de flutuação do nível de água ao longo do tempo. O lençol demonstra uma recuperação entre os meses de junho e agosto, após uma depleção em geral coincidente com os períodos sem chuva e com bombeamento. A resposta do aquífero aluvial aos eventos de precipitação é notadamente

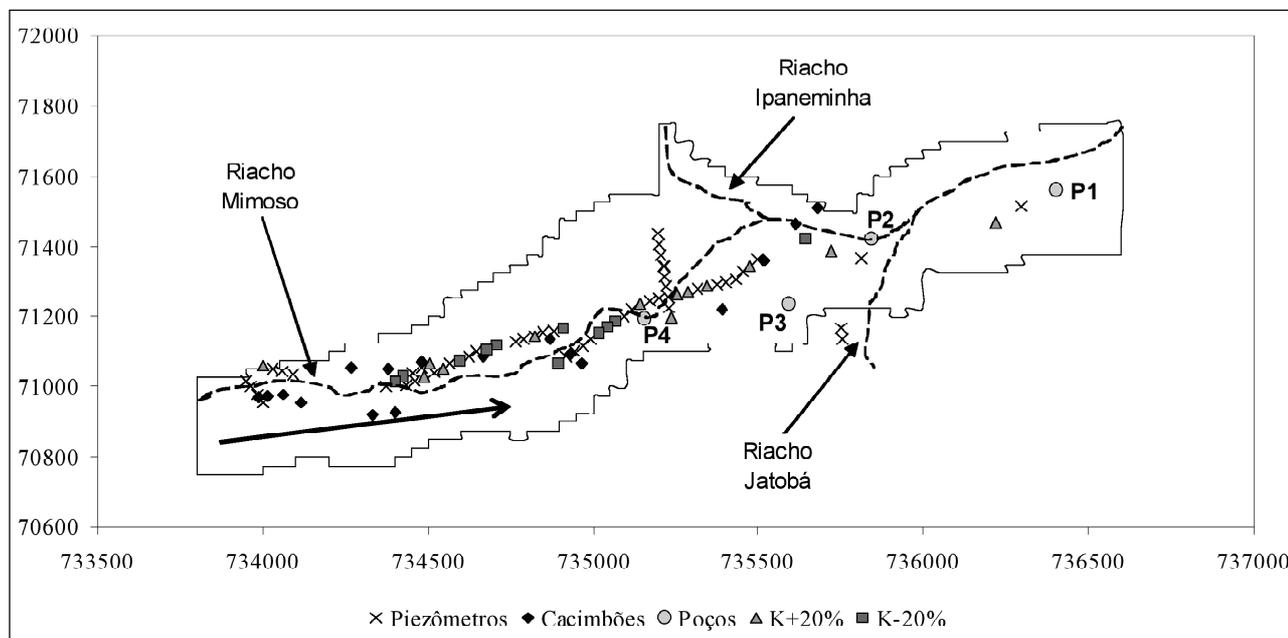


Figura 2. Esquema com locação dos poços e piezômetros na área monitorada (com seta indicando direção preferencial de fluxo).

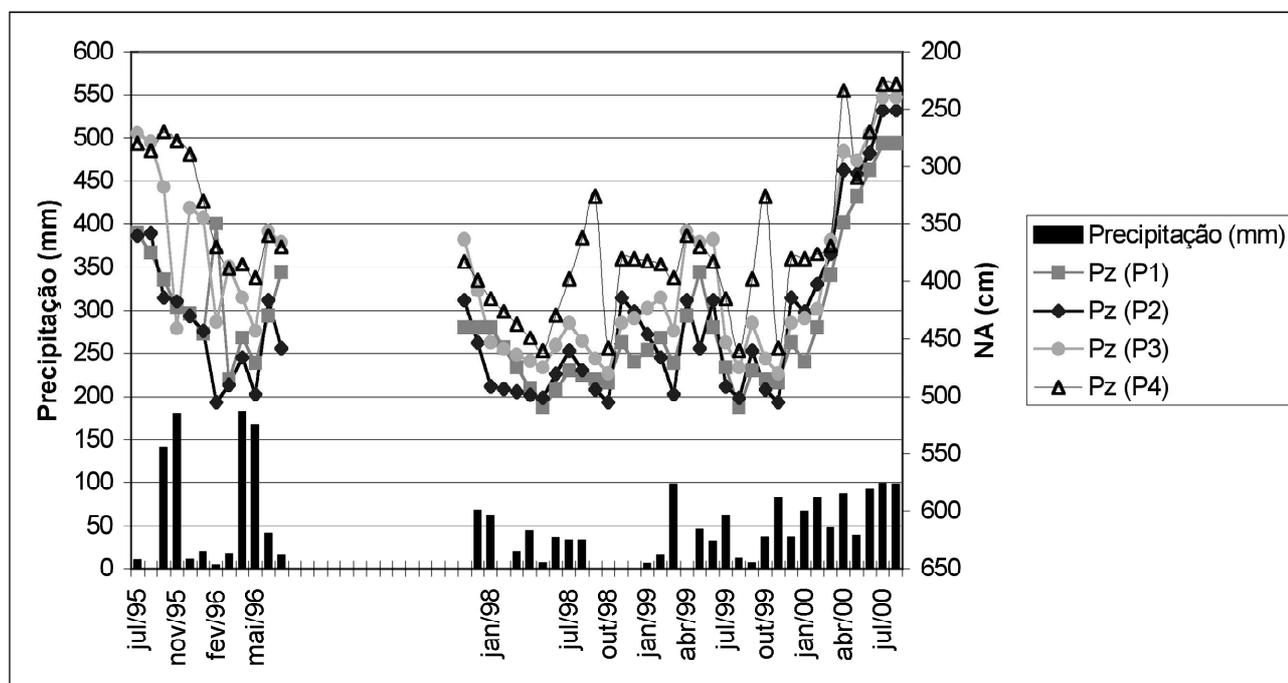


Figura 3. Profundidade do lençol freático (NA) nos quatro poços públicos da área de estudo e precipitação ocorrida.

rápida, confirmando a sua importância como elemento regulador das reservas hídricas em regiões semi-áridas. Pode-se observar, na Figura 3, a recuperação de nível em função das chuvas intensas em meses consecutivos, ocorridas em 1995 e 1996.

A Figura 4 ilustra a condutividade elétrica dos quatro poços. Nota-se a qualidade variável da água de irrigação ao longo dos meses, confirmando a necessidade da inclusão desse elemento em análises de manejo da irrigação para a maximização

da produtividade das culturas e controle do processo de salinização. A Tabela 2 apresenta as condutividades elétricas da água desses poços, na época da perfuração (1989) e em período anterior ao início da operação (1990), nas estações seca e chuvosa, respectivamente. Pela Figura 4 e Tabela 2 observa-se que o poço P4 praticamente não apresentou alteração da qualidade da água em termos de condutividade elétrica.

Esse comportamento é diferenciado em relação aos outros poços. Os poços P2 e P3 apresentam os maiores índices de

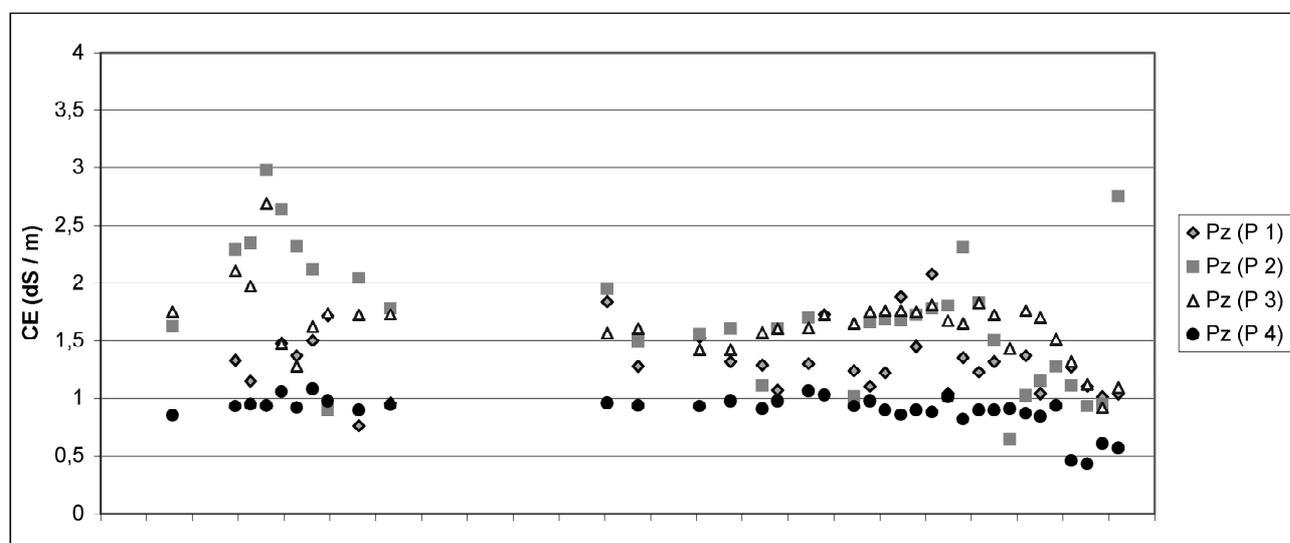


Figura 4. Condutividade elétrica da água nos quatro poços públicos.

Tabela 2. Condutividade elétrica ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) dos quatro poços públicos da Fazenda N. S. do Rosário em dois períodos anteriores ao início da operação.

Poços	Nov/1989 (estação seca)	Jul/1990 (estação chuvosa)
P1	1,35	0,65
P2	1,05	1,00
P3	1,05	0,95
P4	1,10	0,70

salinidade dentre os quatro, com valores até três vezes superiores durante o período de monitoramento quando comparados com os valores da época da perfuração. Esses poços estão localizados em zonas com solos com elevado teor de silte que favorece a ascensão capilar e, portanto, a acumulação de sais no perfil. Através da infiltração, a partir da precipitação, esses sais são carreados para o aquífero. A salinidade do poço P2 é a que apresenta maior amplitude de variação dentre os quatro no período observado, sendo o mais intensamente bombeado. A diferença no comportamento da salinidade nos quatro poços está relacionada ao tipo de solo constituinte do meio poroso, que interfere na recarga a partir da precipitação e no efeito da evaporação e da ascensão capilar sobre o balanço de sais, e ao efeito do bombeamento e do uso do solo.

Relação entre salinidade e condutividade hidráulica no aquífero

Medições nos piezômetros instalados sugerem correlação entre a salinidade da água subterrânea e as características hidráulicas do aquífero, também evidenciada em simulações matemáticas (Montenegro et al., 1998). Os perfis litológicos são hidráulicamente heterogêneos nas três dire-

Tabela 3. Característica dos piezômetros em áreas de condutividade hidráulica extrema ($K_{+20\%}$ e $K_{-20\%}$)- CE_{med} e CE_{dp} são, respectivamente, a média e o desvio-padrão da condutividade elétrica no piezômetro, durante parte do período de monitoramento (1995-2000).

$K_{+20\%}$ (m/dia)	CE_{med} (dS/m)	CE_{dp} (dS/m)	$K_{-20\%}$ (m/dia)	CE_{med} (dS/m)	CE_{dp} (dS/m)
116,00	0,86	0,09	0,03	5,29	3,71
124,30	0,85	0,08	0,21	0,82	0,11
51,80	0,81	0,06	0,74	0,85	0,07
58,20	1,02	0,09	0,15	0,83	0,07
58,20	1,08	0,37	0,25	2,13	0,88
122,50	0,95	0,10	0,80	0,97	0,16
125,01	0,93	0,22	0,17	1,34	0,43
88,10	1,04	0,45	0,18	1,45	0,15
49,30	0,96	0,19	0,13	1,24	0,09
187,00	1,33	0,52	0,48	1,42	0,14
78,00	1,75	0,53	0,14	3,41	0,81
120,00	1,34	0,29	0,22	2,01	0,68
116,00	0,96	0,16	0,11	7,04	3,63

ções, conforme evidenciado em tradagens profundas (Montenegro, 1997). A variável que melhor descreve a circulação de água no solo é a condutividade hidráulica. Para efeito comparativo, foram agrupadas as leituras de condutividade elétrica dos piezômetros instalados em locais com as 20% menores condutividades hidráulicas ($K_{-20\%}$, condutividades menores ou iguais a 0,80 m/dia), e reunidos aqueles piezômetros em locais com as 20% maiores condutividades hidráulicas ($K_{+20\%}$, condutividades maiores ou iguais a 49,3 m/dia) (Tabela 3). A Figura 5 e a Figura 6 apresentam a faixa de largura correspondendo ao intervalo de confiança de 95% para a condutividade elétrica média para cada mês de monitoramento e para os dois agrupamentos citados para parte do período de monitoramento,

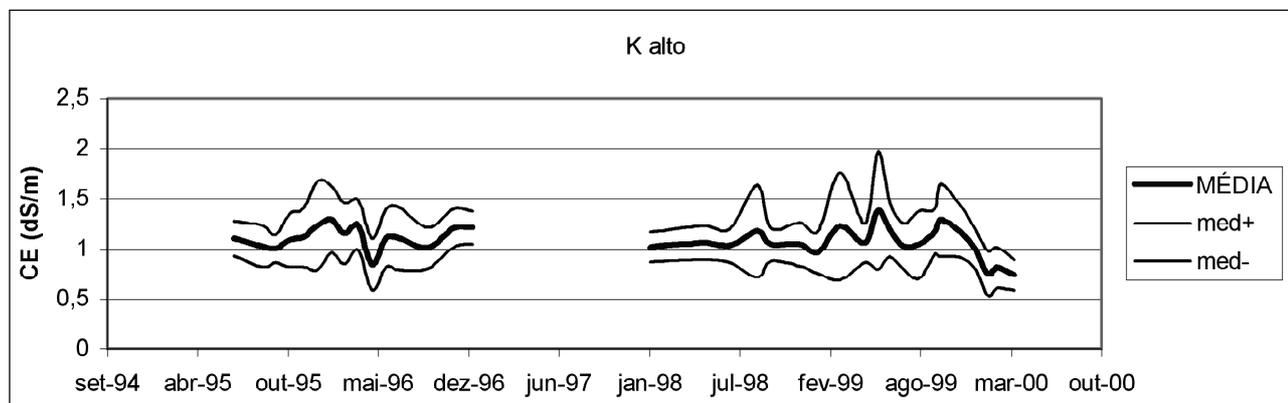


Figura 5. Variação da condutividade elétrica média ao longo do tempo e faixa de largura correspondente ao intervalo de confiança de 95% para os piezômetros em áreas de condutividades hidráulicas altas.

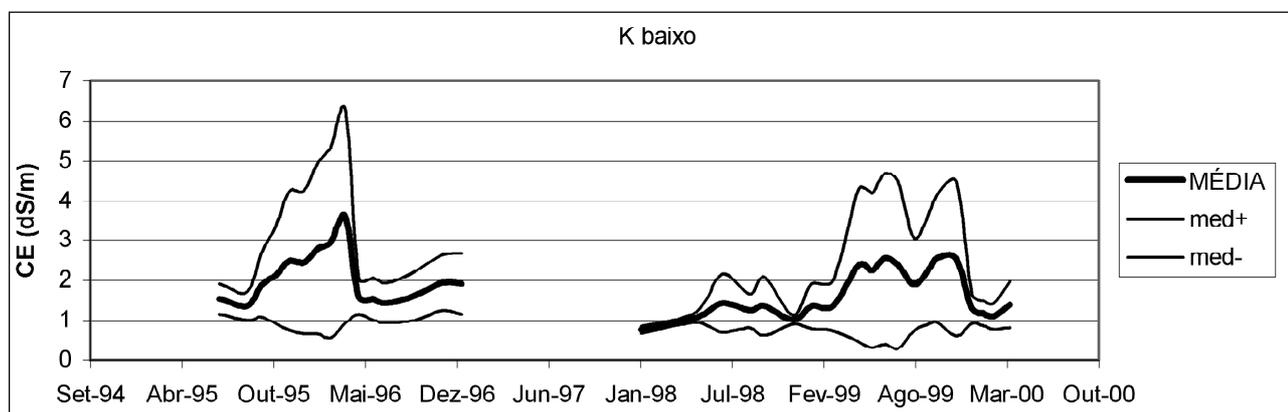


Figura 6. Variação da condutividade elétrica média ao longo do tempo e faixa de largura correspondente ao intervalo de confiança de 95% para os piezômetros em áreas de condutividades hidráulicas baixas.

de 1995 a 2000, com um intervalo sem observações. A Figura 2 ilustra as locações dos piezômetros dos dois agrupamentos. Os gráficos das Figuras 5 e 6 sintetizam 927 dados de condutividade elétrica nos piezômetros. Pode-se verificar a maior amplitude de variação nas regiões de condutividades hidráulicas mais baixas. Com efeito, tal amplitude pode ser interpretada como o grau de incerteza em torno da média, da salinidade da água de irrigação utilizada pelos agricultores. Tal consideração demonstra a importância do mapeamento da condutividade hidráulica na previsão de salinidade média e de sua incerteza em poços de bombeamento. As concentrações mais elevadas tendem a ser reduzidas pela diluição pluviométrica, principalmente nos meses de maio, junho e julho. Ressalta-se ainda o comportamento aproximadamente estável da salinidade nas regiões arenosas, de maior condutividade hidráulica.

Relação entre salinidade e profundidade do lençol

O coeficiente de correlação de Pearson entre a condutividade elétrica da água subterrânea e a profundidade do lençol é negativo e de valor absoluto baixo para os

anos de 1995 a 1999. A nuvem de pontos concentra-se principalmente na faixa de condutividades elétricas inferiores a 2,0 dS/m. Os pontos de salinidade mais elevada ocorrem para profundidades em geral próximas a 3,0 m. Esses aspectos são consistentes com as distribuições de frequência da condutividade elétrica e do nível para cada um dos anos de observação (excetuando-se o ano de 1997, com número reduzido de coletas nessa análise) (Tabelas 4 e 5). O ano de menor nível de salinidade das águas subterrâneas, 1998, exibe percentual acima de 90% das amostras com condutividade entre 0 e 2,0 dS/m, e também corresponde ao ano em que 87,5% das profundidades do nível de água observados estiveram no intervalo entre 2,0 e 4,0 m.

Estimativa de recarga

Para a estimativa da recarga do aquífero foram tomados os dados mensais do nível de água nos poços artesanais e nos piezômetros, juntamente com a pluviometria local. Devido à existência de falhas nos dados no ano de 1997 e ao ano atípico de 1998, com baixa pluviosidade, concentrou-se a análise nos anos de 1995 e 1996. Tomando-se a taxa men-

Tabela 4. Distribuição de freqüência da profundidade do lençol nos poços de monitoramento para os anos de 1995, 1996, 1998 e 1999.

Prof (m)	Frequência (%) (número de amostras)			
	1995 (285)	1996 (351)	1998 (224)	1999 (525)
0 - 2	28,4	28,8	4,0	1,5
2 - 4	69,4	67,5	87,5	65,9
4 - 6	2,2	3,7	8,5	32,6
6 - 8	0,0	0,0	0,0	0,0

sal de variação do nível do lençol e assumindo-se um coeficiente de armazenamento, S, de 0,10 para a área, obtido através de testes de bombeamento quando da construção dos poços (CISAGRO, 1991), identificam-se os meses onde ocorreu recuperação geral da piezometria do aluvião, e pode-se avaliar aproximadamente a recarga R, através da expressão:

$$R = \frac{\Delta h}{S} \quad (1)$$

em que Δh representa a variação de nível do lençol entre dois meses consecutivos, e S, o coeficiente de armazenamento do aquífero. As recuperações de nível estão situadas nos meses chuvosos, entre maio e julho, para o ano de 1996. Como os piezômetros foram instalados em julho de 1995, não houve registro de recargas nesses pontos, tanto em 1994 quanto em 1995.

Com base no gráfico da Figura 7, a estimativa média para os anos de 1994 a 1996 indica que, para um total aproximado de 670 mm precipitados no ano, cerca de 180 mm foram armazenados no aquífero aluvial. Embora esta análise possua o inconveniente de integrar tanto os efeitos de recarga de origem pluviométrica quanto à recuperação do nível devido à redução do bombeamento nos meses chuvosos, estes últimos foram considerados de menor magnitude.

Tabela 5. Distribuição de freqüência (%) da condutividade elétrica nos poços de monitoramento para os anos de 1995, 1996, 1998 e 1999.

CE (dS/m)	Frequência (%) (número de amostras)			
	1995(285)	1996(351)	1998 (224)	1999(525)
0 - 2	85,3	86,0	95,5	85,9
2 - 4	11,2	10,0	2,7	9,7
4 - 6	2,1	1,4	1,3	1,5
6 - 8	1,1	0,4	0,0	1,1
8 - 10	0,3	1,1	0,0	0,7
10 - 12	0,0	1,1	0,5	1,1

A última hipótese parece aceitável, principalmente quando se inclui, na análise, a recarga acumulada avaliada a partir da sazonalidade média de todos os piezômetros da área, similar à estimativa baseada nos poços.

CONCLUSÕES

As águas subterrâneas em aquífero aluvial localizado em região semi-árida apresentam dinâmica sazonal de piezometria e de condutividade elétrica. As águas tendem a exibir melhor qualidade durante a estação chuvosa, em parte devido às diluições promovidas pela pluviometria e, em outra, em razão do uso agrícola e reduções do bombeamento. Pode-se observar recuperação de níveis do lençol freático para os meses de maio a julho, sugerindo ocorrência de recarga neste período. A estimativa média para os anos de 1994 a 1996 indica que, para um total aproximado de 670 mm precipitados no ano, cerca de 180 mm foram armazenados no aluvião. A condutividade hidráulica saturada desempenha importante controle na salinidade do lençol e em sua sazonalidade. Áreas com maiores condutividades hidráulicas apresentam menor salinidade média e menor desvio-

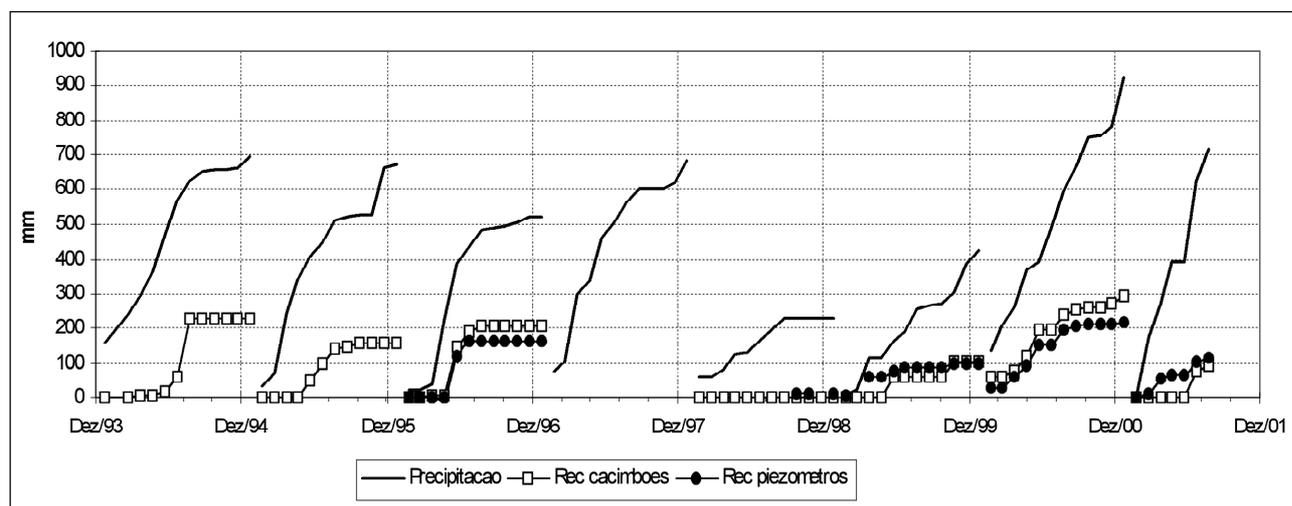


Figura 7. Precipitação e recarga anuais acumulados.

padrão de salinidade, comparadas com as áreas com baixa condutividade hidráulica. Faz-se necessária investigação mais ampla dos mecanismos de recarga e de suas magnitudes, para a área em questão, a nível diário, de modo a identificar as componentes de maior relevância para o seu equilíbrio hidro-salino.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio recebido do Banco do Nordeste do Brasil - BNB/ETENE, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq - Brasil, do DFID/British Council, da Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco - FACEPE, do INMET-PE e da EBAPE-PE. Os autores agradecem também às contribuições dos revisores.

REFERÊNCIAS

- ACQUA-PLAN (1985). *Estudo de aproveitamento hidroagrícola da área de Nossa Senhora do Rosário, Pesqueira*. Relatório Técnico. Recife, PE. 250 p.
- AUDRY, P. e SUASSUNA, J. (1995). *A salinidade das águas disponíveis para a pequena agricultura no Sertão Nordestino: Caracterização, variação sazonal, limitação de uso*. ed. CNPq. Recife, PE. 128 p.
- CISAGRO/COMPANHIA INTEGRADA DE SERVIÇOS AGROPECUÁRIOS (1991). *Projeto de irrigação da fazenda Nossa Senhora do Rosário - Pesqueira, PE*. Relatório Técnico. Recife, PE. 120 p.
- COPPARD, C. (2001). *Modeling unsaturated and saturated flow and transport in a shallow alluvial aquifer in northeast Brazil*. M. Sc. Dissertation. School of Earth Sciences. University of Birmingham, UK. 154 p.
- COSTA, W. D. (1984). Aquíferos aluviais como suporte agropecuário no nordeste. In: III Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, *Anais*. Fortaleza, CE. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, vol. 1, p. 431-440.
- GHASSEMI, F.; JAKEMAN, A. J. & NIX, H. A. (1991). Human induced salinization and the use of quantitative methods. *Environmental International*. Pergamon Press plc. USA, vol. 17, p. 581-594.
- HARGREAVES, G. H. (1974). *Climatic zoning for agricultural production in northeast Brazil*. Logan: Utah State University. 6 p.
- LOVELL, C. J.; BATCHELOR, C. H.; SEMPLE, A. J.; MURATA, M.; MAZHANGARA, E. & BROWN, M. (1992). *Development of small - scale irrigation using limited groundwater resources*. Third Interim Report. Institute of Hydrology, Wallingford, UK. 127 p.
- MACKAY, R. & MONTENEGRO, A. A. A. (1996). *Salinity control for sustainable small scale agriculture*. Final Report to the Overseas

Development Administration (ODA), UK, University of Newcastle Upon Tyne. 30 p.

- MONTENEGRO, A. A. A. (1997). *Stochastic hydrogeological modeling of aquifer salinization from small scale agriculture in northeast Brazil*. Ph. D. Thesis, Dept. of Civil Engineering, University of Newcastle Upon Tyne, UK. 247 p.
- MONTENEGRO, S. M. G. L.; MACKAY, R. e MONTENEGRO, A. A. de A. (2002a). Análise estocástica de fluxo e transporte em solos não saturados para avaliação de risco de salinização. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 1. 7, n. 2, p. 17-34.
- MONTENEGRO, A. A. de A.; MACKAY, R. e MONTENEGRO, S. M. G. L. (2002b). Coupled unsaturated saturated modeling of salinization risk in an alluvial irrigated area of North-East Brazil. *Acta Universitatis Carolinae Geologica*, vol. 46, n. 2/3, p. 593-594.
- MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. e MACKAY, R. (1998). Contribuição dos solos irrigados na dinâmica de salinização das águas subterrâneas em aluviões. In: X Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, *Anais*. São Paulo, SP. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. CD Rom.
- PROJETO BRA 93/036 (1993). *Desertificação: caracterização e impactos*. ed. Ministério do Meio Ambiente. 8 p.
- SILVA, S. M. P. da (2000). A distribuição espacial das reservas subterrâneas do nordeste e a transposição do São Francisco. In: V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. *Anais*, Natal, RN. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. CD ROM.
- WRIGHT, C. R. (2001). *Ephemeral stream - aquifer interactions in the semi - arid region of northeast Brazil*. M. Sc. Dissertation. School of Earth Sciences, University of Birmingham, UK. 108 p.

Salt-water Dynamics in an Alluvium Aquifer Under Small Scale Irrigation in the Semi-arid Region

ABSTRACT

The saltwater dynamics are studied in an alluvial area, at risk for soil and water salinization, in the state of Pernambuco (Brazil). Based on monitoring salinity data on groundwater quantity and quality, it is observed that the system is significantly affected by rainfall events, both in terms of quantity and total salt concentration. The behavior of salt concentration in groundwater is highly seasonal, exhibiting low salt concentrations during the rainy season due to recharge, as suggested by the observed water table fluctuation. The hydraulic conductivity is considered to be an important element of salt dynamics. This study highlights the importance of saturated flow magnitude for salinization. The results are important for irrigation management, aiming at system conservation, including the control of salinization risk. The system is representative of many others in semi-arid regions.

Key words: salinization; alluvium; semi-arid zone; irrigation.