

ANÁLISE PRELIMINAR DA VULNERABILIDADE E CONTAMINAÇÃO DE ÁREA SOB CULTIVO AGRÍCOLA COM BARRAGEM SUBTERRÂNEA NO SEMI-ÁRIDO

Thaísa Alcoforado de Almeida¹; Suzana Maria Gico Lima Montenegro²;
Teresa Eira Leitão³ & Abelardo Antônio de Assunção Montenegro⁴

Resumo – A agricultura familiar é praticada no semi-árido do Nordeste do Brasil de forma empírica, utilizando escassos recursos hídricos subterrâneos em geral vulneráveis. O objetivo desse trabalho é a investigação preliminar da vulnerabilidade e contaminação de um desses sistemas. A área em estudo está localizada na região semi-árida brasileira, no Estado de Pernambuco. A investigação foi procedida na barragem subterrânea Cafundó II, onde é praticada a agricultura familiar de pequeno porte. A investigação preliminar da vulnerabilidade à contaminação foi efetuada a partir da aplicação do índice de vulnerabilidade GOD. Complementarmente, amostras da água subterrânea de um poço utilizado para irrigação e piezômetro foram coletadas para determinação da concentração iônica, visando avaliar contaminação. Observa-se que a área adjacente à barragem subterrânea de Cafundó II apresenta alta vulnerabilidade à contaminação. A água subterrânea está dentro dos padrões vigentes para a água de consumo humano e cultivo de vegetais de consumo sem cozimento, mas a salinidade supera o limite de tolerância das principais culturas praticadas na área apresentando risco de perda de produtividade destas. Os resultados refletem a influência da formação geológica e da prática da irrigação, associada ao uso de agroquímicos.

Abstract – Small scale agriculture is empirically practiced in the semi-arid of Northeast, Brazil, using scarce groundwater resources in systems generally under vulnerability to contamination. The aim of this work is the preliminary investigation of vulnerability and contamination of one of these typical systems. The studied area is located in the Brazilian semi-arid region, in the Pernambuco State. The investigation has been undertaken in the area of the subsurface dam Cafundó II, where familiar small scale agriculture is practiced. The investigation of the vulnerability to contamination was performed applying the index GOD. Additionally, the groundwater samples of a well used for irrigation and a nearby piezometer have been collected for the determination of the concentration of ions, related to the evaluation of contamination. It is observed that the area of the subsurface dam of Cafundó II presents high vulnerability to the contamination. Groundwater fits the quality drinking standards for human consumption, but the salinity levels overpass the tolerance limit of the usual crops in the area leading to the risk of decrease of production. The results reflect the influence of geologic formation and the irrigation practice, associated with the use of agrochemicals.

Palavras-Chave – barragem subterrânea, contaminação águas subterrâneas, índice GOD.

¹ UFPE: Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos; Depto. de Eng. Civil; Av Acadêmico Helio Ramos, s/n, Recife, Brasil. (81) 21267216; thaisaa@terra.com.br

² UFPE: Prof. Adjunto; Depto. de Eng. Civil; Av Acadêmico Helio Ramos, s/n, Recife; (81) 21268709; suzanam@ufpe.br

³ LNEC: Investigadora Principal do Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC, Av. do Brasil, 101 P-1700-066 Lisboa, Portugal, +351 21 844 3802., tleitao@lneec.pt

⁴ UFRPE: Professor Adjunto do Departamento de Tecnologia Rural da UFRPE. Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n. Dois Irmãos, Recife. E-mail: monte@hotlink.com.br.

1. Introdução

Nas áreas onde se pratica a agricultura, a contaminação dos recursos naturais é causada por diferentes fatores, entre os quais, o acúmulo de sais e nutrientes e, o aporte de fertilizantes e de agrotóxicos.

Um dos processos naturais de degradação do solo e da água, mais comuns, é a salinização da água e do solo, pelo carreamento de sais através do perfil de solo, até atingir as camadas saturadas. A retirada da água do subsolo para irrigação expõe os sais dissolvidos à demanda atmosférica pelo processo de evaporação, e proporciona o aumento da concentração de sais, na água e no solo. Ainda, nos casos em que o lençol freático encontra-se próximo à superfície evaporante e dependendo das características hidráulicas do solo, pode ocorrer o transporte de sais por ascensão capilar para a zona não-saturada, contribuindo para o aumento da concentração de sais, que em forma cíclica, podem retornar à água subterrânea por lixiviação [1], [2], [3].

Portanto, a irrigação em áreas semi-áridas requer duas observações básicas a fim de evitar impactos ambientais: o fornecimento de água na quantidade necessária para o desenvolvimento da planta e um fluxo de água adicional para diluir ou transportar os solutos no solo [4].

O reconhecimento de que as águas subterrâneas constituem uma reserva estratégica e vital para o abastecimento público, remete a uma especial preocupação com a proteção dos aquíferos. A preocupação com a proteção destes é inevitável considerando o aumento e a diversificação de produtos químicos potencialmente poluidores da água subterrânea, a existência do lançamento 'in natura' de esgotos e efluentes industriais em larga escala e o grande aumento na aplicação de fertilizantes e pesticidas na agricultura, notadamente em sistemas com elevada vulnerabilidade à contaminação.

O presente trabalho enfoca a análise da vulnerabilidade e da contaminação de área sob cultivo agrícola dotada de barragem subterrânea na região do semi-árido do Nordeste do Brasil.

2. Área de estudo

A área em estudo localiza-se no vale do Riacho Mimoso, que tem início no distrito de Mutuca, com parte nos municípios de Belo Jardim e Jataúba. Mutuca é um distrito urbano do Município de Pesqueira, no Estado de Pernambuco, localizado próximo à região rural onde são encontradas 19 barragens subterrâneas construídas (Figura 1) ao longo do Riacho Mimoso na bacia do Rio Capibaribe e outros, como resultado de parceria entre o Ministério do Meio Ambiente e a Secretaria Estadual de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente do Estado 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 definida por geólogos com base em critérios essencialmente geológicos. As barragens subterrâneas construídas no local são de média a grande profundidade (3,8 a 10 metros) e extensão (30 a 110 metros), sendo a água subterrânea captada na área a montante dessas barragens, que constituem as principais fontes hídricas da região [5], [6].

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. A barragem subterrânea em discussão segue o modelo de Costa & Melo [7], desenvolvido no início da década de 80, tendo sofrido alterações ao longo do tempo, ajustando-se às condições locais. Esse modelo consta essencialmente da escavação de uma trincheira retilínea, perpendicular à direção de escoamento do riacho, seguida pela colocação de um septo impermeável para contenção do fluxo. Ao septo é comumente aplicado uma lona plástica, apoiada em montante e em jusante por um enrocamento de pedras sem rejunte, próximo a superfície para melhor retenção da água em casos de escoamentos superficiais [7].

Em referência ao uso e ocupação do solo, a região é caracterizada por áreas de agricultura familiar, exploradas com culturas anuais e semi-perenes, irrigadas com águas poços Amazonas. Na região, é observado maior incidência de culturas olerícolas cultivadas em áreas reduzidas. Isto expressa o caráter familiar do aquífero aluvionar, em que o policultivo é praticado de forma esparsa. Dentre as culturas mais exploradas, em termos de frequência, as olerícolas se sobressaem, destacando-se a cenoura, o pimentão, o repolho e o tomate, tanto por serem cultivadas em ciclos sucessivos ao longo do ano, como por ocuparem áreas maiores e serem mais distribuídas em relação às demais olerícolas. Identifica-se como principal razão para tal fato o rápido retorno econômico proporcionado por essas culturas, dado ao ciclo cultural reduzido.

A investigação foi procedida na barragem subterrânea Cafundó II (Figura 1), onde é praticada a agricultura familiar de pequeno porte. O proprietário do lote demonstra interesse em inserir tecnologias de otimização dos processos produtivos e já vem utilizando práticas de economia hídrica, proteção dos recursos hídricos e seleção de culturas de acordo com o período do ano e a qualidade da água vinculada aos níveis de salinidade da água – que estão em torno de 2,5 dS/m no período seco.

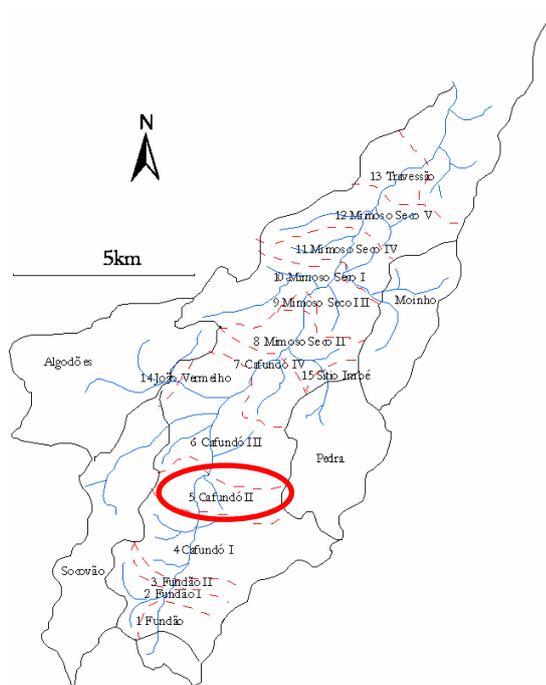


Figura 1 . Vale do Mimoso com barragens subterrâneas e respectivas áreas de captação, com destaque para área em estudo.

Através de testes geofísicos verificou-se que a área apresenta grande variação da profundidade do embasamento rochoso (Figura 2), e baixa resistividade em vários pontos (Figura 3), o que vem indicar possibilidade de elevada salinidade [8].

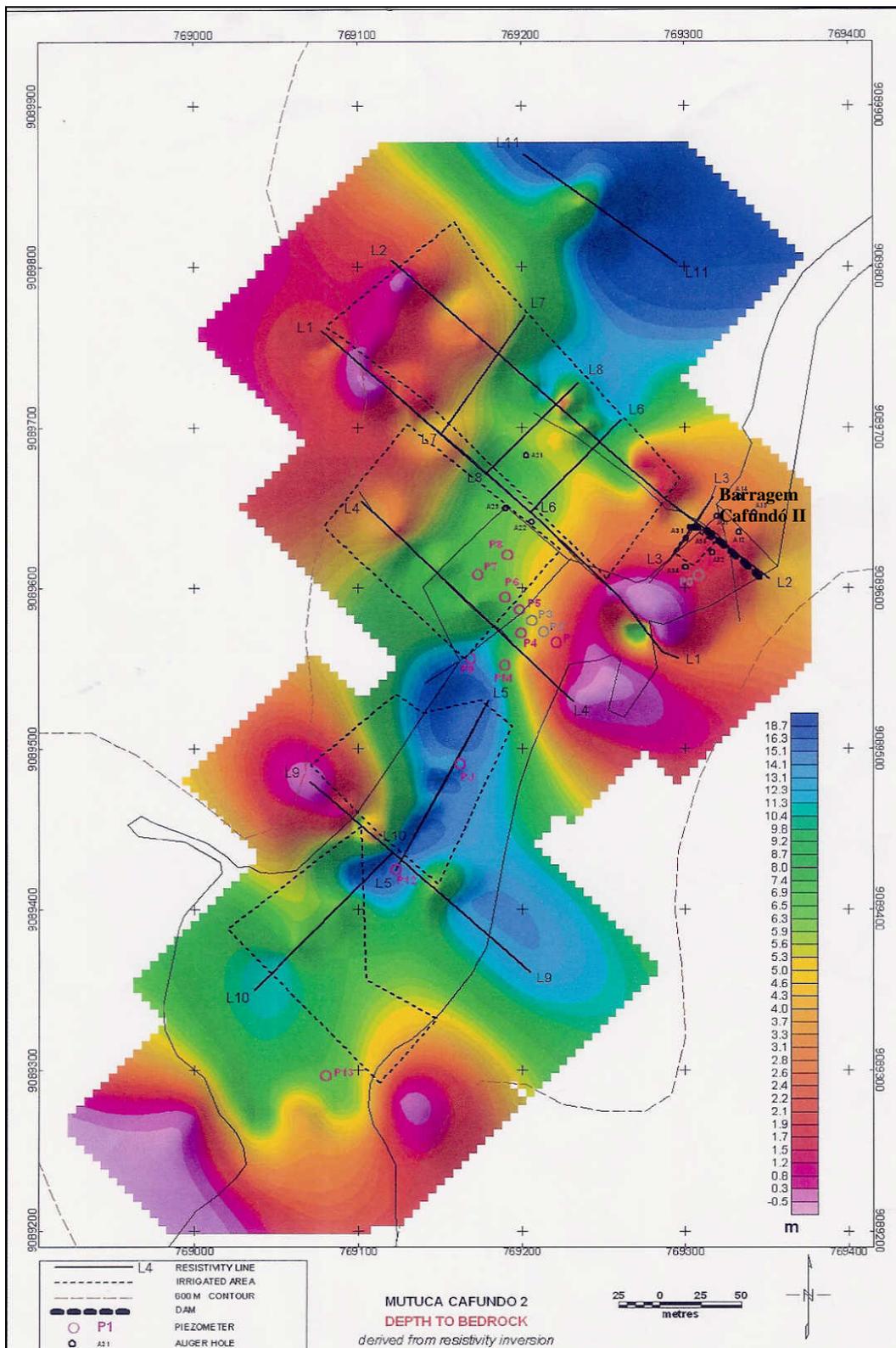


Figura 2. Esquema representativo da variação da profundidade do embasamento rochoso na área de estudo [8].

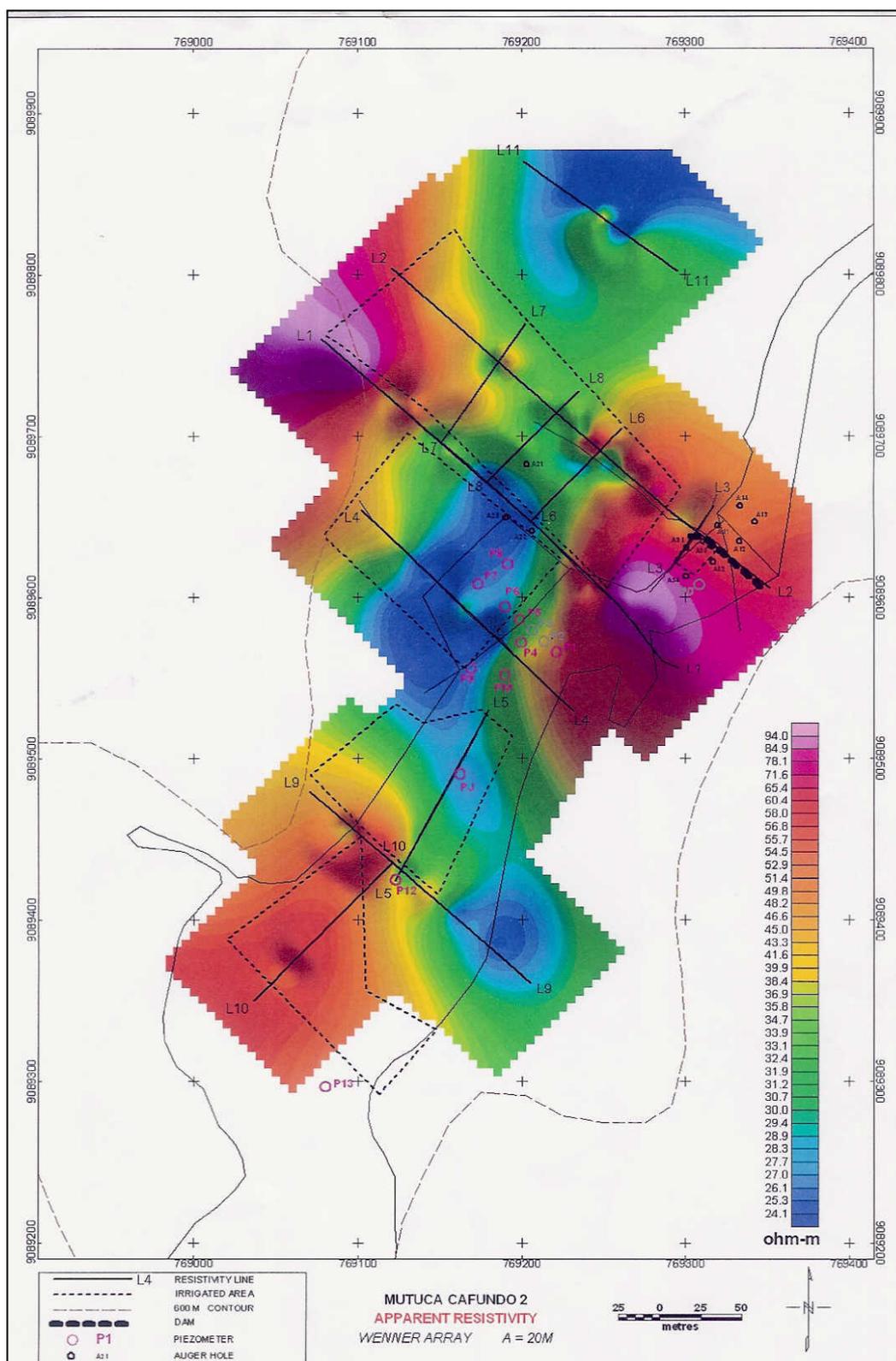


Figura 3. Esquema representativo da variação da resistividade aparente na área em estudo [8].

3. Materiais e métodos

3.1. Análise da qualidade da água

A presença de sais em excesso oriundos do próprio solo ou da água reduz a disponibilidade da água para as plantas, podendo afetar seu rendimento e desenvolvimento [9]. As culturas não respondem da mesma forma à salinidade: ou produzem rendimentos aceitáveis a níveis altos de salinidade ou são sensíveis a níveis relativamente baixos.

Teores relativamente altos de sódio, em proporção ao cálcio e magnésio no solo e na água, podem reduzir a velocidade com que a água de irrigação atravessa o solo pela infiltração. Esta redução pode alcançar uma magnitude tal que haja o bloqueio da absorção de água pelas raízes [10], [1]. Dessa forma, não só o acúmulo de sais interfere na movimentação da água, como também as concentrações de sódio em relação aos teores de cálcio e magnésio, em miliequivalente por litro. Essa relação foi discutida por [9] e na análise de qualidade de água para irrigação foi inserido o conceito de razão de adsorção de sódio (RAS), que é apresentada na Equação 1.

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}} \quad (1)$$

A salinidade e a sodicidade podem ser avaliadas em conjunto, projetando os valores em um diagrama onde a condutividade se representa no eixo das abscissas e a razão de adsorção de sódio – RAS, no eixo das ordenadas, estabelecendo-se uma das 16 possíveis categorias de água para uso em irrigação. Estas categorias são uma combinação das diferentes classes de perigo de salinização de solo (C) e perigo de alcalinização do solo (S) [11].

A avaliação de parâmetros indicadores de qualidade de água foi procedida em duas amostras distintas, relativas a um poço utilizado para irrigação, em área próxima à barragem Cafundó II, e piezômetro próximo (Figura 4). Os parâmetros analisados foram: CE (Condutividade Elétrica) (dS/cm a 25°C), pH, amônia em NH₃, nitrito em N, nitrato em N, alcalinidade de hidróxidos em CaCO₃, alcalinidade de carbonatos em CaCO₃, alcalinidade de bicarbonatos em CaCO₃, alcalinidade total em CaCO₃, dureza total em CaCO₃, fosfato em P, Ca²⁺(cálcio), Mg²⁺(magnésio), Na⁺(sódio), K⁺(potássio), Cl⁻(cloreto), SO₄²⁻(sulfato), NO₃⁻(Nitrato), HCO₃⁻(Bicarbonato) [12], [13], [14].

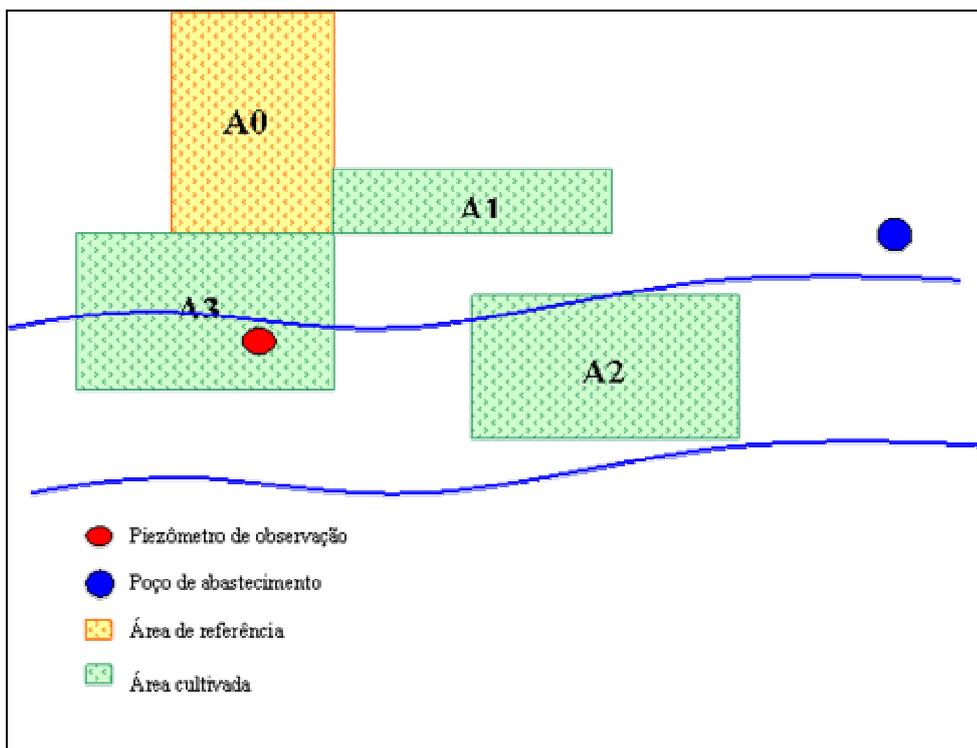


Figura 4. Esquema de localização de poço e piezômetros investigados quanto à contaminação da água subterrânea.

A classificação e comparação de grupos distintos de águas, quanto aos íons dominantes, constitui-se num passo inicial para o entendimento da química da água, o qual determinará os principais usos a que tais águas podem ser destinadas. Para tanto, são utilizados diversos gráficos e diagramas, os quais permitem a avaliação de diferentes análises químicas simultaneamente. Dentre esses, o diagrama de Piper [15] é um dos mais utilizados na classificação hidroquímica de águas. Uma das principais vantagens do mesmo é a possibilidade de se trabalhar com um grande número de análises, classificando diferentes grupos amostrados quanto aos íons dominantes.

Diante do exposto, visando classificar as águas subterrâneas utilizadas para a irrigação, os resultados das análises físico-químicas foram plotados em um diagrama de Piper, evidenciando os valores dos íons dominantes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{4-} e Cl^-) expressos em unidade de meq/L, determinados em laboratório.

3.2. Estudos de vulnerabilidade à poluição

Em uma estratégia de proteção da qualidade das águas subterrâneas [16] propuseram, como passo inicial, uma avaliação regional, no nível de reconhecimento e com base em dados disponíveis, que consiste em mapear os graus de vulnerabilidade natural dos sistemas aquíferos e caracterizar os

riscos potenciais de poluição associados à carga contaminante. A base técnica resultante constitui um instrumento para o planejamento das políticas e ações de proteção das águas subterrâneas.

Para qualquer análise são necessários dados que atendam às demandas dos sistemas de análise. Alguns sistemas de avaliação e mapeamento da vulnerabilidade partem de informações hidrogeológicas, morfológicas, topográficas, entre outras. São diversos os métodos de avaliação da vulnerabilidade de sistemas aquíferos, entre eles pode-se citar: DRASTIC, GOD, SINTACS, IS [17]. Entretanto, muitas vezes é necessário buscar um modelo que atenda à pouca disponibilidade de informações [18].

Com este objetivo, foi proposta [19] uma metodologia simples de avaliação de vulnerabilidade, chamado de índice GOD.

O índice GOD tem sido utilizado em avaliações preliminares de vulnerabilidade à contaminação em casos de pouca disponibilidade de informações, uma vez que é dependente apenas de informações simples baseadas no tipo de ocorrência da água subterrânea (ou a condição do aquífero), nas características dos estratos acima de zona saturada, em termos de grau de consolidação e tipo litológico e na a profundidade do nível da água.

O índice GOD foi apontado por [19] como de difícil interpretação devido a problemas relacionados com a insegurança da formulação matemática utilizada. Entretanto, [18] coloca a simplicidade de cálculo como uma vantagem da metodologia, e como uma ferramenta apenas complementar de investigação para propostas de conservação.

Para a análise preliminar definição da vulnerabilidade da barragem subterrânea de Cafundó II, foi utilizada a metodologia “GOD”, a qual está baseada na ocorrência de águas subterrâneas, na classificação geral do aquífero e profundidade do nível de água [19].

No estudo da ocorrência das águas (*Groundwater occurrence*), é avaliado se o aquífero é confinado, semi-confinado ou não confinado, onde o grau de confinamento hidráulico do aquífero é identificado e lhe é atribuído um índice na escala de 0,0 a 1,0 (Tabela 1)

Na classificação geral do aquífero (*Overall aquifer class*), são especificadas as características do substrato que recobre a zona saturada do aquífero em termos do grau de consolidação e do tipo de litologia, assinalando-se um índice a este parâmetro em uma escala de 0,4 a 1,0 (Tabela 2)

Por último, é avaliada a profundidade do nível de água (*Depth to groundwater table*), onde é estimada a distância ou profundidade ao nível da água (em aquíferos não confinados) ou profundidade do topo da camada do primeiro aquífero confinado, atribuindo-se um índice a este parâmetro em uma escala de 0,6 a 1,0 (Tabela 3).

O índice final integrado de vulnerabilidade de aquíferos “GOD” é o produto dos índices obtidos para cada um dos parâmetros, sendo complementado por um sufixo de qualificação que

indica o grau de fissuração e a capacidade de atenuação dos poluentes. Este sufixo é uma medida qualitativa da tendência relativa para o transporte lateral de poluentes na zona saturada. O índice recebe valores que variam de 0,0 (vulnerabilidade desprezível) até 1,0 (vulnerabilidade extrema) (Tabela 4).

Tabela 1. Avaliação do parâmetro G – Índice GOD [19].

Parâmetro G <i>(Ocorrência de águas subterrâneas)</i>	Valor
Nenhum	0
Confinado artesiano	0,1
Confinado	0,2
Semi-confinado	0,3
Semi-confinado (coberto)	0,5
Não confinado	1

Tabela 2. Avaliação do parâmetro O – Índice GOD [19].

Parâmetro O <i>(Classificação geral do aquífero)</i>	Valor
<i><u>Rochas não consolidadas:</u></i>	
Solos residuais	0,4
Aluviões siltsos	0,5
Areias eólicas	0,6
Areias e cascalhos aluviais e fluviais	0,7
Cascalhos coluvionares	0,8
<i><u>Rochas consolidadas (rochas porosas):</u></i>	
Argilitos e xistos	0,5
Siltitos	0,6
<i><u>Rochas consolidadas (rochas densas):</u></i>	
Formações ígneas/metamórficas	0,6
Lavas vulcânicas recentes	0,8
Outros calcários	1

Tabela 3. Avaliação do parâmetro D – Índice GOD [19].

Parâmetro D <i>(Profundidade ao topo do aquífero)</i>	Valor
>100 m	0,4
50-100 m	0,5
20-50 m	0,6
10-20 m	0,7
5-10 m	0,8
2-5 m	0,9
< 2 m	1

Tabela 4. Variação de valores para cada classe de vulnerabilidade do Índice GOD [19].

Índice GOD	Classe de vulnerabilidade
0,7 – 1	Extrema
0,5 – 0,7	Alta
0,3 – 0,5	Moderada
0,1 – 0,3	Baixa
0 – 0,1	Desprezível

Como já comentado, a área em estudo está a montante da barragem subterrânea Cafundó II. A barragem situa-se sobre formação rochosa de embasamento cristalino e o aquífero é classificado como livre, onde a água subterrânea é utilizada para abastecimento público e principalmente para irrigação. Para tal análise, foram utilizados principalmente dados hidrogeológicos obtido de construção da época de instalação de barragem. A análise recebeu contribuição de uma série temporal de registros de nível de água de doze pontos de observação, entre piezômetros e poços, sob a área da barragem, num período de novembro de 2003 a novembro de 2005 (Figura 5).

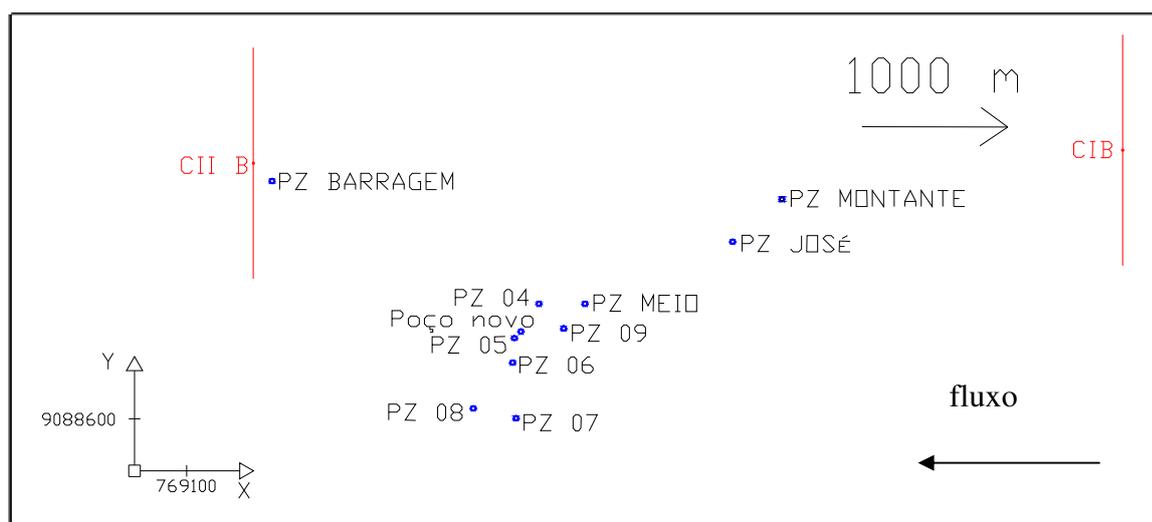


Figura 5. Esquema de localização da barragem subterrânea Cafundó II (CII B), Cafundó I (CIB) e os poços e piezômetros.

A análise foi dividida em três períodos representativos, baseado no comportamento climatológico da região: período seco inicial (de agosto a novembro), o período seco final (de dezembro a março) e o período úmido (de abril a julho) [20]. Para cada ponto observado, foi calculada a média aritmética dos níveis de água para cada período citado, em seguida a média ano a ano, a fim de que toda a serie histórica fosse utilizada.

4. Resultados

4.1. Avaliação da qualidade da água de irrigação

Na análise físico-química da água verifica-se não existirem grandes diferenças entre os dois pontos amostrados (Tabela 5), estando dentro dos padrões admitidos pela legislação vigente para água de consumo humano, aplicável a culturas de vegetais de consumo sem cozimento [21].

Tabela 5. Análise físico-química da água coletada nos pontos amostrais.

Parâmetro	Poço de abastecimento	Piezômetro
CE (dS/m a 25°C)	3,33	3,25
pH	7,40	7,20
Amônia em NH ₃ (mg/L)	ND*	ND*
Nitrito em N (mg/L)	0,01	0,004
Nitrato em N (mg/L)	0,55	0,14
Alcalinidade de hidróxidos em CaCO ₃ (mg/L)	0,00	0,00
Alcalinidade de carbonatos em CaCO ₃ (mg/L)	0,00	0,00
Alcalinidade de bicarbonatos em CaCO ₃ (mg/L)	264,30	252,30
Alcalinidade total em CaCO ₃ (mg/L)	264,30	252,30
Dureza total em CaCO ₃ (mg/L)	730,60	666,00
Fosfato em P (mg/L)	0,44	0,40
Ca ²⁺ (Cálcio) (mg/L)	153,20	147,30
Mg ²⁺ (Magnésio) (mg/L)	84,50	72,40
Na ⁺ (Sódio) (mg/L)	356,50	299,00
K ⁺ (Potássio) (mg/L)	8,20	10,90
Cl ⁻ (Cloreto) (mg/L)	808,80	686,30
SO ₄ ²⁻ (Sulfato) (mg/L)	98,60	92,70
NO ₃ ⁻ (Nitrato) (mg/L)	2,40	0,60
HCO ₃ ⁻ (Bicarbonato) (mg/L)	322,40	307,70

Metodologia de análises: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th ed.1995.

*ND = não detectado – limite de detecção: Amônia em NH₃: 0,1 mg/L; Nitrito em N: 0,002 mg/L.

Na Figura 6 apresenta-se uma projeção dos resultados obtidos para a qualidade da água, em diagrama de Piper. Os resultados permitem concluir tratar-se de uma água cloretada, e/ou sulfatada sódica.

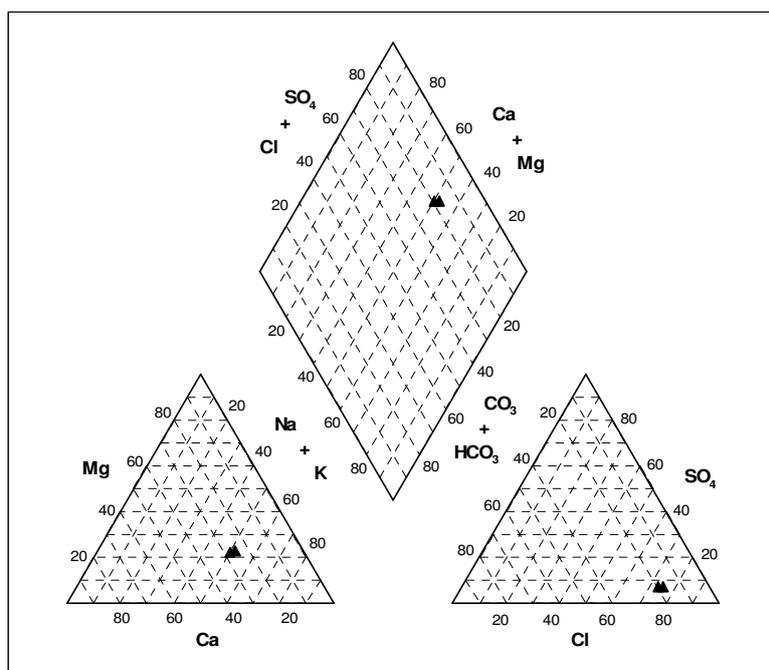


Figura 6. Diagrama de Piper da água analisada.

Verifica-se que alta concentração de bicarbonatos em relação com o cálcio e magnésio existente no solo, aumentam o risco de sodificação. Ainda, a observação da grande concentração de íons de cloro e sódio contribui para o aumento da salinidade e da sodicidade dos solos.

A salinidade da água expressa pela condutividade elétrica, supera o limite de tolerância da cultura do repolho, implementada na área, indicando possível perda de produtividade. Segundo Ayers e Westcot (1985), para nível de salinidade maior que 2,90 dS/m, a perda da produtividade pode atingir o valor de 25% em relação à produtividade máxima. Para esse caso, com a condutividade elétrica da água em torno de 3,30 dS/m, possivelmente a perda da produtividade superou os 25% apresentados pela bibliografia. Pode-se verificar a influência das concentrações de cloreto nos valores de condutividade elétrica.

A Figura 7 apresenta a classificação das águas para a rega, baseada nos valores de condutividade e na razão de adsorção de sódio (RAS), para as águas analisadas [11]. Registra-se que as águas apresentam um perigo muito alto de salinização (C4) e um perigo médio de alcalinização (S2), indicando média concentração de sódio, devendo ser utilizada apenas em solos de textura grossa ou em solos orgânicos com boa permeabilidade; e para a salinidade é observado o nível de salinidade muito alta (C4), não indicada para uso na irrigação [11].

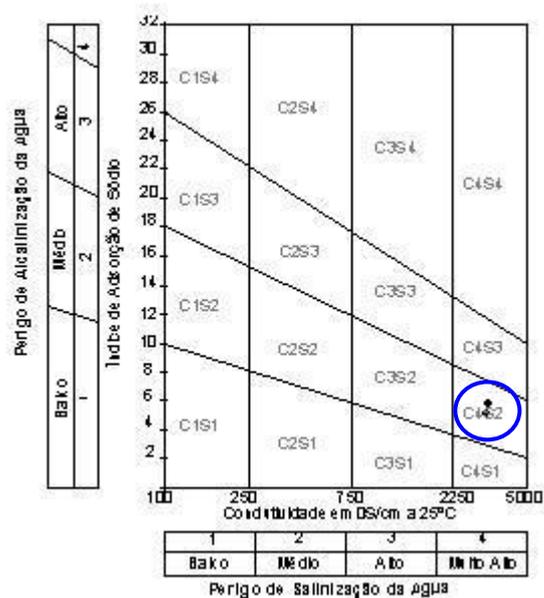


Figura 7. Classificação das águas de rega, com base no risco de salinização e de alcalinização.

4.2. Determinação do índice de vulnerabilidade GOD

Para o caso da barragem subterrânea Cafundó II, o índice “GOD” variou de 0,55 a 0,59 nos três diferentes períodos analisados. As tabelas seguintes (Tabela 6, Tabela 7, Tabela 8) apresentam a determinação do índice GOD nos três períodos.

Tabela 6. Determinação do Índice GOD para o período seco inicial (agosto – novembro).

Pontos observados	Profundidade do lençol (m)	Parâmetro G	Parâmetro O	Parâmetro D	Índice GOD	Classe de Vulnerabilidade
PZ José	4,03	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ 09	3,98	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ 04	3,98	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ 01	2,81	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ 05	4,03	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ 06	3,93	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ 07	3,14	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ 08	3,30	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ barragem	2,74	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
Poço novo	3,27	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
Pz Meio	0,92	1,0	0,6	1,0	0,60	Alta
Pz Montante	1,23	1,0	0,6	1,0	0,60	Alta
Média					0,55	Alta

Tabela 7. Determinação do Índice GOD para o período seco final (dezembro – março).

Pontos observados	Profundidade do lençol (m)	Parâmetro G	Parâmetro O	Parâmetro D	Índice GOD	Classe de Vulnerabilidade
PZ José	3,07	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ 09	2,85	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ 04	2,71	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ 01	1,97	1,0	0,6	1,0	0,60	Alta
PZ 05	2,77	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ 06	2,69	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ 07	2,45	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ 08	2,50	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ barragem	1,30	1,0	0,6	1,0	0,60	Alta
Poço novo	2,60	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
Pz Meio	1,11	1,0	0,6	1,0	0,60	Alta
Pz Montante	1,64	1,0	0,6	1,0	0,60	Alta
Média					0,56	Alta

Tabela 8. Determinação do Índice GOD para o período úmido (abril – julho).

Pontos observados	Profundidade do lençol (m)	Parâmetro G	Parâmetro O	Parâmetro D	Índice GOD	Classe de Vulnerabilidade
PZ José	2,21	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ 09	2,02	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
PZ 04	1,93	1,0	0,6	1,0	0,60	Alta
PZ 01	0,47	1,0	0,6	1,0	0,60	Alta
PZ 05	1,96	1,0	0,6	1,0	0,60	Alta
PZ 06	1,81	1,0	0,6	1,0	0,60	Alta
PZ 07	1,72	1,0	0,6	1,0	0,60	Alta
PZ 08	1,74	1,0	0,6	1,0	0,60	Alta
PZ barragem	1,30	1,0	0,6	1,0	0,60	Alta
Poço novo	2,01	1,0	0,6	0,9	0,54	Alta
Pz Meio	1,00	1,0	0,6	1,0	0,60	Alta
Pz Montante	1,40	1,0	0,6	1,0	0,60	Alta
Média					0,59	Alta

É possível observar que, para os diferentes períodos (seco inicial, seco final e úmido), a região apresenta uma alta vulnerabilidade à poluição, sendo o período seco inicial o menos crítico enquanto o período úmido o mais crítico, devido ao aumento do nível da água subterrânea e sua proximidade com a superfície.

5. Conclusões

A área em estudo apresenta alta vulnerabilidade à contaminação segundo investigação preliminar efetuada. A água subterrânea está dentro dos padrões vigentes para a água de consumo humano e cultivo de vegetais de consumo sem cozimento. A salinidade supera o limite de tolerância das principais culturas praticadas na área (repolho, pimentão, cenoura) representando possibilidade de perda de produtividade. A salinidade da água na área investigada tem provável influência climática e da formação geológica, embora a prática da irrigação também deva estar contribuindo.

Em trabalhos futuros, ações de melhoria da qualidade da água devem ser investigadas mais profundamente.

6. Referências bibliográficas

- [1] BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 6ª edição. Viçosa: Editora da UFV, 1995. 657p.
- [2] MONTENEGRO, S.M.G.L., MONTENEGRO, A.A.A., ALMEIDA, T.A., CORRÊA, M.M. Qualidade da água em aquífero aluvial sob uso agrícola no agreste do estado de Pernambuco. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 5, 2001, Natal. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, 2001. 10p. CD.
- [3] MONTENEGRO, S.M.G.L.; MONTENEGRO, A.A.A. Aproveitamento sustentável de aquíferos aluviais no semi-árido. In: CABRAL et al. (Org.) **Água Subterrânea: Aquíferos costeiros e aluviões, vulnerabilidade e aproveitamento**. Tópicos Especiais em recursos Hídricos Vol. 4. Recife: UFPE, 2004, p.61-123.
- [4] WALKER, W.R. **Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems**: FAO –Irrigation and Drainage Paper 45. Roma: FAO, 1989.
- [5] ABREU, G.H.G. **A função da barragem subterrânea como obra de convivência com a seca**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2001.
- [6] COSTA, M.R. **Avaliação de reservatórios constituídos por barragens subterrâneas**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, 2002. Recife 120p.
- [7] COSTA, W.D. Barragens subterrâneas: conceitos básicos, aspectos locacionais e construtivos. In: CABRAL et al. (Org.) **Água Subterrânea: Aquíferos costeiros e aluviões, vulnerabilidade e aproveitamento**. Tópicos Especiais em recursos Hídricos Vol. 4. Recife: UFPE, 2004, p.13-60.
- [8] LAST, B.J. (2004) **Modelling a groundwater dam in an alluvial ribbon-valley in Pernambuco, Northeast Brazil: Flow and Salt Transport Modelling**. *Dissertação de Mestrado. School of Earth Sciences. University of Birmingham, Inglaterra.*
- [9] AYERS, R. S.; WESTCOT, D.W. **Water Quality for Agriculture**: FAO - Irrigation and Drainage Paper 29, rev. 1. Roma: FAO, 1985. 174 p.
- [10] KLAR, A.E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. 2ª ed. São Paulo: Nobel, 1988. 408p.

- [11] USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils** (Agriculture handbook nº 60). Salinity Laboratory Staff, 1954. 160p.
- [12] AL-SENAFY, M.; ABRAHAM, J. Vulnerability of groundwater resources from agricultural activities in southern Kuwait. **Agricultural Water Management**, v. 64, n. 1. 2004. p. 1-15.
- [13] BABIKER, I.S.; MOHAMED, M.A.A.; TERAQ, H.; KATO, K.; OHTA, K. Assessment of groundwater contamination by nitrate leaching from intensive vegetable cultivation using geographical information system. **Environment International** v. 29, n. 4, 2004. p. 1009– 1017.
- [14] BRANDÃO, C.C.S.; KOIDE, S.; SINOTI, A.L. Estudo da contaminação de águas por atividades agrícolas na sub-bacia do córrego Capão Comprido, Bacia do Rio Descoberto, Distrito Federal – Resultados preliminares. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20, 1999. **Anais...**, Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 2201 -2209.
- [15] PIPER, A.M. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. **Trans. American Geophysical Union**, v. 25, 1944. p. 914-928.
- [16] FOSTER, S.S.D.; HIRATA, R.C.; ROCHA, G.A. Riscos de Poluição de águas subterrâneas: uma proposta metodológica de avaliação regional. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 5. **Anais...** São Paulo: ABAS, 1988. p. 175-185.
- [17] ARTUSO, E.; OLIVEIRA, M.M.; FERREIRA, J.P.C.L. Avaliação da vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas no sector de Évora do sistema aquífero de Évora-Montenegro-Cuba. In: CABRAL et al. (Org.) **Água Subterrânea: Aquíferos costeiros e aluviões, vulnerabilidade e aproveitamento. Tópicos Especiais em recursos Hídricos Vol. 4.** Recife: UFPE, 2004, p.277-322.
- [18] BOVOLATO, L.E. Estudo de vulnerabilidade à contaminação de águas subterrâneas utilizando a metodologia “GOD” para a área urbana de Araguaína/TO. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16, 2005, João Pessoa. **Anais...** , Porto Alegre: ABRH. CD.
- [19] FOSTER, S.S.D. Fundamental concepts in aquifer vulnerability, pollution risk and protection strategy, In: van Duijvanbooden, W; van Waegeningh, H.G. (Eds.), **Vulnerability of soil and groundwater to Pollution**, Delft: TNO Committee on Hydrological Research, 1987.

[20] MONTENEGRO, A.A.A.; MOURA, R.; SANTOS, F.X.; ANDRADE, T.; SILVA, J.R.L.
Relatório Final Projeto KaR: Manejo de Irrigação. UFRPE / UFPE / DFID. Recife. 2005a. 32 p.

[21] MMA. **Portaria N° 36/GM**, publicado em 19 de janeiro de 1990. Disponível em: http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/25_Recursos_Hidricos_Subterraneos.pdf. Acesso em: 04 de julho de 2005.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPQ/CT-Hidro pelo financiamento da pesquisa, ao CNPQ pela concessão de bolsa de mestrado e ao CNPQ/GRICES pelo apoio à cooperação internacional entre o Portugal LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil – Portugal) e o DECIV-UFPE (Departamento de Engenharia Civil).