

VULNERABILIDADE NATURAL À CONTAMINAÇÃO DOS AQUÍFEROS DA REGIÃO DE ROCHAS SEDIMENTARES DA BACIA DO RIO MUNDAÚ / CEARÁ.

Carlos Eduardo Sobreira Leite¹ e Gilberto Möbus¹

Resumo - Objetivando estimar a vulnerabilidade natural dos aquíferos porosos da região norte da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú, no litoral oeste do Estado do Ceará, foi empregada a metodologia baseada no índice DRASTIC, com algumas modificações em função dos conhecimentos de campo. Para tal, foram considerados os seguintes parâmetros: profundidade do nível d'água (lençol freático), o meio aquífero, a altimetria, o impacto na zona vadosa e a cobertura vegetal.

Para cada uma das variáveis foram aplicadas cargas e pesos distintos e gerados planos de informações (PI's) que posteriormente foram integrados com uso do IDRISI para obtenção do mapa final de vulnerabilidade. O software SURFER também foi utilizado para processamentos de interpolação de dados pontuais através de krigagem .

INTRODUÇÃO

A área de estudo está localizada na costa oeste do Estado do Ceará, distando 120 Km da capital (Fortaleza), sendo as principais drenagens o Rio Mundaú e os Riachos Angelim e Salgado.

Do ponto de vista geológico, a bacia é constituída por rochas do embasamento (ígneas e metamórficas) e sedimentos do Grupo Barreiras, Dunas e Aluviões, sendo que estas últimas representam cerca de 60% da área total. A análise do tema proposto, vulnerabilidade natural das águas subterrâneas, é distinta nestes dois meios, sendo a questão principal o fator continuidade, visto que na primeira região (embasamento), a circulação e armazenamento de água subterrânea se dá em função da existência e

¹ Mestre em Hidrogeologia - Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) - Av. Bezerra de Menezes 1900, São Gerardo, Fortaleza - Ce. - CEP 60.325-002 - Fone (085) 287.1011 - Fax (085) 287.1165 - sobreira@funceme.br - mobus@funceme.br

características das fraturas existentes (meio descontínuo) enquanto a segunda (sedimentos) pode ser considerada como um meio contínuo e conseqüentemente as características das variáveis analisadas podem ser regionalizadas.

Neste trabalho, foram feitas análises de vulnerabilidade natural dos aquíferos do segundo tipo, representados pelos sedimentos, com base em produtos cartográficos existentes (altimetria) e gerados pelas equipes da FUNCEME em trabalhos anteriores (cadastro de pontos d'água, reconhecimento de solos, cobertura vegetal e mapeamento de unidades hidrogeológicas);

Os dados existentes foram primeiramente tratados com o software SURFER que permitiu a interpolação dos pontos amostrados e conseqüente geração do PI (plano de informação) de declividade. Os outros temas formaram os demais PI's, sendo todos integrados com a utilização do software IDRISI, que permitiu a análise conjunta, de forma georreferenciada, proporcionando a obtenção do mapa final de vulnerabilidade através de processos de multiplicação e adição de imagens.

Os resultados obtidos demonstram a plena aplicabilidade de softwares e metodologias relativamente simples, para análises regionais, com otimização de tempo e recursos.

CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

O termo “vulnerabilidade natural à contaminação de aquífero” é utilizado para representar as características intrínsecas que determinam a sensibilidade do aquífero a ser afetado por uma carga contaminante imposta (Foster et al., 1987). Já o Conselho Nacional de Pesquisa norte-americano definiu a vulnerabilidade das águas subterrâneas a um determinado contaminante como sendo a “tendência ou probabilidade do contaminante ser encontrado em uma posição específica no sistema de água subterrânea após sua introdução em algum local acima do aquífero mais superior” (NRC, 1993). Dado a complexidade dos fatores que afetam a migração dos contaminantes nos sistemas hidrogeológicos, pareceria mais lógico tratar cada atividade potencialmente contaminante em separado. Isto infelizmente é proibitivo em termos de custos e tempo. Assim, optou-se por tratar com as características intrínsecas dos aquíferos sob um cenário típico de um contaminante universal.

A metodologia aqui empregada baseia-se no modelo DRASTIC, que se constitui num sistema padronizado de avaliação da vulnerabilidade natural de aquíferos a partir de dados decodificados em planos de informações e é um dos índices de vulnerabilidade

mais difundido atualmente. Esta metodologia foi desenvolvida pela National Ground Water Association, e é empregada pela Agência de Proteção Ambiental norte-americana (US-EPA), constituindo-se num modelo qualitativo para avaliar a poluição potencial das águas subterrâneas usando variáveis hidrogeológicas da região em estudo (ALLER et al., 1987). Este modelo foi desenvolvido para avaliar áreas maiores que 0,4 Km². As variáveis, ou fatores, arrolados neste modelo são:

D - Profundidade das águas subterrâneas (**D**ePTH to groundwater);

R - Recarga devido a chuva (**R**echarge);

A - Meio aquífero (**A**quifer media);

S - Solos (**S**oil media);

T - Topografia (**T**opography);

I - Impacto na zona vadoza (**I**mpact of the vadose zone);

C - Condutividade hidráulica (**C**onductivity hydraulic).

Estes fatores, denominados fatores DRASTIC, são relacionados entre si através de um equação simples, aplicada a cada unidade geográfica de trabalho, que neste caso se resume ao pixel dos PI's.

$$\text{Índice DRASTIC} = D_p D_c + R_p R_c + A_p A_c + S_p S_c + T_p T_c + I_p I_c + C_p C_c \quad (01)$$

onde: $D_p, R_p, A_p, S_p, T_p, I_p, C_p$ = pesos dos fatores DRASTIC na equação;

$D_c, R_c, A_c, S_c, T_c, I_c, C_c$ = fator de carga das variáveis nos seus respectivos intervalos de ocorrência (range).

Para aplicação do sistema DRASTIC na região de ocorrência dos aquíferos sedimentares (meio contínuo) da bacia do Rio Mundaú, a equação 01 sofreu modificações, sendo eliminados alguns fatores (recarga devido a chuva, solos e condutividade hidráulica) e adicionado outro (cobertura vegetal), em função da área apresentar regime pluviométrico homogêneo em virtude da pequena dimensão da área, os solos presentes não apresentarem características que provocassem variações com relação as cargas inferidas pelo método, se ter dados sobre a hidráulica do aquífero de

forma muito localizada e portanto não ser prudente a sua generalização para toda a área, e finalmente, a cobertura vegetal, por mostrar-se espacialmente variada e ter reconhecida importância com relação aos aspectos de vulnerabilidade.

Assim, para a equação empregada para estimar o índice de vulnerabilidade da área em apreço tem-se:

$$\text{Índice DRASTIC modificado} = D_p D_c + A_p A_c + T_p T_c + I_p I_c + V_p V_c \quad (02)$$

onde; V_p = peso do fator DRASTIC de cobertura vegetal ($V_p = 1$)

V_c = fator de carga do fator Cobertura vegetal

CARGAS PARA OS CINCO FATORES EMPREGADOS NO SISTEMA DRASTIC PARA A ÁREA DE ESTUDO.

1 - PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA

Intervalo de profundidades do lençol freático (m)	carga
0 - 5	10
5 - 10	8
10 - 15	6
> 15	3

2 - MEIO AQUÍFERO (A)

Unidades geológicas/hidrogeológicas	carga
Dunas	9
Paleodunas	8
Grupo Barreiras	6
Aluvião	5
Mangue	2

3 - TOPOGRAFIA (T)

declividades percentuais	carga
0 - 2%	10
2 - 6%	9
6 - 12%	5
12 - 18%	3
> 18%	1

4 - IMPACTO NA ZONA VADOSA (I)

Unidades Pedológicas	carga
AREIAS QUARTZOSAS EUTRÓFICAS e DISTRÓFICAS AREIAS QUARTZOSAS DISTRÓFICAS	10
LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO álico A fraco textura média LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO DISTRÓFICO A fraco textura média	8
PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO tb EUTRÓFICO A moderado textura arenosa/média PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO tb EUTRÓFICO A fraco textura arenosa/média	7
PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO tb DISTRÓFICO abruptico A fraco textura arenosa/média PODZÓLICO ACINZENTADO tb DISTRÓFICO abruptico A textura arenosa/média	6
SOLOS ALUVIAIS EUTRÓFICOS A moderado textura média/argilosa	4
PODZÓLICO VERMELHO-AMARELO tb EUTRÓFICO abruptico plíntico A fraco textura arenosa/média	3
PLANOSSOLO ta EUTRÓFICO solódico A fraco textura arenosa/média PLINTOSSOLO tb EUTRÓFICO abruptico A fraco textura média/argilosa	2
SOLOS SALINOS INDISCRIMINADOS costeiros textura indiscriminada	1

5 - COBERTURA VEGETAL (V)

Cobertura vegetal	carga
Litorânea	9
Vegetação de Tabuleiro	5
Mata ciliar	6
Mangue	6

PLANOS DE INFORMAÇÕES GERADOS

A seguir são mostrados os PI's gerados para cada fator.

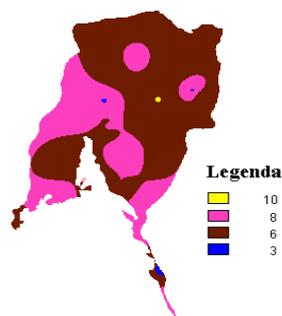


Figura 1 - Fatores de carga da profundidade dos níveis d'água subterrânea

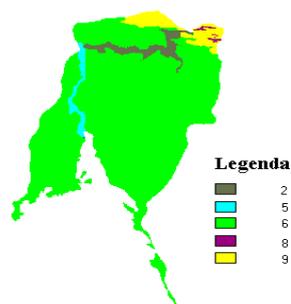


Figura 2 - Fatores de carga do meio aquífero

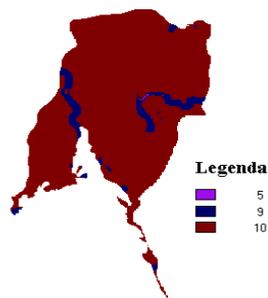


Figura 3 - Fatores de carga da topografia (declividade percentual)

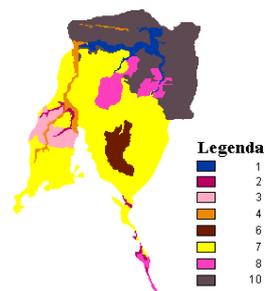


Figura 4 - Fatores de carga do impacto na zona vadosa

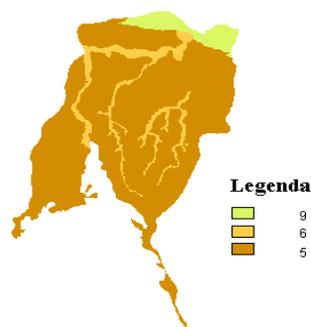


Figura 5 - Fatores de carga da cobertura vegetal

DISCUSSÃO SOBRE AS ZONAS DE VULNERABILIDADE E CONCLUSÕES

Com base no já exposto, foi gerado o mapa do índice DRASTIC (Figura 6). Como ferramenta empregou-se o programa IDRISI, que se constitui num sistema computacional com capacidade de operação com planos de informação georeferenciados, além de tratamento de imagens, em computadores tipo “PC”.

Em função dos pesos e fatores de carga que as variáveis DRASTIC poderiam assumir, foi elaborado uma tabela de classificação quanto ao grau de vulnerabilidade das águas subterrâneas. Os intervalos de cada classe são apresentados na tabela 07.

Tabela 07 - Classificação da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas

Grau de vulnerabilidade	Intervalo dos índices DRASTIC _{mod.}
Área protegida (isenta de risco)	< 35
pouco vulnerável	35 - 65
vulnerável	65 - 95
Área de risco (muito vulnerável)	95 - 120
Área de proteção obrigatória(extremamente vulnerável)	> 120

Os valores do índice DRASTIC apresentaram valores num intervalo de 37 a 146. Como pode-se verificar, não foi obtido valores que caracterizassem áreas totalmente protegidas (índice DRASTIC < 35). Isto é coerente dado as características do meio (sedimentar) e dos níveis d'água subterrânea (sempre inferiores a 15 m).

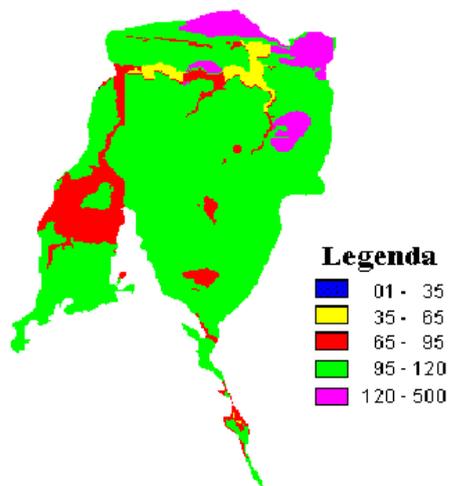


Figura 6 - Índices DRASTIC para a região das rochas sedimentares da bacia do Rio Mundaú

A zona de manque (área da calha do rio sob influência das marés) mostrou-se pouco vulnerável dado as características intrínsecas do terreno. O teor de finos e matéria orgânica é normalmente elevado nestes solos, o que garante um meio altamente absorvente e, somado a isto, a presença do sódio promove uma expansão das argilas, gerando um nível pouco permeável. Na porção intermediária dessa zona o índice DRASTIC sofreu um aumento, indicando uma zona vulnerável. Isto se deveu principalmente à altura do nível d'água subterrânea. Lembrando que o plano de informação sobre nível d'água subterrânea foi obtido por interpolação a partir das informações de campo, logo deve-se tomar este zoneamento com reserva.

Já na área de ocorrência das rochas do Grupo Barreiras, a classificação predominante foi de alta vulnerabilidade. Mesmo sabendo-se que o Grupo Barreiras apresenta uma grande variabilidade nos tipos granulométricos, verificou-se que há o predomínio da fração arenosa, o que confere um meio propício a circulação das águas no seu meio e, também da carga contaminante a ela por ventura associada. O solo predominante nesta região, Podzólico vermelho-amarelo, apresenta uma textura arenosa, o que favorece a infiltração e a percolação. Somando-se a isso a sua grande ocorrência areal, faz com que tal área deva ser gerenciada com cuidado especial em termos de uso e proteção dos mananciais subterrâneos.

Nas áreas onde foram detectadas manchas de solo com plintita a vulnerabilidade vê-se atenuada pelo efeito selante desse elemento. O mesmo ocorre quando a textura do horizonte b passa para eutrófico abrupto. Em contrapartida, quando o nível d'água subterrânea encontra-se muito próximo da superfície (< 10 m) tem-se área de alto risco.

Como era de se esperar, a zona mais vulnerável, considerada como área de proteção obrigatória dos recursos hídricos subterrâneos para sua preservação, é a da ocorrência dos sedimentos quaternários/recente das dunas/região litorânea. Qualquer atividade com um certo potencial poluente deve ser evitado nesta região. Inclui-se aí a necessidade da elaboração e implantação de um sistema de saneamento básico para suprir as necessidades atreladas a uma futura demanda.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aller, L. , Bennet, T. , Lehr, J.H. , Petty, R.J. , Hacket, G. **DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution using hydrological settings.** Preparado por National water well association para US EPA Office of Research and Development, Ada, USA, 1987.
- Foster, S. , Ventura, M. , Hirata, R. **Contaminação de las águas Subterraneas.** Organização Mundial de la Salud, Organização Panamericana de la Salud, Centro Panamericano de Ingenieria Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Lima, Peru, 1987.
- National Research Council. Groundwater Vulnerability. **Assessment: Predicting Relative Contamination Potential under Conditions of Uncertainty.** National Academy Press, Wasshington, DC, USA , 1993.