

# ANÁLISE DA VULNERABILIDADE NATURAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO COMPLEXO PORTUÁRIO E INDUSTRIAL DO MUCURIBE, FORTALEZA – CE

Saulo de Almeida GOMES <sup>1</sup>, José Antonio Beltrão SABADIA <sup>2</sup>,  
Cynthia Romariz DUARTE <sup>2</sup>

(1) Departamento Nacional da Produção Mineral – 10º Distrito. Rua Dr. José Lourenço, 905.  
CEP 60115-280. Fortaleza, CE. Endereço eletrônico: saulo\_agomes@hotmail.com

(2) Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Campus Universitário do Pici – Bloco 912.  
CEP 60455-760. Fortaleza, CE. Endereços eletrônicos: sabadia@ufc.br; cynthia.duarte@ufc.br

Introdução  
Condicionantes Geoambientais  
Contexto Geológico/Hidrogeológico  
O Complexo Portuário e Industrial do Mucuribe  
Método DRASTIC: Princípios e Métodos  
Resultados  
Conclusões  
Referências Bibliográficas

**RESUMO** – O estudo da vulnerabilidade de meios aquíferos pode ser definido sobre vários aspectos. Neste trabalho avalia-se a susceptibilidade que um sistema aquífero tem de vir a ser degradado por atividades antrópicas, o que implica numa maior ou menor probabilidade de alteração negativa da qualidade da água em consequência das atividades humanas. O objetivo deste trabalho é analisar o risco potencial existente, através do método “DRASTIC”, na área compreendida pelo Complexo Industrial e Portuário do Mucuribe, uma vez que em seu contexto são verificadas possíveis fontes de contaminação, tais como atividades relacionadas ao armazenamento de hidrocarbonetos, transporte de materiais diversos e lançamento de efluentes, além da elevada densidade demográfica das áreas adjacentes. Este método considera e atribui valores a sete parâmetros: profundidade das águas subterrâneas, recarga devido às chuvas, meio aquífero, tipo de solo, topografia, impacto na zona vadosa e condutividade hidráulica. Considerando-se que a área de estudo está inserida no sistema hidrogeológico Dunas/Paleodunas, o valor do índice DRASTIC obtido no presente estudo é de 168, o que caracteriza a área como sendo de vulnerabilidade alta em relação à contaminação das águas subterrâneas. O caráter vulnerável apresentado pode ser atribuído a fatores como a inexpressiva variação faciológica ou granulométrica do sistema aquífero Dunas/Paleodunas (areia fina a média), ao contrário do que ocorre na Formação Barreiras, o nível freático pouco profundo e a alta taxa de infiltração apresentada pelos sedimentos que a constituem. Deve-se ressaltar que é necessário um monitoramento qualitativo e quantitativo das águas subterrâneas utilizadas pelas diferentes empresas, para que se possa garantir o uso sustentável deste recurso.

**Palavras-chave:** Método DRASTIC; Vulnerabilidade; Aquíferos Costeiros.

**ABSTRACT** – *S. de A. Gomes, J.A.B. Sabadia, C.R. Duarte - Groundwater natural vulnerability analysis from Mucuribe harbor and industrial complex, Fortaleza – CE.* The study of aquifer vulnerability is defined under various aspects and, specifically in this work, is also related to the susceptibility that an aquifer system has to be degraded by antropic activity, what implies in a bigger or smaller probability of negative alteration of the water quality as a consequence of human activity. The objective of the work is to analyze the potential risk existent, through of the DRASTIC method, in the area comprehended by the Mucuribe Portuary and Industrial Complex, once inside its context are verified possible sources of contamination like activities related to the storage of hydrocarbons, transport of diverse materials and throwing of effluents and the high demographic tax of the adjacent areas. This method considers and attributes values to seven parameters: depth of groundwater; recharge by the rain; aquifer media; soil type; topography; impact in vadose zone and hydraulic conductivity. Considering that the area of study is inserted in the context of the Dunes/Paleodunes system, the value of the DRASTIC index obtained in the present study is 168, what characterizes the area as being of high vulnerability in relation to contamination of groundwater. The vulnerable presented, can be attributed to factors like the inexpressive faciologic or granulometric variation of the Dunas/Paleodunas aquifer system (fine to medium sand), different from what occurs in the Barreiras Formation, its low freatic level and the high infiltration tax presented by the sediments that compose this system. It must be said the necessity of a monitoring of the groundwater quality and quantity used by the companies, to be guaranteed the sustainable use of this resource.

**Keywords:** DRASTIC Method, Aquifer Vulnerability; Coastal Aquifers.

## INTRODUÇÃO

O Complexo Portuário e Industrial do Mucuribe está situado na costa leste do município de Fortaleza, porção nordeste do estado do Ceará e incluso na carta topográfica AS. 24-Z-C-V (Folha Aquiraz) da

SUDENE (escala 1:100.000).

Esta região é reconhecida como um pólo de aglutinação de empresas distribuidoras derivados de petróleo e bio-álcool combustível (hidratado e anidro), reunindo operações de carga/descarga, armazenamento de grandes volumes de óleo e gás, manipulação (adição de aditivos e “oxigenados” /álcool anidro), lançamento de efluentes e disposição provisória de resíduos sólidos (rejeitos) etc, reunindo problemas históricos, de caráter

possivelmente acumulativo, que já foram reportados algumas vezes na imprensa local.

Além da influência de atividades industriais e do Complexo Portuário, ressalta-se a intensa urbanização e ocupação da região ao seu redor, na qual podem ser observados desde moradias de baixa renda, como o Morro Santa Terezinha e a favela do Titanzinho, por exemplo, a condomínios residenciais de alta renda e hotéis de luxo na Avenida Beira-Mar.

## CONDICIONANTES GEOAMBIENTAIS

A região, situada as margens do Oceano Atlântico, sofre grandes influências da brisa marinha, enquadrando-se assim no clima do tipo Aw' (tropical chuvoso quente-úmido com chuvas de verão-outono), segundo a classificação de Köppen (1948).

Em termos de pluviosidade, podem ser distinguidos dois períodos distintos: o período chuvoso, que se estende de janeiro a junho e o período de estiagem, entre julho e dezembro.

Segundo dados do IPECE (2000) a temperatura média anual de Fortaleza se situa numa faixa entre 29,9°C (máximas) e 23,5°C (mínimas) sendo dezembro o mês mais quente e julho o mês mais frio.

A direção predominante dos ventos é de E-W, com

velocidade média de 3,5 m/s, predominantemente no sentido W, sendo que no período seco, a velocidade é maior do que no período chuvoso.

Segundo as séries históricas de dados da FUNCEME, a umidade relativa média é de cerca de 80%, com um máximo de 83,9% em Março e um mínimo de 74,1% em Outubro. A umidade relativa é menor durante o dia, atingindo o seu valor mínimo por ocasião da temperatura máxima do dia. O trimestre Março, Abril e Maio, corresponde ao período mais úmido do ano.

A insolação média anual é de 3000 horas, o que equivale a uma incidência solar média de 8 horas/dia. Durante o período de chuvas, a média passa a 6 h/dia.

## CONTEXTO GEOLÓGICO / HIDROGEOLÓGICO

Na área estudada verifica-se um predomínio total de rochas sedimentares de idade cenozóica, uma vez que o embasamento cristalino não aflora na região. Em termos de unidades litoestratigráficas são encontradas as seguintes: Formação Barreiras, Dunas Recentes, Depósitos de Praia e *beach-rocks*.

A Formação Barreiras, que é representada na área por exposições na Ponta do Mucuripe e dentro do Complexo Industrial, é composta por litotipos areníticos com níveis conglomeráticos, se mostra dominante em subsuperfície, representando uma deposição de caráter continental, assentada em discordância erosiva e angular sobre o paleorelevo irregular do embasamento cristalino (não aflorante), cuja espessura se mostra bem variável, podendo atingir até 40 m, segundo dados de poços existentes. De forma particular, esta unidade litoestratigráfica apresenta-se na área de estudo com forte diagênese e alto grau de coesão, bem distinta da sua maneira mais tradicional de ocorrência nos domínios da Região Metropolitana de Fortaleza.

As dunas recentes são litologicamente constituídas por areias não consolidadas (partes mais superficiais), de cores branca a amarelada, bem clara, sendo bem

selecionadas e com granulometria variando entre areia fina a média, às vezes siltosa (leitosa quando ume-decidas), de composição quartzosa e/ou quartzo-feldspáticas.

Os Depósitos de Praia se estendem desde a maré baixa até o campo dunar, sendo constituídos por uma areia de cor clara com tons amarelados e esbranquiçados, de granulação fina a média e composta por quartzo, minerais pesados e conchas. Já os arenitos de praia, ou *beach rocks* ocorrem na Praia do Titã e na Beira-Mar e corresponde a um arenito conglomerático de cor vermelho-escuro, cimentada por  $\text{CaCO}_3$ , composto basicamente por quartzo, fragmentos biológicos (bioclastos) e litoclásticos e caracterizado pela presença de concreções ferruginosas e por um alto grau diagenético.

O sistema hidrogeológico Dunas/Paleodunas se constitui praticamente no único reservatório hídrico subterrâneo da região, tanto em termos de ocorrência como pelo fato de que a maioria dos poços existentes capta água a partir deste sistema. Segundo Cavalcante (1998) este sistema corresponde a um aquífero livre, com espessuras saturadas oscilando em torno de 10 m,

com nível estático subaflorente ou atingindo no máximo cerca de 6m, tendo suas águas captadas por poços tubulares rasos, perfurados normalmente em 10” e

revestimento de 6” e 4” e profundidade oscilando entre 8 e 12 m, as quais produzem uma vazão da ordem de 6 m<sup>3</sup>/h, podendo alcançar até 15 m<sup>3</sup>/h.

## O COMPLEXO PORTUÁRIO E INDUSTRIAL DO MUCURIBE

Existente há mais 50 anos, o Porto do Mucuripe formou ao seu redor de um importante parque industrial avaliado em mais de R\$ 3 bilhões. Compõe esse conjunto uma pequena refinaria da PETROBRÁS, um parque de tancagem das companhias distribuidoras de combustíveis, um pólo trigueiro e uma fábrica de margarina, esta última apontada como uma das mais modernas da América Latina.

Segundo dados da Companhia Docas do Ceará, o Porto do Mucuripe, que também é conhecido como Porto de Fortaleza, possui um comprimento de 1000 m, largura de 100 m e uma profundidade média de 10 m. O píer de petroleiros (ponte de acesso) possui 853 m de comprimento e 3,7 m de largura, com plataforma de atracação de 90 m em profundidade correspondente a 12 m, com capacidade para 2 petroleiros. As obras

de abrigo do Porto de Fortaleza constituem o molhe de proteção do Titã, situado a norte do cais, medindo 1.910 m de comprimento e ao espigão de contenção de areias na praia do futuro, conhecido por molhe do Titanzinho, com 900 m de extensão. Ambos construídos em enrocamentos de rochas graníticas e gnáissicas das pedreiras circunvizinhas a cidade de Fortaleza.

A área de influência comercial do Porto de Fortaleza estende-se sobre todo o Estado do Ceará, abrangendo inclusive outras regiões além da fronteira estadual, principalmente nos Estados do Piauí e Rio Grande do Norte. O Porto constitui-se no ponto de convergência de todo o intercâmbio marítimo de mercadorias do Estado, tanto de embarque como de desembarque e, em especial, aquelas com destino ao mercado internacional (Figura 1).



**FIGURA 1.** Vista aérea do Complexo Industrial e do Porto do Mucuripe. Imagem do satélite QuickBird disponível no Google Earth.



## MÉTODO DRASTIC: PRINCÍPIOS E MÉTODOS

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, sendo 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 (USEPA), constituindo-se num modelo qualitativo para avaliar a poluição potencial das águas subterrâneas usando variáveis hidrogeológicas da região em estudo (Aller et al., 1987). Cabe remarcar que este modelo foi desenvolvido para avaliar áreas maiores que 0,4 km<sup>2</sup>.

Conforme as especificações constantes em Leite & Möbus (1998) e Puerari et al. (2003), as variáveis, ou fatores, abordados neste modelo são as seguintes:

- D** – Profundidade das águas subterrâneas (*Depth to groundwater*);
- R** – Recarga devido à chuva (*Recharge*);
- A** – Meio aquífero (*Aquifer media*);
- S** – Tipo de solo (*Soil type*);
- T** – Topografia (*Topography*);
- I** – Impacto na zona vadosa (*Impact of the vadose zone*); e,
- C** – Condutividade hidráulica (*Hydraulic conductivity*).

Na aplicação do método DRASTIC admite-se que o possível potencial contaminante seja incorporado às águas subterrâneas mediante a recarga do aquífero e tem a mesma mobilidade que a água. Pode ser aplicado a aquíferos livres e confinados, enquanto que

os semiconfinados devem ser adaptados a um dos tipos definitivos.

A cada um dos parâmetros considerados por este método se atribui um valor em função dos diferentes tipo e faixas de variação. Além disso, ao valor de cada parâmetro se aplica um índice de ponderação entre 1 e 5, que quantifica a importância relativa entre eles, ou seja quanto maior o valor maior a importância do parâmetro avaliado. O índice de vulnerabilidade é obtido através do somatório do produto entre os índices de ponderação e os parâmetros considerados da maneira a seguir.

$$\text{Índice DRASTIC} = D_r D_w + R_r R_w + A_r A_w + S_r S_w + T_r T_w + I_r I_w + C_r C_w,$$

onde:

$D_r, R_r, A_r, S_r, T_r, I_r, C_r$  = valor obtido para cada parâmetro na equação;

$D_w, R_w, A_w, S_w, T_w, I_w, C_w$  = índice de ponderação.

Os valores obtidos do índice DRASTIC são colocados em diferentes faixas de variação que são as seguintes (qualificação crescente da vulnerabilidade entre < 100 e > 200):

- < 100 – Vulnerabilidade insignificante;
- 101 – 119 – Vulnerabilidade muito baixa;
- 120 – 139 – Vulnerabilidade baixa;
- 140 – 159 – Vulnerabilidade moderada;
- 160 – 179 – Vulnerabilidade alta;
- 180 – 199 – Vulnerabilidade muito alta; e,
- > 200 – Vulnerabilidade extrema.

## RESULTADOS

Para o modelo de vulnerabilidade das águas subterrâneas a partir do método DRASTIC, na área estudada, serão utilizados sete parâmetros, a seguir: profundidade do lençol freático (D), recarga do aquífero (R), litologia do aquífero (A), tipo de solo (S), topografia da área (T), impacto da zona não saturada (I) e permeabilidade do aquífero (C).

- a) Profundidade do lençol freático (D). Este fator considera a profundidade do nível potenciométrico na região, sendo que a vulnerabilidade diminui com o aumento da profundidade. A área de estudo é constituída por um aquífero livre de origem sedimentar (Dunas/Paleodunas) cujo nível estático médio evidenciado pelos dados do cadastro de poços da PIVOT em 2003 é de 8,21 m.
- b) Recarga do Aquífero (R). A recarga anual pode ser definida por métodos convencionais de balanço

hídrico ou através de dados já existente da área. Os valores de recarga são da ordem de 10 a 16% da infiltração eficaz, para as formações Dunas e Paleodunas, determinada pelo balanço hídrico (Vasconcelos, 1999), o que fornece uma recarga aproximada entre 150 e 240 mm/ano.

- c) Meio Aquífero (A). Este parâmetro relaciona o componente litológico do aquífero e permeabilidade do solo, com um grau de vulnerabilidade do mesmo. Como a área de estudo encontra-se em praticamente a sua totalidade, salvo duas exposições da Formação Barreiras, inserida no contexto das Dunas, apenas esta litologia será levada em consideração.
- d) Tipo de solo (S). O tipo de solo influencia o deslocamento vertical do contaminante. A área de estudo, por estar incluída em um contexto litorâneo

está compreendida pedologicamente por areias quartzozas distróficas, que são comumente associadas aos depósitos sedimentares compostos pelas Dunas.

- e) Topografia da área (T). A área específica de estudo, em função da proximidade com a costa, apresenta um relevo pouco acidentado, com declividades que variam de zero a cerca de 12%, predominando a faixa entre 2 e 6%. As cotas mais elevadas correspondem aos campos de dunas recentes mais a retaguarda.
- f) Impacto da Zona Vadosa (I). Este parâmetro está relacionado à natureza do aquífero e ao tipo de material que compõe a zona não saturada. No caso de um aquífero livre, o parâmetro corresponde à própria litologia do aquífero.
- g) Condutividade Hidráulica (C). A condutividade hidráulica refere-se a facilidade da formação aquífera de exercer a função de um condutor

hidráulico. É um coeficiente de proporcionalidade que leva em consideração as características do meio, incluindo fatores como porosidade, tamanho e distribuição das partículas, bem como as características do fluido que está escoando.

De acordo com os dados de Beltrão & Manoel Filho (1973, segundo Sabadia, 2001) e da CAGECE (1976a, 1976b, 1977 e 1978, segundo Sabadia, 2001), o sistema Dunas/Paleodunas apresenta valores médios de condutividade hidráulica da ordem de  $3,6 \times 10^{-4}$  m/s.

O valor do índice DRASTIC obtido para a área de estudo foi de 168, o que caracteriza como sendo de vulnerabilidade alta em relação à contaminação das águas subterrâneas.

A Tabela 1, a seguir, apresenta os índices de ponderação e os valores dos parâmetros utilizados na análise da vulnerabilidade das águas subterrâneas na área compreendida pelo Complexo Portuário e Industrial do Mucuripe.

**TABELA 1.** Parâmetros e índices de ponderação utilizados para o cálculo do índice DRASTIC.

PARÂMETRO	Índice de ponderação (w)	Valor do parâmetro (r)	Produto
D – Profundidade das águas subterrâneas	5	8	40
R – Recarga do aquífero	4	8	32
A – Meio aquífero	3	9	27
S – Tipo de solo	2	9	18
T – Topografia	1	9	9
I – Impacto na zona vadosa	5	6	30
C – Condutividade hidráulica	3	4	12
<b>SOMA</b>			<b>168</b>

## CONCLUSÕES

A aplicação do método DRASTIC se constitui numa importante contribuição para estudos de impacto ambiental e de hidrogeologia, sendo uma metodologia capaz de caracterizar de um determinado sistema aquífero com relação à sua vulnerabilidade.

Vale ressaltar que o índice de vulnerabilidade, a rigor, não compreende o estudo da probabilidade de ocorrência de um evento, mas sim o potencial de contaminação existente.

Os resultados obtidos com a utilização do índice DRASTIC, respeitadas as limitações de escala e o método utilizado, permitem concluir que o complexo Industrial e portuário do Mucuripe encontra-se localizado em uma área de alto grau de vulnerabilidade.

O caráter vulnerável da formação aquífera na qual a área de estudo está assentada pode ser atribuído a fatores como a sua inexpressiva variação faciológica ou granulométrica, ao contrário do que ocorre na Formação Barreiras, por exemplo, com o seu nível freático pouco profundo e a alta taxa de infiltração apresentada pelos sedimentos que a constituem (facilidade de percolação).

Em termos de fontes contaminantes podem ser apontadas tanto as atividades industriais e do Complexo Portuário que estão sujeitos a um eventual vazamento de hidrocarbonetos diversos, associado ou não a bio-álcool combustível, óleo vegetal e outros fluidos que venham a afetar a qualidade do manancial subterrâneo e são responsáveis pela geração de efluentes industriais,

além da intensa urbanização e ocupação antrópica da região ao seu redor, principalmente por algumas comunidades de baixa renda que possuem esgotos a céu aberto.

Insera-se aqui a necessidade de um gerenciamento e monitoramento no sentido de localizar possíveis fontes

contaminantes das águas subterrâneas por parte das empresas instaladas na área de estudo, para que não só a qualidade, mas também a disponibilidade deste recurso possa ser levantada com vista ao seu aproveitamento sustentável seja para o uso industrial, seja para as comunidades que residem no seu entorno.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALLER, L.; BENNET, T.; LEHR, J. H.; PETTY, R.J.; HACKET, G. **DRASTIC: A Standalized System for Evaluating Groundwater Using Hydrological Settings**. US EPA Office of Research and Development, Ada, USA, 1987.
2. CAVALCANTE, I.N. **Fundamentos Hidrogeológicos para a Gestão Integrada de Recursos Hídricos na Região Metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará**. São Paulo, 1998. 153 p. (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
3. FUNCEME – FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. Disponível em <http://www.funceme.br/>. Acessado em 13dez2008.
4. IPECE – INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Perfil básico do município de Fortaleza**, Fortaleza, CE, 2000. Disponível em <http://www.iplance.ce.gov.br>. Acessado em 26jul2008.
5. KÖPPEN, W. **Climatología: con un Estudio de los Climas de la Tierra**. Fondo de Cultura Económica - FCE. México, 466 p., 1948.
6. LEITE, C.E.S. & MÖBUS, G. Vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos da região de rochas sedimentares da bacia do rio Mundaú/Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 10, 1998, São Paulo, SP. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 1998, 8 p.
7. PUERARI, E. M.; COSTA, C.T.; CASTRO, M.A.H. DE. Utilização do método DRASTIC na análise natural do Complexo Industrial e Portuário do Pecém, Fortaleza, Ceará. In: SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO SUDESTE, 1, 2003, Petrópolis. **Anais...** Petrópolis: Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2003, p. 363- 373.
8. SABADIA, J.A.B. **Impacto del Vertedero de Jangurussu en los Recursos Hídricos de la Ciudad de Fortaleza (Estado de Ceará, Brasil)**. Barcelona, 2001. 317 p. Departamento de Geoquímica, Petrología y Prospección Geológica. Facultad de Geología. Universidad de Barcelona. Memoria de Tesis Doctoral.

*Manuscrito Recebido em: 25 de abril de 2010  
Revisado e Aceito em: 1 de julho de 2010*