

# Elaboração de Mapa de Vulnerabilidade dos Aquíferos Superiores no Município de João Pessoa – PB, Através de Técnicas de Geoprocessamento

**Leonardo Figueiredo de Meneses**

Instituto Federal de Educação,  
Ciência e Tecnologia da Paraíba  
Av. Maximiano de Figueiredo, 36  
– sl 303 – João Pessoa – PB  
lfmeneses@hotmail.com

**Tarciso Cabral da Silva**

Universidade Federal da Paraíba  
tarcisocabral@yahoo.com.br

**Carmem Lúcia Moreira Gadêlha**

Universidade Federal da Paraíba  
carmemgadêlha@yahoo.com.br

**Elaine Cristina Teixeira Pedrosa de Figueiredo**

Axis Consultoria Assessoria e  
Projetos Ltda  
elaine.pedrosa@hotmail.com

## Resumo

Este trabalho apresenta a metodologia e os resultados obtidos na elaboração do mapa de vulnerabilidade dos aquíferos superiores presentes no município de João Pessoa/PB. A avaliação se baseou no modelo DRASTIC, que utiliza fatores hidrogeológicos para definir o índice de vulnerabilidade de um aquífero. Por meio de um Sistema de Informações Geográficas foram espacializados os fatores e, após o cruzamento dos mapas, obteve-se o mapa síntese contendo classes que variam de baixa vulnerabilidade à elevada vulnerabilidade. Os resultados obtidos apontam para a necessidade urgente de um ordenamento do uso da terra em áreas onde a expansão imobiliária está em grande crescimento, como no caso da região litorânea do município.

**Palavras-chave:** Sistema de Informação Geográfica. Águas subterrâneas. Vulnerabilidade de aquíferos.

## Abstract

This work presents the methodology and results from the preparation of the statement of vulnerability of free aquifers in the city of João Pessoa, PB. The assessment was based on DRASTIC model, which uses hydrogeological factors to determine the index of vulnerability of an aquifer. For the treatment and integration of the data it was used a Geographic Information System, and after map crossing, obtained the summary map containing classes which vary from low to high vulnerability. The obtained results indicate the urgent need of land use arrangement in areas where real state spread is increasing, as it is the case of city coastal areas.

**Keywords:** Geographic Information System. Groundwater. Groundwater vulnerability.

## 1 Introdução

O processo de expansão urbana e a concentração populacional em áreas urbanizadas têm ocasionado o surgimento ou agravamento de diversos problemas de caráter sócio-econômico-ambientais em quase todas as cidades do mundo. Um destes problemas diz respeito à manutenção da qualidade da água de mananciais visando sua utilização para consumo humano e para o equilíbrio ecológico.

É fato que os corpos d'água intra-urbanos ou que interceptam áreas urbanas ou industriais, no Brasil, apresentam, de modo geral, a qualidade de suas águas com índices inferiores aos adequados ao consumo humano ou ao equilíbrio ecológico. Nestas condições, as soluções mais comuns são a adoção de tratamentos mais específicos e/ou a captação em mananciais mais distantes dos centros urbanos. Nos dois casos a consequência é o aumento do custo da água que acaba por onerar os usuários.

Uma alternativa que reúne diversas vantagens é a perfuração de poços para captação de água subterrânea para usos múltiplos. A exploração de águas subterrâneas vem registrando um expressivo incremento nos últimos anos, a ponto de vários núcleos urbanos serem abastecidos de forma exclusiva ou complementar por esta fonte. Entretanto, para que se possa ter um controle sobre o uso das águas subterrâneas, evitando sua contaminação, torna-se necessário que se estabeleçam procedimentos que visem conhecer sua qualidade e sua vulnerabilidade a eventuais sinistros. Deve-se priorizar o desenvolvimento de pesquisas e metodologias que permitam conhecer o potencial hídrico dos aquíferos e suas características físico-químicas, de modo a que seja possível elaborar planos de gestão das águas subterrâneas, evitando a extração excessiva, o desperdício e sua contaminação, inviabilizando sua utilização.

Verifica-se, entretanto, uma grande dificuldade no desenvolvimento de pesquisas desta natureza principalmente pelo fato de inexistirem, ou serem de difícil acesso, dados sistemáticos sobre qualidade de água, vazão e climatologia, essenciais à avaliação dos aquíferos. A compatibilização de dados de diferentes fontes, escalas e intervalos temporais também é uma tarefa bastante complicada para ser executada com técnicas convencionais de mapeamento. A evolução verificada nas últimas décadas nas técnicas de mapeamento, aliada

ao barateamento dos sistemas informatizados e dos computadores, gerou uma revolução nos processos cartográficos através da introdução do geoprocessamento e da cartografia digital nos processos de elaboração e manutenção de bases cartográficas.

É neste contexto que se enquadra o presente trabalho, o qual, através da utilização de técnicas de geoprocessamento, buscou elaborar um mapa de vulnerabilidade à poluição dos aquíferos livres superiores do município de João Pessoa/ PB. Adotou-se um modelo paramétrico, denominado DRASTIC, desenvolvido por Aller *et al.* (1985) para a Agência Ambiental Norte-Americana. Este modelo possibilita a visualização do índice também em forma de mapas, propiciando um melhor entendimento da variação espacial da vulnerabilidade na área avaliada.

## 2 Mapeamento da vulnerabilidade de aquíferos

De acordo com Lobo Ferreira e Cabral (1991), a vulnerabilidade natural de um aquífero deve ser entendida como a sensibilidade da qualidade das águas subterrâneas a uma carga poluente em função apenas das características intrínsecas do aquífero. A vulnerabilidade, assim, se diferencia de risco de poluição por esta última se relacionar também com a existência de cargas poluentes significativas que possam entrar no ambiente subterrâneo alterando a qualidade das águas subterrâneas (LOBO FERREIRA, 1998). Portanto, é possível existir um aquífero com um alto índice de vulnerabilidade, mas sem risco de poluição, caso não haja carga poluente, ou haver um risco de poluição excepcional apesar do índice de vulnerabilidade ser baixo.

Ressalta-se, ainda, que a vulnerabilidade natural pode variar também de acordo com o tipo de poluente potencial (OLIVEIRA e LOBO FERREIRA, 2004). Portanto, o mais interessante para estudos de vulnerabilidade seria estudá-la para casos específicos de poluição o que se torna uma tarefa complicada dada a insuficiência de dados para mapeamentos específicos. Para atenuar este problema, geralmente opta-se pela adoção de métodos de avaliação mais simples e amplos, que possam ser aplicados de forma rápida, a menores custos e utilizando, sempre que possível, dados pré-existentes.

O mapeamento da vulnerabilidade de aquíferos apresenta-se útil na medida em que pode auxiliar na alocação de recursos e na priorização das diversas atividades de monitoramento ambiental. Pode-se, por exemplo, através da utilização de mapas de vulnerabilidade, definir áreas onde o monitoramento deva ser executado de maneira mais intensiva, bem como auxiliar no planejamento de práticas conservacionistas visando a definição de áreas que devam ser protegidas de modo a garantir a integridade do aquífero em termos de qualidade da água. Dentre as metodologias existentes para o mapeamento e determinação da vulnerabilidade das águas subterrâneas, destacam-se as apresentadas no Quadro 1.

**Quadro 1:** Principais métodos para determinação da vulnerabilidade geral à poluição de aquíferos

Índice	Fatores
DRASTIC	Profundidade da água subterrânea; Recarga; Material do aquífero; Solo; Topografia; Litologia da zona vadosa; Condutividade hidráulica
GOD	Tipo de aquífero; Litologia da zona vadosa; Profundidade da água
SINTACS	Igual ao DRASTIC, com pesos diferentes
EPPNA	Características litológicas e hidrogeológicas da área
IS	Igual ao DRASTIC, com pesos diferentes e levando em consideração a ocupação do solo

**Fonte:** Adaptado de Hirata e Rebouças, 1999; Auge, 2004; Oliveira e Lobo Ferreira, 2003; Santos, 2005.

Segundo Tucci e Cabral (2003), o Índice GOD e o DRASTIC são os mais utilizados no Brasil. Para a presente pesquisa optou-se pela utilização do modelo DRASTIC (ALLER *et al.*, 1985), uma vez que o mesmo tem a vantagem de utilizar um conjunto maior de parâmetros que o modelo GOD para a caracterização da vulnerabilidade de um aquífero.

O modelo DRASTIC foi desenvolvido na década de 80 e, para sua eficaz aplicação deve-se ter, como pressupostos, que o contaminante é introduzido à superfície do terreno, e não diretamente no aquífero, deslocando-se com a mesma mobilidade da água, verticalmente, até alcançar o aquífero. O índice é calculado pelo somatório dos produtos dos valores relativos pelos pesos de cada parâmetro, conforme apresentado na Equação 1.

$$\text{Índice DRASTIC} = DrDw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + IrIw + CrCw \quad (1)$$

Onde:

- |                                       |                                   |
|---------------------------------------|-----------------------------------|
| D = profundidade da zona não-saturada | T = topografia                    |
| R = recarga do aquífero               | I = material da zona não-saturada |
| A = material do aquífero              | C = condutividade hidráulica      |
| S = tipo de solo                      |                                   |

Os valores “r” relacionam-se com as condições locais de cada parâmetro, variando entre 1 e 10, sendo que, quanto maior o valor, maior a vulnerabilidade. Os valores “w” correspondem à importância relativa de cada fator na quantificação da vulnerabilidade do aquífero, podendo variar entre 1 e 5. Quanto maior o índice DRASTIC, maior deverá ser a vulnerabilidade do aquífero à contaminação, entretanto, segundo Kohnke (2002), um valor baixo do índice não significa que não possa ocorrer contaminação, apenas que a mesma será menos provável e menor que em outras áreas.

Uma vez definidos os valores relativos de cada fator e seus pesos, o índice é calculado e parte-se para a elaboração dos mapas de vulnerabilidade de cada um dos fatores. A análise integrada da vulnerabilidade de cada um dos parâmetros possibilita o entendimento do grau de influência de cada variável na vulnerabilidade geral do aquífero.

Ainda que seja possível a realização de tal integração de forma manual, através da sobreposição de mapas em papel, a grande diversidade nos tipos de dados utilizados torna esta tarefa bastante enfadonha e passível de imperfeições, em especial quando se deseja trabalhar com cenários futuros. Os avanços nas tecnologias de automatização cartográfica possibilitaram o desenvolvimento de sistemas específicos para o tratamento de informações espaciais, denominados de Sistemas de Informações Geográficas - SIG, e que permitem a realização de análises complexas, integrando dados de diversas fontes a bancos de dados georreferenciados (CÂMARA e DAVIS, 2000).

A popularização da tecnologia dos SIG tem possibilitado o surgimento de diversos *softwares*, cada um com seus potenciais e limitações, os quais devem ser utilizados com base em critérios técnicos, uma vez que, como em qualquer sistema computacional, os resultados obtidos pelos processamentos dependem estritamente da qualidade dos dados inseridos nos mesmos e da interpretação que se aplica aos mesmos.

Neste trabalho optou-se por utilizar o Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas – SPRING (CÂMARA *et al.*, 1996), em sua versão 4.3.3. O SPRING é um SIG nacional, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, de livre distribuição e uso e que apresenta ferramentas de edição e criação de dados vetoriais e matriciais, análise espacial, processamento de imagens, banco de dados geográficos, modelagem numérica de elevação, geoestatística, dentre outras. É possível, ainda, realizar operações algébricas entre mapas, que consistem de uma técnica que busca combinar atributos diferentes, presentes em dois ou mais mapas temáticos, em busca de identificar alguma correlação espacial entre eles (BARBOSA, 1997). Esta técnica (álgebra de mapas) foi utilizada neste trabalho para realizar as operações de união entre os mapas temáticos de cada um dos parâmetros DRASTIC, a fim de gerar o mapa síntese da vulnerabilidade, e será descrita em mais detalhes adiante.

### 3 Área de estudo

O município de João Pessoa localiza-se no extremo Leste do Estado da Paraíba. Limita-se, ao Sul, com o município do Conde, ao Oeste com os municípios de Bayeux e Santa Rita, ao Norte com o município de Cabedelo e ao Leste com o Oceano Atlântico (Figura 1).

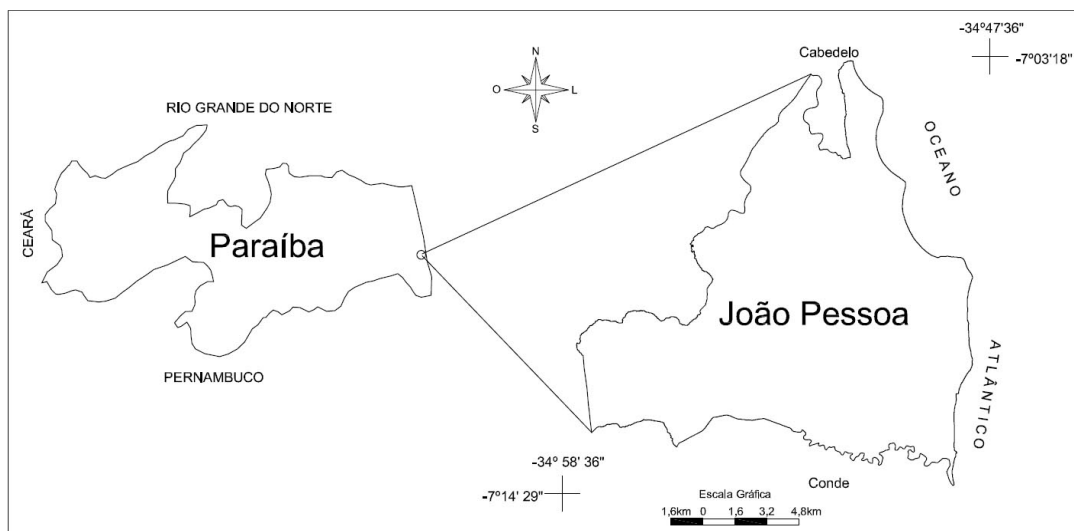


Figura 1: Localização da área de estudo

A área total do município é de, aproximadamente, 211 km<sup>2</sup>, conforme IBGE (2000), e sua população está estimada em 674.762 habitantes. Apesar de todo o município ser considerado como urbano, em diversos locais, em especial na região sul, ainda persistem áreas com características rurais ou áreas não ocupadas, como, por exemplo, em bairros como Gramame, Barra de Gramame e Mussuré.

O clima do município apresenta curtos períodos de seca no verão e chuva concentrada no outono e inverno (meses de abril, maio e junho). O índice pluviométrico anual é de 1.800 mm (PARAÍBA, 1985), e pode oscilar conforme o transporte de umidade dos oceanos para o continente pelos sistemas circulatórios. As médias térmicas anuais ficam em torno de 25°C ( $\pm 2^\circ\text{C}$ ).

Os solos identificáveis na área, conforme Tuma (2004), são os Latossolos, sobre os Tabuleiros Litorâneos; os Argissolos, em áreas de relevo pouco mais acidentado; os Neossolos Quartzarênicos, nas faixas costeiras de praia; os Neossolos Flúvicos, às margens dos cursos d'água da região; e os Solos Indiscriminados de Mangue, ao longo dos rios até onde se faz sentir o fluxo e refluxo das marés (Figura 2).

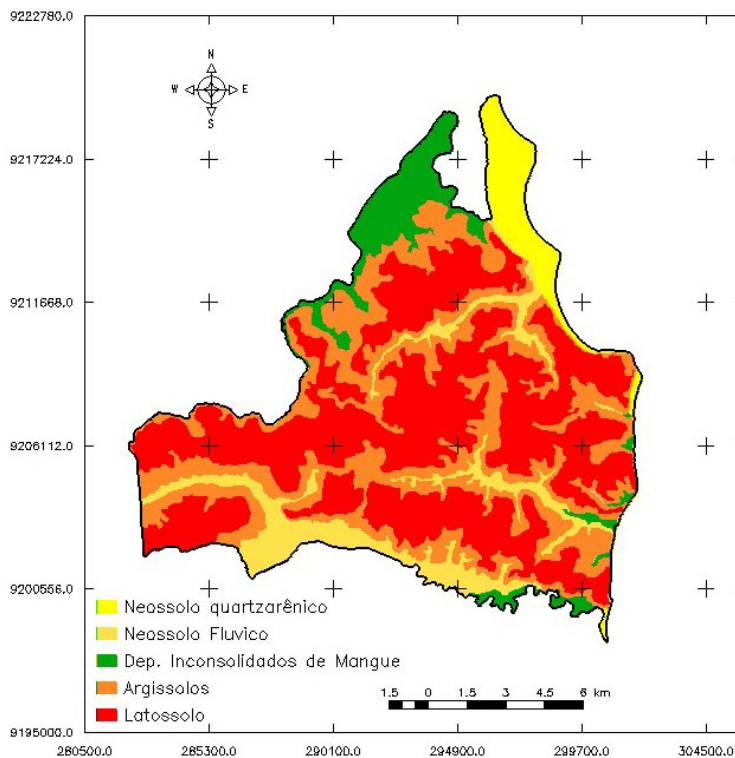


Figura 2: Mapa de solos de João Pessoa

João Pessoa insere-se na Bacia Sedimentar Pernambuco-Paraíba, que se distribui ao longo da faixa litorânea do Estado da Paraíba e de parte do Estado de Pernambuco, podendo atingir cerca de 40 km de largura. A sequência litoestratigráfica da Bacia Pernambuco-Paraíba, da base para o topo, na área de estudo é caracterizada pelos depósitos do Grupo Paraíba, pela Formação Barreiras e pelos depósitos Quaternários.

Para este estudo, o conjunto litológico mais importante é constituído pela Formação Barreiras e pelos depósitos Quaternários, uma vez que é nestes sedimentos que se encontram os aquíferos em análise. Sendo assim, cabem alguns comentários sobre tais depósitos.

- Formação Barreiras: possui uma espessura aproximada de 70 a 80 metros e apresenta-se aflorante em todo o litoral paraibano. Constitui-se basicamente de sedimentos areno-argilosos, mal selecionados. Tal constituição propicia o acúmulo de água em subsuperfície, nos espaços vazios entre os grãos da rocha. A Formação Barreiras ocupa quase a totalidade do território do município de João Pessoa, conforme pode ser observado na Figura 3, sendo responsável pela sustentação do relevo tabular, característico da região em estudo e adjacências. Na área de estudo, o topo desta Formação apresenta altitudes variando entre 20 e 100 metros.

- Depósitos Quaternários: compreendem os depósitos de mangue, constituídos de sedimentos pelíticos, inconsolidados e inexpressivos como aquíferos, não tendo sido considerados para efeitos desta pesquisa; terraços marinhos, constituídos, basicamente, por areias quartzosas de granulização média a grossa; e aluviões, localizados nas bacias fluviais e constituídos de areias siltosas, as quais, por suas características de boa porosidade e permeabilidade, apresentam grande possibilidade de infiltração de água. Os aquíferos nas aluviões e terraços marinhos são livres e dependem da infiltração da águas das chuvas.

Neste estudo foram analisados os aquíferos que se apresentam nas camadas menos profundas do subsolo, ou seja, nos casos em que os aquíferos dos sedimentos de praia e aluviões encontrarem-se localizados sobrepostos ao aquífero da Formação Barreiras, a vulnerabilidade estabelecida será referente ao aquífero mais superficial. Esta restrição está relacionada com a metodologia adotada, uma vez que não se torna possível analisar, ao mesmo tempo, dois aquíferos que ocupem a mesma posição vertical.

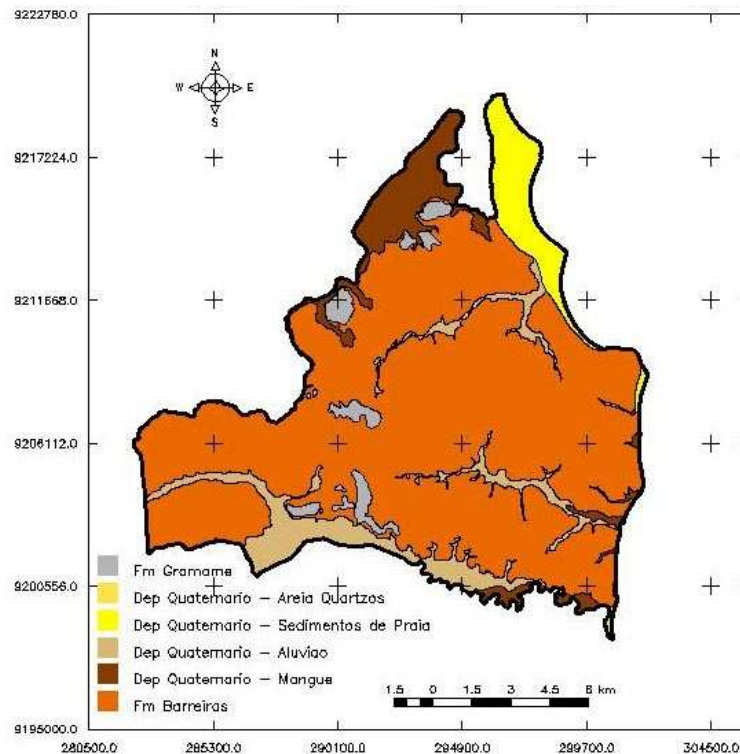


Figura 3: Mapa geológico de João Pessoa (adaptado de BRASIL, 2002)

### 3.1 Aquífero Barreiras

O Sistema Aquífero Barreiras encontra-se inserido na formação geológica de mesmo nome e que se estende ao longo de quase toda a costa brasileira. Constitui um aquífero predominantemente livre, que ocupa uma área de 176.532 km<sup>2</sup>, com profundidade média em torno de 25 metros (COUTINHO, 1967) e, no caso de João Pessoa, em estudo realizado por Costa *et al* (2003) identificou-se um valor de condutividade hidráulica de 2,94 m.d-1 na Superfície dos Tabuleiros, valor este relativamente baixo, especialmente quando comparado com regiões de maior infiltração.

Este aquífero apresenta-se bastante susceptível a problemas ocasionados pela ocupação desordenada do território e pela má gestão dos recursos hídricos. Dentre os problemas mais comuns, e que podem refletir diretamente na qualidade das águas deste aquífero, destacam-se o lançamento de resíduos industriais no solo, o déficit do sistema de saneamento básico da maioria das cidades brasileiras, superexploração podendo ocasionar a entrada da cunha salina no aquífero, a construção e desativação de poços sem a adoção de medidas de proteção sanitária, lançamento de efluentes líquidos industriais *in natura* nos cursos d'água superficiais que, através da interação com as águas subterrâneas, terminam por contaminá-las e os postos de combustíveis, que representam importantes fontes de contaminação por hidrocarbonetos.

Além dos riscos decorrentes da ocupação e das atividades humanas, elementos naturais também podem influenciar na qualidade da água do aquífero Barreiras. A lixiviação de minerais da superfície para níveis inferiores do terreno pode alterar significativamente sua concentração na água subterrânea, como no caso do Estado do Espírito Santo, onde a concentração de ferro na água, em alguns casos, apresenta-se fora do padrão de potabilidade do Ministério da Saúde (BRASIL, 2007). A alta concentração de ferro na água acarreta problemas como o gosto metálico na água, manchas em roupas, incrustações nas bombas, nos filtros dos poços e nos materiais de revestimento, provocando diminuição de vazões e redução da vida útil dos poços (MATTA, 2002 apud ALMEIDA *et al.*, 2004).

### 3.2 Aquíferos de sedimentos quaternários

Apresentam-se inseridos nos sedimentos recentes, localizados nas áreas de cotas mais baixas, onde o processo predominante é o de acumulação sedimentar, como no caso das margens fluviais e da Planície Marinha. O nível da água nestes aquíferos é bem próximo à superfície e, por vezes, aflorante. Esta característica torna estes aquíferos ainda mais vulneráveis uma vez que não há uma superfície de atenuação para os casos de eventuais derramamentos de contaminantes. Outra característica deste aquífero é uma maior condutividade hidráulica, estabelecida em 12,27 m.d-1, conforme estudo realizado por Vieira *et al* (2003) na Planície Marinha do bairro do Bessa, litoral norte do município.

#### 4 Metodologia

Para a elaboração do mapa de vulnerabilidade à poluição dos aquíferos superiores do município de João Pessoa, realizou-se primeiramente uma excessiva pesquisa bibliográfica visando reunir as informações necessárias à elaboração dos mapas de cada um dos parâmetros DRASTIC. Uma vez adquiridas as informações necessárias, realizou-se a avaliação das mesmas de modo a definir os valores relativos de cada uma das classes observadas para os parâmetros, possibilitando estimar a vulnerabilidade relativa a cada um deles, passando-se, então, à elaboração dos mapas propriamente ditos. Como já informado, utilizou-se o SPRING para esta operação. Neste sistema, foram importados os dados cartográficos referentes ao município, tais como altimetria, rede hidrográfica, isoietas e geologia.

Para cada parâmetro foi gerado um mapa temático que, através da utilização da linguagem LEGAL foi convertido para grades numéricas, onde os valores da grade correspondem ao valor da vulnerabilidade de cada classe do parâmetro. A Figura 4 apresenta um exemplo genérico de um programa em LEGAL cuja função é realizar a conversão de um mapa temático para uma grade numérica, ao tempo em que apresenta, ainda, a aplicação do mesmo para a geração da grade numérica da vulnerabilidade do parâmetro Topografia.

<pre> { Tematico tema ("Categoria temática de entrada"); Numerico grade ("Categoria numérica que receberá os dados"); Tabela pesos (Ponderacao); tema = Recupere (Nome = "PI contendo o mapa temático"); grade = Novo (Nome = "PI que receberá a grade numérica", ResX=5, ResY=5, Escala=10000, Min=1, Max=10); pesos = Novo (CategoriaIni = "Categoria temática de entrada", "classe temática 01" : valor da vulnerabilidade, "classe temática 02" : valor da vulnerabilidade); grade = Pondere (tema, pesos); }                 </pre>	<pre> { Tematico tema ("Declividades"); Numerico grade ("Declividades Ponderada"); Tabela pesos (Ponderacao); tema = Recupere (Nome = "decliv grade fim"); grade = Novo (Nome = "grade declividade ponderada", ResX=5, ResY=5, Escala=10000, Min=1, Max=10); pesos = Novo (CategoriaIni = "Declividades", "&lt; 2%" : 10.0, "2% &lt; d &lt; 6%" : 9.0, "6% &lt; d &lt; 12%" : 5.0, "12% &lt; d &lt; 18%" : 3.0, "&gt; 18%" : 1.0); grade = Pondere (tema, pesos); }                 </pre>
--	--

Figura 4: Exemplo genérico (à esquerda) de programa em LEGAL para a conversão de um mapa temático para uma grade numérica e exemplo prático da aplicação para a geração da grade de vulnerabilidade do parâmetro Topografia (à direita)

Observa-se, pelo exemplo da Figura 4, que devem ser informados parâmetros como o nome das categorias e planos de informação que armazenarão a grade a ser gerada, a resolução e escala da grade e os valores correspondentes à vulnerabilidade de cada uma das classes do parâmetro avaliado. A Figura 5 apresenta um exemplo do resultado desta conversão.

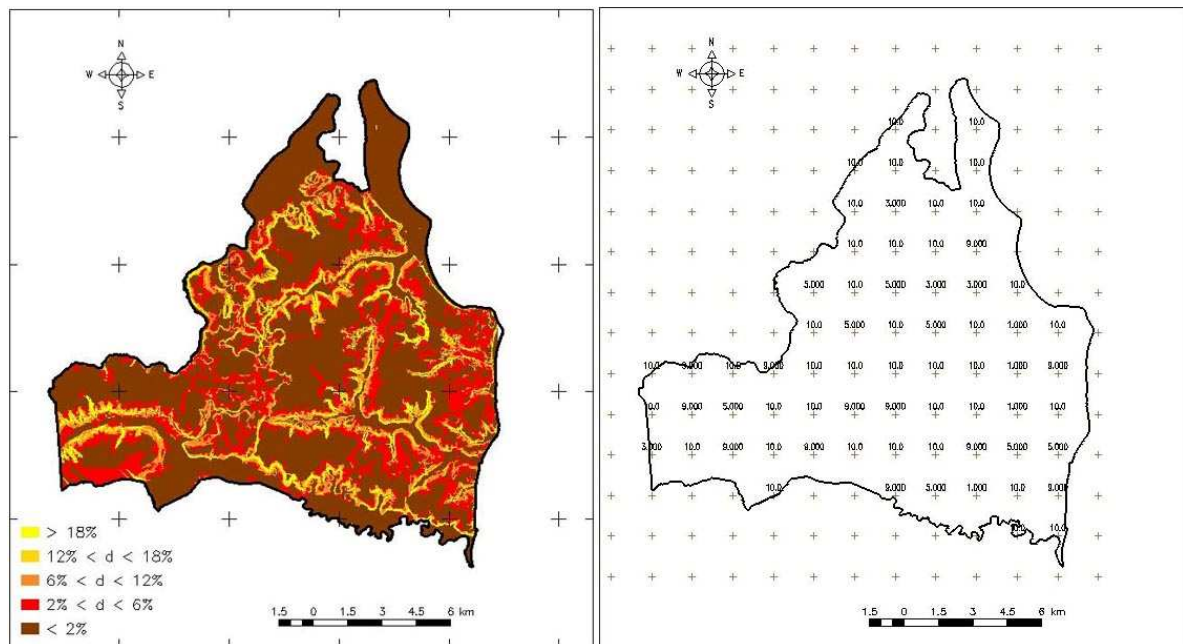


Figura 5: Mapa temático de declividades convertido para grade numérica



Ao final da conversão dos mapas dos sete parâmetros, foi realizada a soma dos mesmos, originando a grade numérica do índice DRASTIC. A última etapa foi a elaboração de um mapa temático baseado na grade numérica do índice, utilizando-se a ferramenta “Fatiamento” do SPRING, onde foram estabelecidos os intervalos das classes de vulnerabilidade e gerado o mapa temático da vulnerabilidade dos aquíferos livres superiores no município de João Pessoa.

## 5 Resultados

O município de João Pessoa, com base na vulnerabilidade dos aquíferos superiores, pode ser compartimentado em três setores básicos: áreas planas de cotas baixas (entre zero e 5 metros, aproximadamente), representadas pela Planície Marinha, pelas áreas de aluviões e pelos mangues; áreas planas de cotas mais elevadas (entre 20 e 70 metros, aproximadamente), localizadas na Superfície dos Tabuleiros Litorâneos; e áreas de encostas, representando a interface entre as áreas baixas e as elevadas.

Para efeito deste estudo, as áreas de mangue foram consideradas como aquífugos, sendo excluídas do cômputo geral das classes de vulnerabilidade do município. Tornou-se também excluir dos cálculos as áreas onde existem afloramentos da Formação Gramame que, ainda que possam armazenar água em fraturas existentes, a mesma não é adequada para consumo humano uma vez que apresenta elevado teor de carbonatos.

A definição das classes existentes no município para cada parâmetro do modelo se baseou na comparação com a proposição de intervalos, índices e pesos do modelo DRASTIC original. Para cada um dos parâmetros do modelo foi gerado um mapa temático de vulnerabilidade individual (MENESES, 2007) que, em seguida foram integrados através de álgebra de mapas no SIG, de modo a compor o mapa síntese da vulnerabilidade dos aquíferos superiores no município de João Pessoa. A somatória dos índices individuais de cada parâmetro originou um intervalo de valores que varia de 76 a 223 e que foi dividido em quatro classes de vulnerabilidade, variando de baixa a muito elevada, conforme se apresenta na Tabela 1.

**Tabela 1:** Classes de vulnerabilidade e respectivos índices DRASTIC

Vulnerabilidade	Índice DRASTIC
Muito Elevada	184 – 223
Elevada	148 – 184
Moderada	112 – 148
Baixa	76 – 112

Observou-se que predominam, no município, as classes de vulnerabilidade baixa e moderada (Tabela 2) devido à influência da Superfície dos Tabuleiros, que se apresenta como um compartimento quase que homogêneo em relação à variáveis como tipo de solo, litologia e declividade.

**Tabela 2:** Áreas do município por classe de vulnerabilidade

Classe	Área (km <sup>2</sup> )	Percentual (%)
Muito Elevada	12,28	5,89
Elevada	18,08	8,67
Moderada	68,30	32,75
Baixa	89,09	42,72
Mangue	14,86	7,12
Fm Gramame	5,94	2,85
Total	208,55	100

A síntese dos mapas individuais elaborados apresenta-se na forma de um mapa no qual a escala de cinza define os níveis de vulnerabilidade identificados (Figura 5). Quanto mais escuro o tom de cinza, mais vulnerável será o aquífero.

As áreas mais vulneráveis são aquelas onde predominam condições de forte infiltração devido, principalmente, à textura dos solos que, sendo mais arenosos, apresentam maior quantidade de vazios. Estas áreas localizam-se quase que totalmente na Planície Marinha e nas aluviões às margens dos cursos d’água. Outra característica definidora das áreas de maior vulnerabilidade é a proximidade do nível freático em relação à superfície do terreno, o que torna o aquífero altamente propício à contaminação.

As áreas menos vulneráveis, por sua vez, distribuem-se nas encostas, fato este devido especialmente ao fator declividade do terreno, que propicia um maior escoamento superficial, em detrimento da infiltração das águas de chuva, dificultando a percolação de elementos contaminantes.

A vulnerabilidade menos acentuada nas áreas tabulares pode ser justificada pelo fato da profundidade da zona não-saturada nesta região ser bem mais expressiva do que no restante do município. Levando-se em consideração que o peso deste parâmetro é elevado (valor 5), a pontuação final atribuída à vulnerabilidade das

áreas mais altas, com nível do aquífero mais profundo, será bem menor que nas áreas onde o aquífero está próximo à superfície, como é o caso das áreas de planície.

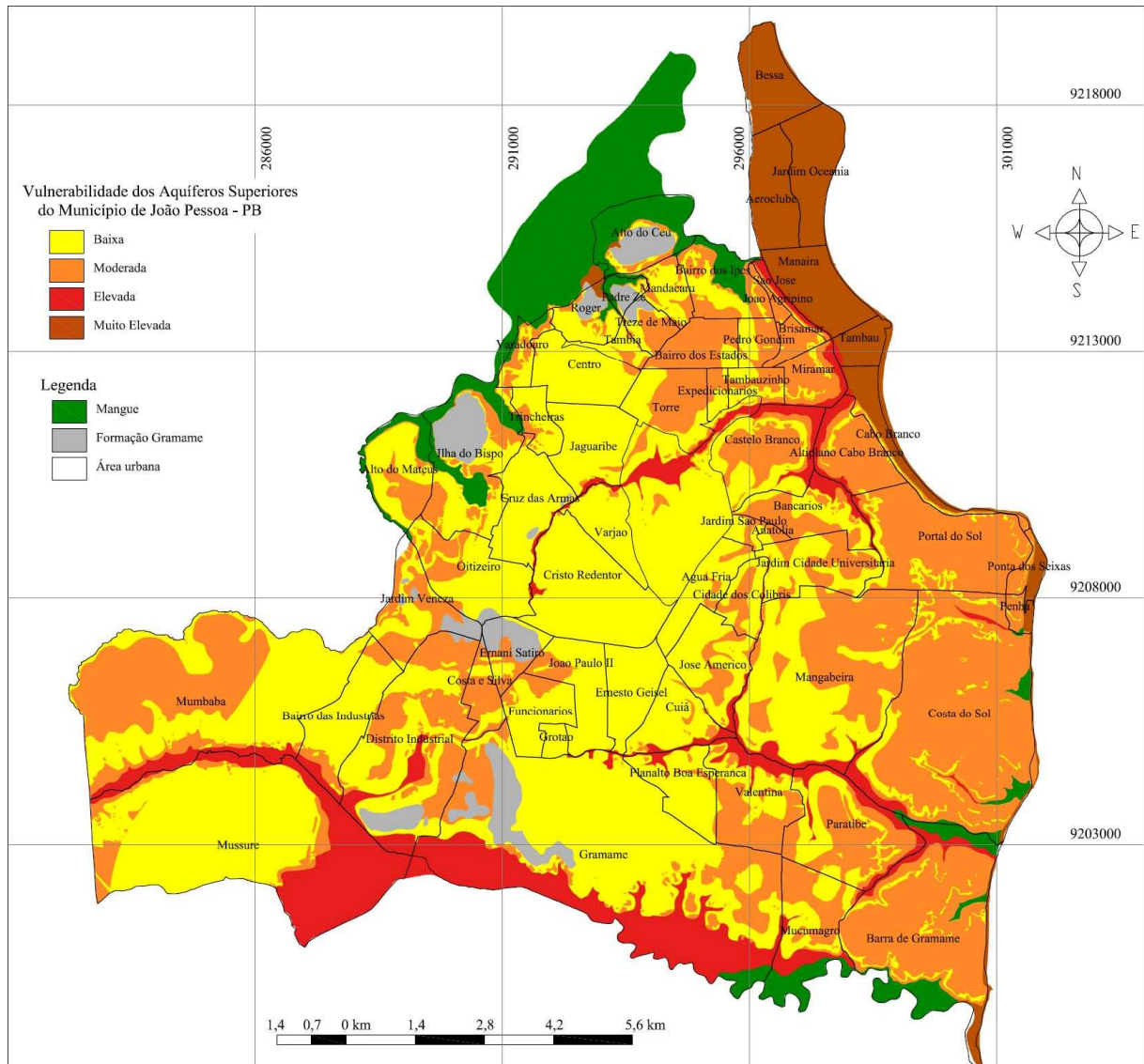


Figura 5: Vulnerabilidade dos aquíferos superiores no município de João Pessoa, baseado no modelo DRASTIC

Uma questão preocupante no caso das áreas onde a vulnerabilidade é maior é que estas coincidem, em sua maioria, com as áreas que nos últimos anos vem sendo alvo da expansão imobiliária e da substituição de casas por edifícios, o que ocasiona uma maior demanda por serviços como abastecimento de água e saneamento básico, uma vez que a concentração populacional se acentua. Como a demanda cresce em maior proporção do que a velocidade com que as concessionárias de serviços públicos as atende, a população busca, por meios próprios, alternativas para suprir tais necessidades.

No caso do abastecimento de água a solução adotada por grande parte dos novos edifícios e condomínios horizontais é a perfuração de poços o que, associado à vulnerabilidade natural do ambiente, potencializa o risco da ocorrência de contaminação dos aquíferos, podendo inviabilizá-los como fonte de água para abastecimento humano.

Além do risco à contaminação por águas servidas das residências e estabelecimentos comerciais, pode ocorrer ainda a intrusão salina no aquífero devido à uma eventual extração excessiva.

Por fim, entende-se que os órgãos responsáveis pela gestão do uso da terra devem levar em consideração, quando de suas tarefas de planejamento, a capacidade de suporte do ambiente, neste caso em relação aos recursos hídricos subterrâneos, de forma a não comprometê-los como fonte alternativa para uso futuro.



## Referências

- ALLER, L. et al. *DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings* (EPA/600/2-85/0108). Ada, OK: Robert S. Kerr Environmental Research Laboratory, 1985. 163 p.
- ALMEIDA, F. M. et al. Qualidade das águas subterrâneas do sistema aquífero Barreiras na bacia hidrográfica do Tucunduba - Belém/PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 13., Cuiabá, 2004. *Anais...* Cuiabá: ABAS, 2004. CD-ROM.
- AUGE, M. Vulnerabilidade de aquíferos. *Revista Latino-Americana de Hidrogeologia*, n. 4, p. 85-103, 2004. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/hidrogeologia/article/view/2652/2193>>. Acesso em: 30 abr. 2008.
- BARBOSA, C. C. F. *Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento*. 1997. 150 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Paulo, 1997.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Águas subterrâneas: um recurso a ser conhecido e protegido*. Brasília, DF. 2007. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/srh/arquivos/Cartilha\\_MMA\\_web\\_correto.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/srh/arquivos/Cartilha_MMA_web_correto.pdf)>. Acesso em: 10 dez. 2007.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. *Geologia e recursos minerais do estado da Paraíba*. Recife: CPRM, 2002. 2 mapas (Escala: 1:500.000).
- CÂMARA, G.; DAVIS, C. *Introdução ao geoprocessamento*. In: CÂMARA, G. (Org.). *Geoprocessamento: teoria e aplicações*. 2000. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livr>>. Acesso em: 20 nov. 2007.
- CÂMARA, G. et al. *SPRING: integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling*. *Computers & Graphics*, Dordrecht, v. 15, n. 6, p. 13-22, 1996.
- COSTA, W. D. et al. Monitoramento dos aquíferos costeiros de Pernambuco na região do Recife. In: CABRAL, J. J. S. P. et al. (Org.). *Água subterrânea: aquíferos costeiros e aluviões, vulnerabilidade e aproveitamento*. Recife: Editora da UFPE, 2003. p. 365-392.
- COUTINHO, M. G. N. *Geologia dos municípios de João Pessoa, Cabedelo e Gramame-PB*. Recife, 1967. Relatório de Graduação da Escola de Geologia da Universidade Federal de Pernambuco.
- HIRATA, R.; REBOUÇAS, A. La protección de los recursos hídricos subterráneos: una visión integrada, baseada en perímetro de protección de pozos y vulnerabilidade de aquíferos. *Boletín Geológico y Minero*. v. 110, p. 79-92, 1999.
- IBGE. *Base de Informações Municipais*. Rio de Janeiro, 2000. CD-ROM.
- KOHNKE, M. W. Vulnerabilidade de aquíferos. *ABAS Informa: Boletim Informativo da Associação Brasileira de Águas Subterrâneas*, n. 126, 2002. Disponível em: <<http://www.abas.org.br/abasinforma/126/>>. Acesso em: 17 nov. 2007.
- LOBO FERREIRA, J. P. C. Vulnerabilidade à poluição de águas subterrâneas: fundamentos e conceitos para uma melhor gestão e protecção dos aquíferos de Portugal. In: CONGRESSO DA ÁGUA, 4., Lisboa. *Anais...* Lisboa: Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, 1998. CD-ROM.
- LOBO FERREIRA, J. P. C.; CABRAL, M. Proposal for an operational definition of vulnerability for the european community's atlas of groundwater resources. In: MEETING OF THE EUROPEAN INSTITUTE FOR WATER, 1991, Bruxelas. *Anais...* Bruxelas: Groundwater Work Group, 1991. CD-ROM.
- MENESES, L. F. *Avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos superiores no município de João Pessoa/ PB, através do modelo DRASTIC*. 2007. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana)-Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007.
- OLIVEIRA, M. M.; LOBO FERREIRA, J. P. C. Análise de sensibilidade da aplicação de métodos indexados de avaliação da vulnerabilidade à poluição de águas subterrâneas. In: JORNADAS LUSO-ESPANHOLAS SOBRE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO SUL DA PENÍNSULA IBÉRICA. Faro. *Anais...* Faro: Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, 2003. p.1-10.
- OLIVEIRA, M. M.; LOBO FERREIRA, J. P. C. Cartografia da vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas do concelho de Montemor-o-Novo utilizando o método DRASTIC. In: CABRAL, J. J. S. P. et al

(Org.). *Água subterrânea: aquíferos costeiros e aluviões, vulnerabilidade e aproveitamento*. Recife: Ed. Universitária UFPE, 2004. v. 1.

PARAÍBA. Secretaria da Educação. *Atlas geográfico da Paraíba*. João Pessoa: Grafset, 1985.

SANTOS, M. M. *Avaliação hidrogeológica para determinação da vulnerabilidade natural do aquífero freático em área selecionada na cidade de Londrina (PR)*. 2005. 130 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio-ambiente)-Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2005.

TUCCI, C. E. M.; CABRAL, J. J. S. P. *Qualidade da água subterrânea*. Porto Alegre: IPH/UFRGS; Recife: CT/UFPE, 2003. 53 p.

TUMA, L. S. R. *Mapeamento geotécnico da grande João Pessoa - PB*. 2004. 182 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mineral)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

VEIRA, L. J. S. et al. Influência do aquífero freático sobre a drenagem superficial estudo de caso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 15., Curitiba, 2003. *Anais...* Curitiba: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. p. 171.

## SOBRE OS AUTORES

### **Leonardo Figueiredo de Meneses**

Geógrafo pela Universidade Federal da Paraíba em 2006; Tecnólogo em Geoprocessamento pelo Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba em 2007; M.Sc. Eng. Urbana pela Universidade Federal da Paraíba em 2007. Professor substituto da Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em Geoprocessamento do IF-PB, onde atua em nível de graduação.

### **Tarciso Cabral da Silva**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB, em João Pessoa, 1977. Doutor em Engenharia Civil, habilitação Hidráulica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP, em São Paulo, 1993. Professor Titular da Área de Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do Centro de Tecnologia da UFPB, Campus I, João Pessoa. Coordenador do Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental da UFPB.

### **Carmem Lúcia Moreira Gadêlha**

Engenheira Civil pela Universidade Federal da Paraíba, em João Pessoa, 1977. Doutora em Engenharia Hidráulica e Sanitária pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP, em São Paulo, 1986. Professora Associada II da Área de Saneamento do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba – Campus I, João Pessoa.

### **Elaine Cristina Teixeira Pedrosa de Figueiredo**

Geógrafa pela Universidade Federal da Paraíba em 2006; M.Sc. Eng. Urbana pela Universidade Federal da Paraíba em 2008. Consultora técnica da empresa Axis Consultoria Assessoria e Projetos Ltda, na área de estudos ambientais.

**Recebido em:** 28.02.2009

**Aceito em:** 13.04.2009

**Revisado em:** 15.05.2009