

Programa de Pós-Graduação em **Engenharia Civil e Ambiental**

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Departamento de Engenharia Civil

**APLICAÇÃO DO MÉTODO
DRASTIC PARA CARACTERIZAR
A VULNERABILIDADE DO
AQUÍFERO LIVRE NO BAIRRO
DO BESSA EM JOÃO PESSOA - PB**

RUY SOUZA DE SANTANA

Campina Grande
Data: MAIO DE 2011

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental
Pós-Graduação em Recursos Hídricos

**APLICAÇÃO DO MÉTODO DRASTIC PARA
CARACTERIZAR A VULNERABILIDADE DO
AQUÍFERO LIVRE NO BAIRRO DO BESSA EM
JOÃO PESSOA-PB**

RUY SOUZA DE SANTANA

Campina Grande-PB
Maio - 2011

RUY SOUZA DE SANTANA

**APLICAÇÃO DO MÉTODO DRASTIC PARA CARACTERIZAR A
VULNERABILIDADE DO AQUÍFERO LIVRE NO BAIRRO DO
BESSA EM JOÃO PESSOA-PB**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Iana Alexandra Alves Rufino.

**Campina Grande - PB
Maio de 2011**



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFPG

S232a Santana, Ruy Souza de.
Aplicação do Método Drastic para Caracterizar a Vulnerabilidade do
Aquífero Livre no Bairro do Bessa em João Pessoa-PB/ Ruy Souza de
Santana. — Campina Grande, 2011.
57 f.: il. col.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de
Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.
Orientador: Prof^o. Dr^a. Iana Alexandra Alves Rufino

Referências.

1. Vulnerabilidade. 2. Aquífero. 3. Método DRASTIC. I. Título.

CDU 556.33(043)

RUY SOUZA DE SANTANA

**APLICAÇÃO DO MÉTODO DRASTIC PARA CARACTERIZAR A
VULNERABILIDADE DO AQUIFERO LIVRE NO BAIRRO DO
BESSA EM JOÃO PESSOA-PB.**

Dissertação de Mestrado

Aprovada em 31 de Maio de 2011

BANCA EXAMINADORA:

Iana Alexandra A. Rufino

Prof^a Dr^a Iana Alexandra Alves Rufino
Orientadora

Dayse Luna Barbosa

Prof^a Dr^a Dayse Luna Barbosa
Examinadora

Mônica Garcia Agra de Medeiros

Prof^a Dr^a Mônica Garcia Agra Medeiros
Examinadora

Campina Grande – PB
Maio de 2011

DEDICATÓRIA

**Dedico este trabalho aos meus pais,
Ivonete Nascimento e Jarbas Santana,
a minhas irmãs, Geny, Jany, Jeanine e
Ligia e a minha filha Laryssa Santana.**

AGRADECIMENTOS

À Professora Dra. Iana Alexandra Alves Rufino, pela orientação, estímulo e atenção nos momentos mais difíceis deste trabalho.

Ao Professor Janiro C. Rego na co-orientação dos trabalhos técnicos e pela colaboração no desenvolvimento da pesquisa na área urbanizada do Bessa, em João Pessoa.

Às professoras Márcia M. Rios Ribeiro e Rosires Catão, por ter me recebido de forma educada e acolhedora quando procurei o Departamento de Engenharia Civil para colher informações sobre o mestrado na entidade.

Ao colega e professor Antonio Costa do Departamento de Mineração e Geologia, por ter dado a orientação do caminho da Engenharia Civil para realizar esta pós-graduação.

Ao colega e professor Dr. Marx Prestes Barbosa, instrutor das disciplinas PDI e SIG, do Departamento de Engenharia Agrícola.

Ao engenheiro Isnaldo Candido da AESA, pela atenção dispensada quando fez-se necessário adquirir as informações da pluviometria dos anos da pesquisa da ATECEL, junto ao posto DFAARA em João Pessoa.

Aos professores Sérgio Góes e Francisco Lucena pela assistência na obtenção dos dados oriundos da ATECEL.

Aos colegas Francisco de Assis da Silveira Gonzaga (Geólogo) e Ronaldo Amâncio de Meneses (Engenheiro Civil) pelo apoio nas diversas noites e madrugadas que passamos estudando.

Aos demais colegas mestrados, que também sofreram momentos de sufoco com as disciplinas curriculares, mas que sempre transmitiram força no sentido da superação.

Aos colegas do laboratório, no bloco BU, Rodolfo e John Elton, pela atenção, paciência e orientação na elaboração da planilha excel do balanço hídrico para a obtenção dos valores de recarga a ser aplicado no método DRASTIC.

Aos alunos do PIBIC, Douglas Almeida e Thiago Silva pelo companheirismo no aprendizado do uso da técnica computacional para o

Sistema de Informação Geográfica utilizado na elaboração dos mapas temáticos que compõem o trabalho.

Aos funcionários do Laboratório de Hidráulica, em especial a Aurezinha pela atenção dispensada, quando precisei utilizar as publicações da biblioteca local.

RESUMO

O desenvolvimento populacional de um bairro é uma atividade constante na vida do homem, principalmente quando este se localiza numa região litorânea, propícia ao turismo, lazer e moradia. Assim é o bairro do Bessa na capital paraibana. Trata-se de uma região plana, arenosa, bem situada e preferida pelos empreendimentos da construção civil na edificação de grandes edifícios e cujo processo de expansão avança desenfreadamente, desrespeitando, acima de tudo, as feições naturais do meio ambiente, dando uma cara nova ao local. O objetivo deste trabalho é elaborar o mapa de vulnerabilidade do aquífero livre localizado no bairro, indicando as partes mais susceptíveis à contaminação por poluentes causada pela presença do homem. Para isso, foram utilizados os dados técnicos do relatório da ATECEL/UFPB de 1999, realizado para identificar as condições naturais de circulação no aquífero freático e sua influência na drenagem superficial. Adotou-se como metodologia, o modelo DRASTIC por ser bastante usado no Brasil, valorizando a contribuição de sete parâmetros hidrogeológicos relacionados às características naturais da região. O mapa final de vulnerabilidade DRASTIC da área do Bessa mostrou que a região apresenta uma forte susceptibilidade à contaminação. Essa tendência foi classificada em três intervalos de classes a saber: moderada, alta e muito alta, sendo esta última com a maior cobertura da área. Assim, é importante que a população tome conhecimento dessa realidade e evite a deposição de produtos poluentes em contato com o solo, para preservar a lisura do aquífero e a integridade da saúde humana.

Palavras-Chave: Vulnerabilidade, Aquífero, Método DRASTIC

ABSTRACT

The population development of a neighborhood is a constant in human life, especially when it is located in a coastal region, conducive to tourism, leisure and housing. So is the neighborhood in the capital of Paraíba, Bessa. This is a flat, sandy, well-placed and preferred by construction enterprises in the construction of large buildings and whose expansion process goes unchecked, rude, above all, the natural features of the environment, giving a new face to site. The objective of this work is to develop the map of vulnerability of the aquifer located free in the neighborhood, indicating the parts most susceptible to contamination by pollutants caused by human presence. For this, we used data from the technical report of ATECEL / UFPB 1999, performed to identify the natural movement of groundwater in the aquifer and its influence on surface drainage. The adopted methodology, the DRASTIC model to be widely used in Brazil, highlighting the contribution of seven hydrogeologic parameters related to the natural characteristics of the region. The final map of vulnerability DRASTIC Bessa area showed that the region is highly susceptible to contamination. This trend was classified into three class intervals as follows: moderate, high and very high, the latter being the greatest coverage area. It is therefore important that the population becomes aware of this reality and avoid the deposition of pollutants into contact with the ground, to preserve the fairness and integrity of the aquifer for human health.

Keywords: Vulnerability, Aquifer, DRASTIC Method

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	
AGRADECIMENTOS	
RESUMO	
ABSTRACT	
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
LISTA DE QUADROS	
CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	1
1.1 INTRODUÇÃO	1
1.2 OBJETIVOS	3
1.2.1 - Objetivo Geral	3
1.2.2 - Objetivos Específicos	3
CAPÍTULO 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 AQUÍFEROS	4
2.2 DEGRADAÇÃO DO SOLO	5
2.3 FONTES DE POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	6
2.4 VULNERABILIDADE NATURAL DE AQUÍFEROS	7
2.5 O MODELO DRASTIC	9
2.6 APLICAÇÃO DO MODELO DRASTIC NO BRASIL E NO MUNDO	12
CAPÍTULO 3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	14
3.1 LOCALIZAÇÃO	14
3.2 ASPECTOS FÍSICOS	15
3.3 GEOLOGIA	17
3.4 HIDROGEOLOGIA	19
3.5 USO DO SOLO	21

CAPÍTULO 4	METODOLOGIA	23
4.1	AQUISIÇÃO DE DADOS	23
4.1.1	Topografia e Níveis Estáticos	24
4.1.2	Recarga	27
4.1.3	Condutividade Hidráulica	32
4.1.4	Meio Aquífero, Solo e Impacto da Zona Vadosa	33
4.2	PROCESSAMENTO DAS INFORMAÇÕES	33
CAPÍTULO 5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
5.1	OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS DO MODELO	55
5.1.1	Profundidade da zona não-saturada do solo	35
5.1.2	Recarga profunda de aquíferos	38
5.1.3	Material do aquífero	39
5.1.4	Tipo de solo	41
5.1.5	Topografia	42
5.1.6	Impacto da zona vadosa	44
5.1.7	Condutividade Hidráulica	45
5.2	CÁLCULO DO ÍNDICE DRASTIC	47
CAPÍTULO 6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	50
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
	ANEXOS	57

LISTA DAS FIGURAS

Figura 1	Tipos de aquíferos quanto à porosidade	4
Figura 2	Tipos de aquíferos quanto à pressão	5
Figura 3	Parâmetros hidrogeológicos do método DRASTIC	12
Figura 4	Localização do Bessa no município de João Pessoa-PB	14
Figura 5	Modelo digital de elevação dos municípios de João Pessoa e Cabedelo-PB	17
Figura 6	Mapa geológico da grande João Pessoa	19
Figura 7	Rede hidrográfica da grande João Pessoa-PB.	20
Figura 8	Uso do solo no bairro do Bessa-PB.	22
Figura 9	Fluxograma dos procedimentos na aplicação do índice DRASTIC	23
Figura 10	Mapa de localização dos piezômetros no bairro do Bessa (1998/1999).	24
Figura 11	Modelo Numérico do Terreno da área de estudo.	25
Figura 12	Mapas de comparação dos níveis piezométricos observados e calculados pelo modelo de fluxo subterrâneo MODFLOW.	26
Figura 13	Mapa de variação dos níveis estáticos nos piezômetros do Bessa.	27
Figura 14	Algoritmo de funcionamento do modelo de balanço hídrico para o cálculo da recarga do aquífero.	29
Figura 15	Distribuição das CN na área de estudo no período de 1998/1999	31
Figura 16	Distribuição espacial da condutividade hidráulica (k) e da porosidade efetiva (n)	32
Figura 17	Mapa de profundidade dos níveis estáticos nos piezômetros no Bessa-PB	36
Figura 18	Mapa do parâmetro Profundidade (D)	37
Figura 19	Mapa do parâmetro Recarga (R)	39
Figura 20	Mapa do parâmetro Meio Aquífero (A)	40
Figura 21	Mapa do parâmetro Solo (S)	42
Figura 22	Mapa do parâmetro Topografia (T)	43
Figura 23	Mapa do parâmetro Impacto da Zona Vadosa (I)	45

Figura 24	Mapa do parâmetro Condutividade Hidráulica (C)	46
Figura 25	Mapa de vulnerabilidade do Bessa com sete intervalos de classes	48
Figura 26	Mapa final de vulnerabilidade DRASTIC da área do Bessa-PB	49

LISTA DOS QUADROS

Quadro 1	Dados climáticos médios da cidade de João Pessoa-PB	16
Quadro 2	Valores de CN para a área do Bessa 1998/1999	30
Quadro 3	Relação das CN com as recargas do período de Nov - 1998 a Out-1999.	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Classes de valores de profundidade do nível estático. Peso:5	37
Tabela 2	Classes de valores da recarga. Peso:4	38
Tabela 3	Descrição do material do aquífero e respectivos índices. Peso: 3	40
Tabela 4	Tipos de solos. Peso:2	41
Tabela 5	Classes dos valores de declividade. Peso: 1	43
Tabela 6	Materiais que compõem a zona vadosa. Peso: 5	44
Tabela 7	Classes de valores da condutividade hidráulica. Peso: 3	46
Tabela 8	Valores do índice DRASTIC	48

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1.1 – INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a preocupação de toda a sociedade com a disponibilidade e qualidade da água decorre do fato de que, por mais abundante que pareça este recurso, não é rara também sua escassez, tanto pela ocorrência de períodos prolongados de estiagem como pela carga poluidora a que é submetida (BARBOSA, 2007).

As águas subterrâneas são uma das principais fontes de água potável no mundo. Contudo, grande é o risco de contaminação dessas reservas naturais, tendo em vista as características físicas do solo e das atividades antrópicas (BÓS, 2008).

Os sistemas de abastecimento de água na Europa são supridos por 75% da água subterrânea para atendimento à população. Em países como a Dinamarca, Suécia, Bélgica, Alemanha e Áustria, este percentual cresce para 90%. Os mananciais subterrâneos abastecem 100% dos núcleos urbanos da Argélia, 58% do Irã e 50% nos Estados Unidos. No Brasil, estima-se que 50% das cidades recebem contribuição das águas subterrâneas. O Estado de São Paulo é o maior usuário nacional, com 70% das cidades e, 90% das indústrias (FUNASA, 2004).

O uso sustentável desses recursos hídricos, em especial os subterrâneos, não requer, apenas, estudos sobre a vulnerabilidade e contaminação de aquíferos, como vem acontecendo de forma sistemática nos últimos anos, mas também o conhecimento dos componentes que atuam em seu comportamento hidráulico. É de suma importância para o estabelecimento de medidas preventivas e/ou corretivas na sustentabilidade destes recursos (FORMAGGIO, 2007).

No Brasil, o grau de conhecimento do potencial hídrico de seus aquíferos, seu estágio de exploração e a qualidade das suas águas representam ainda uma situação deficitária séria. Os estudos regionais, além de insuficientes, encontram-se defasados. O número de pesquisas publicadas, ligadas à qualidade da água subterrânea apresenta geralmente caráter pontual. Assim, mesmo em locais de clima e geologia favoráveis ao acúmulo de água superficial, como na região Sul e Sudeste do Brasil, a importância da água subterrânea é destacada em períodos críticos de secas, quando esses recursos superficiais não conseguem atender parcial ou totalmente à demanda em termos quantitativos e qualitativos (BARBOSA, 2007).

Em algumas cidades do Nordeste, destacando-se as capitais, o uso de águas subterrâneas para abastecimento e consumo se faz através da perfuração de poços tubulares executados, ora pelas empresas públicas, ora por entidades particulares. Não raro, aparecem problemas com estes usos quer de rebaixamento excessivo dos níveis potenciométricos, quer de contaminação, ou, até intrusão salina. Em razão disso, enfatiza-se a necessidade de se caracterizarem satisfatoriamente os recursos hídricos subterrâneos disponíveis e de planejar adequadamente seu uso, assegurando-se a constante oferta real à população.

No caso específico do Estado da Paraíba, as ações antropogênicas empreendidas no setor costeiro, a exemplo de implantação de loteamentos e ampliação da malha urbana, com maior ocorrência nas cidades de João Pessoa e Cabedelo, têm causado danos ambientais e conflitos de uso do solo. A poluição hídrica, ocasionada pela alta densidade populacional e ocupação urbana desordenada, é um fato relevante a ser considerado. Trata-se de área frágil, onde ocorrem processos de erosão e de acumulação de sedimentos, típicos de regiões com formação nos períodos terciário-quadernários. A planície costeira apresenta limitações à ocupação devido a alta permeabilidade em seus terrenos, lençol freático próximo à superfície, terrenos planos com cotas baixas em relação ao nível do mar, dificultando as soluções para o esgotamento sanitário e a drenagem das águas pluviais. O controle do uso e ocupação do solo, através de restrições e fiscalização das atividades humanas, é uma das estratégias de proteção da água subterrânea (ANA, 2005).

Em relação à urbanização da cidade de João Pessoa, as áreas litorâneas correspondem a um dos setores que mais sofrem com as interferências do homem, muitas das quais em caráter irreversíveis. O desenvolvimento a qualquer custo e a falta de vontade política de sucessivos governos, são ameaças constantes à manutenção da qualidade dos recursos naturais locais, particularmente devido ao não cumprimento da legislação ambiental, bem como a deficiência dos organismos fiscalizadores (MORAIS, 2009).

O bairro do Bessa, situado na porção mais larga da faixa litorânea do município de João Pessoa, apresenta-se bastante fragilizado do ponto de vista ambiental, em virtude do “inchaço” populacional e, conseqüentemente, o avanço das construções verticalizadas, necessitando de um gerenciamento cauteloso para que o desenvolvimento urbano transcorra sem prejuízo às comunidades locais, oferecendo melhor qualidade de vida nos dias atuais e para as gerações vindouras.

1.2 – OBJETIVOS

1.2.1 – Objetivo Geral

Elaborar o mapa preliminar de vulnerabilidade do aquífero livre localizado no bairro do Bessa, em João Pessoa.

1.2.2 – Objetivos Específicos

- Aplicar o modelo DRASTIC para a área de estudo escolhida, elaborando todos os planos de informação necessários, a partir de estudos anteriores;

- Utilizar técnica de geoprocessamento (álgebra de mapas) para a obtenção do mapa de vulnerabilidade;

- Avaliar os resultados a partir do modelo de estimativa de vulnerabilidade utilizado.

CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 – AQUÍFEROS

O termo aquífero (do latim, aqua= água + fero= levar) refere-se à formação geológica que contém água e permite que quantidades significativas desse produto se movimente no interior da estrutura em condições naturais (FILHO, 2008).

Quanto à porosidade, existem três tipos de aquíferos (Figura 1): aquífero poroso ou sedimentar, formado por rochas sedimentares consolidadas, sedimentos inconsolidados ou solos arenosos, onde a circulação da água se faz nos poros; aquífero fraturado ou fissural, formado por rochas ígneas, metamórficas ou cristalinas, duras e maciças, onde a circulação da água se faz nas fraturas, fendas e falhas, abertas devido ao movimento tectônico; e aquífero cárstico, formado em rochas calcárias ou carbonáticas, onde a circulação da água se faz nas fissuras, juntas ou diáclases e outras discontinuidades (cavernas) que resultaram da dissolução do carbonato pela ação da água (BORGHETTI et al., 2004).

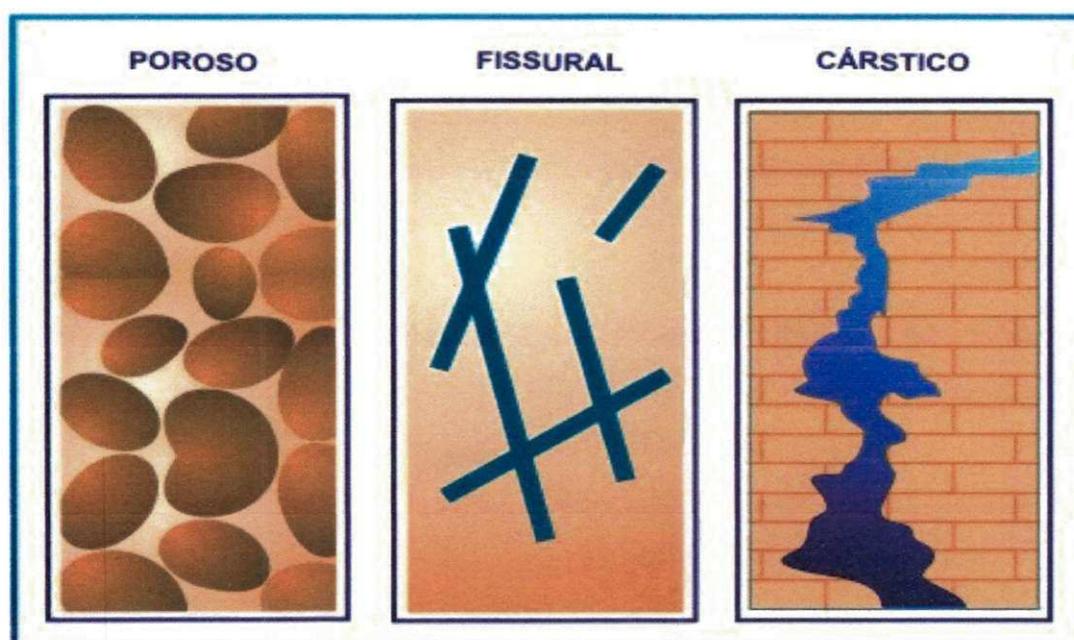


Figura 1: Tipos de aquíferos quanto à porosidade
Fonte: Borghetti et al. (2004)

Quanto à superfície superior ou pressão da água, os aquíferos podem ser de dois tipos: aquífero livre ou freático, constituído por uma formação geológica permeável e

superficial, totalmente aflorante em toda a sua extensão, e limitado na base por uma camada impermeável; e aquífero confinado ou artesiano, constituído por uma formação geológica permeável, confinada entre duas camadas impermeáveis ou semipermeáveis (Figura 2).

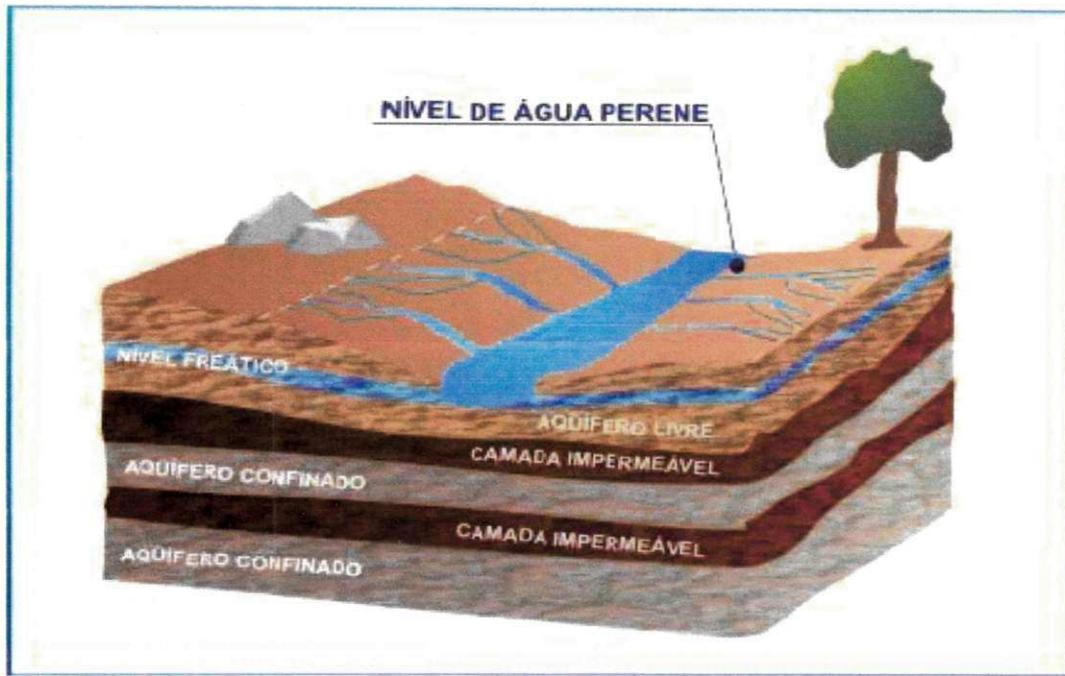


Figura 2 – Tipos de aquíferos quanto à pressão

Fonte: Borghetti et al.,(2004)

Os aquíferos livres ou freáticos ou não confinados, são aqueles cujo limite superior é a superfície de saturação ou freática, na qual todos os pontos se encontram à pressão atmosférica. As áreas de recarga dos aquíferos confinados correspondem a aquíferos livres através dos quais os excessos de água da chuva conseguem penetrar por infiltração (FILHO, 2008).

É importante ressaltar que, “ao ser perfurado um poço num aquífero confinado, o nível d’água se eleva até a superfície piezométrica (ou potenciométrica) deste. Se a cota piezométrica for superior ao nível do terreno, o aquífero confinado é chamado de artesiano” (TUCCI, 2003).

2.2 - DEGRADAÇÃO DO SOLO

À luz dos conhecimentos atuais o solo, não é entendido apenas como a base de sustentação onde se desenvolve a agricultura, mas, em conjunto com a água e a

atmosfera, constitui o complexo sistema Solo-Planta-Atmosfera, em equilíbrio dinâmico e regido pelas leis universais da adaptação e da diversidade. A ação antrópica interfere nesse equilíbrio e ameaça a natureza no todo e, principalmente, a própria existência do homem, através da poluição das águas, do solo e da atmosfera.

A degradação do solo, definida como empobrecimento da sua qualidade, causada principalmente pela atividade humana, é uma questão discutida a nível global desde o século passado, devido a seu forte impacto na produção alimentar e qualidade ambiental.

O mecanismo da degradação do solo envolve processos físicos, hídricos, mecânicos, químicos e biológicos. Dentre os processos físicos, a desestruturação do solo conduz ao selamento e encrostamento, compactação subsuperficial, erosão, desertificação, anaerobismo e poluição ambiental, culminando com a degradação dos recursos naturais. Os processos químicos significativos incluem a acidificação, lixiviação, salinização, diminuição da capacidade de troca de cátions e da fertilidade, enquanto os processos biológicos envolvem a oxidação do carbono da biomassa e reduz a biodiversidade do solo. Assim, a degradação do solo é um processo biofísico, induzido por atitudes sócio-econômicas e políticas (NEUWALD, 2005)

2.3 - FONTES DE POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Uma das sérias consequências da contaminação do solo é a poluição das águas subterrâneas e, de forma associada, das águas dos rios e mares.

A poluição das águas subterrâneas ocorre quando os poluentes chegam ao solo, que pode absorvê-los como se fosse uma esponja, porém, muitas vezes, estes poluentes chegam diretamente até a água subterrânea. Então, a poluição pode ocorrer por duas vias distintas: uma, pelo transporte dos poluentes nas águas da chuva, que rapidamente se infiltram até alcançar os níveis da água subterrânea; ou quando os poluentes já atingiram o aquífero, e se locomovem lateralmente. Os poluentes são produtos da ação do homem, principalmente nas atividades domésticas, industriais, agrícolas e de extração mineral. Os próprios poços quando perfurados sem as devidas precauções, poderá se constituir num foco ou entrada de contaminantes para o aquífero (SILVA, 2003).

Os estudos que envolvem esta temática devem servir pelo menos para identificar quais dos aquíferos, ou parte deles, são mais vulneráveis (sujeitos à contaminação), bem como quais as atividades são responsáveis pelos maiores riscos de contaminação na área estudada (OSÓRIO, 2004).

A contaminação de solos e águas subterrâneas identificadas nas áreas próximas às indústrias de mineração podem conter metais pesados, danosos à saúde humana e ao meio ambiente. A disposição inadequada de rejeitos de processos de extração mineral ocasiona a lixiviação de poluentes, os quais são responsáveis pela alteração da qualidade do solo e águas subterrâneas (ZIDAN, 2007).

É importante destacar que além das diversas fontes de contaminação, as águas subterrâneas estão ameaçadas pelo seu uso intensivo. Contudo, é fundamental ressaltar que a variabilidade e a intensidade da poluição das águas subterrâneas conservarão relação com a vulnerabilidade do aquífero, com as características dos esgotos e do arranjo dos sistemas de saneamento. A degradação da qualidade da água subterrânea por sua vez impactará a disponibilidade de suprimento de água – Bovolato, 2006 (apud BÓS), 2008.

Em áreas urbanas, uma das principais preocupações é a carga poluente em zonas residenciais sem esgotamento sanitário público. Essa carga oriunda do esgoto doméstico normalmente apresenta na sua composição, nutrientes e sais, bactérias, vírus e compostos orgânicos solúveis (SOUZA, 2009).

2.4 - VULNERABILIDADE NATURAL DE AQUÍFEROS

As águas subterrâneas tem sido tradicionalmente considerada por ter boa qualidade natural. Para a maioria dos ambientes geológicos isso é verdade, mas não significa que a qualidade das águas subterrâneas naturais é sempre boa. Ela pode variar de um tipo de rocha para outra e também dentro de aquíferos ao longo do fluxo das águas subterrâneas. Porque o movimento das águas subterrâneas pode ser tão lento e longo que o tempo de permanência para produtos químicos possam interagir entre a água e o material rochoso por onde passar. As variações de qualidade das águas subterrâneas começa no solo, onde se infiltra pelas chuvas reagindo com o dióxido de carbono na atmosfera para produzir um ácido carbônico fraco, que pode remover substâncias solúveis minerais das rochas subjacentes (MACDONALD, 2008).

Os primeiros conceitos relativos à vulnerabilidade natural à poluição das formações aquíferas vêm sendo aplicados desde a década de 1960, introduzido pelo hidrogeólogo francês J. Margat, mas foi a partir da década de 1980 que começaram a ter uma maior divulgação -Puerari et al. 2003 (apud SANTOS), 2005.

Segundo Russo (2009), o termo “vulnerabilidade natural de um aquífero” pode ser definido como o início do processo para a avaliação da susceptibilidade do aquífero a ser contaminado. Dependente de diversos fatores ambientais, a estimativa da avaliação da vulnerabilidade da água subterrânea é caracterizada pelo autor como uma predição do processo que está ocorrendo abaixo da superfície da Terra. Esta depende de diversos fatores como geologia, geomorfologia, espessura da camada não saturada, recarga natural, escoamento superficial, exploração da água, dentre outros.

A vulnerabilidade de aquíferos tem sido definida como a facilidade com que cargas contaminantes, com origem na superfície, têm em atingir uma posição específica no sistema aquífero subjacente à região poluída. Segundo alguns autores, a vulnerabilidade não é uma propriedade absoluta, mas uma indicação relativa de áreas onde a contaminação tem maior probabilidade de ocorrer (NOBRE, 2006).

De acordo com Waterloo (2003), a vulnerabilidade é uma representação do grau de susceptibilidade do aquífero, frente a uma contaminação e serve fundamentalmente para planejar o uso do solo com vistas à proteção dos mesmos.

O conceito de vulnerabilidade ainda não foi definido completamente e sem ambiguidades no contexto da poluição das águas subterrâneas. Frequentemente, o termo "vulnerabilidade à poluição" é usado com um sentido composto que talvez pudesse melhor ser descrito como "risco de poluição". Para Meaulo (2004), o mapeamento da vulnerabilidade natural à poluição de um aquífero é na verdade o primeiro passo para a estimativa do risco à poluição e, por conseguinte, suas definições devem ser diferenciadas.

Camponogara (2006) utilizou o conceito de vulnerabilidade de aquíferos que segundo Ribeiro (2004), foi inicialmente utilizado por Le Grand (1964), nos EUA, e Albinet & Margat (1970), na França, e mais amplamente nos anos 1980 por vários outros autores (Aller *et al*, 1985; Bachmat & Collin, 1987, Foster, 1987, Foster & Hirata, 1988). Desde então, esse conceito tem sido usado para expressar:

a) características intrínsecas que determinam a sensibilidade de um aquífero ser adversamente afetado por uma carga contaminante antropogênica imposta;

b) classificação dos aquíferos baseada na importância do recurso hídrico que é ou será aproveitado no presente e no futuro, incluindo a possibilidade de ser substituído por outro recurso;

c) classificação baseada na importância do aquífero em manter áreas ecológicas importantes.

2.5 - O MODELO DRASTIC

Segundo Meneses (2007), o modelo DRASTIC foi desenvolvido na década de 1980, pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA – *United States Environmental Protection Agency*) com o intuito de restringir a subjetividade dos processos de avaliação de vulnerabilidade de aquíferos à poluição, apresentando-se como um sistema padronizado de avaliação. O nome DRASTIC é um acrônimo resultante da conexão das letras sublinhadas dos parâmetros, em inglês. Os principais pressupostos do modelo são:

- O contaminante é introduzido à superfície do terreno;
- O contaminante é transportado verticalmente até o aquífero pela água de infiltração;
- O contaminante possui a mesma mobilidade da água;
- A área mínima avaliável pelo DRASTIC é de 0,4 km².

A metodologia leva em consideração, para a elaboração do índice de vulnerabilidade, sete fatores hidrogeológicos:

Profundidade do nível estático do solo (*Depth to the water table*)

Recarga profunda de aquíferos (*Net Recharge*)

Material do aquífero (*Aquifer material*)

Tipo de solo (*Soil type*)

Topografia (*Topography*)

Material da zona não-saturada (*Impact of the unsaturated zone*)

Condutividade hidráulica (*Hydraulic Conductivity*).

Seguindo as definições usadas por Auzani (2010) para caracterizar cada um dos parâmetros hidrogeológicos do DRASTIC, tem-se:

D - Profundidade do Nível Estático - representa a distância que um contaminante deve atravessar antes de atingir a zona saturada. Quanto maior for a profundidade, menor será o índice de contaminação a atingir o aquífero.

R - Recarga do Aquífero - corresponde à quantidade de água que atinge a superfície e se infiltra no solo ou na rocha até atingir a zona saturada. A recarga das águas subterrâneas ocorre principalmente pela precipitação pluviométrica, na qual a água se infiltra na zona não saturada e percola até atingir a zona saturada. Quanto maior for a recarga de uma determinada área, maior a probabilidade de contaminação da água subterrânea. A recarga condiciona o transporte de um poluente na zona não saturada e a disponibilidade de água para os processos de dispersão e diluição tanto na zona vadosa como na zona saturada.

A - Material do Aquífero - refere-se à textura dos sedimentos, às rochas consolidadas ou aos sedimentos inconsolidados que constituem o aquífero. Esse parâmetro determina a mobilidade do contaminante, ou seja, a capacidade do aquífero em atenuar os efeitos dos poluentes. O conhecimento do material do aquífero é importante porque irá determinar a mobilidade e atenuação dos poluentes à sua contaminação. Quanto maior o tamanho dos grãos dos sedimentos e quanto mais aberturas as fraturas das rochas, maior será a permeabilidade e menor a capacidade de atenuação do meio aquífero à contaminação.

S - Tipo de Solo - compreende o material de cobertura da superfície terrestre formado por partículas no tamanho areia, silte e argila, além de constituintes orgânicos.

T - Topografia - refere-se à declividade do terreno. Quanto maior for a declividade, menor será a possibilidade de infiltração de água e, conseqüentemente, de poluente no subsolo. Já em áreas com declividades planas, a suscetibilidade à infiltração dos contaminantes é maior. Esse parâmetro é importante porque condiciona a probabilidade de um poluente escoar superficialmente ou de permanecer à superfície durante o tempo suficiente para se infiltrar.

I - Impacto da Zona Vadosa - refere-se à zona não saturada, que se encontra abaixo da superfície da terra e acima do nível estático (freático). O tipo de material encontrado nessa seção determina ou minimiza o processo de contaminação do aquífero, pois nela pode ocorrer uma flutuação no nível de água, ampliando a sua espessura num período anual em terrenos com características climáticas sazonais. Este parâmetro é considerado com maior peso neste método juntamente com o parâmetro da profundidade do nível.

C - Condutividade Hidráulica - corresponde à capacidade do material que compõe o aquífero em percolar a água, produzindo, assim, a taxa com que a água

subterrânea fluirá sob um determinado gradiente hidráulico. Este parâmetro também é chamado de coeficiente de permeabilidade (k).

Aos fatores hidrogeológicos são atribuídos valores ou índices (i) que podem variar de 1 a 10, em função das condições locais, ressaltando que, valores elevados correspondem a uma maior vulnerabilidade. Esses valores podem ser obtidos através de tabelas que consideram a correlação entre as características hidrogeológicas locais e o respectivo parâmetro do modelo.

Cada fator apresenta, ainda, um peso relativo (p) que é reflexo de sua importância concernente na quantificação da vulnerabilidade do aquífero. Quanto maior o peso relativo, maior a importância do fator na caracterização da vulnerabilidade, sendo que este peso pode variar apenas entre 1 e 5. A etapa final do cálculo para a obtenção do mapa de vulnerabilidade é a adição do produto dos referidos fatores por seus pesos relativos. A Equação (01) apresenta a forma de cálculo do índice DRASTIC (MENESES, 2007).

$$\text{Índice DRASTIC} = D_i D_p + R_i R_p + A_i A_p + S_i S_p + T_i T_p + I_i I_p + C_i C_p \quad (01)$$

O menor valor possível de ser obtido para o Índice DRASTIC é 23, no caso em que os valores atribuídos aos fatores hidrogeológicos sejam todos igual a 1, e o maior valor possível é 226. Quanto maior o índice DRASTIC, maior poderá ser a vulnerabilidade do aquífero ao risco de contaminação. Vale salientar, no entanto, que um valor baixo do índice não significa que não possa ocorrer contaminação do aquífero, mas que a mesma será menos provável e menor que em outras áreas.

A versão original do modelo DRASTIC, apresentada por Aller et al. (1987) indica a ponderação para cada parâmetro do modelo, bem como define valores relativos às características de cada um deles. Tais valores podem e devem ser adaptados à realidade de cada região onde se pretende utilizar tal metodologia para estudo da vulnerabilidade (MENESES, 2007)

A Figura 3 mostra um desenho esquemático dos parâmetros utilizados na metodologia DRASTIC, de acordo com Aller et al. 1987.

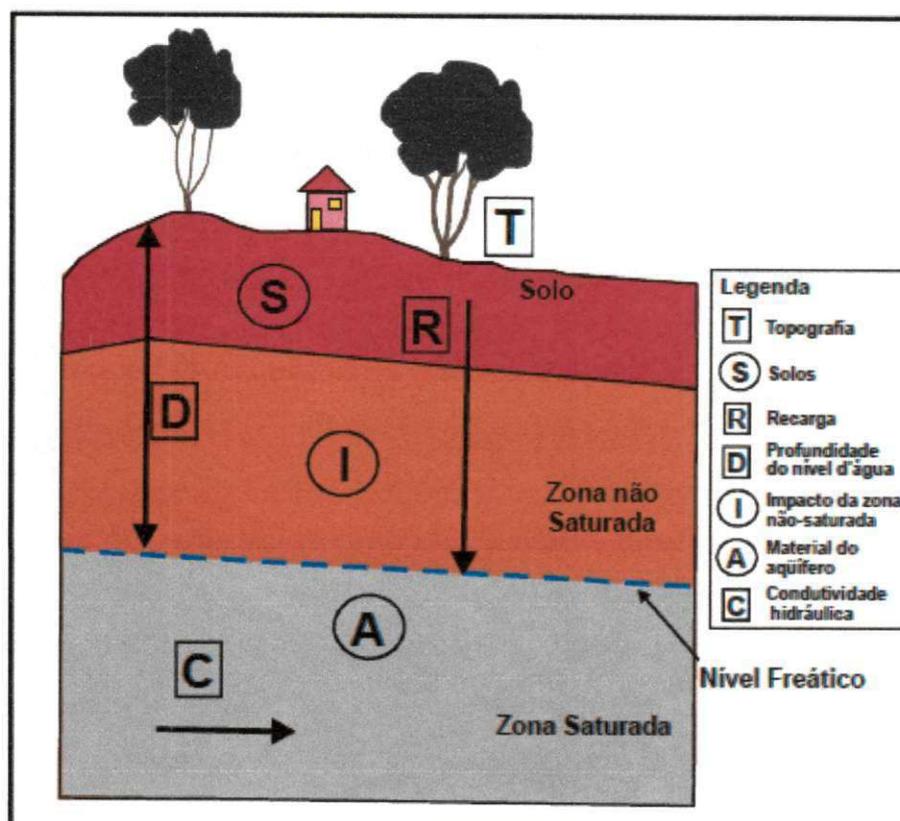


Figura 3 – Parâmetros hidrogeológicos do DRASTIC (Modificado de Oliveira & Lobo Ferreira, 2004).

Fonte: SANTOS (2005).

2.6 – APLICAÇÃO DO MODELO DRASTIC NO BRASIL E NO MUNDO.

Alguns exemplos da aplicação do índice DRASTIC podem ser citados, como o utilizado por Rosa *et al.* (2001), como um dos componentes para avaliar a viabilidade de implantação de campos de golfe no *concelho de Albufeira* em Portugal, com área de 144 Km². Porém, para utilização do DRASTIC, os autores realizaram algumas modificações no índice introduzindo parâmetro relacionado com uso e ocupação do solo, de modo a enfatizar o impacto ambiental do uso sobre os recursos hídricos subterrâneos.

Outro exemplo a ser citado também vem de Portugal, através da aplicação do DRASTIC na região ocidental de *Beja*, numa extensão de aproximadamente de 50 km² (SANTOS, 2005).

Na Europa, Rosen (1994) aplicou num aquífero raso localizado na região sudoeste da Suécia com ocorrência de depósitos ácidos; Ribeiro (2002), Oliveira et al.,

(2003), Peralta et al., (2005), em várias regiões de Portugal. No Oriente Médio Melloul e Collin, (1998) aplicou na região de Sharon, Israel; El-Naqa et al., (2006) utilizou em uma área de Russeifa, na Jordânia, onde ocorre larga disposição de resíduos sólidos. Na Ásia, Lee (2003) aplicou na Coreia do Sul, e Chakraborty et al., (2007) na região de English Bazar Block, oeste de Bengal, para avaliar a vulnerabilidade com relação à poluição por arsênio. Nos Estados Unidos vários autores usaram o método em diversos estados e em várias situações (Kalinski, 1994; Harter e Walker, 001; Lin et al., 1999; Soper, 2006; e, no México, Leal e Castilho (2003).

No Brasil, destacam os trabalhos de Leite e Möbus (1998) com o estudo da vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos sedimentares da bacia do rio Mundaú, Ceará; Oliveira et al.,(2007) nos sistemas aquíferos urbanos de Fortaleza – CE; Santos et al., (2006) na avaliação da vulnerabilidade natural em uma área na cidade de Londrina. Em Maceió, Alagoas, Nobre (2006) avaliou o índice de vulnerabilidade intrínseca e específica num aquífero costeiro de 292 km² onde foram usadas também modelagem hidrológica e técnicas de geoprocessamento (GIS). Na Bahia, Mestrinho et al., (2006) analisaram a vulnerabilidade intrínseca das águas subterrâneas na Bacia do rio Itapicuru, região nordeste do estado (SANTOS, 2010).

CAPÍTULO 3: CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 - LOCALIZAÇÃO

A área de estudo abrange três bairros: Aeroclube, Bessa e Jardim Oceania, mas será apresentada apenas como bairro do Bessa, por ser sua denominação mais antiga. Encontra-se na região litorânea de João Pessoa, possuindo uma área de 6,4 km² e perímetro de 11,9 km. Sua extensão é de 4,5 km na direção Norte-Sul, variando na direção Leste-Oeste próximo de 1,8 km. É limitada a Oeste pela BR-230, a Leste pelo Oceano Atlântico e a Norte com a foz do antigo curso do rio Jaguaribe (Figura 4). Faz parte da bacia hidrográfica do rio Paraíba, localizando-se em seu baixo curso.

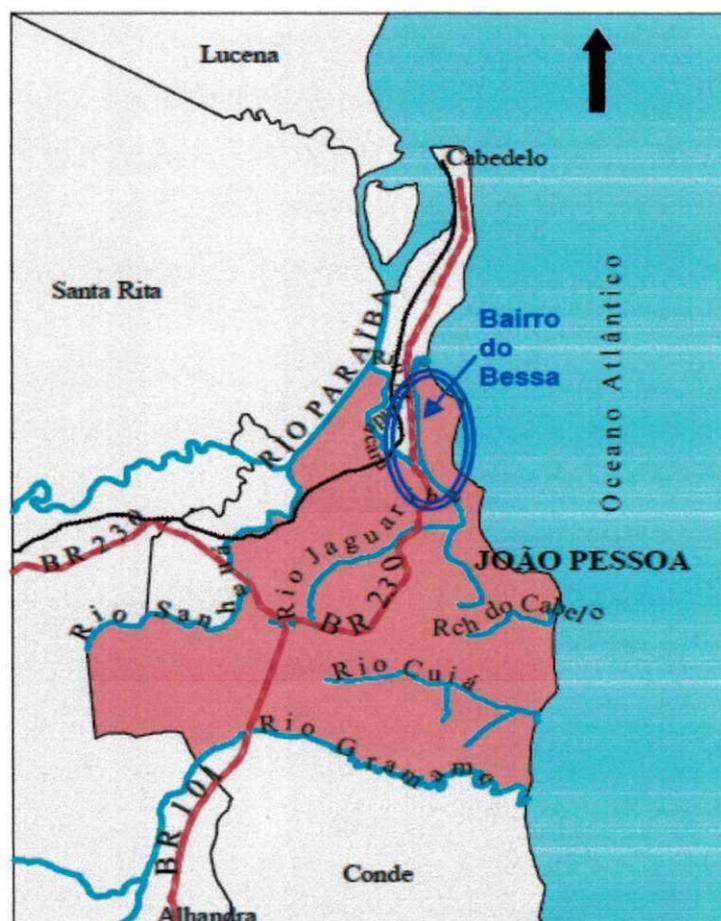


Figura 4 – Localização do Bessa no município de João Pessoa-PB.

Fonte: Rufino (2004)

3.2 - ASPECTOS FÍSICOS

A área de estudo está localizada na cidade de João Pessoa. Apresenta duas estações climáticas bem definidas, uma seca e outra chuvosa. A estação chuvosa compreende os meses de março a agosto, e a estação seca ocorre entre os meses de setembro a fevereiro. Os dados pluviométricos indicam que a precipitação média anual é cerca de 1.500 mm, variando entre 1.200 e 1.700 mm, com valores decrescentes para o interior. Observa-se que a maior concentração do total precipitado ocorre nas áreas mais próximas do oceano, nas áreas costeiras (AESAs, 2006).

O clima da cidade pode ser classificado como tropical úmido, apresentando verão seco, sendo a variação da temperatura média mensal do ar ao longo do ano praticamente desprezível. A área da capital é de 210 km², com população recenseada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) de 723.514 habitantes, representando 19,2% da população estadual. Constitui, portanto, a maior concentração populacional do Estado da Paraíba.

O município apresenta um índice de urbanização bastante elevado, não dispondo de zona rural. Os vazios urbanos correspondem praticamente a áreas de preservação (porções de mata atlântica, manguezais, restingas, espelhos d'água, etc.) e loteamentos ainda não ocupados (LUCENA, 2007).

Para Nóbrega (2002), a situação do Estado, próximo ao Equador, com alta radiação solar, determina um clima quente com temperatura média anual de 26°C e poucas variações intra-anuais. A distribuição espacial das temperaturas mostra uma dependência acentuada do relevo, com pouca variação de temperatura durante todo o ano, resultando em médias anuais elevadas, em torno de 22°C a 26°C (Quadro 1). Esta baixa amplitude térmica se justifica pela localização em baixa latitude. A umidade relativa do ar encontra-se em torno de 80%. As variáveis que caracterizam o clima de uma região são a pressão, a precipitação, a temperatura do ar, a insolação, a nebulosidade, a evaporação, a velocidade e direção do vento e a umidade relativa. Essas variáveis são medidas em estações climatológicas.

Quadro 1 – Dados climáticos médios da cidade de João Pessoa-PB

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Anual
Pressão Atmosférica (hPa)	1009,2	1008,7	1008,8	1008,5	1009,2	1011,5	1012,5	1012,5	1011,0	1008,9	1010,0	1009,3	1010,0
Evaporação do Tanque classe A (mm)	158,9	139,5	118,0	89,2	86,8	94,8	95,2	68,7	152,3	149,0	91,0	70,1	1313,5
Velocidade do vento (m/s)	3,6	3,6	3,1	3,0	2,9	3,1	3,5	3,7	4,0	3,9	3,8	3,8	3,4
Nebulosidade (0 - 10)	5,6	5,8	6,1	6,0	6,2	6,1	6,0	5,2	5,7	5,1	5,4	5,3	5,7
Insolação Total (Horas e décimos)	244,2	219,1	208,9	181,5	193,9	180,7	148,5	211,7	235,1	266,2	272,7	228,9	2591,4
Temperatura média do ar (°C)	25,8	25,2	28,2	25,5	27,0	26,2	23,7	25,4	27,5	27,7	27,0	24,1	26,1
Temperatura mínima do ar (°C)	22,8	22,6	21,2	22,9	22,2	21,8	20,3	21,7	18,9	23,3	23,2	23,0	21,9
Temperatura máxima do ar (°C)	31,8	30,5	30,0	29,8	29,6	28,3	26,8	27,8	28,3	29,3	29,7	30,0	29,3
Precipitação média (mm)	78	96	206	263	282	302	225	136	65	23	28	37	1740

Fonte: Estação Climatológica de João Pessoa, (apud Nóbrega), 2002

A cidade possui duas unidades de relevo predominantes, os Baixos Planaltos Costeiros (tabuleiros costeiros) e a Planície Costeira. As regiões elevadas, correspondentes aos tabuleiros, dominam maiores extensões (Figura 5). São platôs sub-horizontais, com leve declividade no sentido do litoral. Apresentam-se em alguns setores drasticamente dissecados pelo ciclo erosivo, dando origem a vertentes íngremes e vales fortemente encaixados, com acentuado declive nas cabeceiras. Exemplos destes são os vales dos rios Mumbaba, Marés, Cabelo, Timbó, Jacarapé, Camaço e Tambaí, os vales dos riachos Tibiri, Camurupim, Sanhauá, Taquarituba, Mussuré e do Meio e os vales das cabeceiras dos rios Jaguaribe, Cuiá e Boa Água. Os tabuleiros conseguem, entretanto, chegar até a costa, formando aí as denominadas falésias, que atingem duas ou três dezenas de metros de altura. As regiões elevadas são constituídas pelos sedimentos da Formação Beberibe e do grupo Barreiras. Grande parte da cidade de João Pessoa, bem como seu distrito industrial, encontram-se assentes sobre tabuleiros (RUFINO, 2004).



Figura 5 – Modelo digital de elevação dos municípios de João Pessoa e Cabedelo.
Fonte: Rufino (2004).

3.3 - GEOLOGIA

A geologia da grande João Pessoa faz parte da Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco-Paraíba e foi discorrida no trabalho de Batista (2010). Constituída por dois tipos de depósitos sedimentares a saber: as coberturas (tabuleiros) e as aluviões. Os sedimentos aluviais e fluvio-marítimos (**Qa**) são constituintes da planície costeira, das dunas, dos sedimentos de praia e dos aluviões que ocorrem nos vales dos rios e riachos instalados na superfície da bacia sedimentar. Esses são formados por areias fina e média, branca, e sucedidas, em profundidade, por camadas de areias com presença de

resto de conchas de pequenos moluscos e apresentam espessura variando de 20 a 60 metros, segundo os perfis de poços localizados sobre a planície costeira (Figura 6).

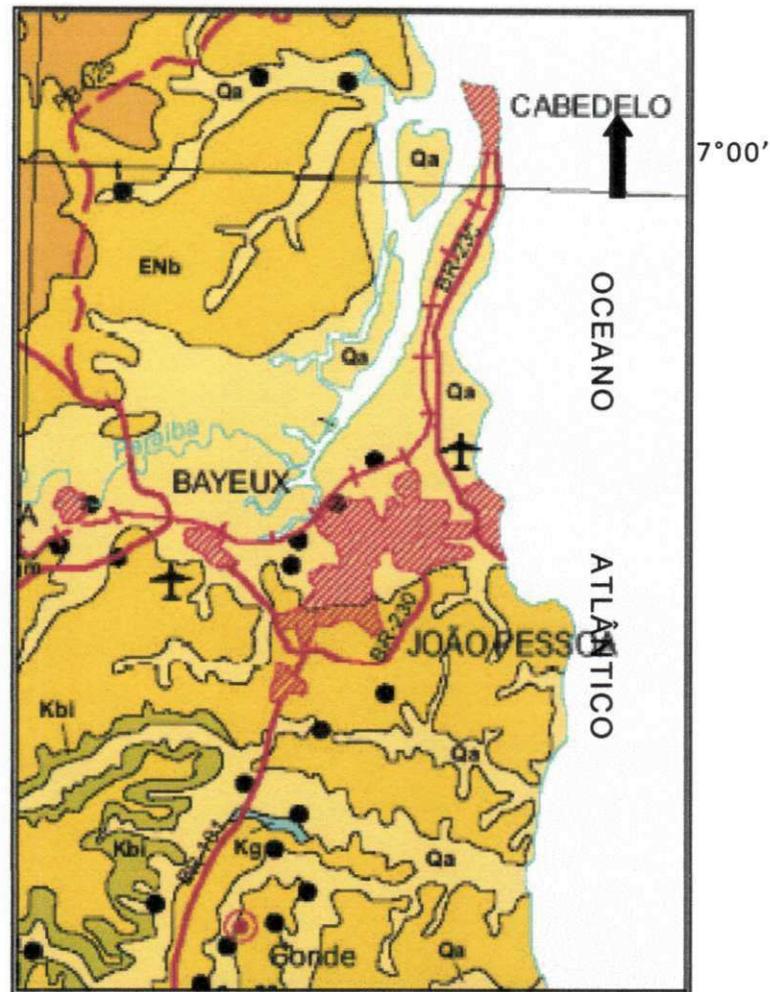
A Formação Barreiras (**ENb**) ocorre constituindo um capeamento detrítico, depositado, indistintamente, sobre as Formações Beberibe (superior ou inferior) e Gramame e, até sobre o cristalino. Trata-se de uma sequência de areias, siltes e argilas, repetida irregularmente na dimensão vertical, com predominância ora da litologia arenosa, ora da siltosa, ora da argilosa, apresentando granulometrias e cores variadas. Segundo Costa et al. (2007), a espessura da Formação Barreiras, na área paraibana da bacia sedimentar Pernambuco-Paraíba, varia entre 20 e 70m a julgar pelos registros de perfuração de poços e pelos levantamentos geofísicos.

A Formação Gramame (**Kg**) compreende um pacote sedimentar com até 102m de espessura (poço situado na sede de Jacumã), com profundidade média de 50m, formado por calcários argilosos cinzentos de fácies marinha plena, com algumas intercalações finas de argila, geralmente bioturbadas, e camadas de margas e argilas mais puras. Mostra um caráter transgressivo sobre os arenitos Beberibe e, no topo, passa sem interrupção para os sedimentos Cenozóicos da Formação Barreiras e, na orla marítima paraibana, para os depósitos fluvio-marítimos constituintes das planícies costeiras.

A Formação Beberibe (**Kbi**) numa sequência que se inicia com arenitos continentais, quartzosos, com uma espessura que pode atingir em território paraibano, até 100m, com média de 50m, em geral, sem fósseis. São arenitos médios, finos e grossos, cinzentos, cremes, vermelhos e roxos, mal selecionados, apresentando grãos sub-angulosos a sub-arredondados, com componente argiloso. Repousa sobre o embasamento cristalino de rochas metamórficas e ígneas, datado do Pré-Cambriano. Este substrato é, em grande parte, coberto pela referida crosta ferruginosa, relativamente espessa, aflorante nas partes oeste e sul da Bacia Sedimentar. O limite superior da formação se faz com a Formação Gramame ou, mesmo, com os sedimentos da Formação Barreiras no quadrante noroeste da bacia, principalmente.

No caso específico do bairro do Bessa, a geologia local é constituída, em toda sua extensão, pelos sedimentos quaternários, representados pelas aluviões e sedimentos de praias.

35°00'



FORMAÇÕES SUPERFICIAIS

BACIAS SEDIMENTARES

		CONTINENTE		BACIA PE/PB			
		IDADE (Ma)		IDADE (Ma)			
CENOZÓICO	QUATERNÁRIO	HOLOCENO	Qa	MESOZÓICO	CRETÁCEO		
		0,01	Aluviões e Sedimentos de Praia			65	Kg
	PLEISTOCENO	Ql	Formação Gramame			Kbi	Vulcânica Fésica Itapororoca
		1,75	Coberturas lateríticas			Formação Beberibe/Itamaracá	
NEÓGENO	23,50	ENb	Formação Campos Novos				
	PALEÓGENO	65	Esm	Formação Serra do Martins			

Figura 6 – Mapa Geológico da grande João Pessoa.

Fonte: Adaptado da CPRM, 2002.

3.4 - HIDROGEOLOGIA

Na linguagem hidrogeológica, o grupo Barreiras é um sistema livre de água doce superficial, tendo profundidade que vai de um metro a algumas dezenas de metros de

espessura. Nesta região costeira é comum a invasão da cunha de água salgada do oceano, tornando a água salobra em determinados pontos.

A Formação Beberibe é a mais importante da região. É um aquífero do tipo confinado que apresenta boa qualidade de suas águas e que tem sido explorado de forma crescente para fins de abastecimento humano na grande João Pessoa.

Na área da Grande João Pessoa, as aluviões aparecem em extensões consideráveis. Constituem toda a restinga de Cabedelo, bem como os vales dos rios de grande e médio porte que sulcam a área, a saber: o rio Paraíba ao norte e o rio Gramame ao sul (Figura 7).

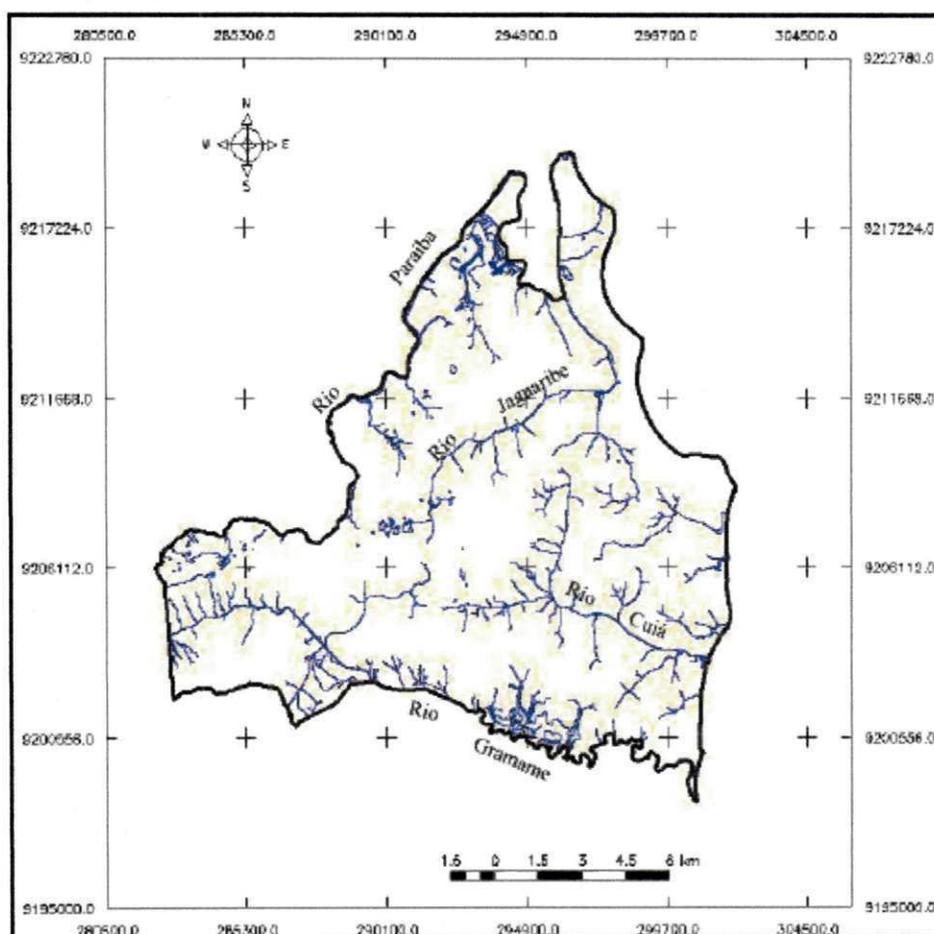


Figura 7 – Rede hidrográfica do município de João Pessoa.

Fonte: Meneses (2007).

A espessura das aluviões pode atingir normalmente 15 a 20 metros, excepcionalmente mais, como acontece na porção nordeste da restinga de Cabedelo,

onde chega a alcançar cerca de 75 metros. As aluviões constituem geralmente bons aquíferos livres.

Sua permeabilidade está na razão inversa do conteúdo de silte mais argila. Encontram-se bem distribuídos na área da Grande João Pessoa, ocupando notadamente os vales dos rios e riachos, também constituindo depósitos litorâneos de um modo geral. Ao longo dos anos, estes aquíferos têm sido explorados para o abastecimento de algumas pequenas indústrias, de incipientes sistemas de irrigação e abastecimentos domésticos em áreas localizadas, principalmente, na faixa litorânea. A taxa de infiltração nas aluviões é, em geral, bastante elevada, dada a boa permeabilidade que costumam apresentar tais sedimentos – Lummertz, 1977 (apud RUFINO), 2004.

3.5 – USO DO SOLO

O conhecimento e o entendimento das variáveis, paisagem, tipos de solos e ocupação de uma microbacia hidrográfica ou região é de fundamental importância para um planejamento racional dos recursos naturais em função da velocidade e do tipo de ocupação do espaço físico. Essa utilização racional garante a sustentabilidade produtiva pela adequação de uso desses recursos respeitando suas vocações naturais. Para isso, deve haver um gerenciamento da base dos recursos naturais e uma orientação técnica.

Em virtude de um crescimento populacional extremamente desordenado, ocorre uma utilização não racional dos recursos naturais como, por exemplo, o solo. O aumento demográfico traz como consequência uma maior demanda de alimentos, aumentando a pressão de uso sobre as terras, e promovendo a exploração de áreas inapropriadas. O maior impacto causado por essa ocupação indevida pode ser visto em áreas de preservação permanente nas margens de rios e barragens onde muitas vezes a atividade humana chega a poucos metros de distância da água.

O aumento das atividades antropogênicas em áreas de risco contribui para a ocorrência de processos erosivos que originam a degradação da qualidade das terras aráveis e cultiváveis em várias partes do mundo, além de constituir a principal fonte não pontual de poluição dos recursos hídricos superficiais. O estudo da erosão do solo é geralmente dispendioso e demanda tempo. Por isso, a utilização de ferramentas que permitam estimar as perdas de solo vem sendo cada vez mais usadas para esse propósito (MIGUEL, 2010).

Dentre os conflitos mais relevantes é possível destacar: o processo de valorização urbana para fins habitacionais, comerciais, turísticos e industriais, implicando na instalação de ruas, calçadas, edifícios e equipamentos urbanos; lançamento de esgotos a céu aberto nas águas dos rios e do mar; invasão de áreas de preservação permanente, de domínio público, praias e margens de rios. A ocupação desordenada das margens dos rios, que em trechos do seu percurso é muitas vezes ladeado por favelas, representa uma crescente desqualificação natural desses ambientes, resultando em perda na qualidade ambiental (LEMOS, 2005).

Neste sentido, o conhecimento do uso do solo urbano é imprescindível sob todos os aspectos, principalmente, quando se verifica o acelerado crescimento populacional e as atividades econômicas na costa. Os mapas abaixo (Figura 8), foram gerados a partir dos dados armazenados no cadastro multifinalitário da Prefeitura municipal de João Pessoa e associados ao Mapa Urbano Digital (MURBD) do município (RUFINO, 2004).

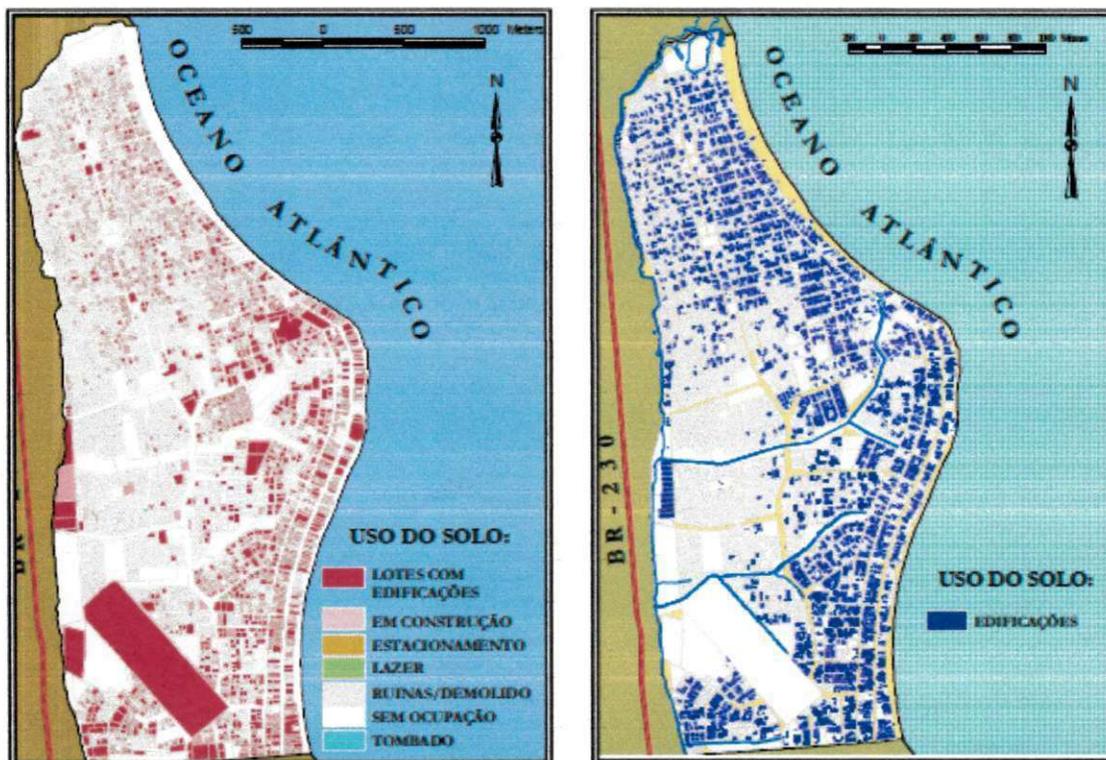


Figura 8 – Uso do solo no bairro do Bessa-PB.

Fonte: SEPLAN, 2000 (apud Rufino), 2004.

CAPÍTULO 4: METODOLOGIA

Nesta seção, são apresentados os materiais e os métodos necessários para atingir o objetivo proposto. O fluxograma a seguir (figura 9), resume de forma esquemática todos os procedimentos que se seguiram desde a obtenção dos dados até o processamento final do modelo de vulnerabilidade DRASTIC.

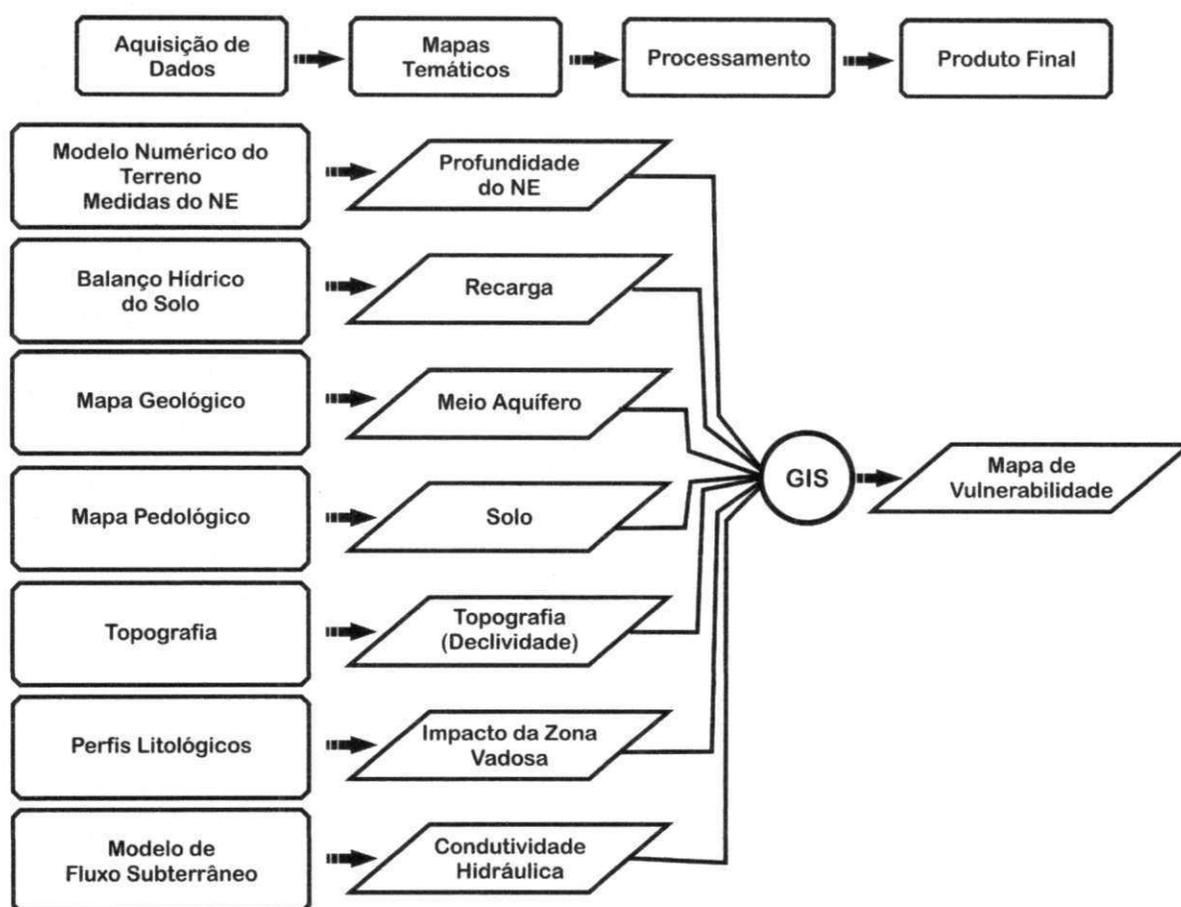


Figura 9 – Fluxograma dos procedimentos usados na aplicação do índice DRASTIC.
Fonte: do autor

4.1 - AQUISIÇÃO DE DADOS

A maioria das informações técnicas obtidas para a elaboração deste trabalho foram adquiridas através do trabalho da pesquisa realizada pela Universidade Federal da Paraíba, juntamente com a Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Junior-ATECEL e a Secretaria de Planejamento da Prefeitura de João Pessoa, em 1999. O objetivo desta pesquisa foi identificar as condições naturais de circulação no aquífero

livre e/ou as alterações dessas condições, que por ventura viessem a ocorrer (ATECEL,1999). Foram realizadas campanhas de medição na área e instalados na época, piezômetros, para o monitoramento dos níveis estáticos durante toda a campanha de medição. O posicionamento de cada piezômetro está mostrado no mapa de localização (Figura 10).

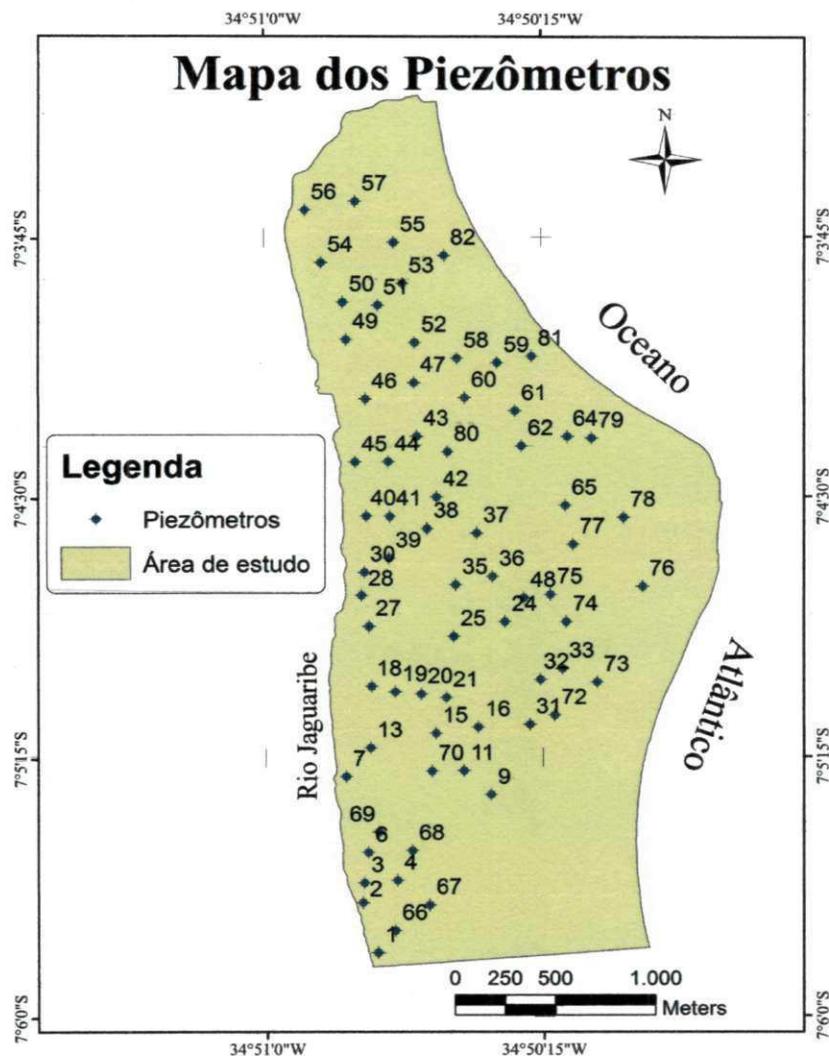


Figura 10 – Mapa de localização dos piezômetros no bairro do Bessa (1998/1999).

4.1.1 - Topografia e Níveis Estáticos

Para aplicação do método DRASTIC é imprescindível o conhecimento da topografia da área. Este dado foi adquirido a partir de um mapa de pontos cotados do bairro, o qual, caracteriza-se como um recorte do mapa de pontos cotados de toda a cidade de João Pessoa, fornecido pela Secretaria de Planejamento da Prefeitura

Municipal de João Pessoa, através do seu núcleo de geoprocessamento, cuja nomenclatura atual é Diretoria de Geoprocessamento e Cadastro Urbano. Estes pontos cotados foram gerados a partir de levantamentos aerofotogramétricos e destes obteve-se o mapa de Modelo Numérico de Terreno como o da Figura 11.

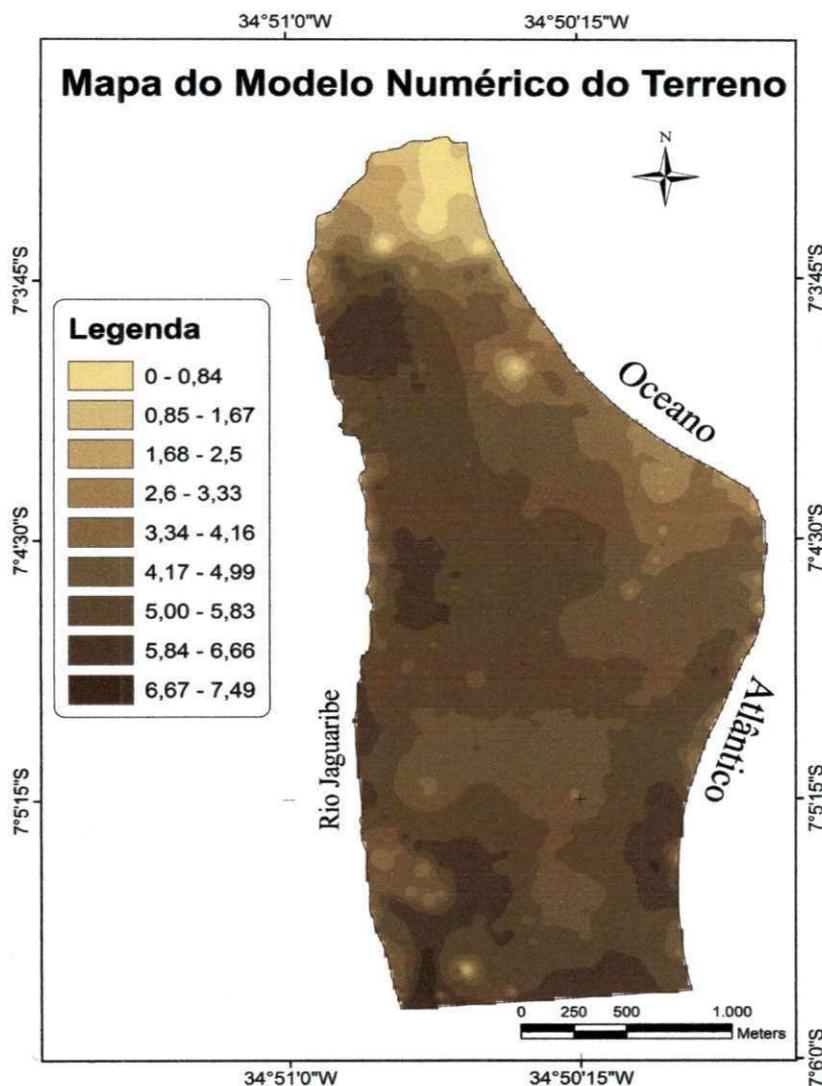


Figura 11 – Modelo Numérico do Terreno da área de estudo.

Os valores dos níveis estáticos, referentes a cada piezômetro, foram os do mês de maio do ano de 1999, por ter sido o período de monitoramento mais completo e por neste período já existir um modelo de fluxo subterrâneo (MODFLOW) previamente calibrado, que foi utilizado na referida pesquisa (Figura 12).

Utilizando o interpolador IDW, uma das ferramentas do programa software ArcGIS, as curvas de níveis estáticos geradas pelo modelo de fluxo subterrâneo MODFLOW foram convertidas em uma superfície de níveis estáticos (Figura 13).

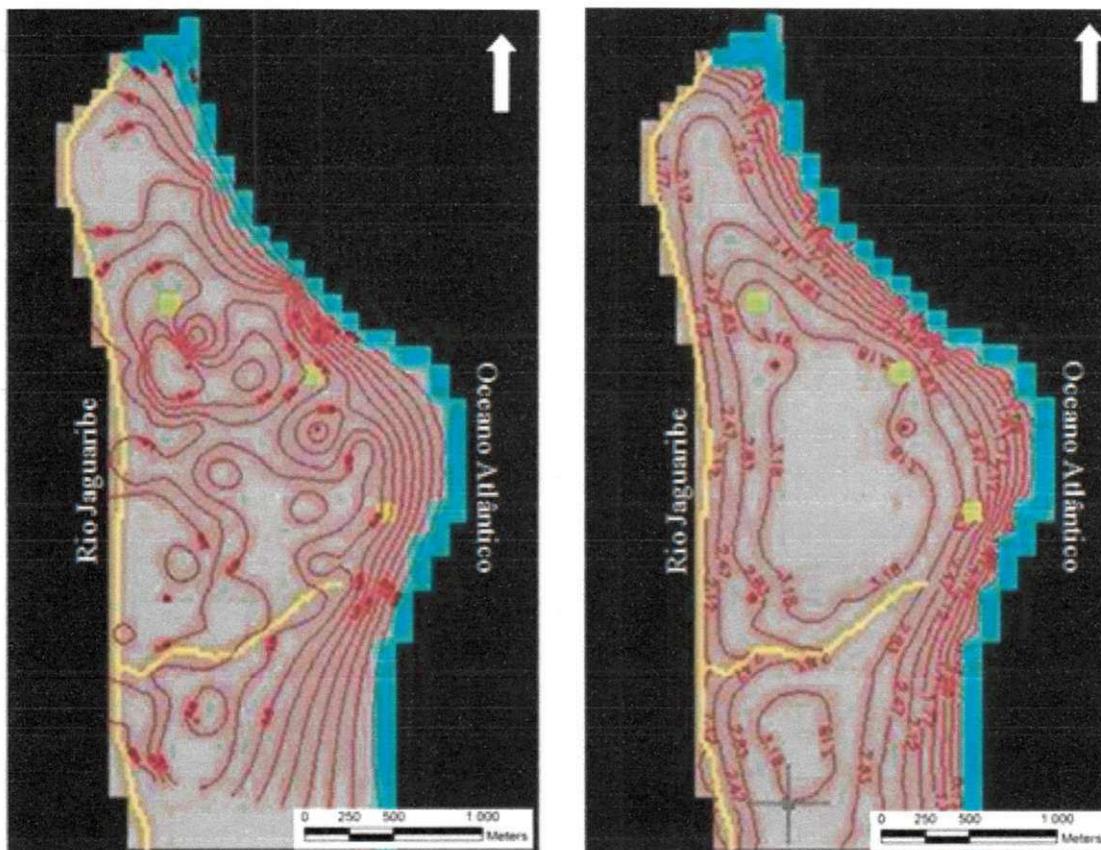


Figura12 - Mapas de comparação dos níveis piezométricos observados e calculados pelo modelo de fluxo subterrâneo MODFLOW.

Fonte: Lucena (2007).

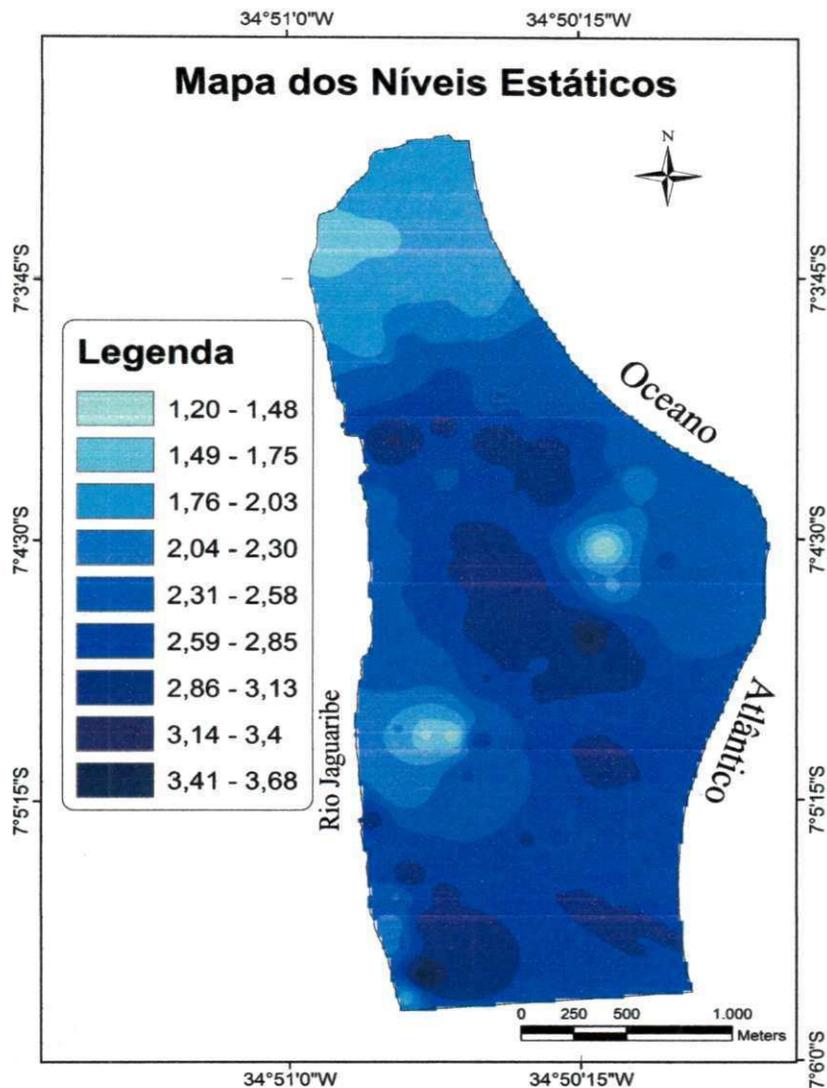


Figura 13 – Mapa de variação dos níveis estáticos nos piezômetros no Bessa.

4.1.2 - Recarga

A recarga representa a quantidade de água que chega anualmente ao aquífero através da precipitação, configurando-se em um dos parâmetros mais importantes para a avaliação da vulnerabilidade natural de um aquífero. Considera-se que uma recarga elevada aumenta a lixiviação dos contaminantes para o aquífero e assim aumentando sua susceptibilidade.

Lucena (2007) utilizou o modelo de balanço hídrico do solo aplicado por Thornthwaite e Mather, usado por Back (1997). Trata-se de um modelo desenvolvido em plataforma excel, que tem por finalidade o cálculo da recarga do aquífero freático, completado com informações diárias de precipitação pluviométrica, temperatura, insolação, velocidade dos ventos e umidade relativa do ar.

Os elementos usados neste trabalho correspondem ao período de novembro de 1998 a outubro de 1999, para que o resultado final do valor recarga seja expresso em mm/ano como estabelece a metodologia do índice DRASTIC.

A planilha excel gerada para obter o valor quantitativo do parâmetro recarga seguiu os mesmos conceitos do trabalho de Lucena (op.cit.), obtidos através do algoritmo geral do balanço hídrico (Figura 14).

Neste modelo de balanço hídrico do solo, há necessidade de se definir o armazenamento máximo no solo, através da capacidade de água disponível (CAD), ter dados hidrológicos sobre a precipitação e a estimativa da evapotranspiração potencial no período analisado. O modelo permite, ainda, deduzir a evapotranspiração real, o total de água retida no solo e a deficiência hídrica.

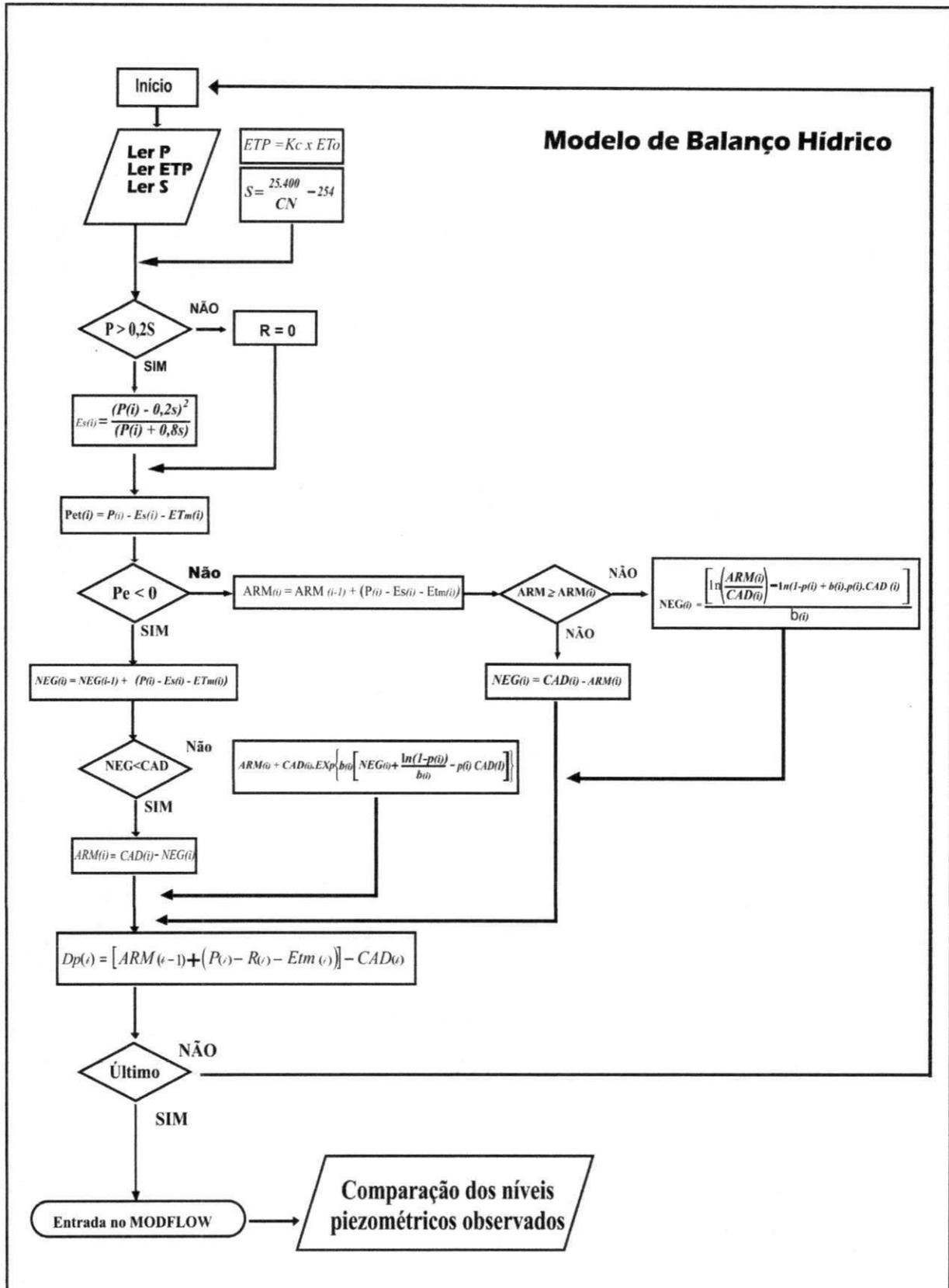


Figura 14 – Algoritmo de funcionamento do modelo de balanço hídrico para o cálculo da recarga do aquífero.

Fonte: Lucena (2007).

Outro fator importante foi o parâmetro “CN” (Curva Número) que, segundo Tucci (2004), retrata as condições de cobertura e solo, considerando o grau de umidade antecedente na descrição da potencialidade de geração de escoamento superficial, variando desde uma cobertura completamente permeável (limite superior), levando-se em consideração os diferentes tipos de solo e cobertura.

Para a área em estudo, o solo referenciado foi o tipo A, que caracteriza-se por ser de baixo escoamento superficial e alto poder de infiltração. Os valores de CN usados foram: 39,77,61,57,54,51,98,76 e 72, conforme estão definidos no Quadro 2.

Quadro 2 – Valores de CN para a área do Bessa em 1998/1999

Utilização ou cobertura do solo (Solo tipo A)		CN
Terrenos baldios(boas condições)		39
Zonas residenciais:		
Lotes de (m ²)	% média impermeável	
L<500	65	77
500<L<1000	38	61
1000<L<1300	30	57
1300<L<2000	25	54
2000<L<4000	20	51
Arruamentos e estradas asfaltadas com drenagens pluviais		98
Paralelepípedos		76
Terra		72

Fonte: Lucena (2007).

A partir dos valores de CN correspondentes à utilização ou cobertura do solo, distribuídos na área que representa o bairro do Bessa, na época do trabalho da ATECEL, elaborou-se o mapa da Figura 15. O Quadro 3 mostra a correlação dos valores de recarga encontrados no algoritmo de funcionamento do modelo de balanço hídrico com suas respectivas CN.

Quadro 3 – Relação das CN com as recargas anual de Nov-1998 a Out-1999.

PRECIPITAÇÃO ANUAL: 957,8mm		
Período: Nov-1998 a Out-1999		
CN	Recarga(mm/a)	%
39	398,75	41,63
51	390,22	40,74
54	386,77	40,38
57	382,77	39,96
61	376,38	39,29
72	350,31	36,57
76	335,83	35,06
77	331,50	34,61
98	18,84	1,96

Fonte: do autor

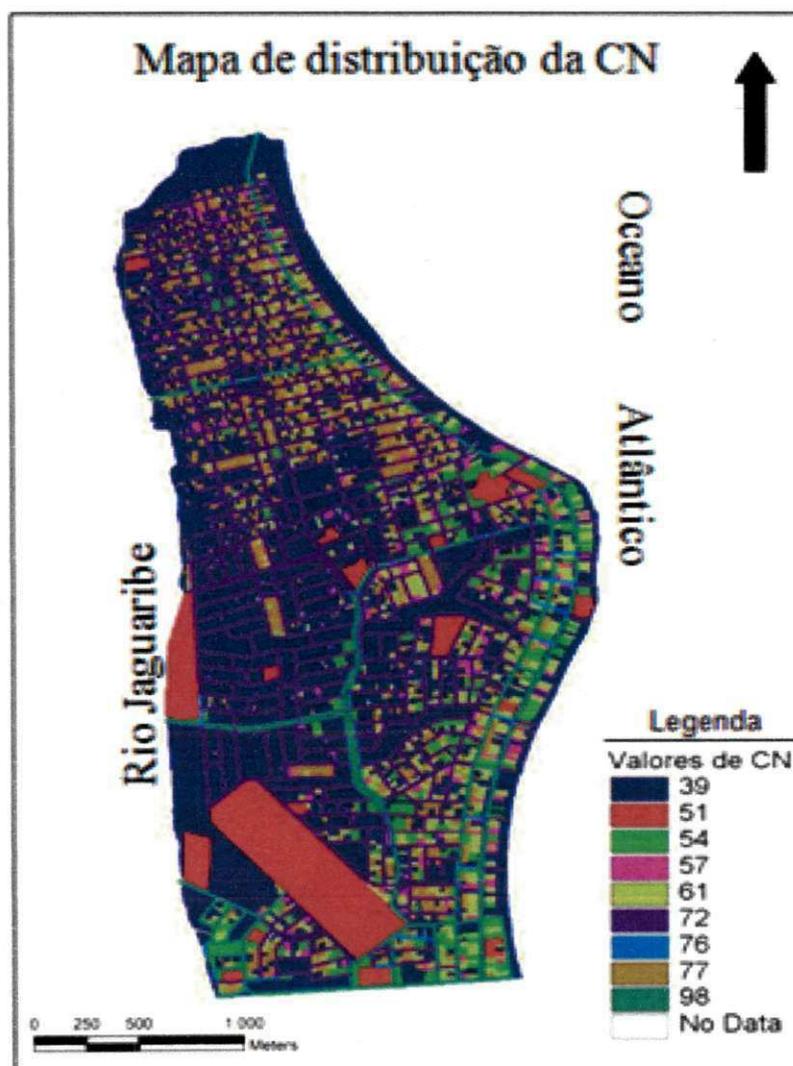


Figura 15 – Distribuição das CN na área de estudo no período de 1998/1999.

Fonte: Lucena (2007).

4.1.3. Condutividade Hidráulica

É o parâmetro hidrogeológico que determina a facilidade de locomoção da água através da porosidade. Segundo Rufino (2004), o modelo de simulação do fluxo subterrâneo (MODFLOW) foi calibrado no regime permanente para o mês de maio de 1999, obtendo-se a distribuição da condutividade hidráulica horizontal que melhor representasse as características do solo. Após a obtenção de uma calibração satisfatória para este período, o modelo foi calibrado para o mês inicial da campanha de medição (novembro de 1998), mantendo a condutividade hidráulica e ajustando as cargas hidráulicas fixas. Em seguida, calibrou-se o modelo no tempo transiente, empregando-se, ao invés de cargas fixas, cargas especificadas, variantes no tempo, calibrando a porosidade efetiva e uma recarga em função da precipitação. Os parâmetros hidrogeológicos utilizados na calibração do modelo de fluxo subterrâneo MODFLOW apresentados na Figura 16 indicam que a condutividade hidráulica (K) sofreu uma variação de $1,0 \times 10^{-5}$ a 8×10^{-5} m/s e a porosidade efetiva (n) de 0,10 a 0,17. O valor de recarga aplicado na calibração foi de 50% sobre a lâmina precipitada (ATECEL, 1999).

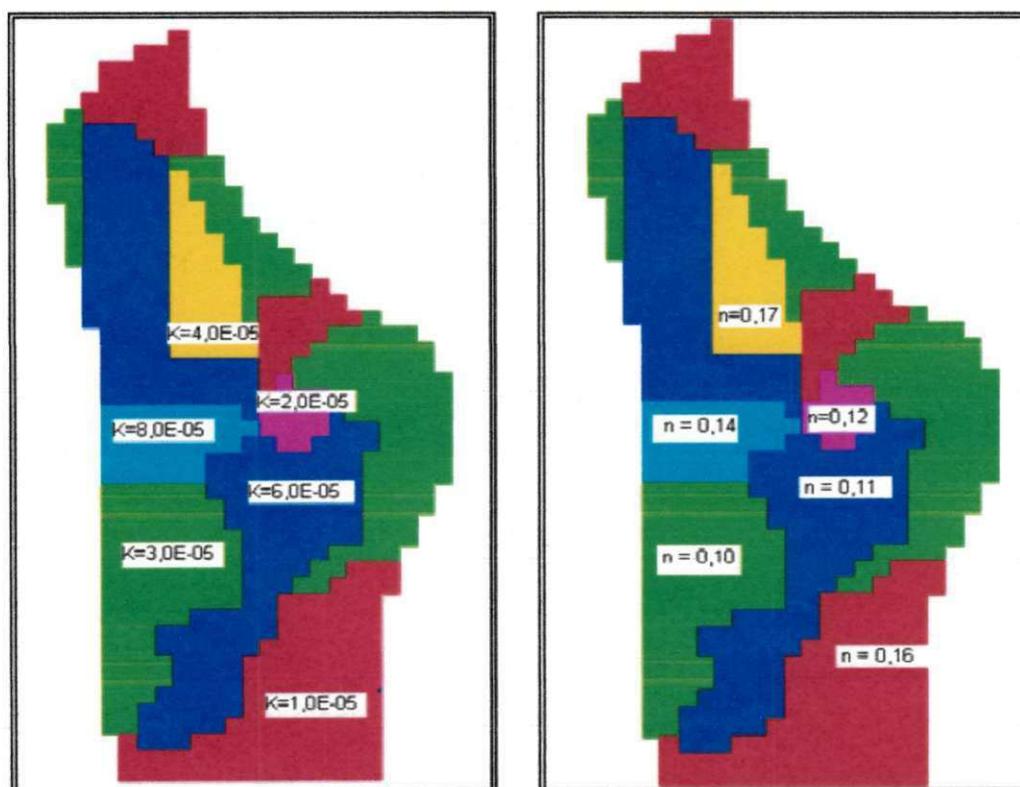


Figura 16 - Distribuição espacial da condutividade hidráulica(K) e da porosidade efetiva(n).

Fonte: Rufino (2004).

4.1.4 - Meio Aquífero, Solos e Impactos da Zona Vadosa.

Ainda para a implementação do modelo DRASTIC são necessárias informações sobre o meio aquífero, o tipo de solo e os impactos da zona vadosa. Estas informações foram conseguidas a partir do conhecimento dos aspectos físicos e geológicos da área de estudo através do relatório da ATECEL, 1999.

É considerado como meio aquífero a formação geológica que serve como meio de transporte das águas subterrâneas. A área do bairro do Bessa é formada por sedimentos de praias, de idade quaternária e geologicamente homogêneos em sua composição litológica, conforme os registros nos perfis dos poços de sondagens (Anexo 1).

O solo em toda a área estudada é definido como *neossolos quartzarênicos*, cuja característica principal é de ser composto por areias quartzosas, de baixa aptidão agrícola e com pouco percentual de silte e argila. Funciona como um elemento transportador de contaminantes por infiltração descendente, em função de sua textura, porosidade e espessura.

Analisando-se os perfis litológicos de cinco dos piezômetros, constata-se que a zona vadosa corresponde ao mesmo material do solo. Portanto, existe uma similaridade entre o solo, o meio aquífero e a zona vadosa.

4.2 - PROCESSAMENTO DAS INFORMAÇÕES

Todos os dados foram processados em um Sistema de Informação Geográfica (ArcGIS 9.3¹). A projeção cartográfica utilizada foi a Projeção UTM (Universal Transversa de Mercator – UTM), zona 25 sul, e adotou-se como datum de referência o South American Datum 1969 (SAD 69).

Alguns dados necessitaram passar por um processo de interpolação para serem utilizados. Toda a álgebra de mapas foi realizada com os planos de informação em formato matricial com resolução de 21 por 21 metros.

Neste trabalho, foi escolhida a interpolação determinística, utilizando-se o IDW (Inverse Distance Weighted) para a geração dos planos de informação. O método IDW se baseia no princípio de que as propriedades espacializadas próximas uma das outras,

¹ArcGIS é marca registrada da ESRI(Environmental Systems Research Institute)

são mais semelhantes do que aqueles pontos que estão afastados. Assim, para prever um valor não medido em um local, o IDW irá utilizar os valores medidos em torno da localização desejada, e esses valores ajustados próximos ao local de previsão terão mais influência sobre o valor previsto do que aqueles mais distantes, ou seja, o IDW assume que cada ponto medido tem uma influência local que diminui com a distância.

CAPÍTULO 5: RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos pela aplicação do geoprocessamento serão apresentados neste capítulo e mostram-se na forma de planos de informação que caracterizam os parâmetros hidrogeológicos do modelo de vulnerabilidade utilizado:

- Profundidade da zona não-saturada do solo
- Recarga profunda de aquíferos
- Material do aquífero
- Tipo de solo
- Topografia
- Impacto da zona não-saturada
- Condutividade hidráulica

Aplicando-se a equação (01) aos planos de informação gerados, pode ser obtido um plano de informação com valores estimados da vulnerabilidade da área segundo o método considerado.

5.1 – MAPAS DOS PARÂMETROS DO MODELO

5.1.1 - Profundidade da zona não-saturada do solo (*Depth to the watertable*)

A profundidade da água é um dos mais relevantes atributos no estudo de avaliação da vulnerabilidade de aquífero livre porque ela indica a distância a ser percorrida pelo contaminante entre a zona não saturada e o lençol freático.

O mapa de profundidade do nível estático ou zona não-saturada na área de estudo, foi obtido pela operação algébrica (diferença) entre o plano de informação do MNT (valores das cotas altimétricas da superfície) e o plano de informação dos níveis estáticos representado na Figura 13. O plano de informação resultante pode ser observado na Figura 17.

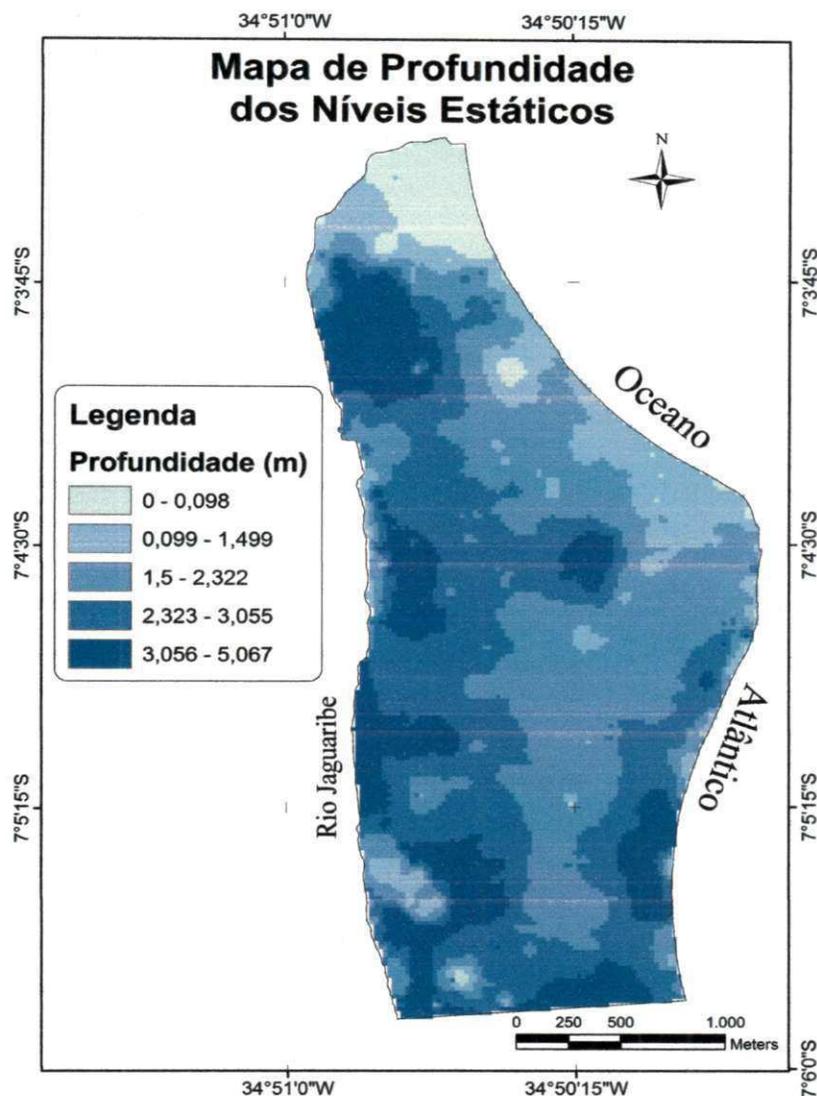


Figura 17 – Mapa de profundidade dos níveis estáticos nos piezômetros no Bessa-PB.

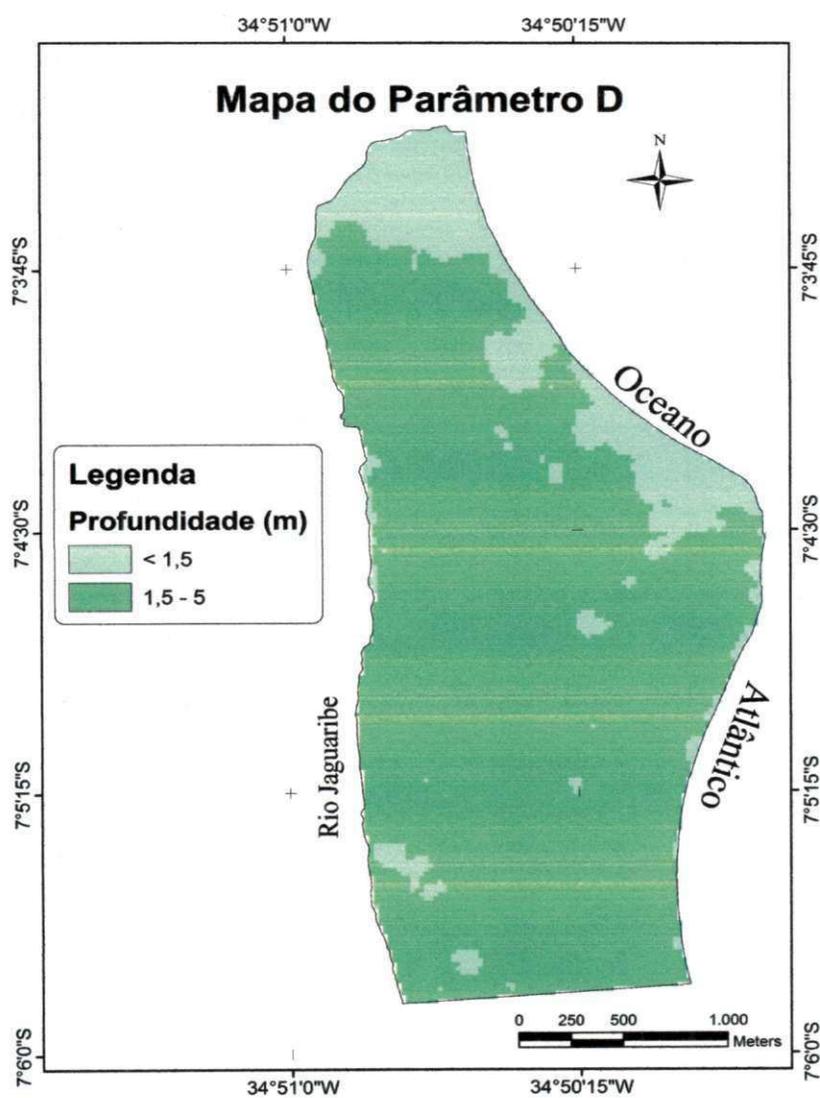
Para a utilização deste mapa temático como parâmetro de entrada no modelo DRASTIC, se faz necessário uma reclassificação dos valores de profundidade segundo as classes definidas na Tabela 1. Esta adequação é apresentada na Figura 18.

Segundo o método DRASTIC, para valores inferiores a 1,50 m de profundidade atribui-se um índice (i) igual a 10 e para os valores de profundidade entre 1,50m e 5,0m atribui-se um índice (i) igual a 9. Os pesos só serão atribuídos na sobreposição final de todos os parâmetros que resultará no mapa de vulnerabilidade.

Tabela 1 – Classes de valores de profundidade do nível freático. Peso: 5

Profundidade(m)	Índice (i)
< 1,5	10
1,5 – 5	9
6 – 10	7
11 – 15	5
16 – 23	3
24 – 30	2
> 30	1

Fonte: Aller et al., (1987).

**Figura 18** – Mapa do parâmetro profundidade (D).

5.1.2 - Recarga profunda de aquíferos (*Net Recharge*)

Para obtenção da recarga estimada para toda a área de estudo, foi utilizado o método da Curva Número (CN) apresentado no capítulo anterior. Entretanto ao realizar-se a reclassificação dos valores de recarga encontrados para cada uso de CN com os intervalos de classes definidas pelo método DRASTIC (Tabela 2), foram observadas apenas duas classes de valores: menores que 50mm/ano para a CN 98 com valor de 18,84 mm/a e maiores que 255 mm/ano, correspondentes aos valores das CN restantes utilizadas (Quadro 3).

Tabela 2 – Classes de valores da recarga do aquífero. Peso: 4

Recarga (mm/a)	Índice (i)
0 – 50	1
51 – 100	3
101 – 180	6
181 – 255	8
> 255	9

Fonte: Aller et al., (1987).

Para valores inferiores a 50 mm/ano de recarga atribui-se um índice (i) igual a 1 e para os valores de recarga maiores que 255mm/ano, atribui-se um índice (i) igual a 9. Os pesos só serão imputados na sobreposição de todos os parâmetros que resultará no mapa final de vulnerabilidade. A Figura 19 apresenta o mapa da recarga já reclassificado segundo o índice DRASTIC.

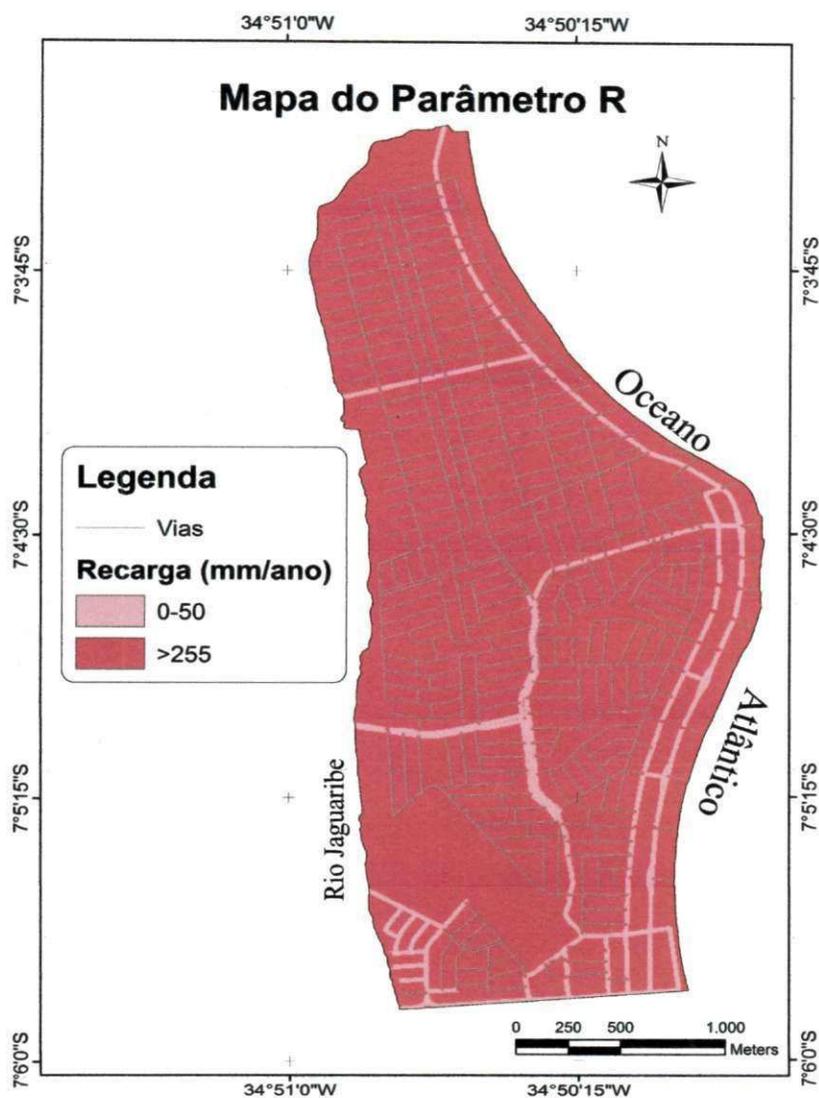


Figura 19 – Mapa do parâmetro recarga (R).

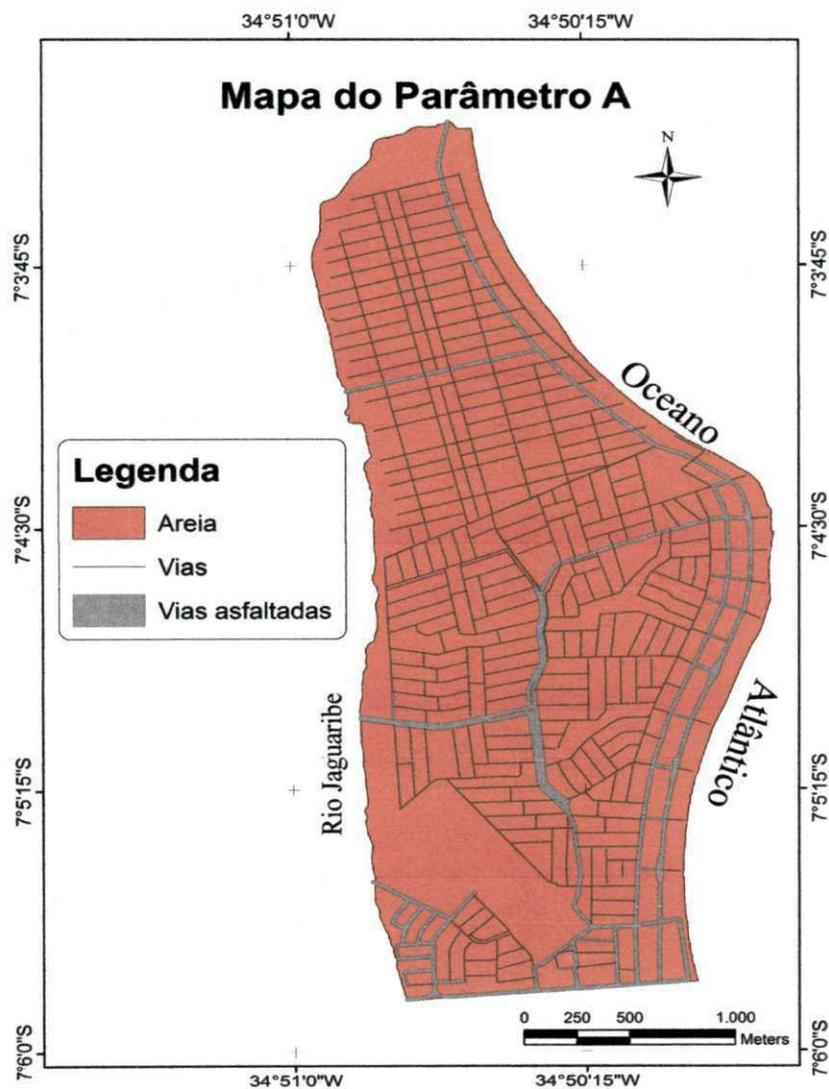
5.1.3 - Material do aquífero (*Aquífer material*)

Segundo os perfis litológicos obtidos através dos piezômetros perfurados na pesquisa da ATECEL em 1998/1999, os resultados analisados revelaram um comportamento semelhante quanto a granulometria e coloração das amostras do material de solo coletados. Portanto, todo o meio aquífero no bairro do Bessa pode ser caracterizado como areia, que no método DRASTIC equivale a um índice igual a 8 de acordo com a Tabela 3. A Figura 20 mostra o mapa do parâmetro A (Meio Aquífero).

Tabela 3 – Descrição do material do aquífero e respectivos índices. Peso: 3

Descrição	Índice (i)
Folhelho argiloso, argilito	1 - 3 (2)
Rocha metamórfica / ígnea intrusiva	2 - 5 (3)
Rocha metamórfica / ígnea alterada	3 - 5 (4)
Arenito, calcário e argilito estratificado	5 - 9 (6)
Calcário maciço	4 - 9 (6)
Areia	4 - 9 (8)
Basalto	2 - 10 (9)
Calcário em relevo cárstico	9 - 10 (10)

Fonte: Aller et al., (1987).

**Figura 20** – Mapa do parâmetro meio aquífero (A).

5.1.4 - Tipo de solo (*Soiltype*)

Dos perfis litológicos observados na área de estudo, pode-se averiguar que o solo apresenta, também, um comportamento uniforme quanto a sua textura, granulometria e coloração. Na metodologia DRASTIC, essas características definem um índice numérico igual a 9, descrita com muito arenoso (Tabela 4).

A Figura 21 mostra o mapa do parâmetro Atribuído a partir da pela relação entre os piezômetros e o material arenoso da área.

Tabela 4 – Tipos de solos e seus índices de ponderação. Peso: 2

Descrição	Índice (i)
Delgado ou ausente	10
Saibro	10
Muito arenoso	9
Turfa	8
Argila expansiva e/ou agregada	7
Arenoso	6
Siltoso	4
Muito argiloso	3
Calcário	2
Argila não agregada e não expansível	1

Fonte: Aller et al., (1987).

Toda a área foi assim classificada como “muito arenosa” recebendo o índice “9”. Ressalta-se que o bairro do Bessa é uma área costeira em crescente expansão urbana mas que independente da ocupação do solo na área, todo o bairro pode ser classificado como de solo arenoso devido à características físicas do solo.

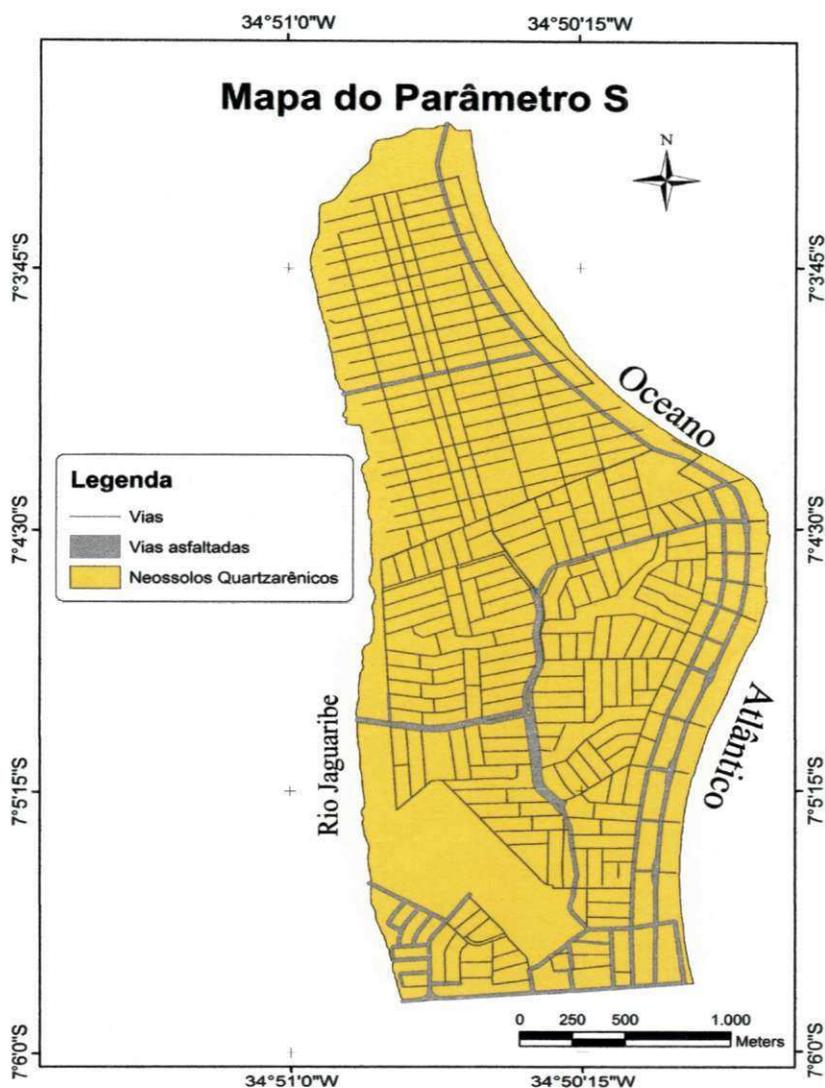


Figura 21 – Mapa do parâmetro solo (S).

5.1.5 - Topografia (*Topography*)

A topografia é avaliada no método DRASTIC através da análise dos valores de declividade. Para obtenção da declividade para toda a área estudada, utilizou-se o Sistema de Informação Geográfica (primeira derivada da altimetria). Tratando-se de uma planície, a expectativa é de que a susceptibilidade do aquífero à risco de contaminação venha a ser alta, se houver a presença de poluentes na superfície do solo, cuja permanência mais demoradamente acarretará numa maior infiltração, em virtude do gradiente hidráulico ser quase nulo. Os valores de declividades classificados segundo a metodologia DRASTIC são apresentados no mapa da Figura 22 e a estas três classes são atribuídos os seguintes índices: 10 (declividades menores que 2%), 9 (declividades

maiores que 2% e menores que 6%) e 5(maiores que 6% e menores que 12%) respectivamente (Tabela 5).

Tabela 5 – Classes dos valores de declividade. Peso: 1.

Declividade (%)	Índice (i)
< 2	10
2 – 6	9
7 – 12	5
13 – 18	3
> 18	1

Fonte: Aller et al., (1987).

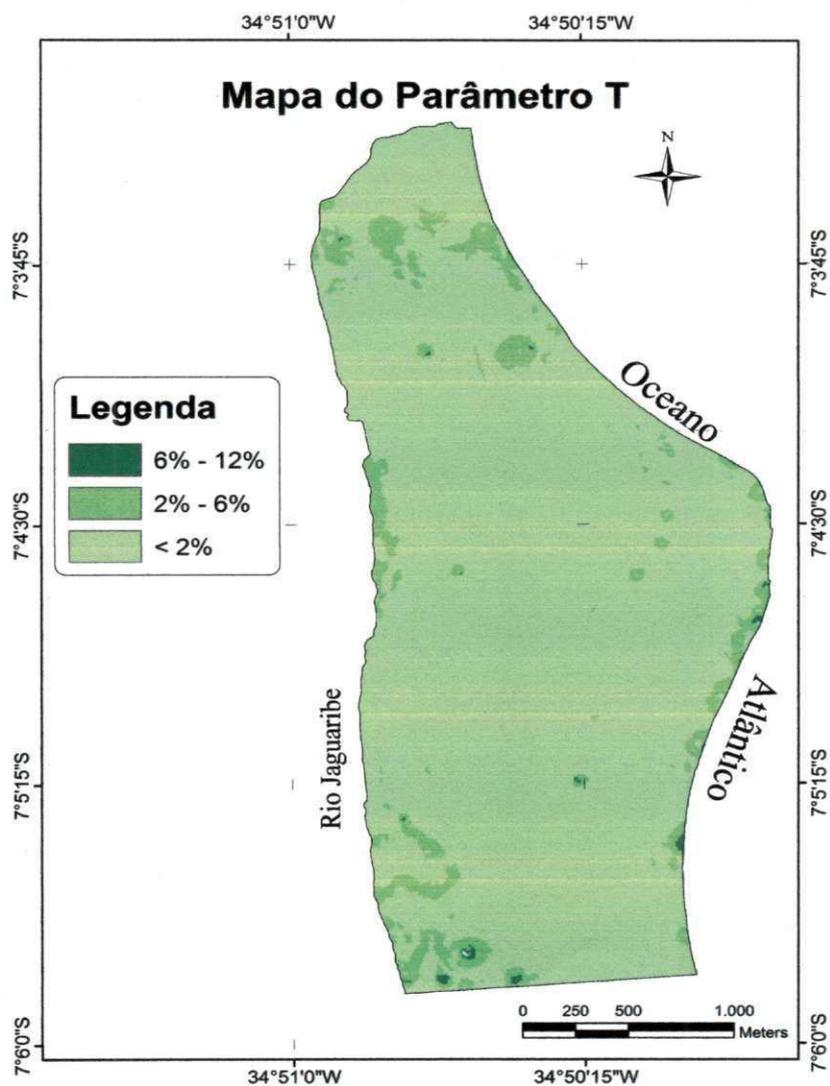


Figura 22 – Mapa do parâmetro topografia (T).

5.1.6 - Impacto da zona não-saturada (*Impact of the unsaturated zone*)

O material da zona vadosa é equivalente ao do tipo de solo da área e na classificação do DRASTIC todo o bairro do Bessa pode receber a classificação do índice igual a 8, que corresponde na Tabela 6, a areia e cascalho para este parâmetro (Figura 23).

Tabela 6 – Materiais que compõe a zona vadosa. Peso: 5

Descrição	Índice (i)
Camada confinante	1
Argila / Silte	2 – 6 (3)
Folhelho argiloso, argilito	3 – 5 (3)
Calcário	2 – 7 (6)
Arenito	4 – 8 (6)
Arenito, calcário e argilito estratificado	4 – 8 (6)
Rocha metamórfica e ígnea intrusiva	2 – 8 (4)
Areia e cascalho	6 – 9 (8)
Basalto	2 – 10 (9)
Calcário cárstico	9 – 10 (10)

Fonte: Aller et al., (1987).

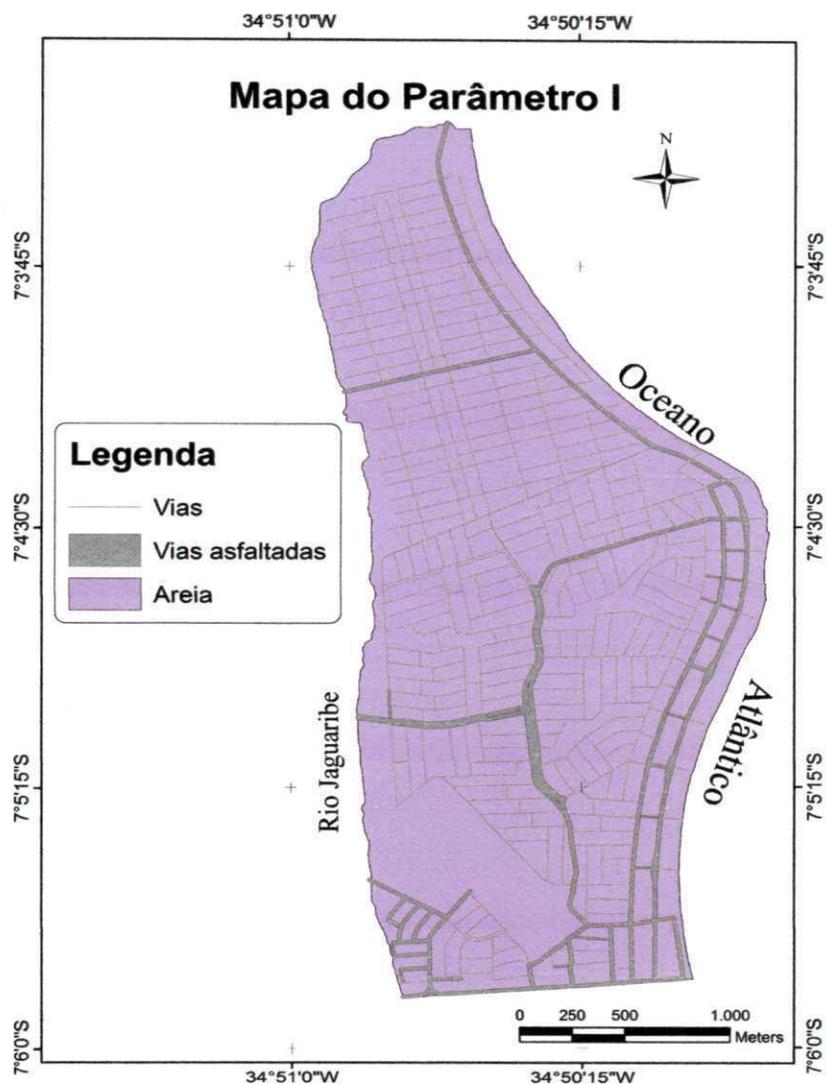


Figura 23 – Mapa do parâmetro impacto da zona vadosa (I).

5.1.7 - Condutividade hidráulica (*Hydraulic Conductivity*)

A condutividade hidráulica do solo determina o fluxo de água no mesmo, sendo dependente de propriedades deste como: distribuição de tamanho e forma das partículas dos grãos e porosidade.

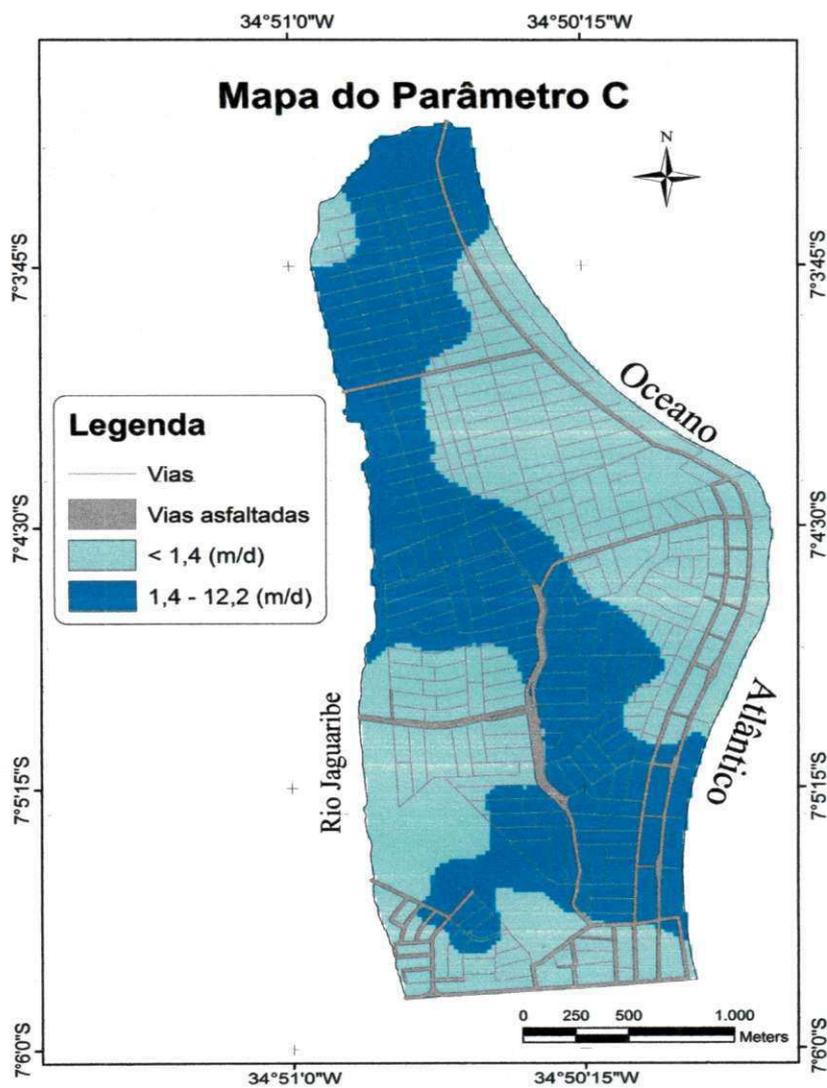
Quanto maior for a condutividade hidráulica, mais elevado será a porosidade pois, facilitará a locomoção da água.

A condutividade hidráulica foi obtida a partir de estudos anteriores conforme apresentado na Figura 24. Na classificação do DRASTIC estes valores podem ser agrupados em duas classes: de 0 a 4,1 m/d (atribuindo-se o índice igual a 1) e de 4,1 a 12,2 m/d (atribuindo-se o índice igual a 2) de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7 – Classes de valores da condutividade hidráulica. Peso: 3

Condutividade (m/d)	Índice (i)
< 4,1	1
4,1 – 12,2	2
12,3 – 28,5	4
28,6 – 40,7	6
40,8 – 81,5	8
> 81,5	10

Fonte: Aller et al., (1987).

**Figura 24** – Mapa do parâmetro condutividade hidráulica (C).

5.2. CÁLCULO DO ÍNDICE DRASTIC

Para a obtenção do índice final DRASTIC a partir dos planos de informação gerados é necessário a realização de uma álgebra de mapas, sobrepondo todos os planos de forma ponderada (multiplicando-se os pesos para cada índice). O mapa final gerado será uma matriz de pixels com um índice que deverá ser agrupado por faixas de acordo com as definições do método.

Foram utilizados os recursos de álgebra de mapas do SIG utilizado e reproduzida a equação $DiDp+RiRp+AiAp+SiSp+TiTp+IiIp+CiCp$, substituindo cada parâmetro da equação pelo plano de informação correspondente. Esta operação teve como resultado o mapa de vulnerabilidade da área do Bessa avaliado pelo *software* usado.

De forma aleatória, estipulou-se sete classes de vulnerabilidades para assegurar uma melhor distribuição da vulnerabilidade na área, considerando-se os valores dos intervalos de classes definidos pelo programa computacional.

Surgiu um mapa com uma apresentação distinta, como mostra a Figura 25. O intervalo que define a vulnerabilidade de maior valor numérico (194 – 199) está concentrado na área do maceió do Bessa, que corresponde ao delta do rio Jaguaribe, onde a profundidade do nível estático é mais superficial. A interpretação técnica para este setor é de que o risco de contaminação do aquífero é premente. O intervalo (189 – 193) estabelece uma configuração semelhante ao segundo intervalo de classe no mapa da condutividade hidráulica (4,1 – 12,2 m/d). O intervalo (184 – 188) corresponde ao primeiro intervalo de classe do mapa da condutividade hidráulica. Os demais intervalos do mapa estão relacionados às estradas asfaltadas do bairro, que são áreas impermeáveis, portanto, de menor risco para o aquífero enquanto protegido pelo pavimento asfáltico.

Para atingir o objetivo deste trabalho a etapa final foi transformar o mapa de vulnerabilidade em mapa de vulnerabilidade DRASTIC. Para isso foi necessário reclassificá-lo dentro dos intervalos de classes da Tabela 8. A imagem final do mapa de vulnerabilidade DRASTIC da área do Bessa está na Figura 26.

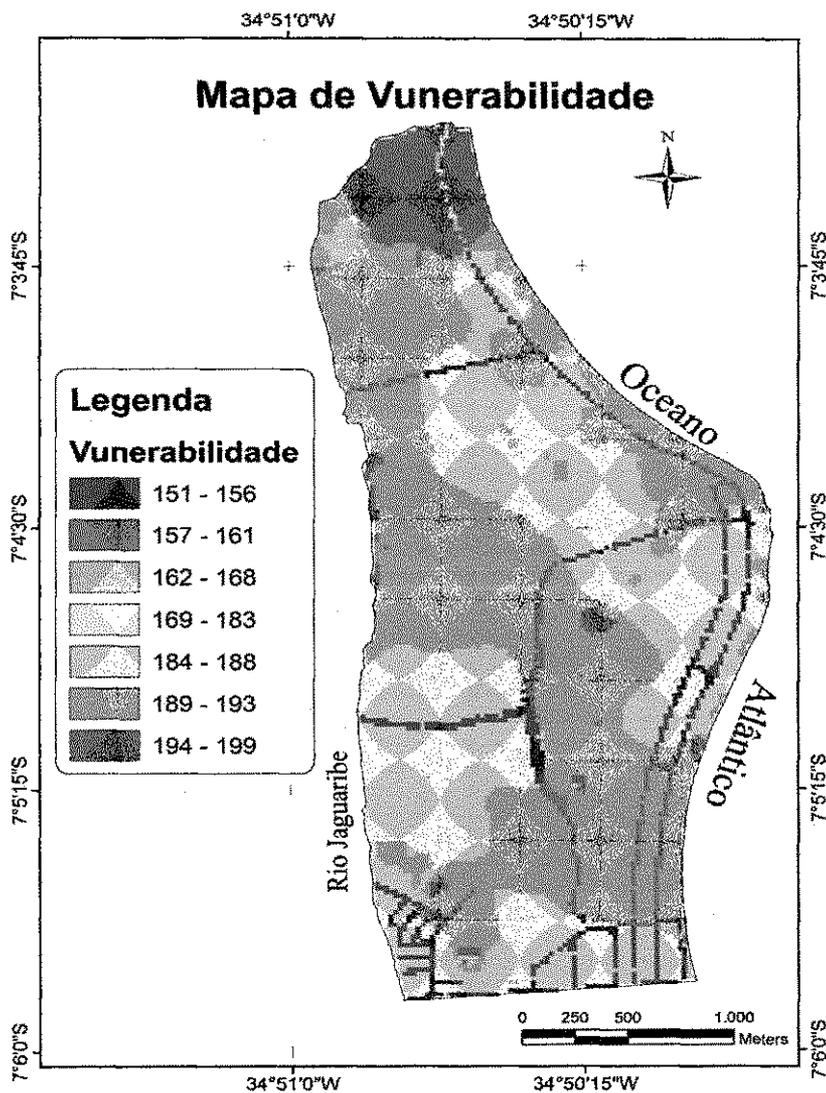


Figura 25 – Mapa de vulnerabilidade do Bessa com sete intervalos de classes.

Tabela 8 – Valores do índice DRASTIC.

Límites	Descrição
< 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
> 200	Vulnerabilidade extrema

Fonte: Aller et al., (1987).

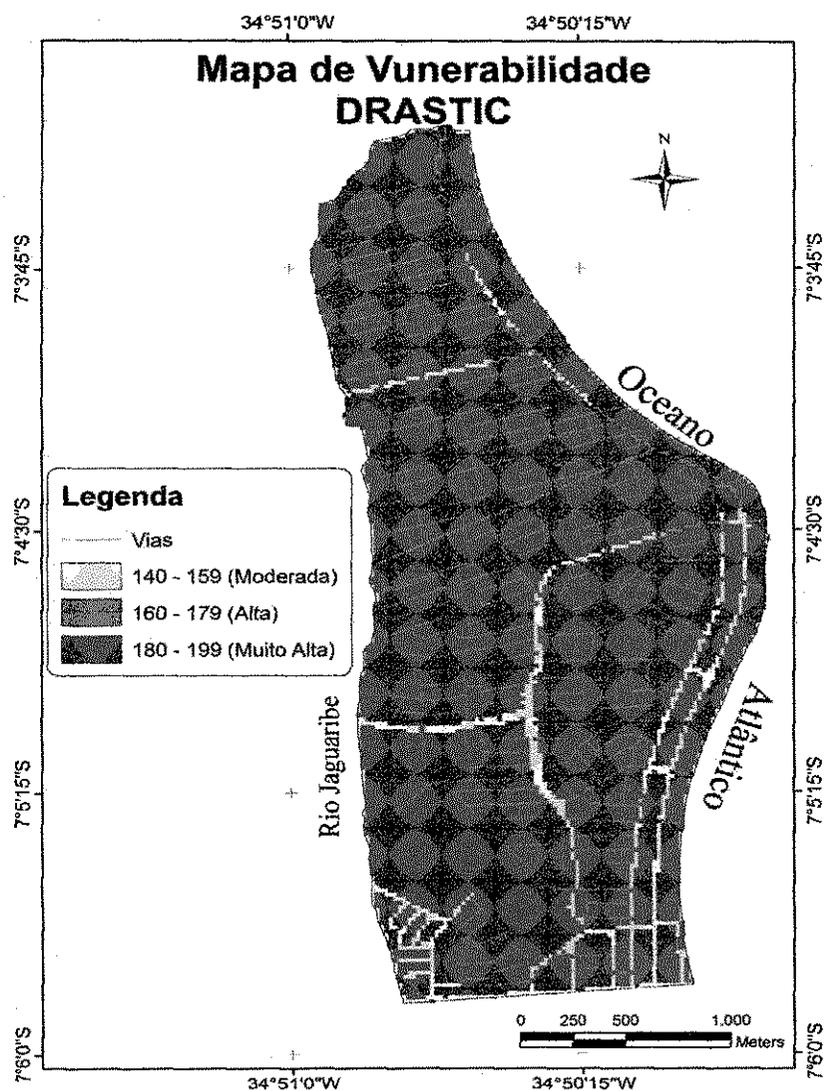


Figura 26 – Mapa final de vulnerabilidade DRASTIC da área do Bessa-PB.

O mapa final de vulnerabilidade apresentou três intervalos de classes (moderada, alta e muito alta), sendo este último abrangente em toda a área. Assim, o aquífero livre no bairro do Bessa mostrou-se segundo este método, extremamente sensível às intempéries naturais e está sujeito à risco de contaminação. Este fato se deve ao tipo de solo, à topografia plana, ao material do aquífero e, principalmente, pela pouca profundidade dos níveis freáticos.

Apesar da grande quantidade de parâmetros considerados e do nível de detalhamento considerado, como foi o caso da estimativa da recarga que foi diferenciada conforme o uso do solo, este índice (DRASTIC) não representa muito bem a heterogeneidade da área de estudo, apresentando um resultado que reflete um nível de vulnerabilidade bastante homogêneo para toda a área.

CAPÍTULO 6: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A aplicação do índice DRASTIC se constituiu numa importante ferramenta para os estudos de hidrogeologia e porque não dizer de impacto ambiental, sendo uma metodologia capaz de caracterizar se determinado sistema aquífero está susceptível à risco de contaminação com relação à sua taxa 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 método DRASTIC, respeitadas as limitações de escala e o método adotado, permitem concluir que o bairro do Bessa encontra-se localizado em uma área de alto risco à contaminação evidenciado no mapa final, onde toda extensão da área estudada exibe um grau muito alto de vulnerabilidade.

O caráter vulnerável da formação aquífera na qual a área de estudo está assentada pode ser conferido a fatores como a topografia plana, a textura do solo arenoso, cuja inexpressiva variação granulométrica contribui para o processo de infiltração das águas de chuva, que caracteriza a recarga de forma direta e o seu nível freático pouco profundo, que pode receber mais rapidamente as cargas poluidoras existentes.

Em termos de fontes contaminantes podem ser mencionados os postos de combustíveis e a intensa expansão urbana do bairro com edificações verticalizadas em ritmo acelerado de crescimento, além das residências que acolhem uma população cada vez maior nessa região litorânea, principalmente durante a época do verão, desrespeitando o meio ambiente com lançamento de efluentes de esgotos a céu aberto.

A utilização do índice DRASTIC nesta área configura-se como uma primeira tentativa de mensurar a vulnerabilidade do aquífero livre no bairro do BESSA e surge como uma ferramenta complementar a outros trabalhos de pesquisa já desenvolvidos nesta área.

Para uma efetiva mensuração desta vulnerabilidade, recomenda-se a realização de um monitoramento contínuo. Os piezômetros poderiam ser instalados de forma definitiva para monitoramentos técnicos, distribuídos de formas estratégicas, para a observação do comportamento dos níveis freáticos da água em qualquer época do ano, como também o grau de contaminação da mesma.

Constata-se que na área de estudo existe uma grande quantidade de poços que são utilizados na medida da necessidade de cada usuário e que não são monitorados pelas autoridades competentes. Em eventos extremos de escassez de água dos mananciais superficiais a maior parte destes poços é ativado de forma completamente aleatória, provocando rebaixamentos não controlados. Nesse sentido, faz-se necessária, uma atuação ostensiva das autoridades competentes para fiscalizar a maneira como os poços estão sendo tratados. A finalidade seria conferir a vazão de exploração de forma que não haja excesso e comprometa o comportamento dos níveis da água bombeada nos poços tubulares profundos ou mesmo rasos, perfurados em residências e/ou em condomínios, para que não haja um colapso no sistema aquífero e numa futura contaminação do mesmo pela água do mar.

Por outro lado, o bairro do Bessa sofre frequentemente com alagamentos nos períodos chuvosos devido a uma drenagem superficial ineficiente e ao afloramento do lençol em vários pontos do bairro. O bombeamento dos poços neste sentido pode auxiliar a estabelecer uma situação de equilíbrio contanto que haja campanhas públicas para conscientizar a população sobre o risco da perfuração de poços rasos, feitos a trados manuais nas residências próximas a linha da costa, em função das facilidades com que essas águas podem ser contaminadas ou mesmo provocar a intrusão salina no aquífero.

Os dados de uso de solo utilizados data do início dos anos 2000 e diante da grande dinâmica urbana da área, seria importante realizar um novo mapeamento de uso de forma a verificar a situação atual e simular novamente o índice DRASTIC para este novo cenário. Nesta realidade, percebe-se que as melhorias do saneamento básico de todo o bairro também pode ser um fator importante para garantir a boa qualidade da água subterrânea.

Deve-se ressaltar também que vários poços profundos são atualmente utilizados neste bairro e um estudo da vulnerabilidade do aquífero confinado utilizando o mesmo índice pode ser bastante representativo. Entretanto observa-se através deste trabalho que a utilização deste índice está diretamente dependente da disponibilidade de dados para a geração dos parâmetros e os dados equivalentes para o aquífero confinado não são de fácil obtenção e em alguns casos, demandam outros trabalhos de estimativa e simulações como é o caso da recarga.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba. Relatório Final. Disponível on-line em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/perh/>>. 2006

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos e Superintendência de Conservação de Água e Solo. Caderno de recursos Hídricos. Panorama da Qualidade das Águas Subterrâneas no Brasil. Equipe Técnica: José Luiz Gomes Zoby e Fernando Roberto de Oliveira. Brasília-DF, 2005.

ALLER, L., BENNETT, T., LEHR, J. H., PETTY, R. J. & HACKETT, G. DRASTIC: A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. *EPA-600/2-87-035*.1987

ATECEL/UFPB. Estudo do Comportamento do Aquífero Freático no Bairro do Bessa e de sua Influência sobre a Drenagem Superficial. Campina Grande- PB, 1999.

AUZANI, G. M. Uso da Terra e Caracterização Hidropedológica na Região de Vila Kramer, São Francisco de Assis –RS. Tese (Doutorado em Ciência do solo). Apresentada à Universidade Federal de Santa Maria. Área de concentração: Processos Físicos e Morfogenéticos do Solo. Santa Maria-RS, 2010.

BARBOSA, L. K. L.. Zoneamento de Aquíferos através da Delimitação de Perímetros de Proteção de Poços de Abastecimento Público de Água: o Caso da Cidade de João Pessoa. Dissertação (Mestrado) em Engenharia Urbana apresentada à Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2007.

BATISTA, M. L. de C. Modelagem de Fluxo Subterrâneo na Bacia Sedimentar Costeira do Baixo Curso do Rio Paraíba. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) apresentada à Universidade Federal de Campina Grande-PB. Área de concentração: Engenharia Hidráulica. Campina Grande, 2010.

BORGHETTI, N. R. B.; BORGHETTI, J. R.; ROSA FILHO, E. F. Aquífero Guarani. A verdadeira integração dos países do Mercosul. 1º Ed. Rio de Janeiro: Fundação Roberto Marinho. 214p. 2004.

BÓS, S. M. Mapeamento da vulnerabilidade natural das águas subterrâneas do município de Sananduva-RS. Dissertação (Mestrado) apresentada à Universidade de Passo Fundo, área de concentração Infra-estrutura e Meio Ambiente. Passo Fundo-RS, 2008.

CAMPONOGARA, I. Vulnerabilidade Natural do Sistema Aquífero Guarani, em Santana do Livramento, RS, com Uso de Geotecnologias. Dissertação (Mestrado em Geomática) apresentada à Universidade Federal de Santa Maria-RS. Área de Concentração Análise e Gerenciamento Ambiental. Santa Maria, 2006.

COSTA, W. D.; ALBUQUERQUE, J. do P. T. de; BRANCO, R. L. de C.; MARANHÃO, C. M. L.; GOLDFABER, M. Estudo de Caracterização e Verificação da Disponibilidade Hídrica da Vertente Litorânea do Estado da Paraíba. Estudos Hidrogeológicos. Relatório Final. Tomo I – Texto. Ministério da Integração Nacional, 2007.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Geologia e Recursos Minerais do Estado da Paraíba. Subprograma Mapas Estaduais. Superintendência Regional do Recife – PE, 2002.

FILHO, J. M. Hidrogeologia. Conceitos e Aplicações. 3º edição revisada e ampliada. Cap. 2.1. Serviço Geológico do Brasil – CPRM/ LABHID. Rio de Janeiro, 2008.

FORMAGGIO, L. F. Estudo da Variabilidade da Piezometria dos Aquíferos Freáticos na Bacia do Alto Rio Jardim-Distrito Federal. Dissertação (Mestrado) apresentada à Universidade de Brasília. Instituto de Geociências. Brasília-DF, 2007.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE - FUNASA. Manual de Projeto e Construção de Poços Tubulares Profundos. Maio, 2004. Disponível em: www.perfuradores.com.br

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010). Disponível on-line em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em janeiro de 2011.

LEMOS, N. A. B. Bacia Hidrográfica Urbanizada e Degradação Ambiental: O alto vale do rio Jaguaribe. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente) apresentada à Universidade Federal da Paraíba – PRODEMA – Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Sub-programa UEPB-UFPB. João Pessoa, 2005.

LUCENA, S.C.B. Estimativa da Recarga para Gestão de Águas Superficiais e Subterrâneas: Aplicação em uma área Urbana Costeira. Dissertação (Mestrado) em Engenharia Civil e Ambiental - Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, Paraíba – PB, 2007.

MACDONALD, A. M. & CALOW, R.C. Developing groundwater for secure rural water supplies in Africa. Presented at the Water and Sanitation in International Development and Disaster Relief (WSIDDR) International Workshop Edinburgh, Scotland, UK, 28–30 May 2008.

MEAULO, F.J. Vulnerabilidade Natural à Poluição dos Recursos Hídricos Subterrâneos da área de Araraquara (SP). Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro-SP, 2004.

MENESES, L. F. Avaliação da Vulnerabilidade dos Aquíferos Superiores no Município de João Pessoa/PB, através do Modelo DRASTIC. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) apresentada à Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa-PB, 2007.

MIGUEL, P. Caracterização Pedológica, Uso da terra e Modelagem da Perda de Solo em Áreas de Encosta do Rebordo do Planalto do RS. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, 2010.

MORAIS, L.M.F.A. Expansão urbana e qualidade ambiental no litoral de João Pessoa-PB. Dissertação (Mestrado) apresentada à Universidade Federal da Paraíba. Pós-graduação em Geografia. João Pessoa-PB, 2009.

NEUWALD, O. Atributos Físicos e Hídricos do Solo e Produtividade da Soja em Sistema Integrado Lavoura-Pecuária em Nitrossolo Háplico sob Diferentes Sistemas de Manejo. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) apresentada à Universidade Estadual de Santa Catarina-SC, Pós-graduação em Agronomia. Lages-SC, 2005.

NOBRE, R.C.M. Avaliação de Risco para o Uso e Proteção de Aquíferos. Estudo de Caso: Região Metropolitana de Maceió. Tese (Doutorado em Ciências) Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro. COPPE/UFRJ, 296, 2006.

NÓBREGA, T. M. Q. A Problemática da Drenagem em Áreas Urbanas Planas: O caso da Planície Costeira da Cidade de João Pessoa. Dissertação (Mestrado) apresentada à Universidade Federal da Paraíba. Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente –PRODEMA. João Pessoa-Pb, 2002.

OSÓRIO, Q. da S. Vulnerabilidade Natural de Aquíferos e Potencial de Poluição das Águas Subterrâneas. Dissertação (Mestrado em Geomática) apresentada à Universidade Federal de Santa Maria. Área de concentração em Tecnologia da Geo-Informação, Santa Maria, 2004.

PUERARI, E. M.; COSTA, C. T.; CASTRO, M. A. H. Utilização do Método DRASTIC na Análise de Vulnerabilidade Natural do Complexo Industrial e Portuário do Pecém – Fortaleza-CE. In: SIMPÓSIO DE HIDROGEOLOGIA DO SUDESTE, 1. 2003. Petrópolis. Anais... Petrópolis: ABAS, 2003.

RUFINO, I. A. A. Gestão de Recursos Naturais em Áreas Urbanas: Representação do Conhecimento em Sistemas de Informação Geográfica. Tese de doutorado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, PB. 2004.

RUSSO, A. S. Estimativa da vulnerabilidade de aquíferos utilizando sistemas de informações geográficas e geoestatística – UGRHI – PCJ. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 75p, 2009.

SANTOS, M.M. Avaliação Hidrogeológica para Determinação da Vulnerabilidade Natural do Aquífero Freático em Área Seleccionada na Cidade de Londrina (PR). Dissertação (Mestrado) apresentada à Universidade Estadual Paulista. Programa de Pós-Graduação em Geociências do Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro-SP, 2005.

SANTOS, P. R. P. dos. Estudo da Vulnerabilidade à Poluição do Aquífero Marizal na Região de Influência do Pólo Industrial de Camaçari (PIC) / Dissertação (Mestrado) pela Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2010.

SILVA, R. B. G. da. Águas Subterrâneas: Um valioso recurso que requer proteção. São Paulo: DAEE, 28p. 2003.

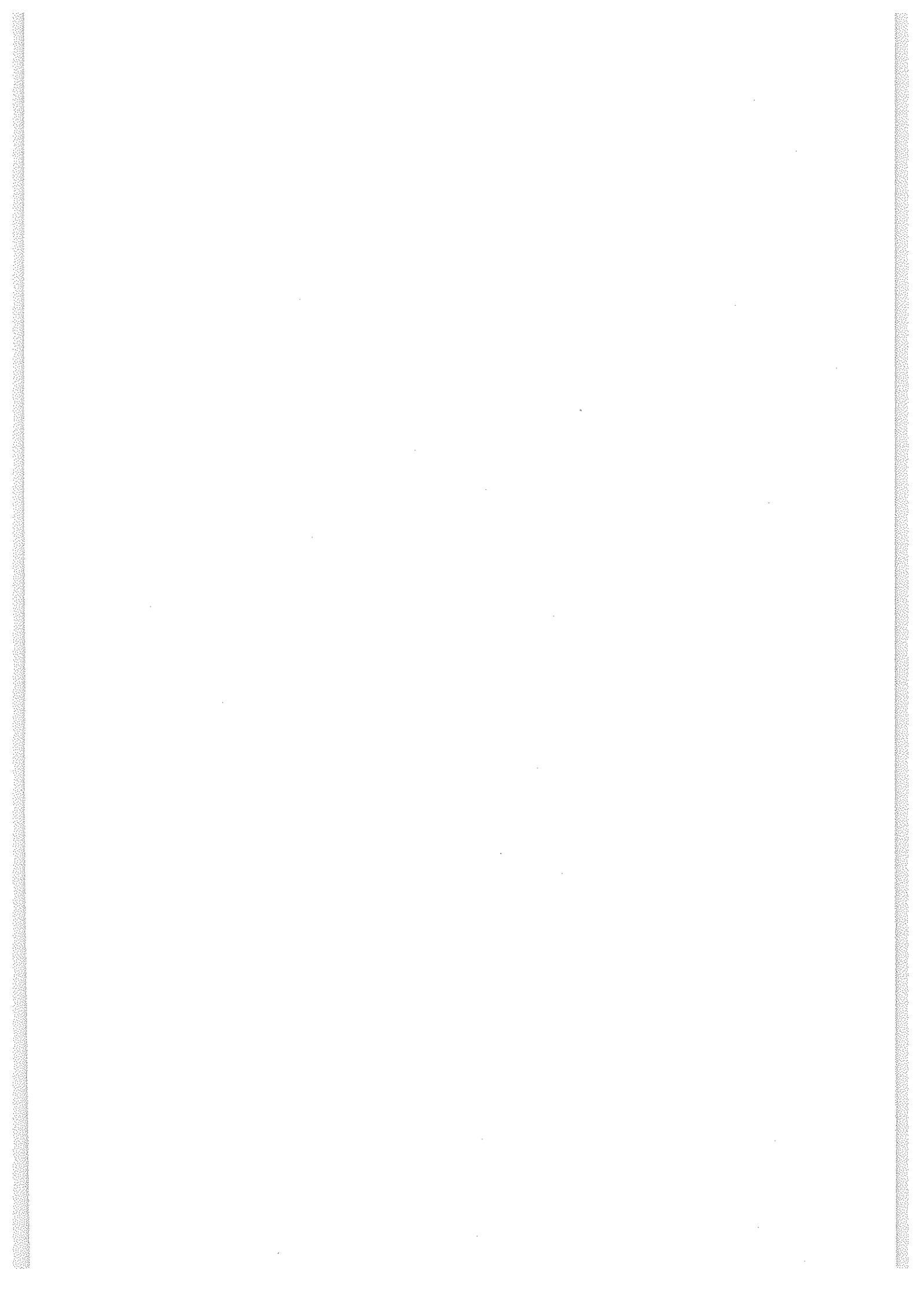
SOUZA, N. A. de. Vulnerabilidade à Poluição das Águas Subterrâneas – Um Estudo do Aquífero Bauru na Zona Urbana de Araguari, MG. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, 2009.

TUCCI, C. E. M. Qualidade da Água Subterrânea. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

WATERLOO do Brasil – Zoneamento dos Recursos Hídricos Subterrâneos na Região do Pólo Petroquímico de Camaçari /BA; Relatório interno para a Cetrel Empresa de Proteção Ambiental, 2003.

ZIDAN, P. M. Utilização de Ferro na Remoção de Água Subterrânea Contaminada por Cromo Hexavalente. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) apresentada à Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

ANEXOS





ASSOCIAÇÃO TÉCNICO CIENTÍFICA
ERNESTO LUIZ DE OLIVEIRA JUNIOR

REGISTRO DE SONDAGEM

CLIENTE: Sec. de Planejamento da PMJP

FURO DE SONDAGEM N° 01

LOCAL: Bessa - João Pessoa - PB

DIÂMETRO DO FURO: 20"

MUNICÍPIO: João Pessoa - PB

DIÂMETRO DO PIEZÔMETRO: 32mm

COTA EM RELAÇÃO AO R.N.	PROF. EM RELA- ÇÃO AO NÍVEL DO TERRENO	RE- S- C	CONVENÇÃO E POSIÇÃO DA AMOSTRA	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL LITOLÓGICA
				1 - Areia fina, de cor clara. 2 - Areia média, de cor amarela escura. 3 - Areia média, de cor amarela. 4 - Interrompido o furo a 4,00m
	1,80			
	N.A			
	2,00			
	2,60			
	4,00			

COTA DO PIEZÔMETRO:

NÍVEL D'ÁGUA: 2,00 m

FIGURA N°

INÍCIO: 04/08/98
TÉRMINO: 04/08/98

ENG. RESPONSÁVEL:

ESCALA: 1:50
DATA:

OBSERVAÇÃO: Furo na Estaca 11



ASSOCIAÇÃO TÉCNICO CIENTÍFICA
ERNESTO LUIZ DE OLIVEIRA JUNIOR

REGISTRO DE SONDAGEM

CLIENTE: Sec. de Planejamento da PMJP

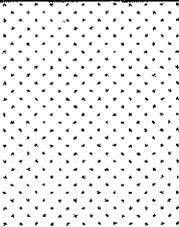
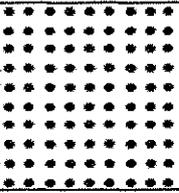
FURO DE SONDAGEM Nº 10

LOCAL: Bessa - João Pessoa - PB

DIÂMETRO DO FURO: 20"

MUNICÍPIO: João Pessoa - PB

DIÂMETRO DO PIEZÔMETRO: 32 mm

COTA EM RELAÇÃO AO R.N.	PROF. EM RELA- ÇÃO AO NÍVEL DO TERRENO	ES- C	CONVENÇÃO E POSIÇÃO DA AMOSTRA	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL LITOLOGIA
	NA 0,55	1		1 - Areia fina, de cor clara.
	1,50	2		2 - Areia média, de cor clara.
	2,70	3		3 - Interrompido o furo a 2,70m.

COTA DO PIEZÔMETRO: NÍVEL D'ÁGUA: 0,55m FIGURA Nº

INÍCIO: 10/09/98 ENC.º RESPONSÁVEL: ESCALA: 1:50
TERMINO: 10/09/98 DATA:

OBSERVAÇÃO: Furo na Estaca: 25



ASSOCIAÇÃO TÉCNICO CIENTÍFICA
ERNESTO LUIZ DE OLIVEIRA JUNIOR

REGISTRO DE SONDAGEM

CLIENTE: SEC. de Planejamento da PMJP

FURO DE SONDAGEM Nº 37

LOCAL: Bessa - João Pessoa - PB

DIÂMETRO DO FURO: 20"

MUNICÍPIO: João Pessoa - PB

DIÂMETRO DO PIEZÔMETRO: 32 mm

COTA EM RELAÇÃO AO R.N.	PROF. EM RELA- ÇÃO AO NÍVEL DO TERRENO	ES- C	CONVENÇÃO E POSIÇÃO DA AMOSTRA	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL LITOLOGIA
	1			1 - Areia fina, de cor clara. 2 - Areia média, de cor amarela clara. 3 - Areia média, de cor amarela. 4 - Interrompido o furo a 6,00m.
	2,00			
	2			
	4,00	N.A		
	5,00			
	3			
	6,00			
	4			

COTA DO PIEZÔMETRO:

NÍVEL D'ÁGUA: 4,00m.

FIGURA Nº

INÍCIO: 15/09/98
TÉRMINO: 15/09/98

ENC.º RESPONSÁVEL:

ESCALA: 1:50
DATA:

OBSERVAÇÃO: Furo na Estaca 56

**ANEXO 2 – Relação dos piezômetros com os níveis estáticos de maio
- 1999 (total de 73 poços).**

Piezometro	Nível maio 99		Piezometro	Nível maio 99
1	1,890		44	2,734
2	2,210		45	2,454
3	2,034		46	3,161
4	3,126		47	2,904
6	2,265		48	2,934
7	2,945		49	2,547
8	2,300		50	1,766
9	2,873		51	2,423
11	2,508		52	2,695
12	2,509		53	2,238
13	2,032		54	1,768
15	2,624		55	1,874
16	2,504		56	1,523
17	1,595		57	1,681
18	2,044		58	2,418
19	1,395		59	2,471
20	1,308		60	3,107
21	2,757		61	3,033
22	2,759		62	3,085
24	2,815		63	3,955
25	2,864		64	2,658
27	2,508		65	1,205
28	2,495		66	3,690
29	2,740		67	3,126
30	2,418		68	2,881
31	2,738		69	3,070
32	2,773		70	2,388
33	2,736		72	3,131
35	2,959		73	2,676
36	3,062		74	3,054
37	3,115		75	3,541
38	2,902		76	2,429
39	2,647		77	1,984
40	2,333		78	2,619
41	2,623		79	2,148
42	3,020		80	2,682
43	2,477			