

Utilização de sistema de informações geográficas na avaliação de áreas para ocupação urbana em João Pessoa/PB

Vânia Maria Lima Carneiro Nascimento¹
Eduardo Rodrigues Viana de Lima²
Celso Augusto Guimarães Santos³

¹ Centro Federal de Educação Tecnológica do Maranhão – UNED de Imperatriz/MA, Rua Newton Belo s/n - Vila Maria, 65919-050 - Imperatriz, MA – Brasil, Tel. (99) 35254745
email: vanianasc@yahoo.com.br

² Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Exatas e da Natureza - Campus I, Departamento de Geociências. Cidade Universitária, Castelo Branco III 58051-900 - Joao Pessoa, PB – Brasil. Telefone: (83) 32167432 Fax: (83) 32167432
email: eduvianalima@gmail.com

³ Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia - Campus I, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. 58051-900 - João Pessoa, PB - Brasil
Telefone: (83) 32167684, Ramal: 27 Fax: (83) 32167684
email: celso@ct.ufpb.br

Abstract. The physical expansion of the cities was constantly present in the last decades, mainly in the countries with high population growth rates. The urban planning that predicts a co-ordinating urban growth must be preceded by studies about the adequateness of the urban occupation, whose objective is to associate this expansion with economic, social and natural requirements. The present work evaluates the capabilities and restrictions of the areas for urban occupation in João Pessoa city, Paraíba state, from the elaboration and analysis of cartographic documents in numerical and thematic format, based on the adequateness of the physical environment according to the natural and urban characteristics. For accomplishment of the data operation and analysis, it was used the geographic information system named SPRING and the LEGAL programming language. For the evaluation of the areas susceptible to the occupation, the database was represented by the following criteria: slope degree, unconsolidated material, rocky substratum, depth of the water table, the distance from the populous areas, and the environmental restrictions. The Boolean logic was used to model the data with abrupt spatial variation and the Fuzzy logic was used to model the data with continuous spatial variation. As result, maps were produced with continuous surface, with degrees of aptitude to urban occupation which ranges from 0 (not appropriate) to 1 (appropriate). The analysis results showed that in the urban perimeter in João Pessoa city, with a total area of 125.80 km², about 26% was considered inappropriate for urban occupation.

Palavras-chave: urban perimeter, boolean logic, fuzzy logic, perímetro urbano, lógica *booleana*, lógica *fuzzy*.

1. Introdução

A minimização dos problemas urbanos, decorrentes da desorganização em que se dá o crescimento das cidades, está associada à necessidade de planejamento da ocupação do solo. O estudo das características ambientais, físicas, sociais e econômicas do território urbano, gera conhecimento necessário à tomada de decisão, na orientação da expansão física das cidades, visando garantir uma ocupação racional dos espaços, a prevenção de impactos ambientais e a prevenção de conflitos.

Qualquer planejamento é precedido pelo conhecimento daquilo que se deseja planejar, a identificação de seu estado atual e a visão de um estado futuro, com suas possibilidades e responsabilidades. No caso da ocupação urbana, uma infra-estrutura geoinformacional é essencial, uma vez que permite espacializar, analisar e diagnosticar integradamente as informações relativas à dinâmica urbana e municipal e ampliar o debate sobre o planejamento urbano.

A utilização de técnicas de geoprocessamento, através de Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), tem se tornado uma poderosa ferramenta nos estudos das questões urbanas, seja sobre a análise da situação atual ou em projeções futuras.

Este trabalho tem por objetivo a avaliação das áreas para ocupação urbana no perímetro urbano do município de João Pessoa/PB a partir da elaboração e análise de documentos cartográficos, tendo como base a adequabilidade do meio físico, em função das características naturais e urbanísticas, utilizando a lógica *fuzzy* e a lógica *booleana* em Sistema de Informações Geográficas.

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de estudo

A área escolhida para esse estudo foi o município de João Pessoa/PB, por ter sido observado que nas últimas décadas houve um crescimento urbano intenso e rápido, ocasionando uma ocupação desordenada do meio físico e de áreas protegidas por lei.

O município de João Pessoa está localizado na zona costeira do Estado da Paraíba, entre 07°00'00" e 07° 07'30" de latitude sul e entre 34°52'30" e 34°45'00" de longitude oeste e altitude variando entre 0 a 74 metros (Figura 1). Com uma área territorial aproximada de 208,25 km² e uma população de 674.762 habitantes (IBGE, 2007).

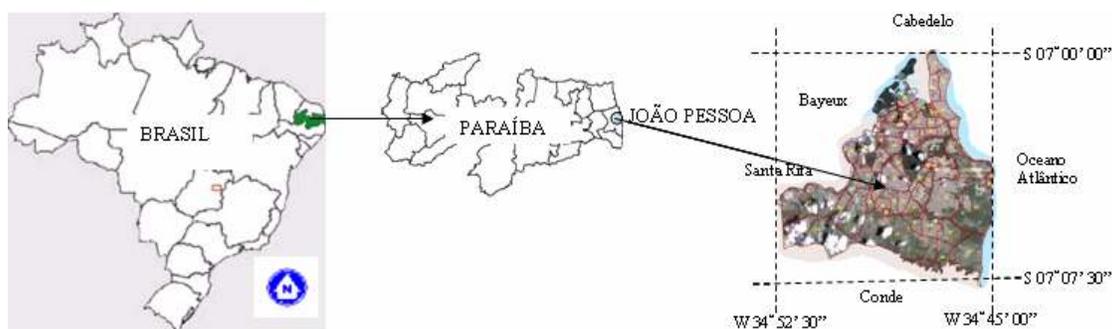


Figura 1. Localização da área de estudo.

2.2 Material cartográfico

Os materiais cartográficos utilizados foram coletados em diversas fontes e formatos, descritos a seguir:

Os mapas no modelo temático de materiais inconsolidados, substrato rochoso, rios, e áreas adensáveis e em processo de adensamento foram construídos por Martins (2006), escala 1:25.000.

O mapa das zonas especiais de preservação foi digitalizado a partir o mapa de uso do solo do município de João Pessoa de janeiro de 2007, disponibilizado pela Secretaria de Planejamento – SEPLAN da Prefeitura Municipal de João Pessoa – PMJP.

O mapa das praças existentes e das áreas reservadas para futuras praças e parques e o mapa do perímetro urbano de João Pessoa/PB foram fornecidos pela SEPLAN em formato digital.

O mapa das profundidades do lençol freático, foi produzido por Meneses (2007), escala 1:10.000.

O mapa de açudes e lagoas foi digitalizado, usando como base uma imagem Quickbird de outubro de 2005.

O mapa das curvas de nível foi digitalizado usando como base as cartas topográficas da Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado da Paraíba/ FUNDAPE, na escala de 1:10.000, com curvas de nível espaçadas de 5m em 5m. Todas as informações referentes ao município de João Pessoa/PB foram organizadas em modelos temáticos e numéricos,

georreferenciadas com base no Datum Córrego Alegre, sistema de projeção UTM, resolução de 5 m e escala 1:25.000.

2.3 Imagem de satélite

A imagem utilizada foi do satélite Quickbird, obtida em outubro de 2005 e disponibilizada pela Secretaria de Planejamento – SEPLAN da Prefeitura Municipal de João Pessoa – PMJP.

2.4 Sistemas computacionais

Na elaboração e análises dos mapas foi utilizado o sistema de informação geográfica SPRING versão 4.3.3 (Sistema de **P**rocessamento de **I**nformações **G**eorreferenciadas), e para realização das rotinas de programação usou-se a linguagem LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) desenvolvida para o ambiente SPRING.

2.5 Metodologia

A metodologia aplicada neste trabalho utilizou a lógica *fuzzy* e a lógica *booleana* como suporte na realização dos procedimentos de análise espacial, visando a geração de um cenário com as áreas aptas para ocupação urbana no perímetro urbano de João Pessoa/PB e foi subdividido nas seguintes etapas:

(a) definição dos critérios

Para as análises da aptidão física do município de João Pessoa, foram considerados os seguintes critérios: declividade, distância das zonas adensáveis e em processo de adensamento, substrato rochoso, materiais inconsolidados, profundidade do lençol freático e restrições ambientais.

(b) padronização dos critérios

Cada critério foi reescalado para o intervalo numérico de 0 a 1, onde cada unidade foi ponderada de acordo com a sua importância na favorabilidade à ocupação urbana.

(c) cruzamento dos dados

O processo de cruzamento das informações constituiu de três etapas: (1) cruzamento das informações sobre o meio físico levando em consideração os fatores, (2) cruzamento das informações restritivas, e (3) geração do mapa de aptidão à ocupação por meio do cruzamento das informações resultantes dos fatores ponderados mais as informações das restrições ambientais.

3. Resultados e discussões

3.1 Modelagem dos dados básicos fundamentais no formato numérico *fuzzy*

A padronização dos dados em formato numérico *fuzzy* teve como base as informações contidas nos mapas de declividade, das áreas adensáveis e em processo de adensamento, do substrato rochoso, das profundidades do lençol freático e dos materiais inconsolidados.

Todos os mapas foram reescalados para o intervalo numérico de 0 a 1, onde cada unidade foi ponderada de acordo com a sua importância na favorabilidade à ocupação urbana.

(a) Declividade

O mapa de declividade no formato numérico *fuzzy* foi obtido a partir da execução de uma rotina de programação LEGAL, utilizando funções aplicadas à grade de declividade. Os pesos atribuídos para cada faixa de declividade foram adaptados de Zuquette (1993) e de acordo com as Restrições do Plano Diretor do Município de João Pessoa/PB (Tabela 1).

Tabela 1. Pesos utilizados por faixa de declividade.

Declividade S (%)	Peso (0–1)	Risco à Ocupação	Comentários
$0 \leq S \leq 2$	0,8	Baixo Risco	Possibilidades de inundações e dificuldades para implantação de rede de drenagem pluvial e esgotamento sanitário
$2 < S \leq 5$	1	Apta	Apta à ocupação
$5 < S \leq 20$	$1 \rightarrow 0^*$	Apta \rightarrow Inapta	De apta a inapta - suscetibilidade à erosão
$S > 20$	0	Inapta	Inapta à ocupação

* variação contínua do peso

(b) Distância das áreas adensáveis e em processo de adensamento

Na construção do mapa considerando a distância das regiões em análise para as áreas adensáveis e em processo de adensamento no formato numérico *fuzzy*, utilizou-se a função linear decrescente *fuzzy* ($-0.000333x + 1$), onde x é a distância a partir do polígono das áreas adensáveis e em processo de adensamento (Tabela 2).

Tabela 2. Pesos utilizados no mapa de distâncias das áreas adensáveis.

Áreas (Classes)	Peso (0–1)	Risco à Ocupação	Comentários
Adensáveis e em Processo de adensamento	1	Apta	Áreas adensáveis e em processo de adensamento
Distância das áreas adensáveis de 0 a 3 km	$1 \rightarrow 0^*$	Apta \rightarrow Inapta	Distanciamento da infra-estrutura
Distância > 3 km	0	Inapta	Custo alto para implantação da infra-estrutura, operação e circulação de transportes

* variação contínua do peso.

(c) Substrato Rochoso

Tabela 3. Pesos utilizados por unidade do substrato rochoso.

Substrato Rochoso Unidades	Peso (0–1)	Risco à Ocupação	Comentários
Quaternário-Aluvião	0	Inapta	Localizados em áreas sujeitas a inundações
Quaternário-Cobertura Arenosa	0,4	Alto Risco	Localizados em áreas com declividade mais elevadas com vulnerabilidade à ocorrência de deslizamentos
Quaternário-Planície Costeira	0,6	Médio Risco	Materiais arenosos retrabalhados compressíveis que acarretam instabilidade nas fundações (TUMA, 2004)
Terciário	1	Apta	Favoráveis para ocupação
Cretáceo	0	Inapta	Podem ocorrer subsidências e colapsos no terreno

(d) Profundidades do Lençol Freático

Tabela 4. Pesos utilizados por classe das profundidades do lençol freático.

Lençol Freático h Classes	Peso (0–1)	Risco à Ocupação	Comentários
Profundidade: $h < 2$ m	0	Inapta	Áreas com grandes possibilidades de alagamento e contaminação do lençol freático
Profundidade: $2 \leq h < 9,1$ m	0,5	Médio Risco	Possibilidade de alagamento, aumento no custo de construção das fundações, pode causar instabilidade nas fundações
Profundidade: $9,1 \leq h < 15,2$ m	0,8	Baixo Risco	
Profundidade: $h \geq 15,2$ m	1	Apta	Favoráveis à ocupação

(e) Materiais Inconsolidados

Tabela 5. Pesos utilizados por unidade dos materiais inconsolidados.

Materiais Inconsolidados Unidades	Peso (0-1)	Risco à Ocupação	Comentários
Aluvião	0	Inapta	Localizados em áreas sujeitas a inundações
Hidromórficos e Halomórficos	0	Inapta	Localizados em áreas sujeitas a inundações
Hidromórficos/Halomórficos Planície Costeira	0,5	Médio Risco	Localizado na orla marítima, área de materiais arenosos retrabalhados compressíveis e acarreta instabilidade nas fundações (TUMA, 2004)
Formação Gramame	0	Inapta	Localizado em áreas de afloramento de calcário, pode ocorrer subsidências e colapsos no terreno
Latossolos e Podzólicos	1	Apta	Favoráveis para ocupação

(f) Mapa Ponderado dos Fatores

Após a modelagem de cada mapa temático (fatores), no formato numérico, foi feita a atribuição dos pesos dos fatores usando a técnica de análise multicriterial AHP. Essa técnica baseia-se na elaboração de uma matriz de comparação entre os fatores, de acordo com a importância relativa entre pares de fatores (EASTMAN, 1998).

Os pesos calculados para cada fator foram Declividade_Fuzzy = 0,301, Distância Áreas Adensáveis_Fuzzy = 0,089, Materiais Inconsolidados_Fuzzy = 0,265, Profundidades Lençol Freático_Fuzzy = 0,159, e Substrato_Rochoso_Fuzzy = 0,186.

Os fatores foram combinados através da soma ponderada tendo como resultado informações na forma de superfície contínua das áreas com os graus de aptidão física, levando em consideração os fatores de limitação relativa (Figura 2).

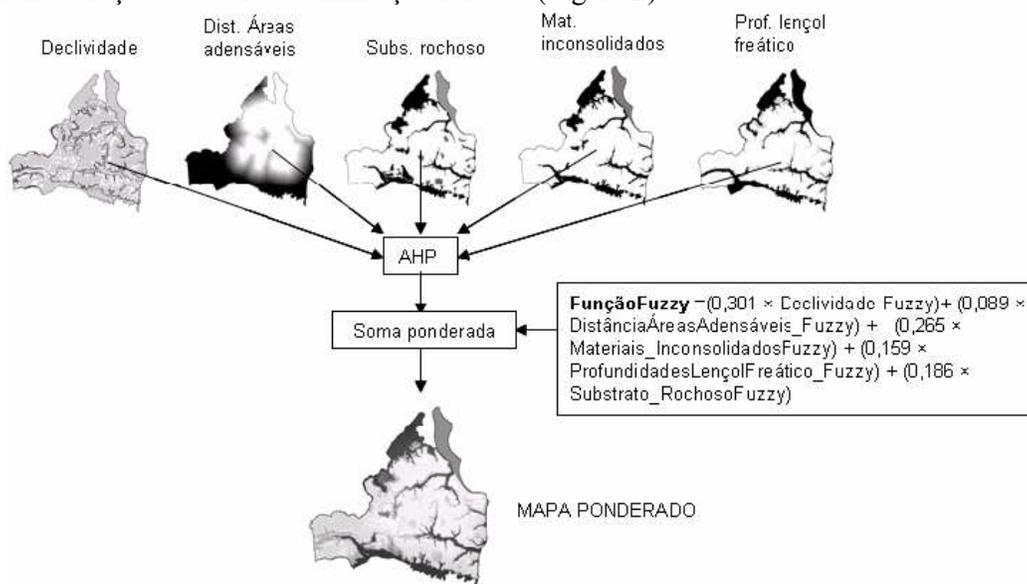


Figura 2. Etapas do cruzamento dos fatores para obtenção do mapa ponderado.

3.2 Modelagem dos dados fundamentais usando operações Booleanas

(a) Mapa das Restrições

As áreas consideradas restritivas foram definidas de acordo com o plano diretor do município de João Pessoa/PB, incluindo as áreas das praças existentes e as áreas reservadas para implantação de novas praças e parques.

O cruzamento dos mapas contendo essas informações foi feito através de sobreposição usando operações *booleanas*, onde as áreas restritivas foram consideradas 0 (zero) e as demais áreas 1 (um), resultando o mapa das restrições ambientais.

3.3 Mapa de aptidão física à ocupação urbana no perímetro urbano do município de João Pessoa/PB

O mapa da aptidão física à ocupação urbana foi obtido por meio do cruzamento do mapa ponderado dos fatores, mais o mapa das restrições ambientais. Neste processo, as informações das restrições ambientais funcionaram como uma máscara, mantendo seu critério de restrição, ou seja, as áreas em que o valor das restrições era igual a zero continuaram zero, e as demais áreas nas quais o valor era igual a um, ficaram os valores da grade do mapa ponderado, realçando ou diminuindo a aptidão da área de forma contínua.

Para uma melhor apresentação e quantificação dos resultados foi feita uma transformação do modelo numérico para o modelo temático (Figura 3), através da operação de fatiamento, com valores agregados em cinco classes qualificadoras, representativas dos aspectos de potencialidades e restrições do meio físico à ocupação urbana (Tabela 6).

Tabela 6. Intervalos para o fatiamento.

Classes Qualificadoras	Intervalos para o fatiamento
Inapta	0–0,1
Escassa Aptidão	0,1–0,4
Baixa Aptidão	0,4–0,7
Média Aptidão	0,7–0,9
Apta	0,9–1

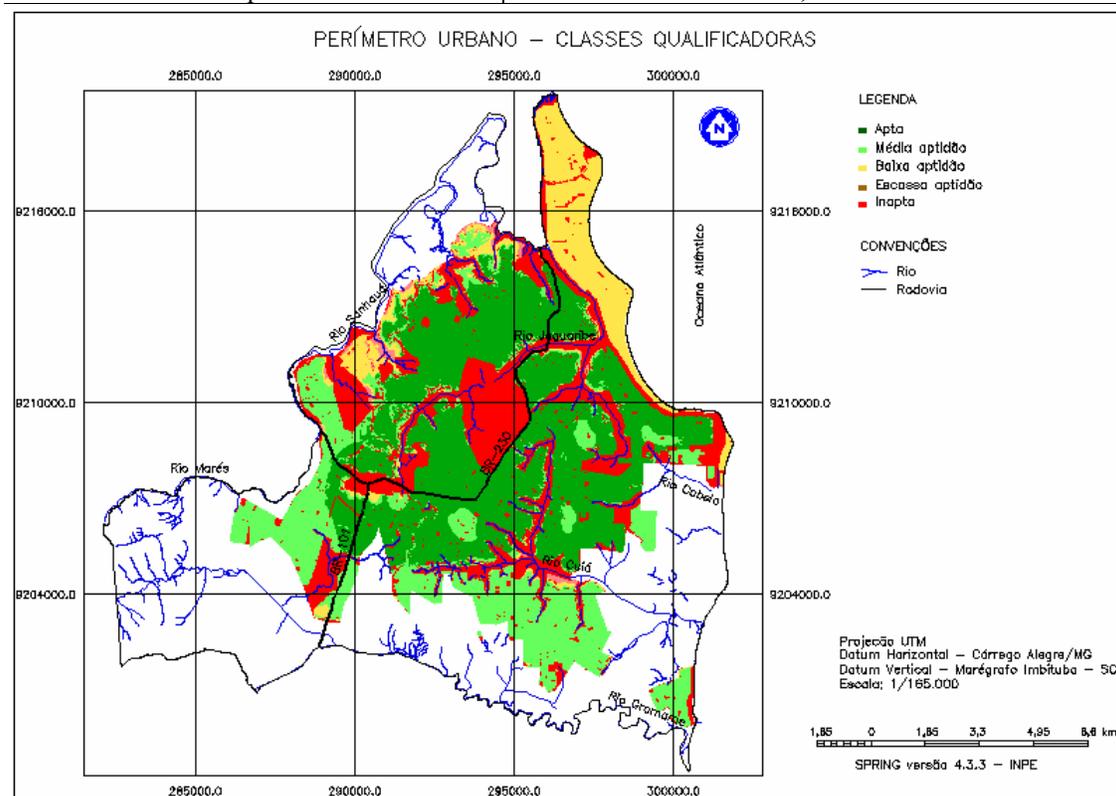


Figura 3. Mapa de aptidão à ocupação com as classes qualificadoras no perímetro de João Pessoa/PB.

A Tabela 7 mostra um resumo das áreas em km² e porcentagem por classe qualificadora no perímetro urbano de João Pessoa/PB.

Tabela 7. Resultado das classesificadoras do mapa de aptidão no perímetro urbano de João Pessoa/PB em km² e porcentagem.

Classes Qualificadoras	Área no perímetro (km²)	Área (%)
Inapta	32,83	26,10
Escassa Aptidão	1,13	0,90
Baixa Aptidão	13,47	10,70
Média Aptidão	28,73	22,84
Apta	49,64	39,46
TOTAL	125,80	100,00

Os resultados mostraram que de uma área total de 125,80 km² referente ao perímetro urbano, 49,64 km² (39,46%) foram considerados como “aptos” para ocupação urbana, 28,73 km² (22,84%) foram classificados como de “média aptidão”, 13,47 km² (10,70%) foram classificados como de “baixa aptidão”, 1,13 km² (0,90%) foram classificados como “escassa aptidão”, e 32,83 km² (26,10%) foram classificados como “inaptos”.

As áreas com a classe “apta” (área na cor verde escuro na Figura 3) foram as que mais apresentaram, no conjunto, melhores condições à ocupação. Essas se localizam na área central do município, onde foram satisfeitos pelo menos 90% de cada critério. São as áreas que tem ou estão bem próximas de uma boa infra-estrutura urbana e tem as melhores condições de assentamento em relação ao meio físico, apesar de apresentarem alguns problemas nas áreas com declividades baixas, pela possibilidade de inundações.

As áreas classificadas como de “média aptidão” (área na cor verde claro na Figura 3) foram as áreas em que pelo menos um critério não foi satisfeito ou que mais de um critério foi parcialmente satisfeito. Estas áreas estão localizadas mais afastadas de onde existe infra-estrutura, mas possuem uma boa capacidade de suporte considerando o meio físico, entretanto, apresentam também problemas devido a baixas declividades, o que, como já mencionado, aumenta a possibilidade de inundações.

As áreas classificadas como de “baixa aptidão” (área na cor amarela na Figura 3) obtiveram dois ou mais critérios parcialmente satisfeitos e um ou mais não satisfeitos. Localizam-se na parte norte do município e em algumas áreas próximas às calhas de drenagem, são áreas que apresentam declividades baixas e nível da água raso ou aflorante, portanto, sujeitas às inundações periódicas. Em relação à capacidade de suporte, elas são áreas de materiais arenosos retrabalhados compressíveis, o que pode acarretar instabilidade nas fundações.

As áreas classificadas como de “escassa aptidão” (área na cor amarela escuro na Figura 3) apresentaram pelo menos dois critérios não satisfeitos. Estão localizadas em áreas próximas às calhas de drenagem, com alta suscetibilidade à erosão e possibilidades de inundação. A ocupação dessas áreas deve ser bastante criteriosa.

A classe “inapta” (áreas na cor vermelha na Figura 3) contemplou as áreas restritivas à ocupação urbana pelas limitações legais e naturais.

4. Conclusões

Os resultados obtidos com a aplicação das técnicas de geoprocessamento indicaram as áreas com condições mais apropriadas para ocupação urbana, considerando os critérios envolvidos, e retratando as potencialidades e restrições da área.

A utilização da combinação da lógica *fuzzy* e *booleana* permitiu a produção de resultados mais coerentes com a realidade, possibilitando a geração de um cenário mais preciso, onde os

graus de favorabilidade puderam ser mostrados, não só os de menor ou maior grau, mas uma variação gradativa dos graus de favorabilidade, desde o inapto até o apto.

Portanto, a modelagem da superfície com a aplicação da lógica *fuzzy*, aliada a técnica AHP, e combinada com a lógica *booleana*, demonstrou ser muito eficiente na metodologia de análise espacial, dando uma maior flexibilidade na tomada de decisão, podendo ser gerados cenários para as variadas formas de avaliações e diagnósticos pretendidos.

O SIG-SPRING mostrou-se ser uma ferramenta poderosa, pois permitiu a manipulação de uma grande quantidade de dados de várias fontes, possibilitando a obtenção dos objetivos propostos. A linguagem de programação LEGAL, disponível no sistema, possibilitou a realização das operações de análise dos dados e a execução de simulações, gerando resultados adequados para os fins pretendidos.

Como resultado das operações realizadas, verificou-se que da área total de 125,80 km² referentes à área do perímetro urbano de João Pessoa/PB, 32,83 km² (26,10%) foram considerados inaptos para ocupação urbana.

5. Referências

Eastman, J.R. **IDRISI for Windows: User Guide Version 2.0**. Introduction. Worcete-MA. Graduate School of Geography. Clark University, 1998.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em:
<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/default.shtm>. Acesso em: 05 mar 2008.

Martins, V.P. **Análise ambiental e legal do processo de ocupação e estruturação urbana da cidade de João Pessoa/PB, numa visão sistêmica**. Dissertação de Mestrado, PRODEMA-UFPB/UEPB, João Pessoa, 2006. 146 p.

Meneses, L. F. de. **Avaliação da vulnerabilidade dos aquíferos livres no município de João Pessoa-PB através do modelo DRASTIC**. Dissertação de Mestrado. UFPB, João Pessoa, 2007. 81 p.

Prefeitura Municipal de João Pessoa - Secretaria do Planejamento. Disponível em:
<http://www.joaopessoa.pb.gov.br/secretarias/seplan/>. Acesso em: 20 nov 2007.

_____. Lei Complementar nº 3, de dezembro de 1992, atualizada e consolidada pela Lei complementar nº 4, de 30 de abril de 1993, institui o **Plano Diretor de João Pessoa**. Disponível em:
<http://www.joaopessoa.pb.gov.br/legislacao/#seplan>. Acesso em: 20 ago 2007.

Tuma, L. S. R. **Mapeamento geotécnico da grande João Pessoa-PB**. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

Zuquette, L. V. **Importância do Mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração**. Tese (concurso livre-docência)- EESC/USP. São Carlos, 1993. 368p.