

SIG na avaliação de áreas para ocupação urbana de João Pessoa, PB

GIS on the evaluation of areas for urban occupation in João Pessoa, PB

Vânia Maria Lima Carneiro Nascimento
Eduardo Rodrigues Viana de Lima
Celso Augusto Guimarães Santos

Resumo

O estudo da expansão urbana utilizando mecanismos que possam antecipar suas conseqüências torna-se uma parte constituinte para o planejamento do crescimento das cidades. Este trabalho avalia as potencialidades e restrições das áreas destinadas à ocupação urbana de João Pessoa, PB, a partir da elaboração e análise de documentos cartográficos em formato numérico e temático, tendo como base a adequabilidade do meio físico em função das características naturais e urbanísticas, através de metodologias utilizando sistemas de informações geográficas (SIGs). Na avaliação das áreas favoráveis à ocupação, a base de dados foi representada pelos critérios: declividade, materiais inconsolidados, substrato rochoso, profundidade do lençol freático, distância das áreas adensáveis e restrições ambientais. A lógica booleana foi utilizada na modelagem dos dados de variação espacial abrupta, e a lógica *fuzzy*, na modelagem dos dados de variação espacial contínua. Como resultados, foram gerados mapas na forma de superfície contínua, com graus de aptidão à ocupação urbana variando de 0 (inapto) a 1 (apto). Os resultados mostraram que no município de João Pessoa, da área total de 208,25 km², cerca de 40% foram considerados inaptos para a ocupação urbana.

Palavras-chave: Ocupação urbana. Sistemas de informações geográficas. Lógica booleana. Lógica *fuzzy*.

Abstract

The study of the urban expansion using mechanisms that can anticipate their consequences is an important factor when planning the growth of cities. This article assesses the potential and limitations of areas planned for urban occupation in João Pessoa, PB. In this study, cartographic documents were created and analyzed numerically and thematically, using a Geographic Information System (GIS). The suitability of the physical environment as function of the nature and urban characteristics was considered. In order to evaluate areas suitable for occupation, the following criteria were considered: 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. The results produced continuous surface maps, with suitability degrees for urban occupation ranging from 0 (unsuitable) to 1 (suitable). The analyses indicated that in João Pessoa, with a total area of 208.25 km², about 40% is considered unsuitable for urban occupation.

Keywords: Urban occupation. Geographic information system. Boolean logic. Fuzzy logic.

Vânia Maria Lima Carneiro
Nascimento
Departamento de Ensino
Técnico
Instituto Federal de Educação
Ciência e Tecnologia do
Maranhão - Campus Imperatriz
Avenida Newton Bello, s/n,
Vila Maria
Imperatriz- Maranhão - Brasil
CEP 65919-050
Tel.: (99) 3525-4745
E-mail:
vanianasc@yahoo.com.br

Eduardo Rodrigues Viana
de Lima
Departamento de Geociências,
Centro de Ciências Exatas e da
Natureza
Universidade Federal da
Paraíba
Av. Castelo Branco, s/n,
Castelo Branco
João Pessoa - PB - Brasil
CEP 58059-900
Tel.: (83) 3216-7786
E-mail: eduviana@gmail.com

Celso Augusto Guimarães
Santos
Departamento de Engenharia
Civil, Centro Tecnológico
Universidade Federal da
Paraíba
Campus I, Cidade Universitária
João Pessoa - PB - Brasil
CEP 58051-900
Tel.: (83) 3216-7684
E-mail: celso@ct.ufpb.br

Recebido em 1/09/2008
Aceito em 16/02/2009

Introdução

Em 1960 a população urbana brasileira representava cerca de 45% da população total. Dez anos depois a relação entre população urbana e população rural inverteu-se, alcançando a primeira o valor de 56%. Hoje mais de 80% da população do país vive em áreas urbanas, sendo esperado que esse índice ultrapasse os 90% em 2030 (UNITED NATIONS, 2004). Esse fenômeno adicionará aproximadamente 54 milhões de pessoas às cidades brasileiras, elevando essa população para mais de 200 milhões.

Apesar de já existirem no Brasil estados com elevado grau de urbanização, como São Paulo e Rio de Janeiro, que apresentaram, em 2000, percentuais acima dos 90%, acredita-se que o país ainda apresente um razoável potencial de transferência de população do campo para as cidades (BRITO; HORTA; AMARAL, 2001).

Esse crescimento urbano acelerado tem sido desorganizado na grande maioria das cidades brasileiras. A ocupação urbana desordenada e irregular causa vários problemas, como a ocupação de áreas de proteção ambiental, de áreas sujeitas a inundações, de áreas com declividades acentuadas e de áreas com alta suscetibilidade aos processos erosivos.

Como conseqüências, surgem cidades caóticas, com problemas de diversas naturezas, associados à inadequada ocupação do meio físico ou da desordenada organização espacial das atividades urbanas, que se acentuaram nos últimos anos, como problemas de saneamento básico, poluição das águas, esgotamento dos recursos naturais, valorização artificial de terrenos, segregação urbana, deficiência na oferta de transportes coletivos e congestionamentos. Esses fatores têm causado danos, na maioria das vezes, irreversíveis ao meio e piorado, direta ou indiretamente, a qualidade de vida da população.

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 (SIGs), tem se tornado uma poderosa ferramenta nos estudos das questões urbanas, seja sobre a análise da situação atual ou em projeções futuras.

A maioria das informações obtidas através dos SIGs no processo de gestão do espaço urbano é tradicionalmente elaborada com fundamentação nas técnicas da lógica binária. Essas técnicas são utilizadas por programas computacionais como meras ferramentas automatizadas de desenho, ignorando todo o potencial de processamento numérico do SIG, e geram descontinuidades inexistentes nos dados originais (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2000):

A análise espacial em SIG será muito melhor realizada com uso da técnica de classificação contínua, neste caso, os dados são transformados para o espaço de referência [0...1] e processados por combinação numérica, através de média ponderada ou inferência fuzzy, o que possibilita obter, ao invés de um mapa temático com limites rígidos gerados pelas operações booleanas, uma superfície de decisão, sob forma de uma grade numérica. (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS., 2000. p. 30).

Considerando os aspectos anteriormente expostos, este trabalho tem por objetivo principal a avaliação das áreas favoráveis à ocupação urbana 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 sistemas de informações geográficas.

Geoprocessamento e a ocupação urbana

As novas tecnologias de informação e de tratamento de dados espaciais digitais (redes, internet, computação gráfica, comunicação, imageamento remoto e geoprocessamento, entre outras) tornaram-se instrumentos indispensáveis ao geoplano, à medida que possibilitam, além da espacialização da informação, maior acessibilidade, precisão e velocidade na obtenção e

processamento dos dados necessários às análises (DA SILVA; ZAIDAN, 2007).

A análise espacial do território urbano tem contribuído para nortear a tomada de decisões no que diz respeito à gestão do uso e ocupação do solo urbano e à conseqüente intervenção no espaço na definição de políticas públicas que regulem o uso e ocupação desses espaços.

Segundo Câmara *et al.* (2001), na perspectiva moderna de gestão do território, toda ação de planejamento, ordenamento ou monitoramento do espaço deve incluir a análise dos diferentes componentes do meio ambiente, incluindo o meio físico-biótico, a ocupação humana e o inter-relacionamento destes. Nesse contexto, vêm-se destacando o uso do geoprocessamento e de suas ferramentas.

Geoprocessamento é o conjunto de tecnologias voltadas à coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico. As atividades envolvendo o geoprocessamento são executadas através de sistemas específicos, mais comumente chamados de sistemas de informações geográficas (SIGs) (CÂMARA; MONTEIRO; MEDEIROS, 2000).

Sistema de informações geográficas

O SIG é um modelo matemático dinâmico construído com um banco de dados digitais gerenciados para facilitar a atualização e a aplicação dos dados georreferenciados de infinitas camadas de informação no planejamento e na otimização de determinada tarefa (LIU, 2006).

O que distingue um SIG de outros tipos de sistemas de informação são as funções que possibilitam a realização de análises espaciais (geográficas). As operações de consulta e manipulação de dados geográficos constituem a essência de um SIG, que o diferencia de tecnologias como cartografia automatizada e projeto auxiliado por computador (CÂMARA; QUEIROZ, 1998).

Análise espacial de dados geográficos

Bailey¹ (1994 apud ROCHA, 2004) define análise espacial como uma ferramenta que possibilita manipular dados espaciais de diferentes formas e extrair conhecimento adicional como resposta.

Existem diferentes métodos de análise espacial no contexto da produção de novos mapas a partir de

dados já existentes, entre os quais destacamos os métodos booleano e *fuzzy*. O método booleano gera dados no formato temático sendo a potencialidade expressa espacialmente em forma de polígonos que representam classes (favorável e não favorável), já o método *fuzzy* gera dados em formato numérico, sendo a potencialidade expressa de forma numérica (CÂMARA *et al.*, 2001).

Método Booleano

A modelagem segundo operadores de lógica booleana em SIG é análoga à sobreposição de mapas em formato analógico em mesa de luz (*overlay*), método tradicionalmente utilizado em estudos geológicos (MOREIRA, 2002).

A lógica booleana é bivalente, isto é, reconhece somente dois valores: verdadeiro ou falso.

As regras de associação booleanas, baseada na teoria dos conjuntos, caracterizam-se pela pertinência bivalente de um objeto em um conjunto. Ou seja, determinado objeto pertence ou não a certo conjunto, não havendo condição intermediária para esse fato. Portanto, não existe a possibilidade de tratamento quantitativo de um objeto dentro de um conjunto.

A simplicidade operacional desse método faz com que ele seja bastante utilizado em diferentes tipos de estudos desenvolvidos em SIGs. Entretanto, de acordo com Ruhoff (2004), os principais problemas relacionados às operações booleanas são os limiares nítidos e rígidos, que nem sempre representam os fenômenos naturais corretamente. Moreira (2002) comenta também que, embora esse método seja prático, normalmente não é o mais adequado, pois o ideal é que evidências que apresentem importâncias relativas desiguais recebam pesos diferentes, o que não ocorre na modelagem booleana, que as trata como iguais.

Método Fuzzy

A modelagem baseada em lógica *fuzzy* tem como característica a indefinição de fronteiras ou limiares entre as classes (BURROUGH; MCDONNELL, 1998).

A lógica *fuzzy*, criada por Lotfi Zadeh, em 1965, também conhecida como lógica nebulosa e lógica difusa, segundo Moura² (1993 apud MOURA, 2003, p. 31):

¹ BAILEY, T. C. A Review of Statistical Spatial Analysis in Geographical Information Systems. *Spatial Analysis and GIS*, 13-44, 1994.

² MOURA, A. C. M. *Estudo Metodológico de Aplicação da Cartografia Temática às Análises Urbanas*. 1993. 210 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1993.

[...] é um sistema matemático para manipulação de descrições imprecisas. Contra as relações binárias, do sim ou não, propõe a interpretação da realidade como um conjunto em que os membros têm graus de pertinência. Esses graus são dados por valores arbitrários que dependem de diferentes pontos de vista do contexto, sendo interessante contar com as opiniões de diferentes especialistas. É como se entre o “sim” e o “não” fosse inserido um “pode ser” que depende de uma série de outras condições e que, por sua vez, levaria a outras conclusões. Usando um exemplo, seria como avaliar a pertinência de um uso “x” em um certo espaço urbano, segundo a ótica de diferentes especialistas. Cada especialista não construiria sua avaliação dentro do sim ou do não, mas daria graus de pertinência à proposição, segundo a sua visão. O resultado seria a avaliação dos pesos vista de forma conjunta.

Conforme Ruhoff (2004), um benefício das modelagens baseadas em lógica *fuzzy* é a habilidade de codificação de conhecimentos inexatos, numa forma que se aproxima muito ao processo de decisão. Além do mais, é vastamente aceito que muitas relações naturais no mundo real sejam intrinsecamente *fuzzy* em vez de booleanas.

A lógica *fuzzy* é baseada na teoria dos conjuntos *fuzzy*. A teoria dos conjuntos *fuzzy* ajuda a lidar melhor com atributos qualitativos, representando uma ótima ferramenta para modelar termos e relações imprecisos comumente empregados por seres humanos em comunicação e compreensão.

Segundo Burrough e McDonnell (1998), conjunto *fuzzy* é uma metodologia de caracterização de classes que não possuem, por várias razões, limites rígidos ou estáticos. Tais conjuntos lidam com conceitos inexatos, sendo indicados para estudos que apresentam ambigüidade, abstração e ambivalência em modelos matemáticos ou conceituais de fenômenos.

A Figura 1 ilustra a diferença de fronteiras entre os conjuntos booleanos e conjuntos *fuzzy*.

Os membros *fuzzy* definidos pelos conjuntos *fuzzy*

são combinados segundo análises multicritérios, definidas através de uma seqüência lógica realizada pelos operadores *fuzzy*, entre os quais os mais utilizados são *fuzzy* mínimo, máximo, média, ponderado e gama.

As indecisões sobre qual tipo de operador utilizar na modelagem das informações segundo o método *fuzzy* sempre ocorrem, por isso uma alternativa para esse problema é a utilização do *fuzzy* ponderado, conhecido como técnica AHP (*Analytical Hierarchy Process*), proposto por Saaty (1980), o qual é considerado como uma das ferramentas mais promissoras de suporte à decisão, possibilitando estabelecer e organizar um modelo racional de integração de dados (MOREIRA, 2002).

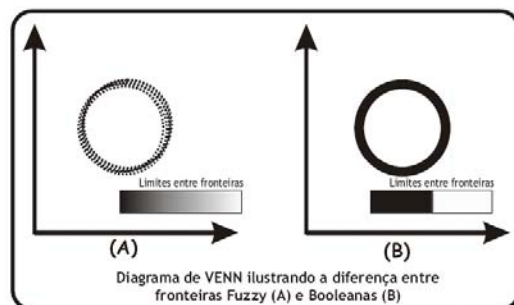
A utilização da lógica *fuzzy* na modelagem de dados espaciais foi usada por vários autores, como Moreira (2002), Silva (2005), Samizava *et al.* (2006) e De Paula *et al.* (2007).

Método de pesquisa

Área de estudo

A área escolhida para este 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 7° 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 m e 74 m (Figura 2). Limita-se ao norte com o município de Cabedelo; ao sul com o município do Conde e pelo rio Gramame; a leste com o Oceano Atlântico; e a oeste com os municípios de Bayeux pelo rio Sanhauá e Santa Rita pelos rios Mumbaba e Paraíba respectivamente. Tem uma área territorial aproximada de 208,25 km² e uma população de 674.762 habitantes (IBGE, 2007).



Fonte: Burroug e McDonnell (1998)

Figura 1 - Diagrama de VENN ilustrando as diferenças entre fronteiras booleanas e fronteiras fuzzy

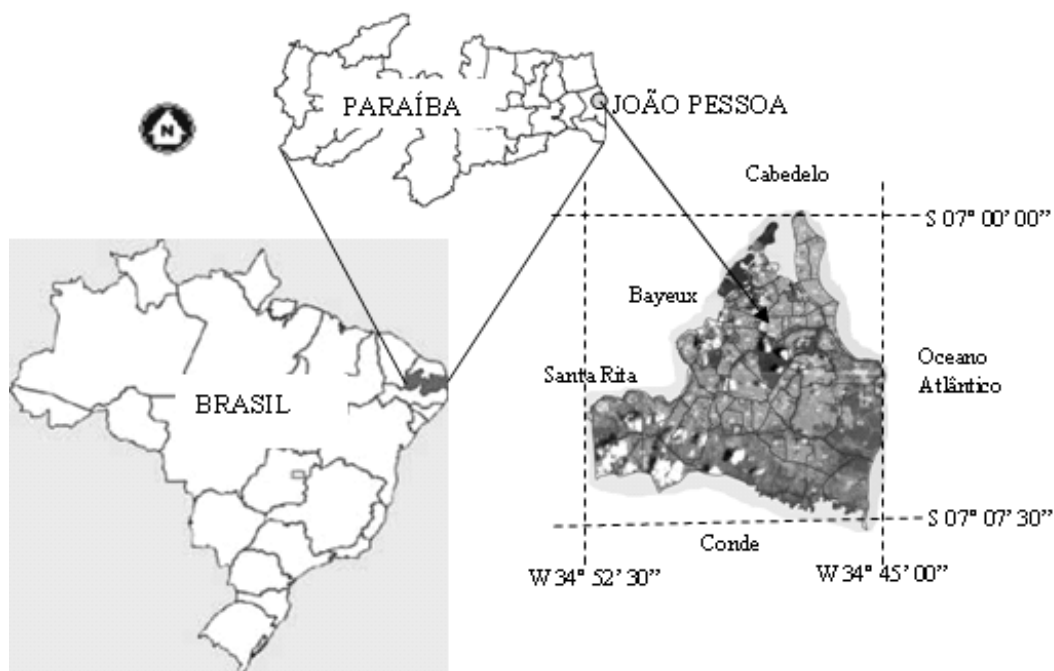


Figura 2 - Localização da área de estudo

Material cartográfico

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

- (a) mapas no modelo temático utilizados com os dados dos materiais inconsistentes, substrato rochoso, rios, áreas de proteção (rios, falésias e mangues) e áreas adensáveis e em processo de adensamento foram construídos por Martins (2006), escala 1:25.000;
- (b) mapa das zonas especiais de preservação foi digitalizado a partir do 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);
- (c) mapa das praças existentes e das áreas reservadas para futuras praças e parques, e mapa do perímetro urbano de João Pessoa, PB, foram fornecidos pela Seplan em formato digital;
- (d) mapa das profundidades do lençol freático foi produzido por Meneses (2007), na escala de 1:10.000;
- (e) mapa de açudes e lagoas foi digitalizado, usando como base a imagem do satélite Quickbird de outubro de 2005; e
- (f) mapa das curvas nível foi digitalizado usando como base as cartas topográficas da Secretaria da Agricultura e Abastecimento do Estado da Paraíba

(Fundap), na escala de 1:10.000, espaçadas de 5 m em 5 m.

Todas as informações referentes ao município de João Pessoa foram organizadas em modelos temáticos e numéricos, georreferenciadas com base no Datum Córrego Alegre, sistema de projeção UTM, com resolução de 5 m e escala de 1:25.000.

Imagem de satélite

As imagens utilizadas foram do satélite Quickbird, obtidas em outubro de 2005 e disponibilizadas pela Seplan da PMJP.

Sistemas computacionais

Na elaboração e análises dos mapas foi utilizado o sistema de informação geográfica SPRING versão 4.3.3 (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas), que foi escolhido pelo fato de ser gratuito, ter sido desenvolvido no Brasil pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e apresentar as características necessárias para alcançar os objetivos propostos neste trabalho. Para a realização das rotinas de programação, usou-se a linguagem LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico), desenvolvida para o ambiente SPRING.

Metodologia

A metodologia aplicada neste trabalho utilizou a lógica *fuzzy* e a lógica booleana como suporte na realização dos procedimentos de análise espacial,

visando à geração de um cenário com as áreas aptas para ocupação urbana do município de João Pessoa, e foi subdividida nas seguintes etapas:

- (a) definição dos critérios;
- (b) padronização dos critérios para o intervalo numérico de 0 a 1; e
- (c) cruzamento dos critérios.

Definição dos critérios

O mapeamento das áreas com aptidão física à ocupação urbana constituiu a caracterização da favorabilidade e restrições naturais da área através de uma base de dados, representada por critérios.

Conforme Weber e Hasenack (2003), um critério é uma base mensurável e avaliável para uma decisão, e pode constituir um fator ou uma restrição. Restrições são aqueles critérios que cerceiam ou limitam nossa análise a regiões geográficas específicas, ou seja, as restrições são áreas com limitações legais e/ou ambientais que não são aptas sob condição alguma para determinado uso, constituindo-se normalmente de mapas booleanos com classes do tipo apto/não apto. Fatores, por outro lado, são critérios que definem alguns graus de aptidão para a área considerada.

Os critérios considerados foram declividade, distância das zonas adensáveis e em processo de adensamento, substrato rochoso, materiais inconsolidados, profundidades do lençol freático e as restrições ambientais, conforme segue:

- (a) declividade: declividade é a inclinação maior ou menor do relevo em relação ao horizonte (GUERRA, 1978). A declividade condiciona de forma direta o escoamento superficial de uma área, que influenciará no desenvolvimento ou não de feições erosivas (SANTOS, 2003). Portanto, é uma característica fundamental a ser avaliada para a análise da capacidade de uso do solo em relação às variadas formas de ocupação;
- (b) distância das zonas adensáveis e em processo de adensamento: as zonas adensáveis e em processo de adensamento são áreas onde existe uma boa infra-estrutura como rede de esgoto, rede de abastecimento de água, rede elétrica, rede de drenagem pluvial, vias pavimentadas, equipamentos, etc., que são fatores fundamentais à ocupação urbana;
- (c) substrato rochoso: consiste de informações importantes na caracterização das potencialidades e restrições naturais da área ante as solicitações decorrentes da ocupação pelo homem (SILVA, 2005). As características relacionadas às unidades do substrato rochoso estão diretamente ligadas à

capacidade de suporte para a maioria das obras de engenharia;

- (d) materiais inconsolidados: os materiais inconsolidados compreendem as seqüências de camadas do perfil de alteração, sobrepostos ao substrato rochoso, que se desenvolvem in situ ou são acrescentados por materiais transportados (TUMA, 2004) e, segundo o mesmo autor, a maioria das obras de engenharia executadas tem como alicerce os materiais inconsolidados, portanto o conhecimento dos parâmetros geotécnicos das principais unidades presentes na área investigada torna-se de grande interesse;
- (e) profundidades do lençol freático: a profundidade do lençol freático é uma característica que deve ser observada com bastante cuidado devido aos efeitos de contaminação e degradação do recurso hídrico, além do risco de instabilidade nas edificações e obras de terraplenagem quando seu nível é raso ou aflorante (NASCIMENTO, 2008); e
- (f) Restrições ambientais: são as áreas restritivas pelas limitações legais e/ou ambientais à ocupação urbana.

No presente trabalho, foi considerado como critério restritivo somente as restrições ambientais; os demais foram considerados de limitação relativa (fatores). Entretanto, antes de utilizar os critérios para a análise pretendida, eles devem ser reescalados para um intervalo numérico comum, conhecido como padronização.

Padronização dos critérios

A necessidade da padronização dos critérios deve-se ao fato de cada mapa possuir uma unidade temática diferente. Assim, a padronização permite que as unidades dos mapas tenham uniformidade (DE PAULA; SOUZA, 2007).

A padronização dos planos de informação (PIs) de cada critério compreendeu a realização de diferentes etapas de processamento em ambiente computacional, que consistiram na transformação de informações básicas para o formato numérico, as quais foram feitas por meio de equações lineares, responsáveis pela modelagem da variação espacial das unidades, utilizando rotinas de processamento em linguagem de programação LEGAL no SPRING, permitindo que as informações fossem representadas de forma contínua.

Cada critério foi reescalado para o intervalo numérico entre 0 e 1. Cada unidade foi ponderada de acordo com sua importância na favorabilidade à ocupação urbana.

Cruzamento dos critérios

O processo de cruzamento das informações constituiu de quatro etapas:

- (a) cruzamento das informações sobre o meio físico levando em consideração os fatores e utilizando a técnica AHP (*Analytical Hierarchy Process*);
- (b) cruzamento das informações restritivas; e
- (c) geração do mapa de aptidão à ocupação por meio do cruzamento das informações resultantes dos fatores ponderados mais as informações das restrições ambientais através de operadores booleanos, obtendo como resultado o mapa com as áreas favoráveis à ocupação do município de João Pessoa.

A Figura 3 ilustra o fluxograma das etapas desenvolvidas para a obtenção das áreas favoráveis para ocupação urbana.

Resultados e discussões

Os dados básicos fundamentais caracterizaram a base de informações necessárias para a obtenção das potencialidades e restrições do meio físico do município de João Pessoa. Esses dados foram modelados a partir da execução de rotinas de programação LEGAL, as quais transformaram as informações temáticas em numéricas, ou seja, as informações foram espacializadas a partir de operações matemáticas, obedecendo às condições de favorabilidade e restrições à ocupação urbana.

As etapas para a obtenção dos resultados foram as seguintes:

- (a) modelagem dos dados de limitação relativa (fatores) no formato numérico *fuzzy* e aplicação da técnica AHP, resultando no mapa ponderado dos fatores;
- (b) modelagem dos dados restritivos no formato booleano, utilizando expressões algébricas booleanas condicionais, resultando no mapa das restrições; e
- (c) geração do mapa de aptidão física à ocupação urbana por meio do cruzamento das informações resultantes dos fatores ponderados mais as informações das restrições.

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,

dos materiais inconsolidados e das profundidades do lençol freático. Todos os mapas foram reescalados para o intervalo numérico de 0 a 1. Cada unidade foi ponderada de acordo com sua importância na favorabilidade à ocupação urbana.

Declividade

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

Para a declividade no intervalo maior que 5% e menor ou igual a 20%, foi elaborada a função linear decrescente fuzzy $f(S) = (-0,06666S) + 1,33333$, onde S é o valor da declividade, que permitiu a gradação das declividades com valores variando entre 1 e 0, ou seja, os valores partiram do valor máximo 1 quando o valor da declividade é 5% e foram decrescendo até chegar a zero quando o valor da declividade chega a valores maior que 20%.

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 distância a partir do polígono das áreas adensáveis e em processo de adensamento. As distâncias foram reescaladas para valores no intervalo de 0 a 1, onde 1 é o valor de maior aptidão, ou seja, as áreas adensáveis e em processo de adensamento. Esse valor vai decrescendo à medida que se distancia dessas áreas, chegando a 0 nas distâncias maiores que 3 km. A atribuição desse valor foi feita a partir da média das distâncias medidas da borda do polígono das áreas adensáveis até a borda do polígono do perímetro urbano definido pela prefeitura. As áreas com valores da distância acima do limite de 3 km foram consideradas inaptas, com valor igual a 0, devido ao aumento dos custos de implantação da infra-estrutura, custos ambientais (consumo de área natural) e também custos energéticos e ambientais, com a operação dos sistemas de transportes (que no caso de um modelo expansivo e desconcentrado incentiva muito o uso do automóvel). A Tabela 2 apresenta os pesos utilizados no mapa de distâncias das áreas adensáveis.

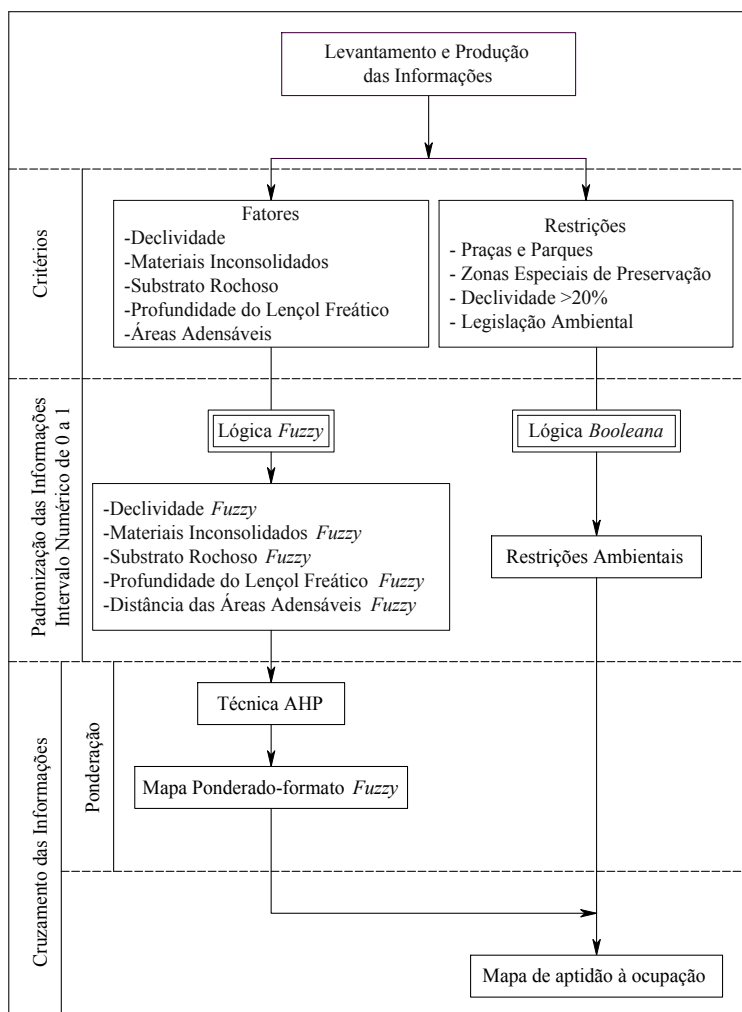


Figura 3 - Fluxograma das etapas desenvolvidas para a obtenção das áreas favoráveis à ocupação

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

*Variação contínua do peso.

Tabela 1 - Pesos utilizados por faixa de declividade

Áreas (Classes)	Peso (0 - 1)	Aptidão 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	De apta a inapta – distanciamento da infraestrutura
Distância > 3 km	0	Inapta	Custo alto para implantação da infra-estrutura, operação e circulação de transportes

*Variação contínua do peso.

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

Substrato Rochoso

A atribuição dos pesos de cada unidade do substrato rochoso foi feita segundo a menor ou a maior influência diante de sua importância de favorabilidade à ocupação urbana, mostrados na Tabela 3.

Materiais Inconsolidados

Na Tabela 4 são apresentados os pesos utilizados para os materiais inconsolidados.

Profundidades do Lençol Freático

Na Tabela 5 são apresentados os pesos utilizados por classes de profundidade do lençol freático.

Substrato Rochoso Unidades	Peso (0 – 1)	Aptidão à Ocupação	Comentários
Quaternário – Aluvião	0	Inapta	Localizados em áreas sujeitas a inundações
Quaternário – Cobertura Arenosa	0,4	Escassa	Localizados em áreas com declividade mais elevadas com vulnerabilidade à ocorrência de deslizamentos
Quaternário – Planície Costeira	0,6	Baixa	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

Tabela 3 - Pesos utilizados por unidade do substrato rochoso

Materiais Inconsolidados Unidades	Peso (0 – 1)	Aptidão 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	Baixa	Localizados na orla marítima, área de materiais arenosos retrabalhados compressíveis, e acarreta instabilidade nas fundações (TUMA, 2004)
Formação Gramame	0	Inapta	Localizados em áreas de afloramento de calcário. Pode ocorrer subsidências e colapsos no terreno
Latosolos e Podzólicos	1	Apta	Favoráveis para ocupação

Tabela 4 - Pesos utilizados por unidade dos materiais inconsolidados

Lençol Freático h Classes	Peso (0 – 1)	Aptidão 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	Baixa	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	Média	
Profundidade: $h \geq 15,2$ m	1	Apta	Favoráveis à ocupação

Tabela 5 - Pesos utilizados por classe das profundidades do lençol freático

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).

A matriz de comparação pareada com as informações dos mapas no formato numérico *fuzzy* do município de João Pessoa foi realizada por meio do módulo *Análise*, com a operação *Suporte a Decisão (AHP)* contida no SPRING. Os fatores foram comparados, dois a dois, utilizando-se como referência a escala de ponderação definida por Saaty (1980), que permite a graduação em nove níveis (igual, um pouco melhor, algo melhor, moderadamente melhor, melhor, bem melhor, muito melhor, criticamente melhor e absolutamente melhor), a partir dos quais os fatores foram criteriosamente julgados segundo a importância relativa entre eles diante da ocupação urbana. A Tabela 6 apresenta a matriz de comparação pareada entre os fatores.

Os pesos calculados para cada fator foram:

- (a) Declividade_Fuzzy = 0,301;
- (b) DistânciaÁreasAdensáveis_Fuzzy = 0,089;
- (c) MateriaisInconsolidados_Fuzzy = 0,265;
- (d) ProfundidadesLençolFreático_Fuzzy = 0,159; e
- (e) SubstratoRochoso_Fuzzy = 0,186.

Verificamos que os fatores declividade e materiais inconsolidados ficaram com os valores mais altos, totalizando um pouco mais da metade do valor da soma dos pesos. Isso se deve à importância desses fatores nos processos erosivos, nos deslizamentos, nas inundações e nas instabilidades das fundações.

Os fatores foram combinados mediante a soma ponderada, usando-se um programa LEGAL, obedecendo à expressão abaixo:

$$\text{Função Fuzzy} = (0,301 \times \text{Declividade_Fuzzy}) + (0,089 \times \text{DistânciaÁreasAdensáveis_Fuzzy}) + (0,265 \times \text{MateriaisInconsolidados_Fuzzy}) + (0,159 \times \text{ProfundidadesLençolFreático_Fuzzy}) + (0,186 \times \text{SubstratoRochoso_Fuzzy}) \quad (1)$$

Como resultado dessa operação, foram obtidas as informações na forma de superfície contínua das áreas com os graus de aptidão física do município, levando-se em consideração os fatores de limitação relativa (Figura 4).

	Declividade	Substrato Rochoso	Materiais Inconsolidados	Lençol Freático	Distância das Áreas Adensáveis
Declividade	1	2	1	2	3
Substrato Rochoso	1/2	1	1	1	2
Materiais Inconsolidados	1	1	1	2	3
Lençol Freático	1/2	1	1/2	1	2
Distância das Áreas Adensáveis	1/3	1/2	1/3	1/2	1

Tabela 6 - Matriz de comparação pareada entre fatores

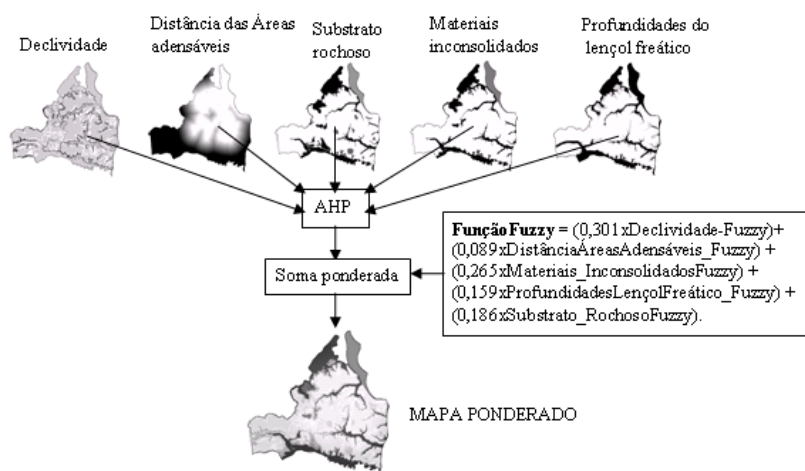


Figura 4 - Etapas do cruzamento dos fatores para a obtenção do mapa ponderado

Modelagem dos dados fundamentais usando operações booleanas

As áreas consideradas restritivas foram definidas de acordo com a legislação ambiental contida no plano diretor do município de João Pessoa, incluindo as áreas das praças existentes e as áreas reservadas para implantação de novas praças e parques. As informações contidas no mapa das restrições ambientais foram:

- (a) as zonas especiais de preservação contida no mapa de uso e ocupação do solo do município, que são porções do território, localizadas tanto na área urbana como na área rural, nas quais o interesse social de preservação, manutenção e recuperação impõe normas específicas e diferenciadas para o uso e ocupação do solo (PREFEITURA..., 1993). Todas as zonas especiais de preservação foram consideradas impróprias para ocupação;
- (b) as áreas das praças existentes e as áreas reservadas para futuras praças e parques;
- (c) terrenos com declividade maior que 20%; e
- (d) rios, falésias, mangues, açudes e lagoas com as seguintes faixas de proteção: faixa de 100 m das falésias; faixa de 30, 50 e 200 m dos rios; e faixa de 30 m dos açudes e lagoas.

O cruzamento dos mapas contendo essas informações foi feito através da sobreposição dos mapas usando operações booleanas, onde as áreas

restritivas foram consideradas 0, e as demais áreas, 1, resultando o mapa das restrições ambientais (Figura 5).

Mapa de aptidão física à ocupação urbana do município de João Pessoa

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 (Figura 6). Nesse 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 0 continuaram 0, e as demais áreas em que o valor era igual a 1, ficaram os valores da grade do mapa ponderado, realçando ou diminuindo a aptidão da área de forma contínua (Figura 7).

Para uma melhor apresentação e quantificação dos resultados foi feita uma transformação do modelo numérico para o modelo temático (Figura 8) 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. A Tabela 7 mostra os intervalos definidos para o fatiamento do mapa de aptidão física no formato numérico *fuzzy*.

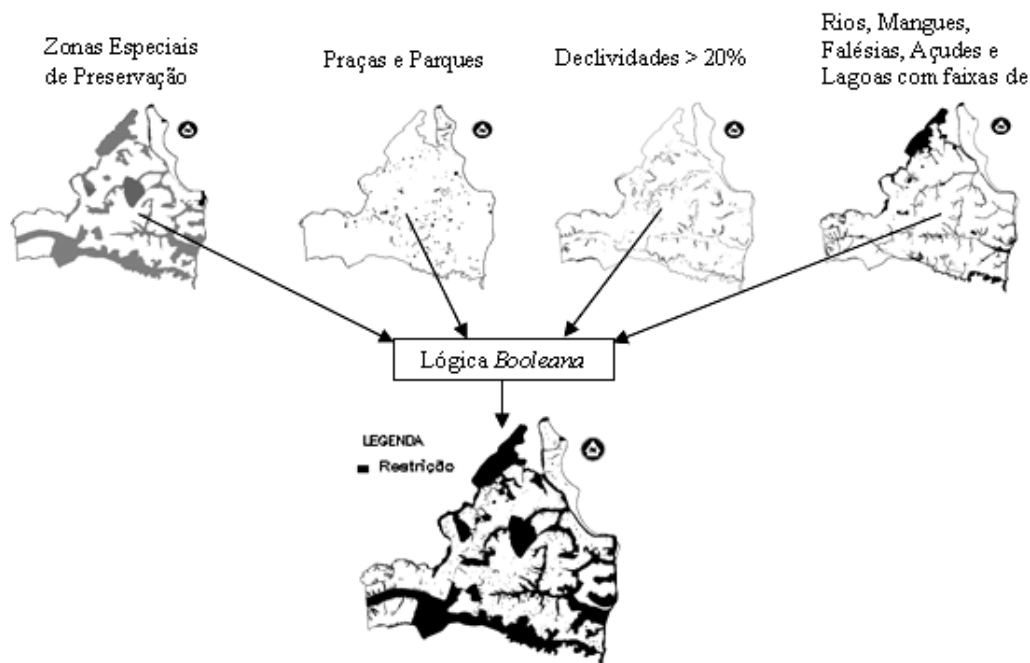


Figura 5 - Etapas do cruzamento das restrições para a obtenção do mapa das restrições



Figura 6 - Etapas para a obtenção do mapa com as áreas favoráveis à expansão urbana do município de João Pessoa

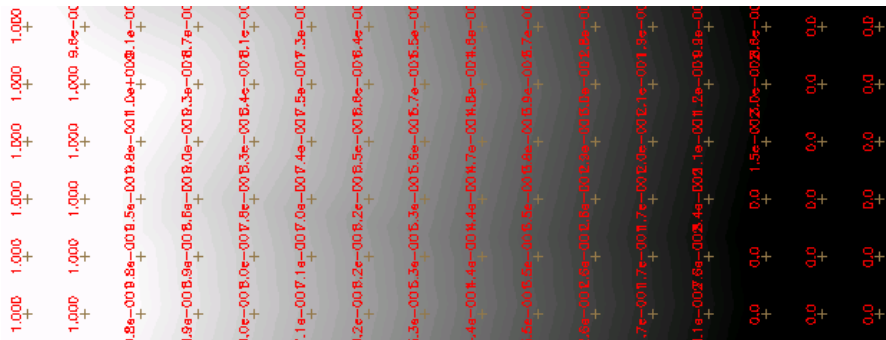


Figura 7 - Detalhe da zona da transição da classe apta (valor 1) para a inapta (valor 0)

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

Tabela 7 - Intervalos para o fatiamento

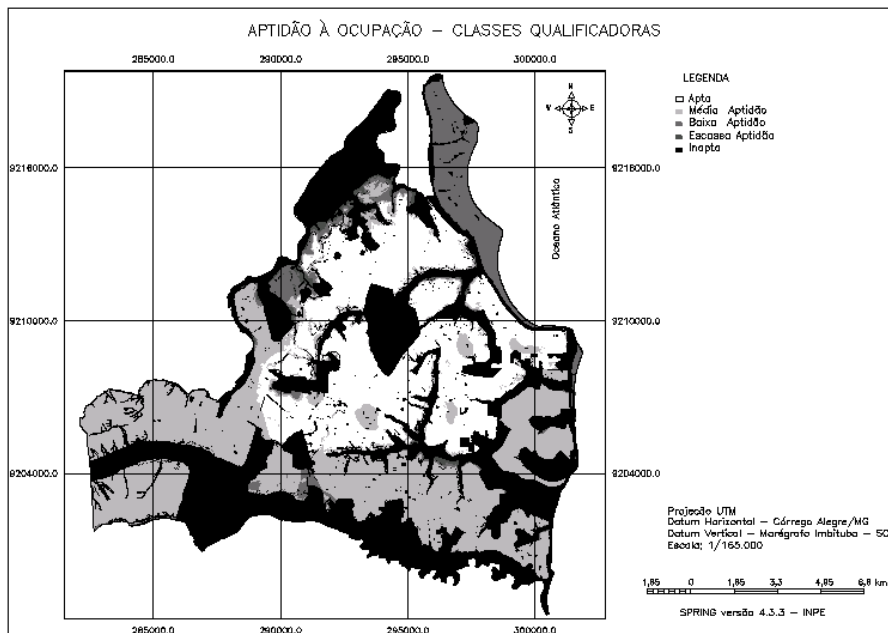


Figura 8 - Mapa de aptidão à ocupação com as classes qualificadoras do município de João Pessoa

A Tabela 8 mostra um resumo das áreas em quilômetros quadrados e porcentagem por classe qualificadora do município.

Os resultados mostraram que, de um total de 208,25 km² referentes à área do município, 50,09 km² (24,05%) foram classificados como “aptos” para ocupação urbana; 58,91 km² (28,29%) foram classificados como de “média aptidão”; 14,70 km² (7,06%) foram classificados como de “baixa aptidão”; 1,46 km² (0,70%) foram classificados como “escassa aptidão”; e 83,09 km² (39,90%) foram classificados como “inaptos”.

As áreas com a classe “apta” (área na cor branca na Figura 9) 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 têm ou estão bem próximas de uma boa infra-estrutura urbana e que têm 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 cinza-claro na Figura 10) foram as áreas em que pelo menos um critério não foi satisfeito ou em que mais de um critério foi parcialmente satisfeito. Essas áreas estão localizadas mais afastadas da infra-estrutura, mas possuem 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.

Classes Qualificadoras	Área (km ²)	Área (%)
Inapta	83,09	39,90
Escassa Aptidão	1,46	0,70
Baixa Aptidão	14,70	7,06
Média Aptidão	58,91	28,29
Apta	50,09	24,05
TOTAL	208,25	100

Tabela 8 - Resultado das classesificadoras do mapa de aptidão do município de João Pessoa, em km², e porcentagem

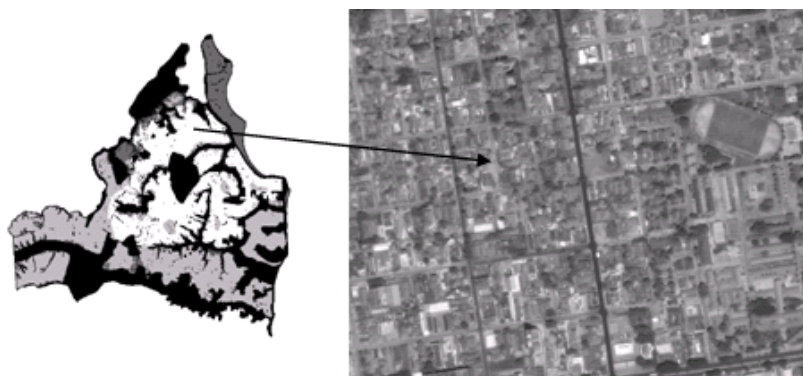


Figura 9 - Área urbanizada no Bairro dos Estados, classificada como “apta”



Figura 10 - Bairro Valentina, classificado como de “média aptidão”

As áreas classificadas como de “baixa aptidão” (área na cor cinza na Figura 11) 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 cinza escuro na Figura 12) 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 preta na Figura 13) foram as áreas inadequadas à ocupação urbana pelas limitações legais e naturais.

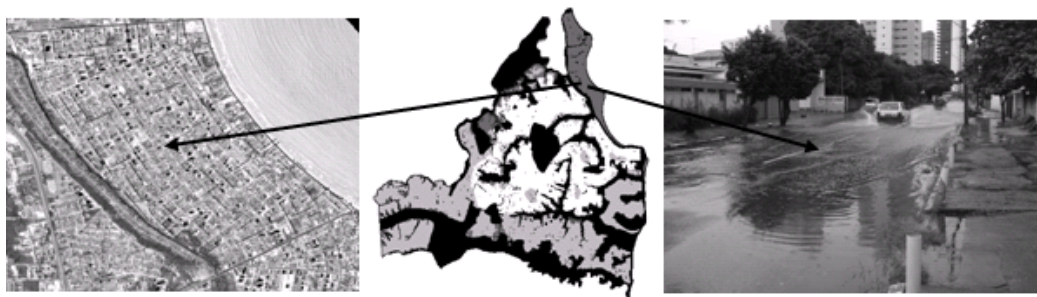


Figura 11 - Bairro Manaíra, classificado como de “baixa aptidão”

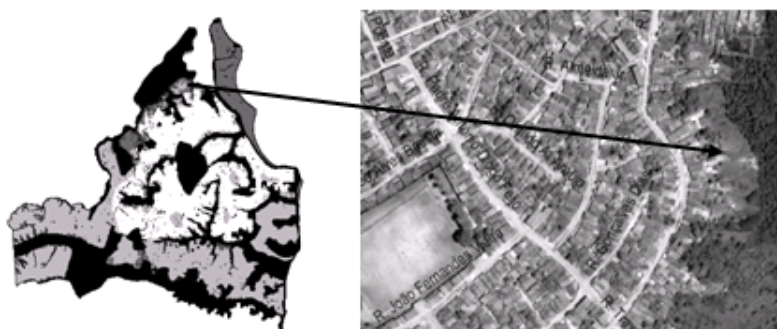


Figura 12 - Área no Bairro Alto do Céu, classificada como de “escassa aptidão”

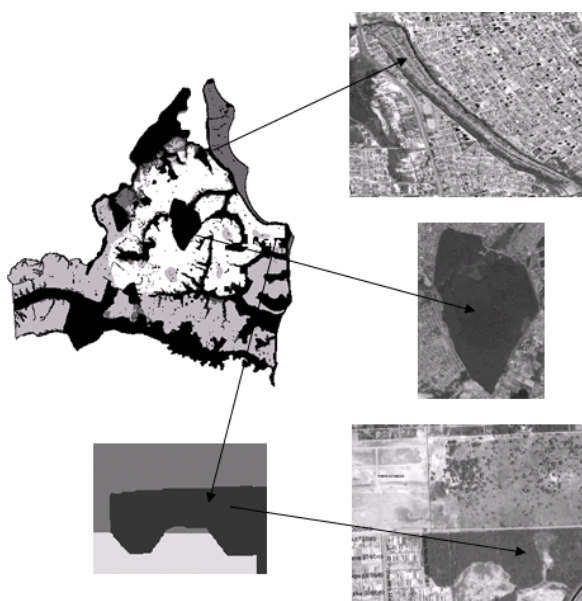


Figura 13 - Áreas de preservação, classificadas como “inaptas”

Considerações finais

Os resultados obtidos com a aplicação das técnicas de geoprocessamento indicaram as áreas com condições mais apropriadas para a 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. A lógica booleana possibilitou a modelagem das restrições que possuem variações abruptas, e a lógica *fuzzy*, dos fatores que variam continuamente no espaço.

As variações representadas pela superfície numérica contínua possibilitaram uma análise mais adequada, cujos graus de favorabilidade puderam ser mostrados, não só os de menor ou maior potencial, mas também uma variação gradativa dos graus de favorabilidade, desde inapto a apto.

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

O SIG-SPRING mostrou-se 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, vinculada ao 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 208,25 km² do município de João Pessoa, 83,09 km² (39,90%) foram considerados ruins para ocupação urbana, restando 125,16 km² (60,10%) de áreas que podem ser utilizadas para tal ocupação.

Finalmente, os resultados deste trabalho poderão contribuir para:

(a) a minimização da ocupação urbana de áreas inadequadas pelas limitações naturais e legais;

(b) a disponibilidade de um acervo de dados e de análises que poderão ser utilizados conforme diferentes objetivos. Novos cenários poderão ser identificados e incorporados à caracterização do espaço urbano; e

(c) a obtenção de uma base de dados na orientação de processos futuros de planejamento de uso e ocupação do solo do município.

Referências

BRITO, F.; HORTA, C. J. G.; AMARAL, E. F. de L. A Urbanização Recente no Brasil e as Aglomerações Metropolitanas. In: ABEP – GT MIGRAÇÃO. Associação Brasileira de Estudos Populacionais. **Anais...** 2001. Disponível em: <http://www.abep.nepo.unicamp.br/iussp2001/cd/GT_Migr_Brito_Horta_Amaral_Text.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2007.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of Geographic Information Systems**. Oxford: Oxford University Press, 1998. 333 p.

CÂMARA, G. *et al.* **Inferência Geográfica e Suporte à Decisão**. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <<http://64.233.169.104/search?q=cache:EQYHIDcZp8gJ:mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.19.15.04/doc/cap9-inferencia.pdf+Infer%C3%A0ncia+geogr%C3%A1fica+e+suporte+%C3%A0+decis%C3%A3o&hl=pt-BR&ct=clnk&cd=3&gl=br>>. Acesso em: 27 jun. 2008.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; MEDEIROS, J. S. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. [Livro on-line]. INPE, 2000. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap5-epistemologia.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2008.

CÂMARA, G.; QUEIROZ, G. R. **Fundamentos de Geoprocessamento**. 1998. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/livros.html>>. Acesso em: 15 ago. 2007.

DE PAULA, E. M. S.; SOUZA, M. J. N. Lógica Fuzzy como Técnica de Apoio ao Zoneamento Ambiental. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: IMPE, 2007. p. 2979-2984. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.06.11.57/doc/2979-2984.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2008.

EASTMAN, J. R. **IDRISI for Windows**. User Guide Version 2.0. Introduction. Worcester, MA: Clark University, 1998.

DA SILVA, J. X.; ZAIDAN, R. T. (org.). **Geoprocessamento e Análise Ambiental: aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2007. 368 p.

- GUERRA, A. J. T. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 5. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1978. Disponível em: <http://www.ambientebrasil.org.br/dicionario.asp?letra=D&id_word=227>. Acesso em: 25 out. de 2007.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Contagem da População 2007**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/default.shtm>>. Acesso em: 05 mar. 2008.
- LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: Ed. da Uniderp, 2006. 908 p.
- MARTINS, V. P. **Análise Ambiental e Legal do Processo de Ocupação e Estruturação Urbana da Cidade de João Pessoa/PB: numa visão sistêmica**. João Pessoa, 2006. 146 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Prodepa, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.
- MENESES, L. F. de. **Avaliação da Vulnerabilidade dos Aquíferos Livres no Município de João Pessoa/PB Através do Modelo DRASTIC**. João Pessoa, 2007. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Escola de Engenharia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007.
- MOREIRA, F. S. R. **Uso da Avaliação de Técnicas de Integração e Análise Espacial de Dados em Pesquisa Mineral Aplicadas ao Planalto de Poços de Caldas**. São José dos Campos, 2002. 164 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002.
- MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na Gestão e Planejamento Urbano**. Belo Horizonte: Ed. da autora, 2003. 294p.
- NASCIMENTO, V. M. L. C. **Cartografia das Áreas Favoráveis à Ocupação Urbana no Município de João Pessoa/PB Utilizando Sistema de Informações Geográficas**. João Pessoa, 2008. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Escola de Engenharia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE JOÃO PESSOA. **Secretaria do Planejamento**. Disponível em: <<http://www.joaopessoa.pb.gov.br/secretarias/seplan/>>. Acesso em: 20 jan. 2008.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE JOÃO PESSOA. 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 jul. 2008.
- ROCHA, M. M. **Modelagem de Dispersão de Vetores Biológicos com Emprego da Estatística Espacial**. 2004. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Cartográfica) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2004.
- RUHOFF, A. R. **Gerenciamento de Recursos Hídricos em Bacias Hidrográficas: modelagem ambiental com a simulação de cenários preservacionistas**. Santa Maria, 2004. 93 f. Dissertação (Mestrado em Geomática) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.
- SAATY, T. L. **The Analytic Hierachy Process**. New York: McGraw-Hill, 1980.
- SAMIZAVA, T. M. *et al.* SIG Aplicado à Avaliação de Áreas para Instalação de Aterro Sanitário no Município de Presidente Prudente/SP. In: PLURIS – CONGRESSO LUSO BRASILEIRO PARA PLANEJAMENTO, URBANO, REGIONAL, INTEGRADO, SUSTENTÁVEL, 2., Braga. 2006. **Anais...** Braga: UNESP, 2006. p. 1-12.
- SANTOS, C. A. G. *et al.* Application of an Optimization Technique to a Physically Based Erosion Model. **Hydrological Processes**, Bristol, Inglaterra, v. 17, n. 5, p. 989-1003, abr. 2003.
- SILVA, S. F. **Zoneamento Geoambiental com Auxílio de Lógica Fuzzy e Proposta de um Geoindicador para Caracterização do Meio Físico da Cacia do Rio do Peixe**. São Paulo, 2005. 2v. 441p. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005.
- TUMA, L. S. R. **Mapeamento Geotécnico da Grande João Pessoa/PB**. São Paulo, 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Mineral) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
- UNITED NATIONS. **World Urbanization Prospects: the 2003 revision**. Department of Economic and Social Affairs, U Nations - Population Division, New York, 2004. Disponível em: <<http://www.un.org/esa/population/unpop.htm>>. Acesso em: 9 mar. 2008.

WEBER, E. J.; HASENACK, H. O Uso do Geoprocessamento no Suporte a Projetos de Assentamentos Rurais: uma proposta metodológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS, 10., Porto Alegre, 2003. **Anais...** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. Disponível em: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/artigos/parcela.pdf>>. Acesso em: 03 fev. 2008.

ZUQUETTE, L. V. **Importância do Mapeamento Geotécnico no Uso e Ocupação do Meio Físico:** fundamentos e guia para elaboração. São Carlos, 1993. 368 f. Tese (Concurso livre-docência) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1993.