

Geotecnologias no suporte à análise e elaboração das leis de uso e ocupação do solo urbano do município de Manaus/Amazonas

Tahisa Neitzel Kuck¹
Edileuza de Melo Nogueira¹
Marcelo Parise¹

¹ Sistema de Proteção da Amazônia - Centro Regional de Manaus – SIPAM/CR-MN
Avenida do Turismo, 1350, Tarumã - 69041-010 - Manaus - AM, Brasil
{tahisa.kuck, edileuza.melo, marcelo.parise}@sipam.gov.br

Abstract. The accelerated process of urbanization is responsible for significant anthropogenic alterations of natural landscapes. To ensure that these alterations will not represent damages to urban population, the understanding and monitoring of these areas are fundamental. Especially in context of urban planning, understand the spatial dynamic and distribution of land cover and the natural support upon that cities occur and grows is essential for determine the densification parameters for new occupations. The objective of this research is to present some spatial analysis based on digital high-resolution images, Digital Terrain Model and its subproducts and vector data that could support political decision about urban planning, specifically about occupation parameters. Applying SVM on IKONOS-2 images, it was possible to analyze three classes of land cover in an intra-urban watershed located in Manaus, Amazonas, which represent three classes of terrain permeability: impervious, pervious and semipervious. Crossing permeability rates obtained by image classification with Urban Sector limits defined by urban legislation like an urban unit for planning, was possible to see that some parameters are inconsistent with actual reality. This same way, crossing Urban Sectors with terrain characteristics showed us that when this limits (Urban Sectors) was defined, these physics characteristics was not considered, since the limits include a high variance of values and the urban legislation sets the same land occupation parameter across all Sector localizations.

Palavras-chave: image processing, Geographic Information System, urban planning, processamento de imagens, Sistema de Informação Geográfica, planejamento urbano.

1. Introdução

O acelerado processo de urbanização e, em se tratando dos países ocidentais, a concentração majoritária da população nas áreas urbanas (United Nations, 2014), exige cada vez maior atenção e esforço do poder público no ordenamento dessas áreas. Sem o planejamento adequado, os impactos desses aglomerados humanos sobre o meio natural são grandes, e muitas vezes com graves consequências à população, já que parte desta acaba ocupando áreas suscetíveis a fenômenos naturais como inundação e movimentos de massa, especialmente em se tratando das ocupações subnormais.

O principal instrumento ordenador do espaço urbano nas cidades brasileiras é o Plano Diretor. Esta lei determina, dentre outros, os critérios de uso e ocupação do solo para cada unidade política definida pelo poder público. A cidade de Manaus, Amazonas, teve seu primeiro Plano Diretor aprovado no ano de 2002, quando a cidade possuía cerca de 1,5 milhões de habitantes. No ano de 2014, considerando as necessidades impostas pelo crescimento urbano – o número de habitantes então ultrapassa os 2 milhões segundo estimativas do IBGE (2014), e a determinação legal de revisão deste instrumento legal a cada 10 anos, tal plano foi revisado e aprovado (PMM, 2014), passando a vigorar novos parâmetros de uso e ocupação para os novos limites políticos, definidos então como Setores Urbanos.

Analisando brevemente tais Setores Urbanos, é possível perceber que sua delimitação está associada muito mais a um processo histórico de ocupação e de organização social do que a parâmetros físicos do terreno. Portanto, entendendo-se que para que sejam minimizados os impactos da ocupação urbana no meio natural evitando-se assim prejuízos tanto ao meio

natural quanto ao habitante urbano, é fundamental que as características do suporte natural sobre o qual a cidade cresce e se estabelece sejam consideradas. Uma das determinações do Estatuto das Cidades é que sejam considerados os limites das bacias hidrográficas como unidades de planejamento urbano, o que não é respeitado em se tratando do referido município.

As geotecnologias são instrumentos que desempenham um papel fundamental nos processos de elaboração das leis urbanísticas, especialmente porque possibilitam a espacialização de informações diversas sobre o território em sua configuração presente e permitem, através destas, inferir sobre cenários futuros. Em se tratando da necessidade de se considerar as características físicas do terreno para definição das leis de uso e ocupação do solo, essas ferramentas são úteis para o entendimento do espaço no plano bi e tridimensional.

As imagens de sensores remotos também desempenham tal papel. Com o advento das imagens de alta resolução espacial, é possível obter-se, em curto espaço de tempo, se em comparação com os métodos tradicionais deste tipo de levantamento – *in loco*, e com precisão, um mapa da cobertura atual e/ou pretérita do solo urbano.

O objetivo deste trabalho é mostrar algumas aplicações práticas de tais ferramentas em análises que são fundamentais no suporte à elaboração das leis de uso e ocupação do solo urbano, contrapondo decisões tomadas em relação a tais leis com a real situação da ocupação atual e com o suporte físico natural. Para tal, o município de Manaus foi utilizado como área piloto, já que o mesmo passou recentemente pelo processo de revisão do Plano Diretor, onde foram redefinidas tais leis e ainda os limites das unidades físicas que estruturam essas leis, chamadas de Setores Urbanos. Deste município, foi selecionado um recorte compreendido pela bacia hidrográfica do igarapé do Educandos, por este possuir ocupação heterogênea, com usos diversos e terreno com características também diversificadas.

As imagens do sensor IKONOS-2 deram suporte às análises de cobertura do solo, e para a extração de informações a mesma foi classificada através de algoritmos de Processamento Digital de Imagens implementados em softwares específicos.

2. Metodologia

Considerando os objetivos propostos, o fluxograma apresentado na Figura 1 contém as etapas metodológicas empregadas nesta pesquisa.

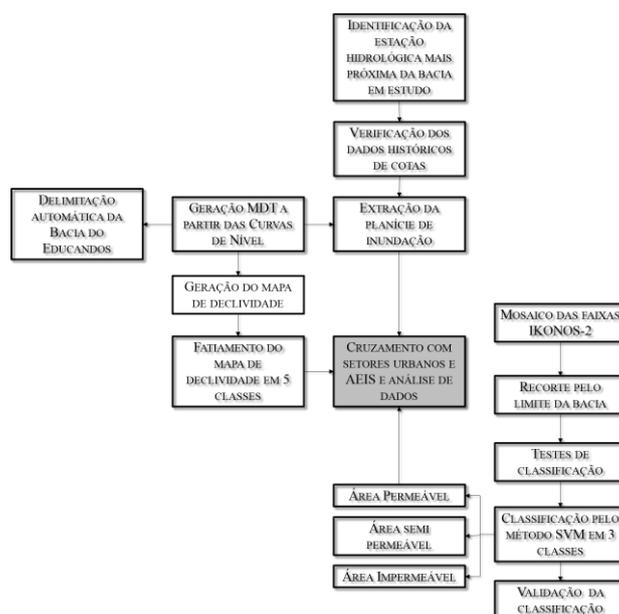


Figura 1. Fluxograma das etapas metodológicas.

2.1 Área de Estudo

A área de estudo (Figura 2) compreende a bacia hidrográfica do igarapé do Educandos, localizado na área urbana do município de Manaus, Amazonas.



Figura 2. Área de estudo com a coordenada de localização da Bacia do Educandos.

Manaus é a cidade mais populosa do Estado do Amazonas, com mais de 2 milhões de habitantes, segundo estimativas do IBGE (2014). O rápido crescimento populacional, que nos últimos 12 anos atingiu a margem de aproximadamente 34%, aliado à falta de políticas e ações efetivas de ordenamento territorial, produziu uma cidade com altos índices de ocupação informal, inclusive em áreas de suscetíveis a processos de movimento de massa ou alagamento em função de chuvas extremas.

A bacia hidrográfica do Educandos contempla uma grande diversidade de usos, que incluem residencial, serviços, institucional e industrial. Em consequência disso, a composição dos elementos que cobrem o solo e sua disposição no território também são diversos, indo desde unidade habitacionais unifamiliares adensadas até grandes indústrias dispostas de forma dispersa. Dentro dos limites da bacia, na porção mais próxima ao rio Negro, localizam-se alguns dos bairros mais antigos da cidade. Já na direção das nascentes, no sentido nordeste, e na zona industrial, a ocupação é recente.

Devido a um processo histórico de ocupação informal, muitos assentamentos subnormais encontram-se ao longo dos cursos dos igarapés componentes dessa bacia hidrográfica. Nos últimos anos, algumas ações no intuito de solucionar o passivo ambiental decorrente dessas ocupações têm substituído tais ocupações por programas sociais e ambientais que propõem solução ao déficit habitacional, sem considerar, todavia, algumas particularidades ambientais, como a proximidade aos cursos d'água, áreas que deveriam ser de proteção permanente com alta taxa de permeabilidade. Essas áreas e outras, próximas ao leito dos igarapés, foram, na última revisão do Plano Diretor, em 2014, incluídas no limite das áreas de Especial Interesse Social, ou seja, destinadas a esse tipo de intervenção.

2.2 Geração do Modelo Digital de Terreno e subprodutos

O Modelo Digital de Terreno (MDT) foi gerado a partir das curvas de nível provenientes do levantamento topográfico realizado pela Prefeitura de Manaus para elaboração do mapa cadastral, com equidistância de 5 metros. As curvas de nível, inicialmente no formato *dwg*, foram importadas para o software *ArcGis* e convertidas para o formato *shapefile*. Posteriormente, através da extensão 3D Analyst do mesmo software, tais curvas de nível foram convertidas para uma TIN (*Triangle Irregular Network*) e, em seguida, gerado um raster com tamanho de pixel de 5 metros, que representa o Modelo Digital de Terreno.

A partir do MDT, foi gerado o mapa de declividade em percentual, através da mesma extensão implementada no *ArcGis*. Geradas as declividades, as mesmas foram classificadas em 5 classes, de acordo com o proposto por Mascaró (1997), que define as classes de declividade de acordo com sua compatibilidade com a ocupação urbana: 2% ou menos (locais

que devem ser evitados pois terão dificuldades de drenagem); 2 – 7% (locais ideais para qualquer uso); 8 – 15% (locais que servem para ocupação mas com certas restrições; podem ser pensados para usos que não exijam construções, caso contrário, devem ser feitos cortes e aterros para dotá-los de patamares); 16 – 30% (locais que devem ser evitados; são necessárias obras especiais para sua utilização); mais de 30% (terrenos inadequados para construções e exigem obras de estabilização).

Também do MDT foram extraídas as áreas suscetíveis à inundação. Para tal, foi considerada a cota da maior cheia do rio mais próximo que contém uma estação hidrológica com uma série histórica de medições e mapeadas, no MDE, as áreas que estão abaixo dessa cota. Foi necessário realizar ajuste para igualar a cota proveniente da medição e as cotas do terreno, provenientes do MDE, uma vez que esta primeira possui uma diferença de +7 metros em relação ao terreno (CPRM, 2014).

A delimitação da bacia hidrográfica do Educandos também foi realizada a partir do MDT. Para isso, foram utilizadas as ferramentas implementadas no TerraHidro, um plugin do visualizador de dados geográficos TerraView para modelagem hidrológica (Rosim et al., 2003). A sequência de processos adotados para a extração da bacia foi a que segue: *Flow Extraction* -> *Contributing Area* -> *Drainage Extraction* -> *Segments* -> *Mini Basins*. O valor do parâmetro '*Threshold*' é o que define a densidade da drenagem extraída, que o fim vai definir o limite da bacia delimitada. Para definição deste valor, foram realizados diversos testes, comparando-se o resultado obtido em cada um destes com o MDE.

2.3 Classificação da cobertura da terra

Um dos objetivos das leis de uso e ocupação do solo urbano é, a partir da definição das taxas de permeabilidade, evitar ou minimizar os problemas relacionados à impermeabilização excessiva do solo. Na medida em que a população impermeabiliza o solo e acelera-se o escoamento da água através de condutos e canais ou superficialmente, a quantidade de água que chega ao mesmo tempo no sistema de drenagem aumenta, produzindo inundações mais frequentes do que as que existiam quando a superfície era permeável e o escoamento se dava pelo ravinamento natural (Tucci e Bertoni, 2003).

Sendo assim, é simples compreender a importância de se conhecer a cobertura do solo urbano em uma ocupação já consolidada, em conjunto com outras variáveis, no momento de realizar novas proposições relativas a essas taxas. Identificar aquelas regiões que ainda podem receber áreas impermeáveis, aquelas que já estão no limite de impermeabilização e as que devem sofrer intervenções inversas (para torná-las permeáveis) são algumas ações que dependem de tal conhecimento.

As imagens provenientes de sensores remotos aerotransportados ou orbitais são insumos importantes para este fim, pois possibilitam a extração de informações em um curto período de tempo e sobre grandes frações do território. Com o surgimento e constante aprimoramento dos sensores, o mapeamento de cobertura do solo, que antes era realizado *in loco*, tornou-se um processo mais fácil, rápido e preciso.

Para o mapeamento da cobertura do solo na bacia do Educandos, foram utilizadas imagens do sensor IKONOS-2 do ano de 2010, cedidas ao Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (CENSIPAM). Esse sensor captura imagens em 4 bandas multiespectrais, com resolução espacial de 4 metros, e 1 pancromática, com 1 metro de resolução, que permitem, quando fusionadas, uma escala de mapeamento de até 1:10.000.

Inicialmente, as bandas multiespectrais e pancromática foram fusionadas através da ferramenta *SPEAR Pan Sharpening* implementada no software ENVI 5.0. Apesar da recomendação de não utilização de dados fusionados para análises espectrais, no caso de uma classificação supervisionada em que as amostras de espectro são coletadas pelo analista sobre a própria imagem fusionada, compondo a biblioteca espectral, as assinaturas encontradas na

imagem corresponderão àquelas da biblioteca, possibilitando a classificação. Isso não seria possível caso a biblioteca fosse composta por assinaturas espectrais capturadas através de um espectrorradiômetro.

No passo seguinte, com base em interpretação visual e conhecimento de campo, amostras representativas de espectros das classes de cobertura do solo foram adquiridas sobre a imagem fusionada. Com o objetivo de se obter os três principais níveis de permeabilidade, alta, média e nula, classificou-se o solo urbano nas seguintes classes de cobertura: vegetação, representando a alta permeabilidade, solo exposto, representando a média, e edificações e pavimentações, representando permeabilidade nula.

Dentro de cada uma das classes, foi necessária coleta de espectros de sub classes: a vegetação é representada por vegetação rasteira, arbustiva e arbórea; solo exposto por diferentes composições, argiloso e arenoso; e por fim, as construções e pavimentações, por quatro tipos majoritários de materiais de cobertura, sendo zinco, fibrocimento, barro e concreto, e a pavimentação por asfalto e concreto. Para cada uma dessas subclasses foi coletado um conjunto de amostras, em função de suas particularidades espectrais. As amostras coletadas foram utilizadas para a classificação supervisionada da imagem IKONOS-2 fusionada.

Os classificadores supervisionados podem ser classificados como paramétricos e não-paramétricos. Os paramétricos exigem conhecimento prévio sobre a distribuição estatística dos dados, o que na prática é difícil de se obter (Petropoulos et al., 2012). Uma outra limitação de classificadores paramétricos como o de 'máxima verossimilhança' é que este assume a assinatura de cada classe como uma distribuição normal. Esta suposição é inválida quando se trata de classes que contém subclasses com diferentes informações espectrais (Kavzoglu e Colkesen, 2009), como é o caso aqui apresentado.

Considerando o desconhecimento dessa distribuição nas classes analisadas e ainda a diversidade espectral dentro de cada uma das classes, foi selecionada um método não paramétrico de classificação, denominado *Support Vector Machine*, implementado no software ENVI 5.0. SVM é um classificador supervisionado derivado a Teoria de Aprendizado Estatístico. Esta teoria estabelece condições matemáticas que auxiliam na escolha de um classificador particular a partir de um conjunto de dados de treinamento. Essas condições levam em conta o desempenho do classificador no conjunto de treinamento e a sua complexidade, com o objetivo de obter um bom desempenho também para novos dados do mesmo domínio.

O SVM tem por objetivo encontrar um hiperplano que separa as classes de maneira otimizada, utilizando para isso processos iterativos e exemplos de treinamentos. Esse hiperplano, conhecido como ótimo ou ideal, maximiza a distância entre as classes, sendo usado como fronteira de decisão (Kavzoglu e Colkesen, 2009). A partir do parâmetro de penalidade o usuário pode controlar o antagonismo entre rigor/permissividade do hiperplano e a aceitação/rejeição de erros contidos nas amostras.

O algoritmo implementado no ENVI 5.0 permite a utilização de funções Kernel para projetar os dados do espaço de entrada não linear para o espaço de alta dimensão, classificadas em lineares, polinomiais, sigmóides, função de base radial e gaussianas. Após testes empíricos optou-se pela Função de Base Radial. O algoritmo permite ainda a definição de um valor para o *Classification Probability Threshold* (CPT), o qual define a margem de confiabilidade requerida para que o classificador inclua determinado pixel em uma classe. Os pixels cujos valores das regras definidas são menores que o valor de restrição não são classificados (Sulsoft, 2009). Depois de testes, o valor definido foi de 0, fazendo com que todos os pixels fossem associados a alguma das classes.

Sobre o resultado da classificação foi selecionado aleatoriamente um conjunto de pixels para validação. Estes foram comparados com a imagem IKONOS-2 fusionada através de interpretação visual. Esse procedimento se deu devido à ausência de amostras coletadas em

campo. As amostras cuja identificação visual do alvo não foi possível foram eliminadas. Foi elaborada uma matriz de confusão e determinados o Índice de Exatidão Global e o *Kappa* (Congalton e Green, 1999).

2.4 Cruzamento de informações e análises

A Lei de Uso e Ocupação do Solo (Lei nº 1.838 de 16 de janeiro de 2014), umas das que compõem o Plano Diretor, define, dentre outros, a intensidade de ocupação para cada um dos Setores Urbanos, através da especificação de densidade, ocupação/verticalização, Coeficiente de Aproveitamento Máximo do Terreno e Gabarito Máximo. Também é definida uma taxa de permeabilidade mínima de 15% comum aos Setores. A taxa de ocupação, que é a relação entre as projeções máximas da construção, menos os beirais, e a área do terreno, constava na primeira versão do Plano Diretor e foi excluída na revisão de 2014. Nesta nova versão, a orientação é que se observem apenas os afastamentos laterais, frontais e de fundos.

As Áreas de Especial Interesse Social (AEIS), por sua vez, possuem legislação específica (D.O.M. Manaus - Lei nº 1.837 de 16 de janeiro de 2014), e portanto parâmetros diferenciados para parcelamento e uso e ocupação do solo urbano. O objetivo dessas áreas é assegurar moradia digna para a população de baixa renda, por intermédio de melhorias urbanísticas, recuperação ambiental e regularização fundiária de assentamentos precários e irregulares, bem como a provisão de novas habitações de interesse social, dotadas de boa oferta de serviços, equipamentos públicos e infraestrutura urbana. Em função dessa finalidade, os parâmetros são menos restritivos em relação a afastamentos (que garantem superfície permeável no terreno), suprimindo a necessidade de afastamento lateral, e taxa de permeabilidade, para que se permita atingir maior densidade ocupacional.

Obtidos o mapa de cobertura da terra, o MDT, o mapa de declividade e as áreas suscetíveis à inundação, procedeu-se com o cruzamento dessas informações com o arquivo vetorial dos limites dos Setores Urbanos e das Áreas de Especial Interesse Social definidos pelo Plano Diretor Urbano e Ambiental de Manaus do ano de 2014.

A partir de tal cruzamento, gerou-se uma planilha contendo a porcentagem ocupada por cada um dos tipos de cobertura do solo, a variação de declividades e a variação de cota altimétrica dentro de cada um dos Setores Urbanos. Em relação às AEIS, foram quantificadas as áreas que encontram-se acima da declividade adequada à ocupação e ainda as áreas suscetíveis à inundação.

3. Resultados e Discussão

A imagem IKONOS-2 classificada em 3 classes, sendo estas ‘permeável’, ‘impermeável’ e ‘semipermeável’, é apresentada na Figura 3, já recortada pelo limite da bacia hidrográfica do Educandos. A Tabela 1 mostra a matriz de confusão e o índice *Kappa* do resultado da classificação em relação ao conjunto de amostras coletado aleatoriamente para validação.

Os principais erros de classificação foram encontrados entre as classes ‘permeável’ e ‘impermeável’, que ocorreram em função da similaridade espectral entre as áreas sombreadas da vegetação e o asfalto, ambos com valores muito baixos de reflectância em todas as faixas espectrais, e entre as classes ‘semipermeável’ e ‘impermeável’, que se deu especialmente entre as áreas de solo exposto e as coberturas feitas de telhas de barro, em função da matéria prima das telhas ser o próprio barro. Mesmo considerando tais erros de comissão e omissão, os resultados obtidos possuem alta taxa de acerto e o índice *Kappa* pode ser considerado excelente.

Ainda na Figura 3 são apresentados o MDT e seus subprodutos, bem como as camadas vetoriais dos limites políticos dos Setores Urbanos e das AEIS, e a planície de inundação da bacia hidrográfica em estudo, gerados conforme metodologia apresentada.

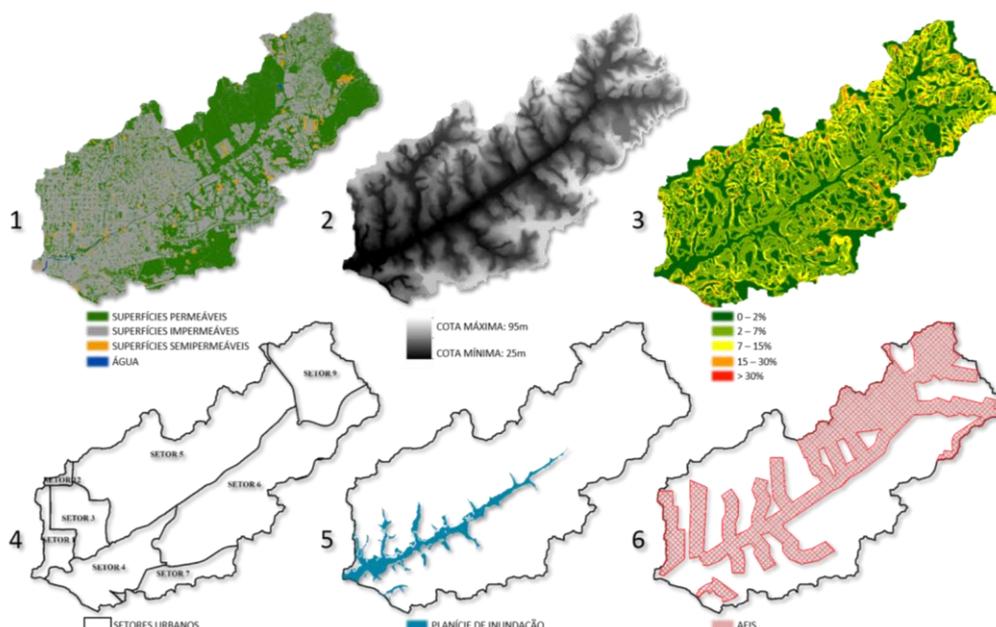


Figura 3. Camadas de informações analisadas, sendo: (1) resultado da classificação da imagem IKONOS-2; (2) MDT; (3) mapa de declividade do terreno; (4) limites dos Setores Urbanos; (5) limite da planície de inundação da bacia do Educandos; (6) limites das AEIS.

Tabela 1. Matriz de confusão, Índice de Exatidão Global e *Kappa* dos resultados da classificação.

		VERDADE DE CAMPO			TOTAL
		semipermeável	permeável	impermeável	
RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO	semipermeável	1109	0	12	1121
	permeável	0	1411	2	1413
	impermeável	92	26	1254	1372
	TOTAL	1201	1437	1268	3906

Índice de Exatidão Global = (3774/3906) 96.6%
Kappa = 0.95

Para os Setores compreendidos pela bacia do Educandos, são definidos os seguintes parâmetros relativos à densidade permitida: baixa (Setores 4 e 6); média (Setores 5, 7 e 9); e alta (Setores 3 e 12). Para o Setor 1 não é definida densidade. Porém, devido à sua dimensão (lembrando que os limites dos setores extrapolam o limite da bacia hidrográfica, tendo sido recortados para este trabalho), os Setores contemplam características físicas do terreno e consolidações de cobertura do solo diversas. Fica evidente que tal diversidade não foi considerada no momento da delimitação dos Setores ao se observar a extensão da faixa de valores de declividade e altimetria contemplada por cada Setor. O Setor 3, por exemplo, para o qual é permitida alta densidade, possui, em seus 297 hectares, altimetria variando entre 25 e 72 metros, com declividades que variam de 0 a 36%. Já o Setor 5, para o qual permite-se densidade média, possui variação altimétrica entre 25 e 90 metros e declividade entre 0 e 49%.

Se considerarmos as coberturas do solo já consolidadas em cada Setor, informação essa extraída a partir do cruzamento destes com o resultado da classificação da imagem IKONOS-2, para o Setor 3 deveriam ter sido estabelecidos parâmetros de uso no intuito de reduzir a superfície de área

impermeável, uma vez que este possui apenas 2,8% de área permeável, de uma exigência de, no mínimo, 15%. Em tais situações, novas ocupações não deveriam ser permitidas. Porém, conforme já citado, novas ocupações são permitidas e previstas altas densidades.

Em relação às áreas destinadas às implantações de interesse social, as AEIS, a falta de observância de elementos físicos do terreno fica ainda mais evidente. Considerando as altas densidades e baixas restrições em relação à impermeabilização previstas para as áreas destinadas a esse fim, a necessidade de excluir áreas de fragilidade ambiental deveria ser condição primordial para definição de sua localização. Porém, realizadas as análises, observou-se que de uma área de 1884 hectares ocupadas pelas AEIS na referida bacia, quase 20% possui declividade acima de 8% e cerca de 13% coincide com a planície de inundação.

4. Conclusões

Considerar o suporte físico natural e a ocupação humana consolidada é fundamental para um planejamento urbano que objetive minimizar os efeitos nocivos do processo de urbanização. Mapeando-se topografia e suas características morfométricas, áreas suscetíveis aos eventos naturais de alagamento, e unindo essa informação à realidade ocupacional do sítio, é possível determinar quais áreas necessitam de intervenção no sentido de desdensificar a ocupação e quais ainda suportam maiores densidades, gerando parâmetros para áreas mais específicas que o limite de um Setor Urbano.

Nessa tarefa, as geotecnologias são ferramentas indispensáveis, pois permitem a obtenção e o cruzamento de informações diversas sobre o sítio, de maneira precisa, ampla e rápida. Porém, conforme mostra a análise realizada, assim como Manaus, muitos municípios têm ignorado tais possibilidades no momento da definição de suas leis, o que acarreta em falhas cujas consequências tornam-se de difícil solução após o espaço estar consolidado a partir das leis vigentes.

Portanto, recomenda-se maior observância em relação às diretrizes de ocupação impostas pelo meio físico natural durante o processo de planejamento, em consonância com os padrões de cobertura já estabelecidos pelo processo histórico.

Referências Bibliográficas

Companhia de Pesquisas em Recursos Minerais (CPRM). **Boletim de monitoramento hidrológico nº 28 de 2014**. Disponível em: <www.cprm.gov.br/rehi/manaus/pdf/alerta28_14.pdf>. Acesso em 23.out.2014.

Congalton, R. G.; Green, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. Boca Raton: CRC/Lewis Press, 1999. 137 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Estimativas de População**. Disponível em: <www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa2014/estimativa_dou.shtm>. Acesso em: 22.out.2014.

Kavzoglu, T.; Colkesen, I. A Kernel Functions Analysis for Support Vector Machines for Land Cover Classification. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 11, n. 5, p. 352–359, 2009.

Mascaró, J.L. **Manual de loteamentos e urbanização**. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 1997. 236 p.

Petropoulos, G. P.; Arvanitis, K.; Sigrimis, N. Hyperion Hyperspectral Imagery Analysis Combined with Machine Learning Classifiers for Land Use/Cover Mapping. **Expert Systems with Applications**, v. 39, p. 3800-3809, 2012.

Prefeitura Municipal de Manaus (PMM). **Plano diretor urbano e ambiental do Município de Manaus**. Manaus: Poder Legislativo, 2014.

SULSOFT. **Envi: curso avançado (Manual do curso de ENVI 4.6)**. Porto Alegre: SULSOFT, 2009.

Tucci, C. E. M.; Bertoni, J. C. **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003. 150p.

United Nations. **World Population Prospects: the 2014 Revision [highlights]**. New York: United Nations, 2014. 32 p. (ST/ESA/SER.A/352).