

## **Identificação de áreas com propensão à edificação no bairro Belvedere em Belo Horizonte utilizando sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento.**

Eduardo Henrique Geraldi Araújo<sup>1</sup>  
Hermann Johann Heinrich Kux<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{araujo, hermann}@itid.inpe.br

### **Abstract.**

The urban environment is one of the most complex and dynamic places on Earth. Its' constant changes, due to the actions of Man demands new considerations when the characteristics of such changes are mapped. The objective of this paper is to indicate those places which are most adequate for the construction of buildings in the Belvedere District (Belo Horizonte, Minas Gerais State, Brazil), using IKONOS-2 high resolution satellite image. Using information from both topography and specific legislation, these data were input into a Geographic Information System (GIS), where two spatial analysis were done, using Boolean and AHP techniques. The results of this method as well as a discussion of new segmentation and classification technologies for urban environments are also presented.

**Palavras-chave:** remote sensing, high resolution images, urban analysis, sensoriamento remoto, imagens de alta resolução, análise urbana.

### **1. Introdução**

O avanço da urbanização no Brasil tem provocado, na maioria das médias e grandes cidades, sérios impactos no modo de vida da sua população. Uma série de problemas é decorrente de uma urbanização desordenada que dificulta o processo de observação, mapeamento e atuação do poder público naqueles locais de maior necessidade. O contínuo aumento da impermeabilização do solo, o acréscimo da densidade demográfica, a construção de edifícios em locais impróprios, dentre outros, são sempre acompanhados de sérias mudanças sociais e impactos negativos na infraestrutura urbana e no meio ambiente. Esta falta de conhecimento das transformações intra-urbanas se torna um cenário ideal para que, usando brechas na legislação, executem-se construções oportunistas que não visam nem o bem estar da sociedade, nem a preservação do meio ambiente e ainda comprometem a qualidade de vida da cidade. Entender o crescimento e as mudanças trazidas pela urbanização é essencial para aqueles que estudam as dinâmicas urbanas e para aqueles que precisam administrar os recursos e prover serviços nestes ambientes de mudanças rápidas (Yang, 2002).

Métodos que auxiliem na identificação de áreas com propensão à edificação podem ajudar os governos não só na determinação de áreas usadas de maneira imprópria como também no mapeamento de edificações irregulares. Além disso, pode-se identificar a tendência de crescimento das cidades, verificar se esta tendência está sendo implementada em locais próprios e principalmente se são locais ideais para um desenvolvimento sustentável. A identificação de locais mais suscetíveis à construção será muito útil na elaboração de planos diretores e regulamentações urbanas. Em muitos casos, áreas com condições favoráveis à edificação e previstas pelas prefeituras nem sempre se tornam ideais para se conseguir uma boa qualidade de vida, já que estão sujeitas à atuação de interesses econômicos, sociais e políticos.

O bairro Belvedere, em Belo Horizonte, é o exemplo de uma área com condições favoráveis ao crescimento, mas que vem sofrendo muito com sua expansão. Até meados da década de noventa, o bairro era estritamente composto por residências horizontais unifamiliares, o que agregava boas condições de vida aos moradores. Com a crescente procura

por moradias na região, que possui um dos climas mais agradáveis de Belo Horizonte, e pela pequena área disponível para a construção, houve em meados da década de noventa (às vésperas da alteração da Lei de Uso do Solo de Belo Horizonte, em 1996, que visava a preservação da região), uma enorme corrida por parte dos proprietários de terrenos deste bairro, para aprovação de projetos de construção na prefeitura (Revista Encontro – especial Mercado Imobiliário, 2004).

Este estudo constitui também um contato preliminar com os dados de satélites de alta resolução espacial em ambiente urbano. As grandes extensões a serem administradas e os infindáveis objetos que as compõem, tornam o diagnóstico urbano bastante complexo. O uso das técnicas de sensoriamento remoto auxilia no diagnóstico e contribui para a solução de problemas próprios das cidades. Com a evolução dos sistemas sensores orbitais, tornou-se possível obter uma resolução espacial de um metro ou menos (como, por exemplo, no caso dos sensores a bordo dos satélites IKONOS e Quickbird). Segundo Cowen et al (1995), a resolução espacial de um sensor deve ser a metade da largura do menor objeto de interesse.

Portanto imagens com este nível de definição podem detalhar com muito mais precisão os objetos contidos no ambiente urbano, embora haja um aumento na dificuldade de extração dos dados de resoluções espaciais tão finas. No ambiente urbano, o uso destas imagens deve seguir certas considerações específicas para o grau de detalhamento a que se destinam, para que haja uma otimização das informações disponíveis.

Desta forma, o objetivo deste trabalho é determinar quais áreas deste bairro têm maior propensão à edificação levando em conta três fatores essenciais para que isto ocorra: a Lei de Uso e Ocupação de Belo Horizonte, a declividade da região e a classificação do uso do solo. A obtenção destas áreas é possível através de análises espaciais com o uso de um sistema de informações geográficas (SIG) que permite a integração de dados em diferentes formatos. Este mapeamento indica uma tendência que pode ser avaliada pelos órgãos competentes.

## 2. Área de Estudo

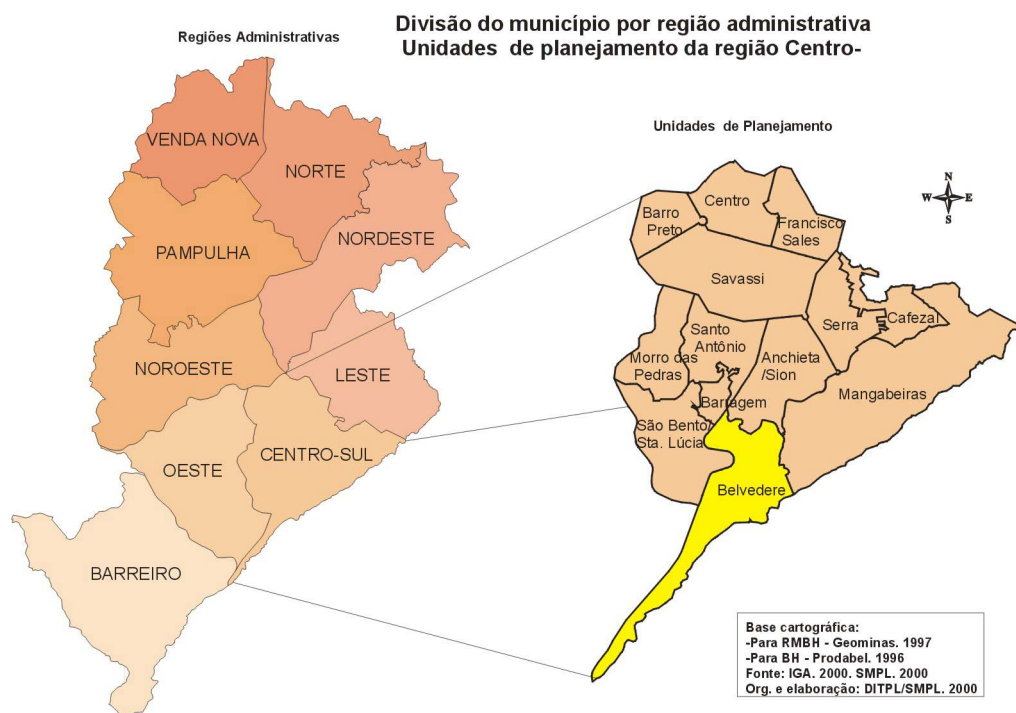
Localizado na regional centro sul de Belo Horizonte (**Figura 1**) o Belvedere é atualmente o bairro com o preço do metro quadrado mais caro de Belo Horizonte (Câmara Mercado Imobiliário, 2004): o m<sup>2</sup> do lote vago vale em média quatrocentos e cinquenta reais e o m<sup>2</sup> construído chega a mil e quinhentos reais para empreendimentos comerciais, três mil reais para apartamentos e três mil e quinhentos reais para casas (Câmara Mercado Imobiliário, 2004). Estes valores foram alcançados porque o local é considerado como o de melhor qualidade de vida da cidade. Isto fez com que se elevasse a procura por moradias e permitiu que o número de moradores passasse de 4.733 em 2000 (Censo IBGE, 2000) para cerca de 7.500 em 2004 (AMBB – Associação dos Moradores do Bairro Belvedere).

Este aumento de densidade demográfica provocou uma piora no sistema viário da região, que possui também uma via de ligação regional (a principal via de acesso à cidade de Nova Lima), a diminuição da área verde do bairro e ainda provocou uma alteração na paisagem urbana com a construção de altos edifícios, tampando parte da Serra do Curral, o cartão postal da cidade.

A aprovação, para a edificação, de prédios residenciais multifamiliares verticais, deixou a região heterogênea e descaracterizada. O local ficou então segmentado com duas áreas bem definidas: a primeira já consolidada, exclusivamente residencial, unifamiliar e horizontal e a segunda mais recente com edificações verticais comerciais e multifamiliares. A parte mais recente do bairro apresenta uma grande tendência de crescimento devido ao alto valor comercial, embora tenha trazido alguns problemas para o local, principalmente no que diz respeito ao trânsito e à paisagem.

Conforme a Lei de Uso e Ocupação de Belo Horizonte, o Belvedere é um bairro dividido em cinco zonas e duas ADEs (Áreas de Diretrizes Especiais) onde se busca a preservação ambiental, paisagística e o controle demográfico, mas o que se vê é um crescente aumento populacional associado a uma descaracterização da área urbanística e paisagística.

Desta maneira, torna-se pertinente um estudo que visa indicar a tendência de crescimento desta região para que se possa agir com consciência e planejamento, unindo o crescimento natural das cidades e a qualidade de vida almejada por todos.



**Figura 1** - localização do bairro na cidade

### 3. Materiais e Métodos

Os fatores que influenciam na ocupação de determinada área são vários: a legislação urbana municipal, a declividade, o valor comercial do lote, facilidades de acesso, serviço ou até mesmo o senso comum em considerar aquela região a mais adequada para se viver. O bairro Belvedere possui vários destes fatores, principalmente, pela sua rápida alteração espacial, demográfica e comercial, e por isto foi escolhido para este estudo. Embora tenha todas as condições necessárias para um crescimento planejado e adequado, este bairro mostrou-se sem condições de abrigar toda a população com intenção de morar no mesmo.

Após a escolha da área, foi feita uma análise sobre como mapear os lotes vagos com maior propensão à edificação, utilizando métodos de inferência espacial. Optou-se pela utilização de três variáveis urbanas: o uso do solo, a legislação e a declividade. A importância destas variáveis para a caracterização de uma região e a maior facilidade de obtenção dos dados, devido às recentes mudanças no uso do solo e na legislação, foram decisivas para a realização deste trabalho. A partir desta decisão, iniciou-se a coleta das informações para a criação do banco de dados.

O mapeamento do uso do solo foi feito a partir da interpretação visual de uma imagem de satélite com alta resolução espacial (IKONOS, resolução de 1m x 1m, UTM Córrego Alegre – fonte: Intersat) de outubro de 2001. Para se chegar às informações de uso do solo, definiram-se inicialmente as classes a serem mapeadas. Para tanto, partiu-se da discriminação da região

em áreas ocupadas e não ocupadas. Como “áreas ocupadas”, se considerou todas as áreas ocupadas ou úteis como por exemplo, ruas e avenidas, casas, prédios, shopping, praças. Para as áreas vazias, houve uma subdivisão entre lugares com vegetação e com o solo exposto. Esta subdivisão se deu pelo fato de que o exposto indica uma prévia preparação do terreno para edificação (ex: terraplanagem) e mesmo se não for este o caso, um lote com vegetação implica em maiores cuidados e restrições na aprovação do projeto pela prefeitura deixando a área com menor propensão à construção (pelo menos demonstra uma não intenção imediata à edificação). As classes de uso do solo ficaram, portanto, da seguinte forma: Vegetação (áreas vazias com vegetação), Solo exposto (áreas vazias com o solo exposto) e Ocupada (área ocupada/útil).

Neste estudo foram utilizados como parâmetros a Lei de Uso e Ocupação do Solo de Belo Horizonte de 1996 (Lei 7166) e 2000 (Lei 8137) e o Mapa Cadastral do bairro fornecido pela Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte (PRODABEL). Já georreferenciado em UTM SAD 69 (base cartográfica – agosto/89), o cadastro foi então utilizado como base para a elaboração de um mapa temático com classes que serviram posteriormente como critério para as inferências espaciais. As classes do mapa temático criado coincidem com o zoneamento disposto na lei de uso e ocupação do solo, a saber: ZP1 (zona de proteção um), ZP2 (zona de proteção dois), ZP3 (zona de proteção três), ZPAM (zona de proteção ambiental) e ZE (zona de equipamento).

A declividade foi a terceira variável considerada e foi obtida a partir de isolinhas fornecidas também pela PRODABEL e georreferenciadas conforme o cadastro urbano (UTM SAD 69). As isolinhas continham cotas em “z” permitindo assim a geração de grades numéricas e a partir destas, do Mapa de Declividade. Para se usar o Mapa de Declividade foi proposto um fatiamento dos dados gerados no SIG, delimitado segundo conceitos subjetivos de conhecimento da área e pela Lei Federal 6766 de 1979 que dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras providências. A partir destas informações, foi feita a divisão das classes: 0 a 15% (permitido e com maior facilidade para construção), 15% a 30% (permitido), 30% a 47% (parcial, mediante aprovação por órgãos competentes) e  $\geq 47\%$  (proibido).

Após a coleta dos dados, foram realizadas ações para modelar o banco de dados em ambiente computacional. O SPRING 4.0, software desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), foi o programa utilizado para reunir todos os dados de entrada (isolinhas, cadastro e imagem), gerar os mapas temáticos e numéricos utilizados nas análises e produzir as informações finais através das inferências espaciais Booleana e AHP.

Os dados adquiridos foram inseridos no SPRING 4.0, onde sofreram alterações para gerar as informações necessárias à análise. A partir das informações obtidas pela imagem, delimitou-se a área a ser trabalhada, bem como a projeção e as coordenadas geográficas do projeto. Além disto, a imagem foi utilizada para a obtenção do mapa temático do uso do solo através da classificação visual da cena. Tentou-se realizar a classificação automática a partir da segmentação pelos métodos de crescimento de regiões e detecção de bacias, mas não se obteve o resultado esperado e por isso a classificação visual se tornou a mais indicada.

O mapa com as isolinhas foi responsável pela geração da grade triangular a partir da qual foi gerada a grade retangular e posteriormente a declividade e o mapa temático da declividade.

O cadastro urbano foi necessário para se conseguir os dados na elaboração do mapa temático da legislação através da edição vetorial dos dados.

Após a geração dos mapas temáticos de declividade e do uso do solo e considerando a legislação, foi feita a integração dos dados de duas formas, a saber: 1ª) utilizando-se da linguagem LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) para criar um programa com lógica booleana e 2ª) fazendo-se a análise AHP (Processo Analítico

Hierárquico – suporte à decisão) que gerou um modelo numérico de terreno (MNT) com valores ponderados, posteriormente fatiado. Ambas as análises tiveram a mesma intenção de gerar um mapa temático de áreas com maior propensão à edificação no bairro e ainda possibilitar uma comparação entre as duas técnicas.

#### 4. Resultados e Discussões

Antes da apresentação dos resultados é pertinente considerar uma avaliação sobre o método de utilização da imagem e o processo de classificação do uso do solo. Vários estudos sobre a utilização de imagens orbitais com alta resolução para uso urbano têm sido feitos (Thomas et al., 2003) dividindo-se em dois grupos quanto ao processo de obtenção de informações destas imagens: o primeiro grupo utiliza técnicas de foto-interpretação visual (Florenzano, 2002) e o segundo emprega métodos de classificação automática (Pinho, 2004). A interpretação visual da imagem se baseia nos elementos de interpretação que são: cor/tonalidade, forma, tamanho, padrão, textura, contexto e convergência de evidências. Na classificação automática destas imagens, são considerados, dentre outros também os dados sobre o comportamento espectral dos alvos.

Nas imagens de sensores orbitais como Ikonos e Quickbird, a combinação da alta resolução espacial e radiométrica permite a detecção dos elementos que compõem o espaço intra-urbano e, por conseguinte, apresentam grande aplicabilidade para mapeamentos de cobertura e uso do solo intra-urbano com o auxílio de classificadores automáticos. No entanto, a aplicação de técnicas de classificação automática nas imagens destes sensores ainda apresenta dificuldades a serem superadas como um aumento no ruído e na variabilidade espectral intra- e inter- classes (Pinho, 2004).

No passado, classificações automáticas baseavam seus resultados apenas na cor e tom de cinza de cada pixel, negligenciando, importantes características como, textura, forma, localização e contexto (Sharma e Sarkar, 1998). Com o avanço tecnológico, um conjunto de esforços está sendo direcionado para obter melhores resultados na classificação de uma cena urbana.

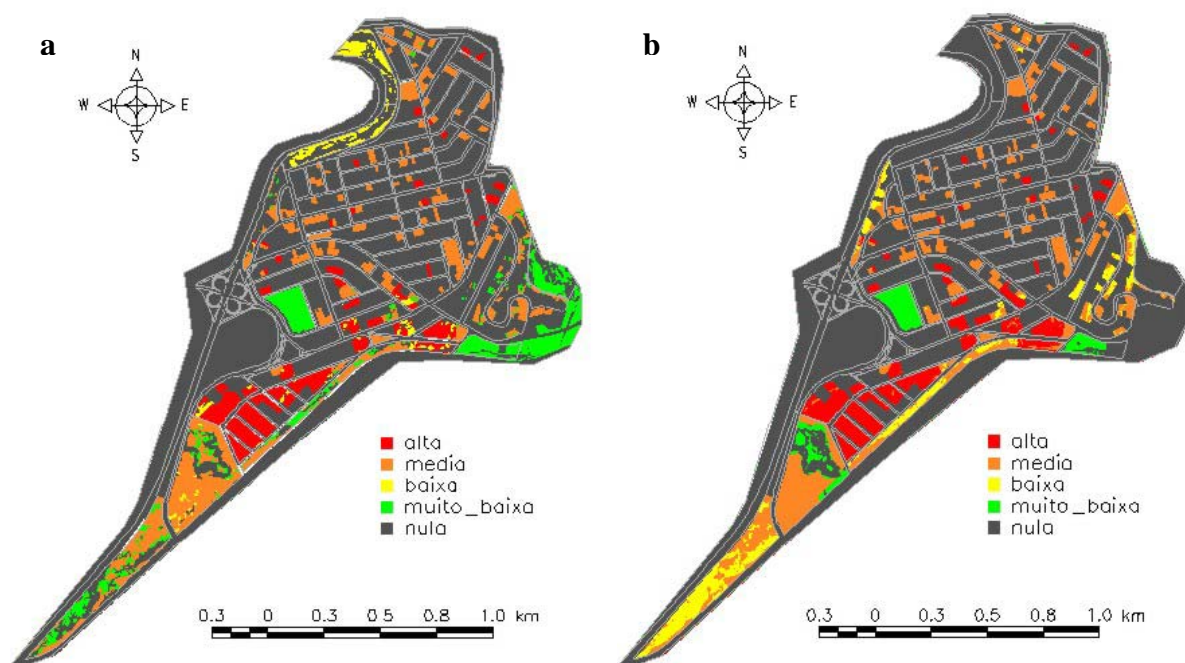
Técnicas de contexto, que utilizam a informação de pixels vizinhos assim como do pixel individualmente, têm se mostrado eficientes quando comparadas a técnicas anteriores utilizadas para imagens com média resolução espacial. As novas técnicas de contexto assumem que a resposta espectral e a classe de pixels vizinhos são altamente relacionadas. O software *eCognition* (Definiens, 2003), por exemplo, usa um algoritmo de segmentação que cria segmentos de imagens baseados em quatro critérios: escala, cor, suavidade e grau de compactação..

Apesar da necessidade de uma metodologia para a segmentação e classificação de maneira automática, optou-se neste trabalho pelo uso da classificação visual, visto que as classes escolhidas são de fácil percepção e mapeamento e pela dificuldade na obtenção do resultado desejado de forma automática.

Após o processamento e análises foram obtidos dois mapas de propensão à edificação: um pela técnica Booleana e outro pela AHP. O produto da inferência Booleana (**Figura 2**) se mostra mais heterogêneo nas áreas onde a declividade é maior. Isto se deve ao fato de que o peso de cada uma das três informações consideradas é o mesmo e a declividade é a que mais varia entre elas. Em locais com grande declividade, a mudança da faixa de classificação acontece com maior frequência, passando da faixa “30% a 47%” para “>=47%” várias vezes numa pequena porção de terreno criando área recortadas como as observadas no sul, norte e leste do bairro em estudo.

O resultado da análise AHP (**Figura 2**) se apresenta um pouco mais homogêneo nestas áreas, principalmente porque foi gerado a partir do fatiamento de um mapa numérico. As

variações das classes que ocorriam de forma mais suave foram agrupadas durante o processo de fatiamento, deixando a AHP mais uniforme que a booleana. Além disso, o peso dado a cada categoria determina a importância de cada uma no resultado final e neste caso, o peso da declividade foi menor que os demais. Esta decisão foi tomada porque foi observado que grande parte das áreas com grande declividade já se encontravam em áreas de maiores restrições à edificação.



**Figura 2** - mapas temáticos de propensão à edificação obtidos por: (a) Análise Booleana e (b) por processo analítico hierárquico.

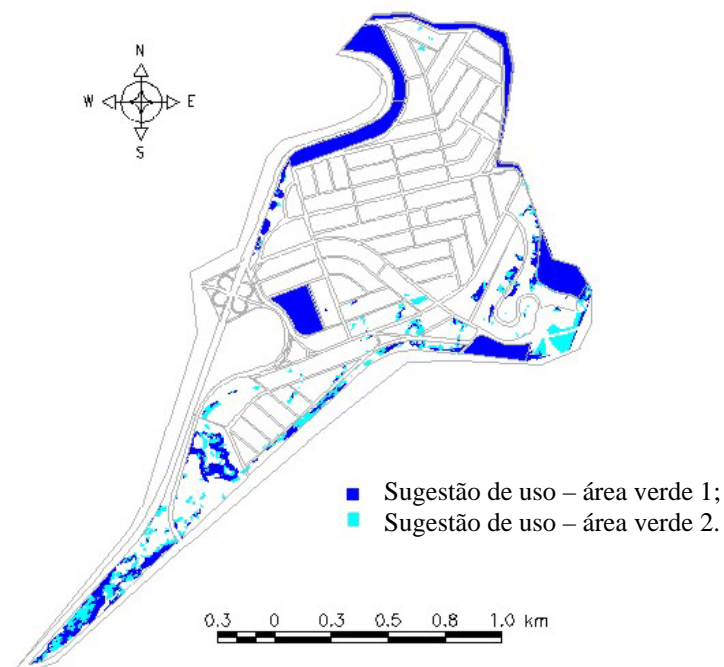
Vale dizer que a principal diferença entre os dois produtos é a atribuição dos pesos às categorias na AHP e não na Booleana. Mas, isto implica numa grande responsabilidade na determinação dos critérios a serem usados e no conhecimento do objeto de estudo. Na lógica booleana, a dificuldade maior está na ordenação de todas as combinações possíveis das classes consideradas e então classificá-las conforme pretendido. Se forem muitas as variáveis, fica difícil adequar todas estas combinações em poucas classes e assim pode haver erros de julgamento, simplificação ou desconsideração de fatores importantes para a análise.

Sobre a AHP, pode-se dizer que a atribuição de pesos às categorias e posteriormente às classes implica num resultado mais próximo do desejado, embora seja necessário conhecer a área de estudo e os fatores considerados para estas atribuições. No caso proposto, o maior problema reside na elaboração das faixas do fatiamento, pois, todo o processo anterior pode se perder devido a uma delimitação equivocada. De acordo com os limites impostos pode-se chegar a resultados muito diferentes e até mesmo contraditórios.

A principal observação com relação aos resultados obtidos é que as áreas com maior propensão à construção de edifícios no bairro foram as mesmas para ambas as análises o que demonstra uma forte tendência de crescimento daquela região. Isto se confirma com a observação do local, onde houve um forte incremento do número de edificações justamente nas áreas previstas. Em todo o bairro houve construções, mas nas áreas com maior propensão estas construções se deram em maior número.

Cabe ainda salientar a necessidade de se desenvolver políticas de preservação e incremento de áreas verdes que contribuem consideravelmente para uma boa qualidade de

vida no espaço urbano. Com este objetivo foi gerado, a partir dos dados coletados, um mapa que sugere áreas verdes a serem preservadas ou criadas. Estes são locais vagos que, em sua maioria, possuem alta declividade ou pertencem a zonas de preservação ambiental.



**Figura 3** – Sugestão de áreas verdes.

Comparando-se a **figura 2** com a **figura 3**, observa-se que existe uma contradição entre alguns pontos que possuem alta propensão à edificação e que também foram sugeridos como áreas verdes. Este é o tipo de análise a ser feita e demonstra que mesmo em lugares com condições favoráveis à construção pode haver uma intervenção pública afim de se gerar um ambiente mais saudável.

## 5. Conclusão

O presente trabalho teve como intuito determinar áreas com maior propensão à edificação no bairro Belvedere em Belo Horizonte, Minas Gerais. Para tanto, foi feito um estudo sobre quais fatores influenciam mais na construção civil do bairro. Os elementos considerados foram a declividade, que além de acarretar um aumento no custo da obra, determina algumas restrições às edificações, de acordo com uma legislação específica, que impõe parâmetros urbanísticos de uso e ocupação e uso do solo que demonstra, na realidade, como o local vem sendo utilizado pela população e pelo governo.

A alta procura de moradias na região associada ao preço do m<sup>2</sup> mais caro da cidade, dá ao bairro, características únicas para um estudo desta natureza. Recentemente, o bairro sofreu algumas alterações na paisagem, na densidade demográfica e no trânsito justamente pelo incremento da edificação verticalizada multifamiliar. Um contraste entre a parte já consolidada, de residências unifamiliares, e a região mais recente está ocorrendo no bairro, exigindo ações do poder público no sentido de controlar o crescimento desta área, que se situa no limite do município de Belo Horizonte.

Este estudo demonstra que podem ser mapeadas áreas com tendências de crescimento e auxiliar na regulamentação urbana das cidades, usando dados de sistemas sensores de alta resolução. É possível, com esta metodologia, localizar construções edificadas em locais impróprios e indicar os melhores caminhos para o crescimento urbano.

A utilização do geoprocessamento, através de técnicas de SIG, permite a integração de dados em diferentes formatos e a construção de análises espaciais de maneira mais eficaz e precisa. É necessária uma análise das novas técnicas para a extração mais eficiente, no que se refere ao custo/benefício, de informações de imagens orbitais de alta resolução espacial.

Os resultados obtidos estão de acordo com o que vem acontecendo neste bairro e indicam a necessidade uma ação do poder público para que o bairro, que hoje é uma referência de boa qualidade de vida, não se descaracterize e impeça que seu crescimento cause danos à população e ao meio ambiente.

## 6. Referências

Belo Horizonte. Lei 8137 de 21 de Dezembro de 2000. Altera as leis n.os 7.165 e 7.166, ambas de 27 de agosto de 1996, e dá outras providências. Disponível em: <[www.pbh.gov.br/mapas/leiuso/lei-8137.htm](http://www.pbh.gov.br/mapas/leiuso/lei-8137.htm)>

Belo Horizonte. Lei 7166 de 27 de Agosto de 1996. Estabelece normas e condições para parcelamento, ocupação e uso do solo urbano no município. Disponível em: <[www.pbh.gov.br/mapas/leiuso/lei-7166.htm](http://www.pbh.gov.br/mapas/leiuso/lei-7166.htm)>

Brasil. Lei n. 6766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Disponível em: <[www.silex.com.br/leis/l\\_6766.html](http://www.silex.com.br/leis/l_6766.html)>

Cowen, D.; Jensen, J. R.; Bresnahan, P.; Ehler, D.; Traves, D.; Huang, X.; Weisner, C.; Mackey, H. E. The Design and Implementation of an Integrated GIS for Environmental Applications. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 61, n. 11, p.1393-1404, 1995.

Definiens Imaging **eCognition**: user guide 3. 2003, 480 p. Disponível em: <<http://www.definiens-imaging.com/down/ecognition>>. Acesso em: 15 out. 2003.

Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte (PRODABEL). **Belo Horizonte (MG): Base Cartográfica – AGOSTO/89**. Belo Horizonte: 1989. 1 Mapa Topográfico, 1 Mapa Cadastral. Escala para mapeamento digital 1/1.

Florenzano, T. G.; **Imagens de Satélites para Estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97 p.

Intersat. **Imagem da cidade Belo Horizonte**. São José dos Campos: Intersat, 2001. 1 imagem de satélite. IKONOS. Nov. 2001. Composição RGB, bandas 1,2,3.

Oliveira, P. C.; Encontro Mercado Imobiliário. **Revista Encontro**, v. especial, p. 14-17, Jun. 2004. (Encontro Importante Editora Ltda).

Pinho, C. M. D. **Metodologia De Classificação Orientada A Objetos Do Uso Do Solo No Espaço Intra-Urbano A Partir De Imagens Orbitais De Alta Resolução Espacial**. São José dos Campos: INPE, mar. 2004. 39 p. (Proposta de Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto).

Sharma, K.M.S.; Sarkar, A. A modified contextual classification technique for remote sensing data. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 64, n.4, p.273-280, april 1998.

Thomas, N.; Hendris, C.; Congalton, R. G. A comparison of urban mapping methods using high-resolution digital imagery. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 69, n. 9, p. 963-972, fev. 2003.

Yang, X. Satellite monitoring of urban spatial growth in the Atlanta Metropolitan Area, **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 68, n.7, p. 725-734, 2002