

Título do Simpósio Temático

**A interface entre a pesquisa e a prática projetual: análise crítico-metodológica da contribuição da psicologia ambiental e do geoprocessamento na elaboração de projetos urbanos.**

Título do trabalho

**Avaliação do crescimento urbano aplicada ao mapeamento geoambiental em cidades costeiras**

Prof. Sinval Cantarelli Xavier<sup>1</sup>  
Prof. Cezar Augusto Burkert Bastos<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Professor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande – FURG; Coordenador de Mapeamento e Informações Geográficas da Prefeitura de Pelotas; Mestre em Engenharia Oceânica pela Universidade Federal do Rio Grande – FURG; Especialista em Gráfica Digital pela Universidade Federal de Pelotas; Arquiteto e Urbanista e Bacharel em Direito pela Universidade Federal de Pelotas, Brasil.

<sup>2</sup> Professor da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande – FURG; Mestre e Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Engenheiro Civil pela Fundação Universidade Federal do Rio Grande – FURG.

**Resumo**

Este trabalho propõe uma metodologia para um estudo simplificado da morfologia urbana em cidades costeiras, objetivando a delimitação de áreas sujeitas à ocupação futura, com vistas à otimização do processo de mapeamento geoambiental aplicado ao planejamento e controle do uso do solo. Foi realizado um estudo de caso para a cidade de Pelotas/RS, município estuarino-lagunar situado na faixa terrestre da zona costeira. A metodologia não se baseia no desenvolvimento de modelos complexos de simulação de crescimento urbano, e sim na integração e interpretação de dados sobre o território urbano, situação passada e presente, sobretudo imagens, mapas e dados cadastrais, de forma a possibilitar, com o auxílio de um Sistema de Informações Geográficas – SIG, a determinação simplificada dos padrões de crescimento urbano e o mapeamento das áreas disponíveis e propícias a expansão urbana. Inicialmente foi criada uma série histórica que permitiu a identificação dos padrões, direções e sentidos da dinâmica espacial urbana ao longo do tempo. Posteriormente esses dados foram cruzados com a atual conformação das ocupações e vazios urbanos, e com os

condicionantes físicos e legais do crescimento da cidade, a fim de delimitar e restringir ao máximo as áreas objeto de mapeamento e análises geoambientais. Com a aplicação da metodologia foram mapeados 54 km<sup>2</sup> de área urbana sujeita a ocupação futura. Considerando que a mancha urbana da cidade é de aproximadamente 77 km<sup>2</sup> (40% da área urbana) e que, portanto, Pelotas possui 115 km<sup>2</sup> de áreas vazias, o mapeamento realizado resultou na redução substancial (47%) das áreas a serem analisadas quanto às suas características físicas. Concluiu-se que o uso da metodologia para determinação de áreas sujeitas a ocupação e uso devido ao crescimento urbano, é eficaz como etapa prévia ao mapeamento geoambiental, reduzindo esforços e evitando análises desnecessárias em áreas de baixo potencial de ocupação.

**Palavras-Chaves:** mapeamento geoambiental; crescimento urbano; sistema de informações geográficas.

### **Abstract**

This research develops and tests a methodological approach that takes into account interdependencies between temporal dimensions and spatial scales in the analysis of the phenomenon of urban growth in coast cities. This methodology approach results in the identification of (i) standards of urban growth in coast cities, (ii) areas for future urban expansion through application of GIS Geotechnical Analysis (geographic information system applied to the analysis of soil features), and (iii) the most adequate land uses for these areas of expansion, always considering physical and natural soil features of these. Concepts linked to space science, urban geography, urban models, as well as Graph Theory and GIS are applied to develop models of urban growth simulation which integrate urban, natural, and economic factors. With regard to this context, the methodology approach developed in this study seeks to: apply different types and shapes of space data, and different data sources in distinct levels of disintegration, with the objective of simulate historic series and vectors of urban growth; analyse urban land use and occupation, identifying areas available for urban expansion; and, confront these areas with their physical and natural factors as well as legal aspects that can interfere on urban expansion, such as local and federal legislations. This approach was tested in Brazil which represents 47% of South America and its coast territory is approximately 7.491 km. The case study is the city of Pelotas, located in the most southern Federal State of Brazil. This city integrates the

National Plan of Coast Management II as one of the cities placed on lagoon coasts. The definition of areas for occupation and urban grown is necessary as a previous stage for Geotechnical mapping, decreasing efforts and avoiding unnecessary analysis in areas with low potential for urban use. For that, the proposed methodology approach appears as an important tool that applies data from different sources, such as data archived by City Councils and Federal Institutions. For this present study, 54km<sup>2</sup> of urban areas that can be used for urban expansion were mapping. Considering that the urban area of the case study analysed is 77 km<sup>2</sup>, and it has 115km<sup>2</sup> of empty or sub utilized areas, the outcomes of the application of this methodology indicated that 47% of the identified empty or sub utilized areas could be excluded for further analysis by the City Council. This is because they are inappropriate for urban grown due to their geotechnical soil features. This demonstrates the practical applicability of this approach and its contribution to local authorities when planning city expansion. This methodological approach can also be adapted to other cases having in mind that the pre requisite to the application of this is that the analysed area needs to have data related to its urban morphology process through time.

**Keywords:** geo-landscape mapping; urban grown, geographical information system.

## 1. Introdução

O presente trabalho propõe uma metodologia para o estudo simplificado da morfologia urbana em cidades costeiras, objetivando a determinação dos padrões de crescimento urbano e a delimitação de áreas sujeitas à ocupação futura, com vistas à realização de mapeamento geoambiental e a indicação dos usos mais adequados com relação às características físicas e ambientais dos solos. Para estudo de caso foi escolhida a cidade de Pelotas/RS, a qual esta expressamente arrolada no Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro II (BRASIL, 1988) como um dos municípios estuarinos-lagunares abrangidos pela faixa terrestre da zona costeira.

A metodologia proposta não está baseada no desenvolvimento de modelos complexos de simulação de crescimento urbano. Trata-se, isto sim, da integração e interpretação de dados sobre a evolução temporal do espaço urbano e sua situação atual, de forma a possibilitar, com o auxílio de um Sistema de Informações Geográficas – SIG, a determinação simplificada dos vetores de crescimento urbano e o mapeamento das áreas de potencial expansão urbana.

A aplicação da metodologia desenvolvida neste artigo está direcionada ao uso e ocupação do solo em virtude do crescimento urbano, e visa simplificar os processos de mapeamento e análise ambientais através da redução das áreas de estudo.

### *1.1 Questões relacionadas ao crescimento urbano*

A urbanização, enquanto processo em que a população urbana cresce em proporções maiores que a rural, é um fenômeno moderno que surgiu com a industrialização e o desenvolvimento econômico. Espacialmente, a urbanização se materializa, entre outras formas, no crescimento urbano por extensão e/ou por densificação. O primeiro caracteriza-se pela incorporação de áreas de uso não urbanos para o uso urbano e o segundo pelo aumento na intensidade de utilização do solo urbano – por verticalização, por exemplo - de áreas já disponíveis como urbana, sem a necessidade de incorporação de áreas novas (RIGATTI, 2001). O estudo dos processos e padrões da dinâmica espacial urbana tem sido um desafio para a ciência. Conforme Polidori (2004), importantes esforços tem sido empreendidos no campo teórico da configuração urbana para melhorar a compreensão sobre os mecanismos de produção e reprodução das cidades, tais como as idéias vinculadas ao desenvolvimento desigual, à auto-organização e aos estudos sobre sistemas complexos. Na mesma direção, estudos de centralidade como medida morfológica de diferenciação espacial, têm sido utilizados para representar a cidade através de seus espaços construídos.

Amplo e diversificado é o empenho da pesquisa contemporânea, envolvendo variados campos do conhecimento, para modelar e simular o crescimento urbano. Polidori (2004), por exemplo, em um estudo para o mesmo local, utiliza conceitos derivados da ciência do espaço, modelos urbanos, teorias de sistemas e ecologia da paisagem, bem como a instrumentação propiciada pela Teoria dos Grafos, dinâmica celular autômata, geocomputação e SIG, para desenvolver modelo de simulação do crescimento urbano que integre fatores urbanos, naturais e institucionais.

Também, fora do campo da modelagem e simulação de cenários futuros, o crescimento urbano pode ser estudado através da integração e interpretação de dados da evolução temporal da mancha urbana e de sua situação presente, em contraposição aos vazios urbanos e aos condicionantes físicos e legais do crescimento. Desta forma, imagens, mapas e dados cadastrais integrados e analisados em ambiente SIG permitem determinar de forma simplificada os padrões de crescimento e as áreas potenciais para a expansão da cidade.

## 1.2 *Dados espaciais*

Para determinação dos vetores de crescimento urbano, Higashi (2006) afirma ser necessário, no mínimo, a retratação da mancha urbana em três diferentes e significativas épocas. Contudo, esse patamar mínimo não pode ser absoluto, devendo, logicamente, depender da complexidade e da extensão do tecido urbano. Por conseguinte, entende-se que para determinadas localidades a representação da conformação urbana em apenas três períodos históricos pode ser insuficiente para uma análise confiável da evolução urbana. Preferencialmente, deve ser utilizada a maior quantidade de dados possíveis, gerando-se uma série histórica representativa.

Ressalta-se que o tratamento da evolução em termos de mancha urbana é uma simplificação da análise que pode ser estendida para níveis maiores de desagregação da informação, podendo-se, inclusive, utilizar mais de um nível de desagregação, desde que respeitada a escala de compatibilidade para cada tipo de dado espacial utilizado.

Cuidado especial deve ser dado à precisão espacial dos dados, pois ao utilizar-se, por exemplo, cartas e mapas em escalas muito pequenas para representar um determinado período temporal, estes limitarão a precisão espacial da análise como um todo. Desta forma, devem-se buscar dados com a maior precisão espacial possível, mesmo que seja necessário reduzir a escala de parte dessas informações para se estabelecer uma homogeneidade na precisão.

O formato dos dados é outro fator importante. Em se tratando de dados espaciais, podem estar disponíveis dados tanto em formato raster (matricial) como vetorial, e embora se possa trabalhar com ambos os formatos dentro de um SIG, dados em um mesmo formato representam maior capacidade de integração. Desta forma, em alguns casos, pode ser necessária, ou pelo menos conveniente, a conversão de formatos. Considerando-se a capacidade de integração entre dados vetoriais e tabulares oferecidas pelos SIGs e a possibilidade de espacialização das diversas variáveis relacionadas às geometrias, trabalhar com dados no formato vetorial pode significar uma maior potencialidade na manipulação e análise dos dados.

Para integração dos dados é necessário que esses estejam georreferenciados dentro de um mesmo sistema de coordenadas cartográficas. Diversas são as fontes de dados que podem (conforme a disponibilidade) serem utilizadas no mapeamento e avaliação da evolução espacial urbana. Conforme a seguir apresentado, citam-se os mapas cadastrais, as plantas de loteamentos, as fotografias aéreas, as imagens de

satélite, entre outros dados que geralmente fazem parte do acervo das prefeituras municipais.

**Mapas cadastrais:** representações gráficas bidimensionais (analógicas ou digitais) dos principais elementos definidores do tecido urbano, tais como ruas, quadras, praças e outros espaços públicos, os mapas ou plantas cadastrais são, em geral, documentos de acervo de órgãos públicos municipais, podendo representar a morfologia da cidade em diversos períodos históricos. A Figura 1 apresenta, como exemplo, o mapa cadastral de Pelotas do ano de 1835.



Fig. 1: Mapa cadastral – Pelotas 1835.

**Plantas de loteamentos:** o loteamento é um tipo de parcelamento do solo resultante da divisão de gleba em lotes, destinado à edificação, com abertura de novas vias de circulação, de logradouros públicos ou prolongamento, modificação ou ampliação das vias existentes (PELOTAS, 1980). As prefeituras, além de muitas vezes atuarem como loteadoras, são responsáveis pela análise, aprovação e liberação dos loteamentos. Esta atribuição, em geral, gera um acervo público de mapas e plantas dos loteamentos públicos e privados, os quais, organizados de maneira cronológica, tornam-se uma excelente fonte de dados relativos à evolução espacial urbana.

**Fotografias aéreas:** normalmente oriundas de levantamentos aerofotogramétricos, as fotografias aéreas são muito usadas para atualização da

cartografia e para o planejamento urbano. Muitos municípios de médio e grande porte possuem levantamentos aerofotogramétricos, mas infelizmente seu alto custo inviabiliza sua aquisição pela grande maioria dos pequenos municípios. As aerofotos podem ser agrupadas em blocos sem emendas, gerando assim uma imagem única do perímetro urbano (denominada mosaico).

**Imagens de satélite:** as imagens de satélite são excelentes fontes de dados para avaliações de fenômenos temporais. Os satélites utilizados para observação da Terra, de órbita polar ou quase-polar, circular e heliossíncronas, passam sobre uma região diferente da Terra a cada rotação, voltando a passar sobre uma mesma área em um período de tempo, denominado período de revista. A revista possibilita a aquisição de imagens periódicas de uma região e a análise de fenômenos temporais, tais como as mudanças morfológicas das cidades.

Em relação às propriedades das imagens de satélites, quando utilizadas para análises urbanas, merece destaque a resolução espacial, a qual mede a menor separação angular e linear entre dois objetos imageados. Considerados os níveis de processamento e correção aplicados às imagens, a resolução espacial é determinante da precisão cartográfica dos mapeamentos gerados a partir das mesmas.

Tendo-se em conta que as imagens de satélite disponíveis para análise urbana são relativamente recentes e que, por conseqüência, não cobrem um período temporal suficiente para uma análise consistente das mudanças na morfologia urbana, estas não devem ser usadas como fonte exclusiva de dados.

A aquisição de imagens de satélite por parte das prefeituras e outros órgãos ligados ao planejamento e pesquisas ambientais e urbanas tem aumentado consideravelmente. Para uma grande gama de usos as imagens representam um custo muito pequeno, principalmente se comparado ao custo dos levantamentos aerofotogramétricos. As imagens do satélite sino-brasileiro CBERS 2 e CBERS 2B são disponibilizadas gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE.

**Outras fontes de dados:** a morfologia das cidades, em determinadas épocas, também pode ser extraída de outras fontes. As cartas planimétricas e planialtimétricas do Serviço de Cartografia do Exército Brasileiro - CAEX e os mapas temáticos estaduais, fornecidos pela Diretoria de Geociências – DGC do IBGE, são algumas delas. As primeiras com grau de detalhamento e escala de representação melhores do que as últimas. Para os municípios do Rio Grande do Sul estão disponíveis as cartas planialtimétricas da CAEX na escala 1:50.000.

## **2. O estudo da morfologia urbana: metodologia de análise**

A metodologia desenvolvida neste presente estudo, ao passo que está longe do desenvolvimento de modelos complexos de simulação de crescimento, ultrapassa a simples sobreposição de manchas urbanas de diferentes épocas e as análises sob padrões de crescimento pré-estabelecidos, buscando:

(i) utilizar variados tipos e formas de dados espaciais, de diferentes fontes, em diferentes níveis de desagregação, com o objetivo de criar séries históricas e determinar os vetores de crescimento urbano;

(ii) analisar a situação presente do uso e ocupação do solo urbano, demarcando as áreas disponíveis para o crescimento da cidade; e

(iii) confrontar essas áreas disponíveis com os condicionantes físico-ambientais e legais do crescimento, para por fim, determinar a áreas de potencial ocupação futura e, com isso, reduzir esforços no mapeamento e na análise das propriedades geotécnicas dos solos.

O próximo item apresenta a área do estudo de caso, sendo enfatizados os fatores que levaram a sua seleção. A aplicação da metodologia se divide nas seguintes etapas, igualmente a seguir apresentadas: determinação dos vetores de crescimento urbano; análise do crescimento histórico-espacial; identificação dos vazios urbanos; análise e mapeamento dos condicionantes físicos e legais; análise e cruzamento de dados; análise e exclusão de áreas; e análise e simplificação de dados.

## **3. A área do estudo de caso**

A metodologia foi aplicada à cidade de Pelotas/RS (Fig. 2), a qual esta expressamente arrolada no Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro II (BRASIL, 1988) como um dos municípios estuarinos-lagunares abrangidos pela faixa terrestre da zona costeira. Embora o município de Pelotas situe-se em uma área de transição entre duas regiões com características fisiológicas diferentes e bem definidas, a saber, o Planalto Sul-Riograndense, também chamado de Escudo Cristalino, e a Planície Costeira Sul-Brasileira (IBGE, 1986), sua maior porção, incluindo a zona urbana, localiza-se em terrenos de tipologia costeira (terraços lagunares). A Planície Costeira, uma das quatro províncias morfológicas do Rio Grande do Sul, localiza-se entre os paralelos de 29° 18' e 33° 48' de latitude Sul, ocupando uma faixa adjacente ao

Oceano Atlântico com 650 km de extensão por cerca de 70 km de largura média. É marcada por terrenos planos, de cotas baixas (menos de 40 m de altitude), formados por sedimentos inconsolidados (areias, siltes e argilas), sob influência de eventos de transgressão e regressão marinhas, que formaram ambientes, entre outros, de terraços lagunares retrabalhados pelo mar (SILVA *et al.*, 2006).

Segundo Rosa (1985), além de fazer parte da porção estuarina da Laguna dos Patos, sob vários outros aspectos, Pelotas pode ser considerado um município litorâneo. Primeiro por estar, em parte, inserido na Planície Costeira, segundo por sofrer as influências dos ventos marinhos em seu clima, e por último por fazer parte de “um verdadeiro litoral interno lacustre” do Rio Grande do Sul, formado pela Laguna dos Patos, cujas águas banham o município numa extensão de 40 km. Em resumo, o Oceano Atlântico e a Laguna dos Patos têm importante influência nos aspectos físicos e humanos do município.

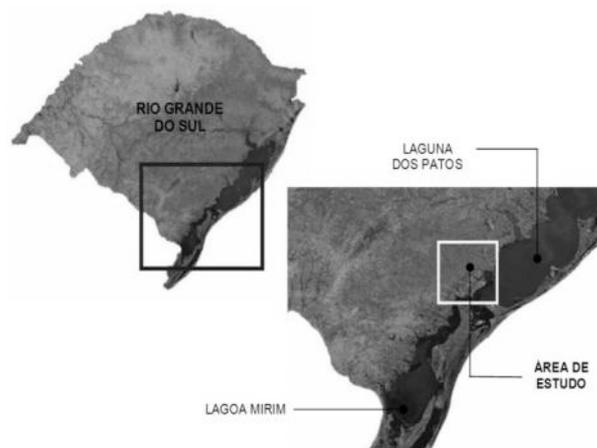


Fig. 2: Localização da área de estudo.

#### **4. Determinação dos vetores de crescimento urbano**

Para determinar a direção e sentido do crescimento urbano da cidade, foram utilizados como ponto de partida os dados provenientes do relatório final da pesquisa realizada por Silva (2004) intitulada: “A Forma Urbana em Pelotas: Evolução Morfológica e Análises Espaciais”. Trata-se de uma análise da evolução morfológica urbana da cidade através do seu parcelamento de solo. Os dados dessa pesquisa, levantados junto ao cadastro imobiliário da Prefeitura Municipal, e reutilizados parcialmente no presente trabalho, são: mapas e plantas cadastrais, plantas de

loteamentos, conjuntos habitacionais e ocupações irregulares. Na sua grande maioria trata-se de representações gráficas em formato matricial analógico, que foram escanizadas, e posteriormente georreferenciadas e digitalizadas em ambiente CAD (*Computer Aided Design*). Cada um desses mapas e plantas gerou uma poligonal, as quais, em conjunto, retratam o parcelamento e a ocupação do solo urbano em Pelotas ao longo de sua evolução histórica.

As plantas referentes ao parcelamento de solo, sob a forma de loteamento, conjuntos habitacionais e ocupações irregulares, somente foram encontradas a partir de 1922. Para o período anterior, de 1815 a 1922, a ocupação do solo foi levantada através da cartografia urbana existente nos arquivos da secretaria de urbanismo da cidade. No total a pesquisa prospectou e catalogou dados de um período de 187 anos, de 1815 a 2002. Para o período posterior foi realizada, para este trabalho, uma nova prospecção junto ao cadastro da prefeitura, complementando e atualizando os dados da pesquisa até o final do ano de 2007. No total foram levantados e digitalizados mais 10 loteamentos e 15 conjuntos habitacionais.

Foram utilizados os dados primários da pesquisa de Silva (2004): os *shapefiles* (arquivos nativos do *software* ArcView) das poligonais dos parcelamentos de solo e dos mapas cadastrais, os quais foram reorganizados e reclassificados no *software* de SIG ArcView de acordo com um dos objetivos traçados neste estudo: obter as direções e os sentidos do crescimento urbano na cidade de Pelotas ao longo do tempo. Para tanto, não era necessária a subdivisão do parcelamento de solo em loteamentos, conjuntos habitacionais e ocupações irregulares. Sendo assim, para este trabalho, houve uma unificação das duas primeiras formas de parcelamento em um único tema: parcelamento do solo, o qual foi dividido em seis classes temporais. Os dados referentes às ocupações irregulares foram descartados por estarem incompletos e devido a não ter sido possível estabelecer (em virtude de falta de dados nos cadastros da prefeitura) uma cronologia dos mesmos.

Para estabelecer as direções do crescimento da cidade o perímetro urbano foi dividido, a partir do centro histórico da cidade (praça Cel. Pedro Osório), em oito setores correspondentes às orientações cardeais (Norte, Sul, Leste e Oeste) e colaterais (Nordeste, Noroeste, Sudeste, Sudoeste), tendo como seus limites as orientações subcolaterais Norte-nordeste (22,5°), Leste-nordeste (67,5°), Leste-sudeste (112,5°), Sul-sudeste (157,5°), Sul-sudoeste (202,5°), Oeste-sudoeste (247,5°), Oeste-noroeste (292,5°) e Norte-noroeste (337,5°).

A análise da espacialização e classificação dos dados no ArcView resultou na percepção de que a cidade de Pelotas, desde seu núcleo inicial, cresceu conforme a seguinte seqüência histórico-espacial:

(i) a partir de seu primeiro núcleo, correspondente hoje ao entorno da catedral São Francisco de Paula, entre os anos de 1815 e 1835, Pelotas cresceu para o sul, em direção ao canal São Gonçalo, em uma ocupação que a oeste seguiu o contorno das áreas de maior cota altimétrica, mas que a leste principiou por áreas mais baixas;

(ii) de 1835 a 1882 a cidade continuou a crescer em direção ao canal São Gonçalo, mas o vetor de crescimento assumiu predominantemente a direção sudeste, aumentando a ocupação das áreas de baixa cota altimétrica;

(iii) de 1882 a 1916 houve uma continuidade do crescimento na direção sudeste e a cidade cresce até alcançar o limite correspondente ao canal São Gonçalo. Neste período surgiram dois novos vetores, um na direção sudoeste, onde aumentou a ocupação de novas áreas baixas e outro na direção norte, seguindo as áreas mais elevadas (Figs 3 e 4);

(iv) a partir do ano de 1922 surgiram os primeiros loteamentos periféricos de caráter popular. De 1922 a 1938 a cidade começou a crescer em duas novas direções: noroeste e nordeste, e continuou a expandir-se para o norte. Pelotas começou a seguir um modelo de crescimento disperso no sentido predominante das áreas de maiores altimetrias;

(v) de 1939 a 1956 surgiu um grande número de novos loteamentos periféricos, aumentando consideravelmente a área urbana, que se estendeu em algumas direções até o limite urbano atual. Caracterizou esse período: a volta da ocupação de novas zonas baixas junto à área central da cidade, nas direções leste e oeste; a intensificação da ocupação nordeste, com o surgimento de novos loteamentos contíguos aos implantados no período anterior; o aumento da extensão do crescimento a noroeste, configurando um eixo de crescimento ao longo da avenida Duque de Caxias; o surgimento das ocupações balneárias junto a Laguna dos Patos, com acesso pela avenida Adolfo Fetter, que marcou a estruturação de um novo e forte vetor de crescimento na direção leste, o qual já se prenunciava com os loteamentos ao longo das avenidas Domingos de Almeida e Ferreira Vianna; e o aparecimento de loteamentos populares ao norte, ao longo da avenida Fernando Osório (com continuidade pela rodovia BR 116), a uma grande distância do centro urbano,

fortalecendo esse vetor de crescimento e estendendo desproporcionalmente os limites da cidade;

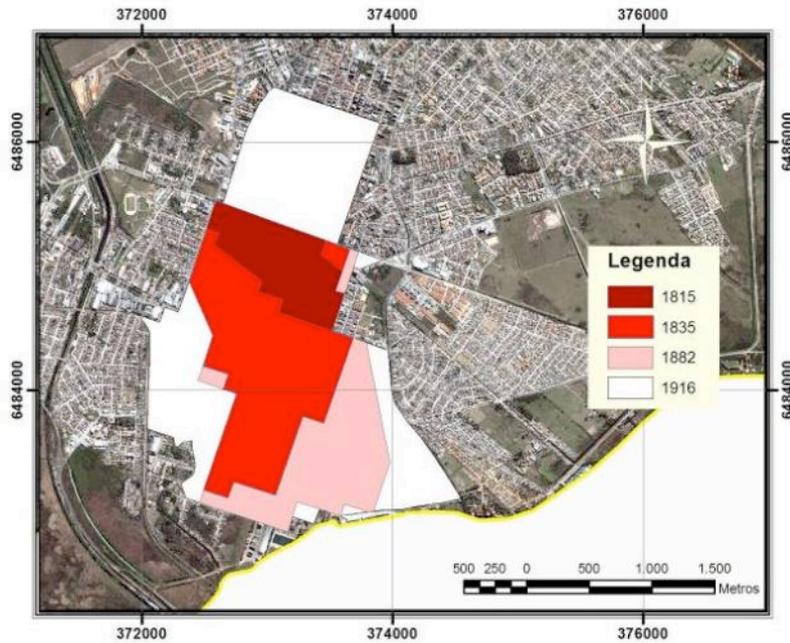


Fig. 3: Vetores de crescimento urbano no município de Pelotas/RS de 1815 a 1916.

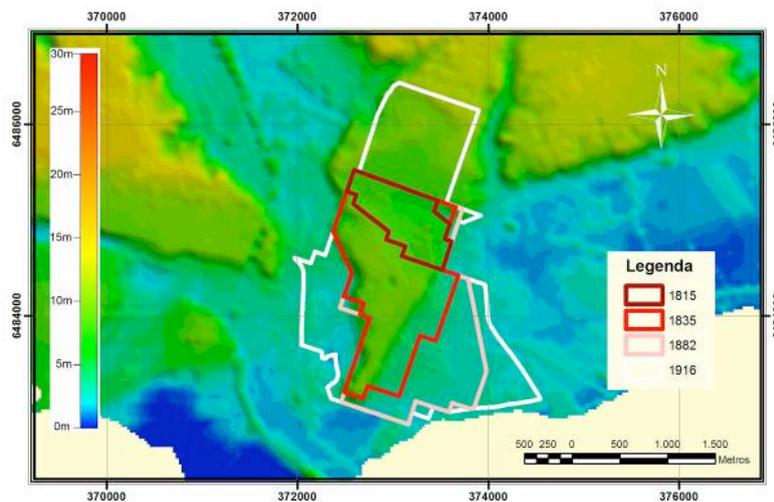


Fig. 4: Vetores de crescimento urbano e relevo do município de Pelotas/RS de 1815 a 1916.

(vi) de 1957 a 1963 o crescimento urbano se caracterizou basicamente pela estruturação do vetor norte, surgindo novas ocupações entre o centro urbano e os distantes loteamentos implantados no período anterior. O principal eixo estruturador do crescimento neste intercurso de tempo foi a avenida Fernando Osório, seguido pelas

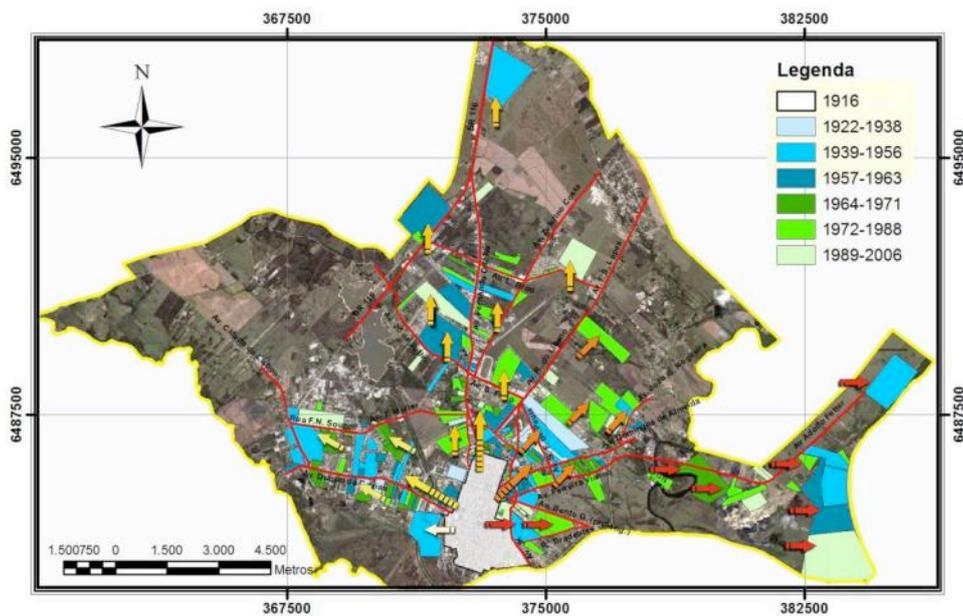
avenidas República do Líbano, 25 de Julho e pela rodovia BR 116. A leste houve um aumento na ocupação balneária junto a Laguna dos Patos;

(vii) de 1964 a 1971 houve uma forte intensificação na ocupação nordeste ao longo a avenida Duque de Caxias e a consolidação do vetor leste com o surgimento de novos loteamentos entre as avenidas Domingos de Almeida e Ferreira Vianna, e de um grande loteamento na avenida de ligação com os balneários (avenida Adolfo Fetter);

(viii) o período de 1972 a 1988 se caracterizou pela ocorrência de novas ocupações na direção norte, tanto ao longo da avenida Fernando Osório (principal eixo estruturador desse crescimento), quanto ao longo das avenidas Zeferino Costa e Salgado Filho. A ocupação na direção leste também se intensificou, caracterizando um forte vetor de crescimento. À sudeste surgiram novas ocupações em zonas baixas e alagadiças, protegidas por sistemas de bombas e pelo dique construído ao longo do canal São Gonçalo;

(xix) os loteamentos que surgiram no período de 1989 a 2006 não alteraram a configuração do crescimento urbano, confirmando as direções leste, norte e noroeste como principais vetores deste crescimento.

As Figuras 5 e 6 mostram o crescimento urbano de Pelotas no período de 1916 a 2006.



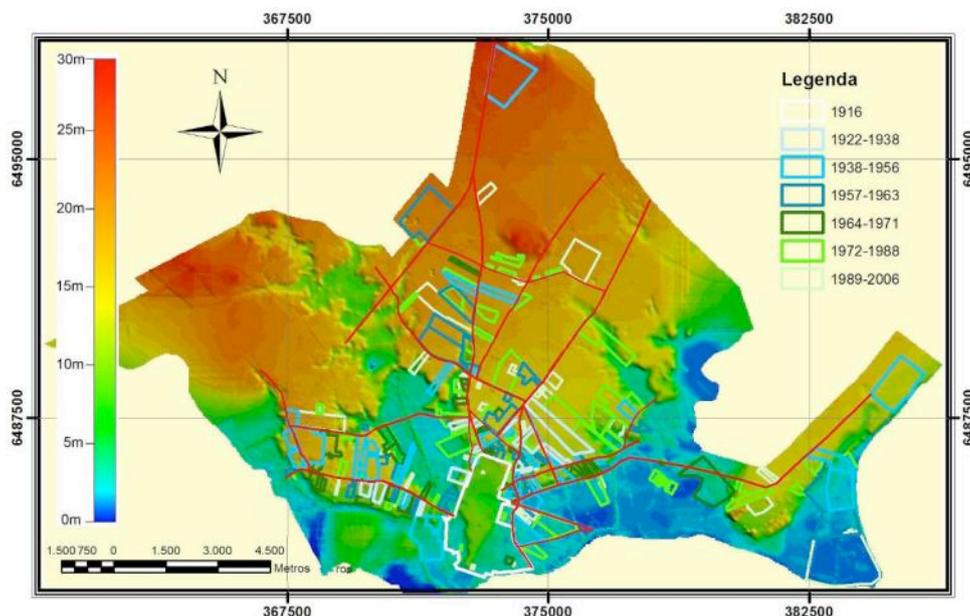


Fig. 6: Crescimento urbano e relevo no município de Pelotas/RS de 1916 a 2006

## 5. Identificação dos vazios urbanos

Seguindo a metodologia proposta, foi realizado um mapeamento e a análise da atual situação da ocupação do solo na cidade. Obedecendo-se regras pré-estabelecidas foram delimitadas as áreas ocupadas e as não ocupadas, sendo estas últimas convencionadas como “vazios urbanos”.

O mapeamento dos vazios urbanos, considerados áreas ociosas e/ou de especulação imobiliária, ganhou grande importância para os municípios com a entrada em vigor da Lei 10.257/2001 - Estatuto das Cidades (BRASIL, 2001) que regulamenta os art. 182 e 183 da Constituição Federal e estabelece diretrizes gerais da política urbana. O Art. 5º do Estatuto das Cidades prescreve que lei municipal específica para área incluída no Plano Diretor poderá determinar o parcelamento, a edificação ou a utilização compulsórios do solo urbano não edificado, subutilizado ou não utilizado, devendo fixar as condições e os prazos para implementação da referida obrigação.

Logo, para os municípios poderem aplicar tais instrumentos da política urbana, estes deverão, através de seus Planos Diretores, determinarem quais as áreas a eles sujeitas, e definir o que é por eles considerado solo urbano não edificado, subutilizado e/ou não utilizado. No caso específico de Pelotas, a equipe técnica que elaborou o Projeto de Lei do 3º Plano Diretor definiu como não edificados, subutilizados ou não utilizados, os imóveis com área territorial superior a 1.000 m<sup>2</sup> sem edificação ou

edificado, mas com índice de aproveitamento igual ou inferior a 1% do terreno, assim como todo o perímetro urbano como área sujeita a aplicação dos institutos do parcelamento, edificação ou utilização compulsórios. Definido os critérios, a Prefeitura de Pelotas realizou o mapeamento desses imóveis, elaborando um mapa de vazios urbanos através do cruzamento de dados vetoriais (representação vetorial dos lotes urbanos), dados tabulares (cadastro imobiliário da Prefeitura de Pelotas), e dados raster (imagem de satélite).

Após a análise do processo e do resultado do mapeamento realizado pela Prefeitura para o novo Plano Diretor de Pelotas, concluiu-se que apesar de mapear com relativa exatidão uma boa parte dos imóveis urbanos considerados não edificadas, subutilizados e ou não utilizados, existia um considerável número de erros. Tais erros foram gerados, principalmente, em virtude da desatualização do cadastro imobiliário, e da imagem de satélite de alta resolução disponível na época (do ano de 2002). Além disto, o mapeamento incluía um grande número de imóveis isolados, que não constituíam “vazios urbanos” no sentido de áreas propícias ao “crescimento territorial urbano” (enfoque do presente trabalho). Concluiu-se então pela necessidade, para esta pesquisa, de depurar e atualizar o mapeamento realizado pela prefeitura, utilizando como base uma nova imagem de satélite do ano 2006 adquirida pela mesma. Além de corrigir e qualificar o mapeamento anterior tinha-se como objetivo adequá-lo a metodologia proposta, o que foi feito através das seguintes etapas:

(i) em ambiente CAD, utilizando técnica de *overlay*, foram sobrepostos: os vetores dos imóveis mapeados pelo trabalho anterior (Plano Diretor); a totalidade dos vetores dos lotes urbanos cadastrados; a delimitação vetorial das áreas não cadastradas; e a imagem de satélite do ano de 2006;

(ii) foram excluídos dos imóveis mapeados, aqueles que na imagem apresentavam edificações com área construída aproximada (calculada sobre a própria imagem) maior do que 1% da área territorial;

(iii) foram incluídos, após cruzamento com os dados cadastrais, novos imóveis com área territorial superior ou maior a 1.000 m<sup>2</sup> que na imagem apareciam como territorial ou com área construída menor do que 1% da área territorial e que não faziam parte do mapeamento anterior;

(iv) foram excluídos imóveis que, mesmo atendendo aos critérios de áreas, se situavam geograficamente isolados e não representavam vazios urbanos significativos quando analisados sobre o ponto de vista do crescimento urbano; e

(v) foram mapeadas, por subtração das áreas cadastradas e reconhecimento visual sobre a imagem de satélite, as áreas de vazios urbanos não cadastrados;

Após essa série de operações em CAD, os polígonos resultantes foram importados no *software* de SIG ArcView (Fig. 7). As fronteiras (limites) entre os polígonos representativos dos imóveis (lotes) e áreas contíguas foram eliminadas, e os mesmos foram unidos em uma única classe temática nomeada de VAZIOS URBANOS (Fig. 8).

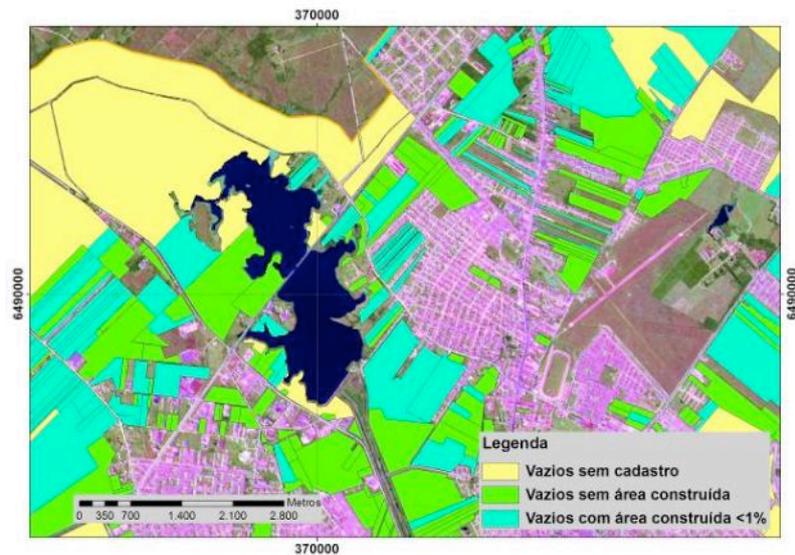


Figura 7: Classes temáticas representativas dos vazios urbanos no município de Pelotas/RS.

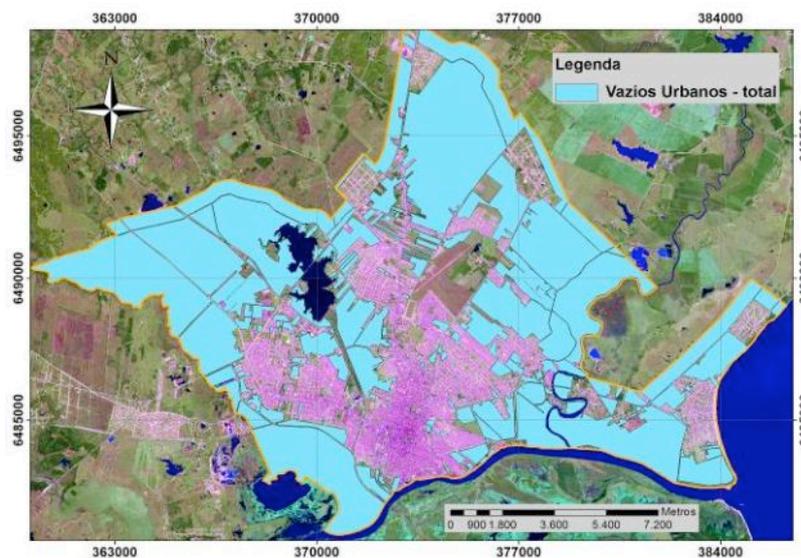


Figura 8: Classe temática Vazios Urbanos no município de Pelotas/RS.

## 6. Análise e mapeamento dos condicionantes físicos e legais

Nesta etapa, com o intuito de restringir e delimitar melhor as áreas de crescimento, foram analisados e mapeados os condicionantes físicos e legais do uso e ocupação do solo. Para tanto foi utilizado como instrumento legal a lei do 3º Plano Diretor de Pelotas, que foi elaborada entre os anos de 2007 e 2008 e entrou em vigor em 1º de janeiro de 2009. Por ser recente, o 3º Plano Diretor foi concebido com base na atual conformação urbana da cidade, considerando a dinâmica urbana presente. Na elaboração desse Plano foram avaliados diversos condicionantes físico-ambientais, que resultou na definição e mapeamento de áreas de especial interesse, eliminando, por conseguinte, a necessidade de novas análises sobre os mesmos temas.

A lei do Plano estabelece diversas áreas especiais de interesse, as quais, em face de suas características e interesses públicos delas decorrentes, passam a ser objeto de tratamento especial, através de definição de normas de ocupação diferenciada e a criação de mecanismos de gestão para desenvolvimento de ações. Entre essas áreas, duas interessam particularmente neste estudo: Áreas Especiais de Interesse do Ambiente Natural e as Áreas de Ocupação Restrita.

As Áreas Especiais de Interesse do Ambiente Natural são aquelas que apresentam peculiaridades ecológicas, sendo observado relevo, hidrologia, solo, fauna, flora e ocupação humana, caracterizando estas condições como biodiversidade local. Tais áreas apresentam diferentes níveis de proteção, com restrição ou limitação ao uso do solo e preservação de seus recursos naturais, com usos proibidos ou limitados, manejo controlado com áreas destinadas preferencialmente à pesquisa científica, ao lazer, à recreação, aos eventos culturais, ao turismo e à educação (PELOTAS, 2008). Essas áreas são divididas para fins de classificação nas seguintes categorias: (i) Áreas Especiais de Interesse do Ambiente Natural (AEIAN) Pública; (ii) Área Especial de Interesse do Ambiente Natural (AEIAN) Particular; (iii) Área de Preservação Permanente (APP) Ocupada; (iv) Área de Preservação Permanente (APP) Degradada; (v) Área Ambientalmente Degradada (AAD); e (vi) Áreas de Ocupação Restrita. Essas últimas, embora relevantes, não foram definidas pelo novo Plano Diretor, que atribui ao poder público municipal através de lei ordinária, quando constatada a saturação dos equipamentos e serviços públicos, identificá-las. Assim, não fizeram parte desse trabalho.

O mapeamento e inclusão no SIG dos dados referentes às Áreas Especiais de Interesse do Ambiente Natural, definidas pelo Plano, se deram a partir dos mapas em formato AutoCAD cedidos pela Prefeitura. Em ambiente CAD, os arquivos foram

depurados e preparados para importação no ArcView através da criação e/ou fechamento de poligonais e da separação dos polígonos em cinco temas correspondentes às diferentes AEIAN. Já no ArcView, os arquivos CAD contendo os polígonos de cada tema foram convertidos para o formato *shapefile*, e tiveram suas tabelas de atributos editadas. A Figura 9 mostra as classes temáticas das AEIAN;

Logo após, as cinco classes foram reunidas em uma única, correspondente a totalidade das AEIAN onde a ocupação é restrita e/ou controlada (Fig. 10).

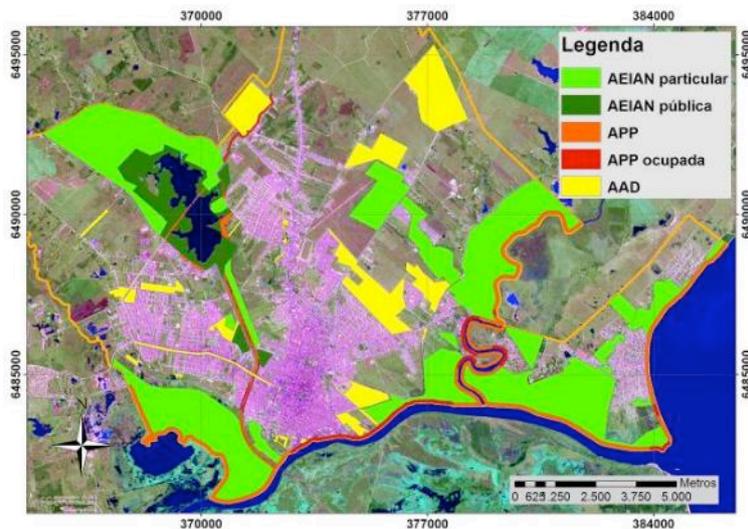


Fig. 9 : Classes temáticas das Áreas Especial de Interesse do Ambiente Natural (AEIAN) do município de Pelotas/RS.

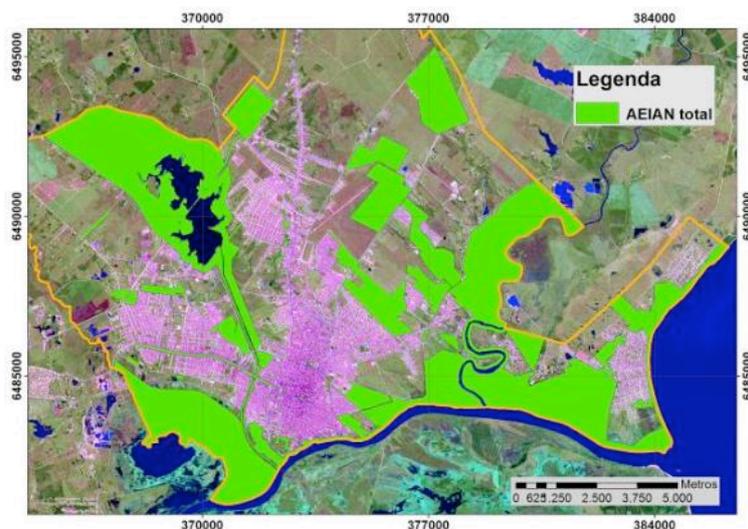


Fig. 10: Classe temática do total das Áreas de Interesse do Ambiente Natural (AEIAN) do município de Pelotas/RS.

## 7. Análise e cruzamento de dados

Nesta etapa foi realizado o cruzamento entre os dados resultantes das três etapas anteriores: (i) vetores de crescimento; (ii) vazios urbanos; e (iii) áreas com ocupação restrita devido aos condicionantes físicos e legais. Primeiro foram reunidas os temas correspondentes aos vazios urbanos, às Áreas Especiais de Interesse do Ambiente Natural (AEIAN), e aos vetores de crescimento. Logo após, foi subtraída a classe AEIAN da classe Vazios Urbanos, resultando uma terceira classe que representa as áreas de vazios urbanos passíveis de ocupação. Essa, somada aos vetores de crescimento, é mostrada na Figura 11.

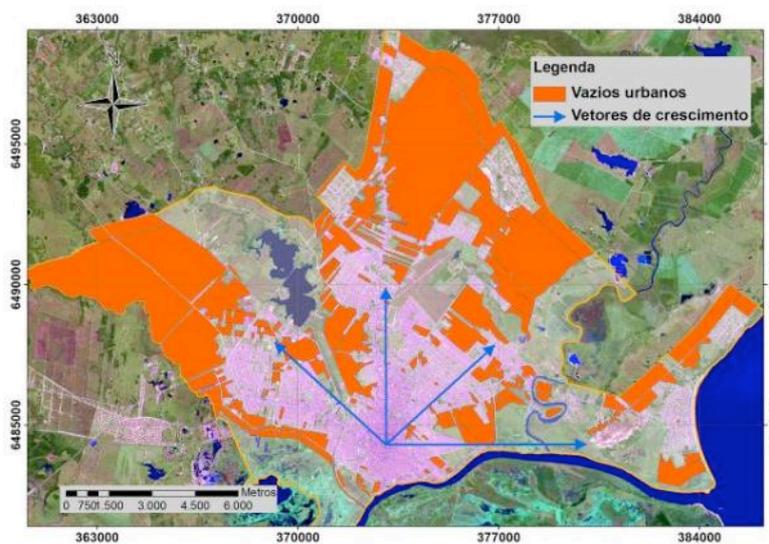


Fig. 11 - Vazios urbanos e vetores de crescimento do município de Pelotas/RS.

## 8. Análise e exclusão de áreas

Logicamente, a ocupação ou não dessas áreas esta condicionada a diversos outros fatores, que não só o sentido de crescimento e a simples disponibilidade de áreas. Questões como centralidade, acessibilidade, infra-estrutura, acesso a comércio e serviços, valor da terra, etc., são determinantes na ocupação de determinadas áreas em detrimento de outras.

Embora a mensuração desses fatores seja complexa e não se compatibilize com uma metodologia simples, de cruzamento e análise de dados, é possível excluir algumas áreas de ocupação pouco provável a curto e médio prazo, tais como: áreas de difícil acesso, com pouca ou nenhuma infra-estrutura urbana instalada; áreas muito afastadas do centro e das facilidades urbanas; e áreas que ainda guardam um caráter rural, mesmo estando compreendidas no perímetro urbano. Tais áreas podem ser

demarcadas por diversos tipos de levantamentos e análises sobre variados tipos de dados. No caso presente, tendo por base imagens de satélite, levantamentos de campo e alguns relatórios produzidos pelas equipes técnicas que elaboraram o projeto de lei do 3º Plano Diretor, foram mapeadas em CAD, sobre imagem de satélite de alta resolução, diversas áreas compreendidas nos vazios urbanos que se apresentavam como de improvável ocupação a curto e médio prazo.

Determinadas e mapeadas as áreas a serem excluídas, as mesmas foram importadas e convertidas em *shapefile* no ArcView. Logo após foi realizada uma operação espacial entre classes, subtraindo-se dos vazios urbanos as áreas supracitadas. A Figura 12 apresenta, com os vetores de crescimento sobrepostos, o resultado da operação.

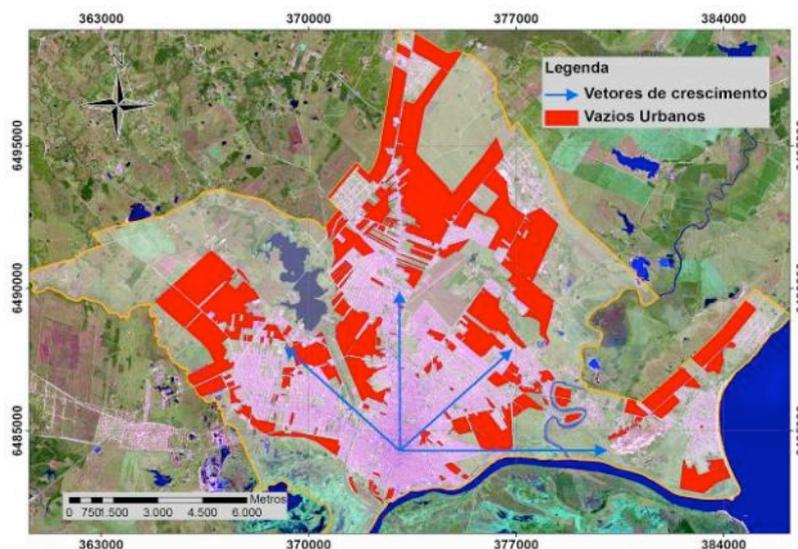


Fig. 12 - Vazios urbanos após exclusão de áreas no município de Pelotas/RS.

## 9. Análise e simplificação dos dados

Em consequência da escala a ser empregada no mapeamento geoambiental pode haver uma simplificação geométrica e de conteúdo nas áreas mapeadas. Em razão das escalas dos dados fontes, principalmente os mapas geológico e pedológico disponíveis para Pelotas, o mapeamento geoambiental será realizado em escala igual ou menor do que 1:50.000, por consequência, áreas reduzidas e/ou fragmentadas perdem a importância.

Desta forma, foram realizadas duas operações sobre as áreas resultantes das operações realizadas: (i) eliminação dos pequenos vazios urbanos fragmentados e com áreas menores do que 100.000 m<sup>2</sup>; (ii) agrupamento de diversos vazios urbanos

contíguos em polígonos maiores e geometricamente simplificados. Essas operações foram realizadas no ArcView, utilizando-se as ferramentas de exclusão, junção e simplificação geométrica de feições geográficas.

A Figura 13 mostra o mapa final resultante da aplicação da metodologia, o qual representa as áreas de vazios propícias ao crescimento urbano e de interesse ao mapeamento, detalhamento e análise geoambiental.

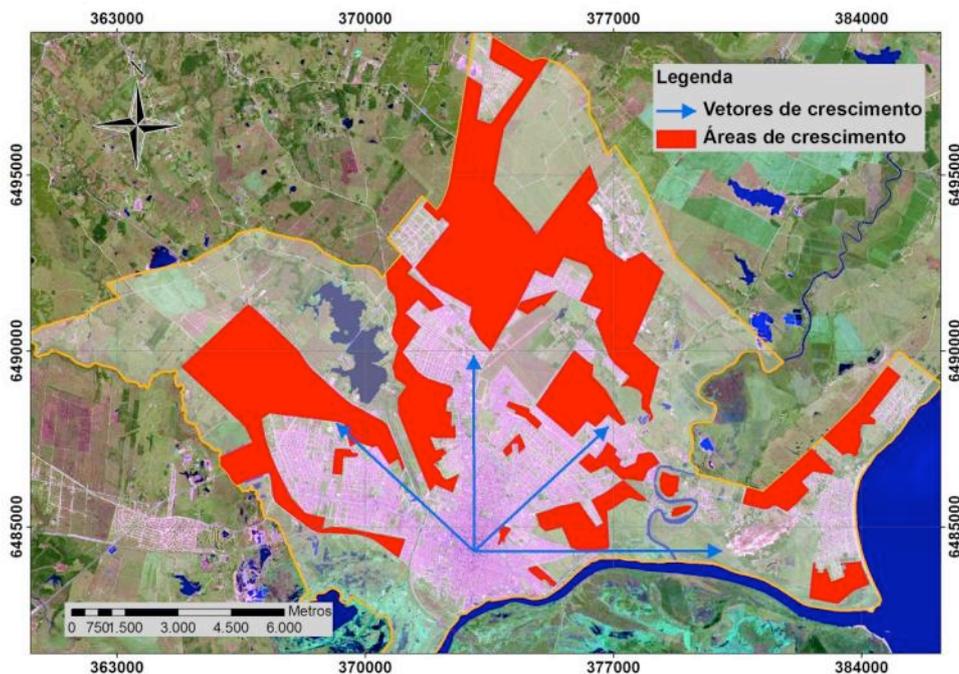


Fig. 13 - Mapa das áreas sujeitas ao crescimento urbano na cidade de Pelotas/RS.

## 10. Conclusões

A delimitação das áreas sujeitas à ocupação e ao uso devido ao crescimento urbano é eficaz como etapa prévia ao mapeamento geoambiental, reduzindo esforços e evitando análises desnecessárias em áreas de baixo potencial de ocupação. Para tanto, pode ser utilizada uma metodologia simplificada que trabalhe com o cruzamento de dados que em geral fazem parte do acervo das prefeituras ou estão ao alcance dessas.

Embora o trabalho que gerou o presente artigo tenha como aplicação o mapeamento geoambiental em cidades costeiras, a metodologia apresentada pode ser

empregada, de forma isolada, em cidades com características diversas, só estando limitada a disponibilidade de informações a cerca da morfologia urbana ao longo do tempo.

Com a aplicação da metodologia foram mapeados 54 km<sup>2</sup> de áreas urbanas sujeitas à ocupação futura. Considerando que a mancha urbana da cidade é de aproximadamente 77 km<sup>2</sup> (40% da área urbana) e que, portanto, Pelotas possui aproximadamente 115 km<sup>2</sup> de áreas não utilizadas ou subutilizadas (já excluídos os corpos d'água), o mapeamento efetuado resultou em uma diminuição de 47% das áreas a serem analisadas quanto às suas características físicas, ambientais, e capacidade de uso dos solos. Desta forma, se demonstra a aplicabilidade da metodologia proposta.

### Referências bibliográficas

- BRASIL. Lei 7.661 de 16 de maio de 1988. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências. Disponível em <[www.senado.gov.br](http://www.senado.gov.br)>. Acesso em 20 de outubro 2007.
- BRASIL. Lei 10.257 de 10 de julho de 2001. Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e da outras providencias. Disponível em <[www.senado.gov.br](http://www.senado.gov.br)>. Acesso em 20 de outubro 2007.
- FUCKNER, M. A.. Aplicações do sensoriamento remoto no estudo do crescimento urbano. INPE—Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP. Disponível em <[http://www.dsr.inpe.br/geu\\_fuckner.htm](http://www.dsr.inpe.br/geu_fuckner.htm)> . Acesso em: 20 de maio de 2008.
- HIGASHI, A. R. **Metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através de SIG com base no comportamento geotécnico e ambiental**. Florianópolis, 2006. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Levantamento dos Recursos Naturais: Folha SH.22 Porto Alegre e parte das Folhas SH.21 Uruguiana e SI.22 Lagoa Mirim. Volume 33. Rio de Janeiro: IBGE, 1986.
- POLIDORI, M. C. **Crescimento urbano e ambiente – um estudo exploratório sobre as transformações e o futuro da cidade**. Porto Alegre, 2004. Tese (doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-graduação em Ecologia.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS. Lei 2.565 de primeiro de setembro de 1980. Institui o II Plano Diretor de Pelotas e dá outras providências. Disponível em <[www.pelotas.com.br](http://www.pelotas.com.br)>. Acesso em 20 de maio de 2008.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE PELOTAS. Lei 5502 de 11 de setembro de 2008. Institui o 3º Plano Diretor de Pelotas e dá outras providências. Disponível em: <[www.pelotas.com.br](http://www.pelotas.com.br)>. Acesso: 25 de março 2009.
- RIGATTI, D. **Loteamentos, Expansão e Estrutura Urbana**. Porto Alegre, 2001. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-graduação em Urbanismo.
- ROSA, M. **Geografia de Pelotas**. Pelotas: Editora da Universidade Federal de Pelotas, 1985.
- SILVA, J. G.. **A forma urbana em pelotas: Evolução morfológica e análises espaciais. Relatório final de Pesquisa**. Pelotas, 2004. Universidade Federal de Pelotas. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Núcleo de estudo em arquitetura e urbanismo.

SILVA, K. M.; CALDAS, N. V.; ALMEIDA, J. S. A zona rural do III Plano Diretor de Pelotas-RS. In: **Congresso de Direito Urbano-Ambiental**, 2006, Porto Alegre. Anais do Congresso de Direito Urbano-Ambiental, Porto Alegre: CORAG, 2006.

TAGLIANI, C. R. A.; VICENS, R. S. Mapeamento da Vegetação e Uso do Solo nos Entornos da Laguna dos Patos, RS, Utilizando Técnicas de Processamento Digital de Imagens do SIG Spring. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2003, Belo Horizonte. Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte: INPE, 2003.