

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo
Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional
PROPUR

**Elaboração de índice ambiental urbano através da análise de
densidade populacional e superfície impermeável em bacias
hidrográficas.**

Larissa Fagundes
Arquiteta e Urbanista

Orientador: Prof. Carlos André B. Mendes, Ph.D.

Trabalho realizado no Departamento de Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UFRGS, dentro do Programa de Pós-Graduação em Planejamento Urbano e Regional – PROPUR, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Planejamento Urbano e Regional.

Área de Concentração: Análise Urbana e Regional

Porto Alegre
Março de 2002

Dedico esta dissertação à memória do meu melhor amigo: Bongue.

Agradecimentos:

Eu tive um sonho um dia e desejei muito que se tornasse realidade. Nesse sonho eu me via uma pesquisadora que estudava a relação das pessoas com o meio onde elas viviam, moravam, trabalhavam, enfim se relacionavam. Eu também me via explicando minhas idéias a esse respeito para muitas outras pessoas. Hoje, eu posso dizer que esse sonho se tornou realidade através desse trabalho. Por isso, agradeço imensamente aos esforços das pessoas abaixo:

Ao Afonso Reguly e à Luciane Fagundes que foram lembrança constante da importância da comunicação dessa pesquisa à sociedade.

Ao Prof. Dr. Carlos André B. Mendes por ter acreditado no potencial de minhas idéias para colocá-las à prova numa dissertação de mestrado.

Ao Prof. Dr. Rômulo Krafta, por estimular meu ingresso no Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional e ao Prof. Dr. Décio Rigatti, pela motivação para a conclusão do mesmo.

Aos colegas Aquiles A. Laura e Tales F. Dornelles que estimularam e acreditaram nas minhas propostas, bem como, possibilitaram o desenvolvimento da modelagem geoestatística dos dados deste trabalho acrescentando imensa qualidade científica ao mesmo. Aos colegas Marcelo Thumé e Ricardo Juchen pelo apoio e empenho em realizar um trabalho seqüencial sobre o mesmo objeto de estudo.

Ao Prof. Oberon da Silva Mello pela disponibilização de informações junto à Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional. Ao Prof. Alfonso Risso do Instituto de Pesquisas Hidráulicas pelos poucos esclarecimentos, porém fundamentais para o encaminhamento e tratamento dos dados dessa pesquisa. Ao Prof. Adolfo O. N. Villanueva pela disponibilização da versão ainda não editada do Plano Diretor de Drenagem Urbana para Porto Alegre, parte relativa à bacia do Arroio da Areia, realizada no Instituto de Pesquisas Hidráulicas dessa universidade.

Às secretárias do PROPUR, Neiva Maria Pastorino Gonçalves e Rosane Margarete Tormes Ballejos, pelo carinho e disponibilidade em solucionar as questões burocráticas de um curso de mestrado. À bibliotecária Carmem Lúcia G. Rubin da Biblioteca da Faculdade de Arquitetura pela

orientação precisa e pelo auxílio indispensável na acumulação de leituras importantes para a fundamentação teórica em todas as instâncias do conhecimento que se mostraram necessárias para esta dissertação. Aos bibliotecários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística pela disponibilidade e ajuda na coleta de dados do Censo de 1991 para Porto Alegre.

Ao Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia dessa universidade pela disponibilização da imagem Landsat TM sobre Porto Alegre de dezembro de 1995. Ao Departamento Municipal de Lixo Urbano pelo interesse em disponibilizar suas informações. À Secretaria Municipal da Fazenda pela prestação imediata na disponibilização de informações e de explicações sobre a metodologia estatística utilizada na formulação de seus índices.

Enfim, agradeço a todas as pessoas envolvidas que, de maneira direta ou indireta, colaboraram na concretização deste trabalho, principalmente, na construção de uma base de dados que pôde viabilizar o conjunto das teorias aplicadas ou, ainda, nas discussões construtivas que demonstram a importância da pesquisa para a ampliação do conhecimento humano.

Resumo

O planejamento urbano possui um vasto campo a ser descoberto no que se refere às exigências mundiais ambientais existentes atualmente. Não apenas existem novas diretrizes a serem alcançadas, mas as cidades estão em constante evolução e, assim, a complexidade das mesmas também se torna um desafio. A partir dessas questões, o presente trabalho vem contribuir na elaboração de uma metodologia que facilite a construção de indicadores urbanos, principalmente naqueles que possam avaliar os limites do crescimento das cidades, representados aqui através da integração entre impermeabilização do solo urbano e densidade populacional.

A escolha de indicadores é função de cada pesquisador que possui conhecimento sobre os problemas, ambientais ou não, existentes nas cidades. Qualquer cidade, de qualquer porte, em qualquer lugar do planeta pode estar apresentando um problema ambiental relacionado às funções urbanas. Muitos podem ser os indicadores ambientais urbanos, mas nesta pesquisa são relacionados dois tipos de indicadores: a densidade populacional e as superfícies impermeáveis urbanas, pois acredita-se que com o crescente aumento de construções urbanas, um descompasso é causado na capacidade de absorção do solo durante períodos de chuva. A impermeabilização do solo gera problemas de enchentes que, muitas vezes, causa inúmeros impedimentos como alagamentos de vias ou nas próprias construções urbanas que afetam a população, causando inclusive mortalidade no caso de pessoas e carros arrastadas pela forte corrente das águas.

Uma metodologia simples pode facilitar o trabalho de planejamento de cidades como a utilização de procedimentos normalmente aplicados em estudos de recursos hídricos com o acréscimo de indicadores que também refletem as condições urbanas de bacias hidrográficas. As ferramentas utilizadas por esta pesquisa são: a) programas computacionais de geoprocessamento que agilizam e possibilitam a interconexão de diferentes informações urbanas localizadas no espaço; b) programas de sensoriamento remoto que atualizam informações cadastrais sobre a cidade utilizando imagens de satélite compatíveis; e, finalmente, c) modelos geoestatísticos que estimam valores próximos à realidade para toda a superfície urbana estudada, pois, muitas vezes, os dados disponíveis não cobrem toda a extensão da área em estudo.

Os resultados fornecidos através desses procedimentos metodológicos se mostraram satisfatórios no que se refere a análise da transformação das condições naturais de drenagem da bacia hidrográfica estudada. Foram percebidas alterações que prejudicam o desempenho de drenagem urbana em locais onde a própria topografia da região, juntamente com os dados de impermeabilização do solo e de densidade populacional contribuem para situações de alagamentos. Com essas informações é possível prever esses locais problemáticos e, então, melhorar as propostas de planejamento urbano dessas regiões. Considera-se que a pesquisa estimula a utilização de bacias hidrográficas como unidades de planejamento ambiental em cidades, pois é através delas que se pôde compreender os efeitos dos adensamentos urbanos como as enchentes urbanas que são atualmente um grande problema enfrentado nas cidades brasileiras.

Abstract

The urban planning has a great field to be fulfilled with new ideas and solutions for actual problems and environmental demands in cities. There are not only new directions to go, but as cities grow, also the complexity became a challenge. With all that in mind this work came to contribute with a methodology to facilitate the construction of urban indicators mainly in those which can evaluate cities grow, represented here by an integration of impervious surface and population density.

The choice of an indicator pass throws the knowledge that an expert has about the existent problems, environmental or not, in cities. Any city at any size and anywhere in the planet can present an environmental problem related with urban functions. Many kinds of indicators can be built, but in this research an indicator will be built to related population density with impervious surfaces. It is commonly known that rise in constructions can diminish soil water absorption when rains. The high level of impervious surfaces can cause urban problems like floods that in some cases can cause vehicles accidents, house flooding and even deaths.

The elaboration of an easy methodology can help city planning, in this way it was used methods normally used in hydrological studies together with indicators that reflect also the environmental and urban conditions in the watershed. Some tools used in this research are: a) geographic information systems software that can connect different urban information and also locate it in space; b) remote sensing software that can updated information about cities using compatible satellite images; and, finally, c) geostatistics models that can predict values near to reality to a whole surface, because many times the original values do not cover all the surface in study and also to better evaluate the variable in the space.

The results getting from these proceedings were good in a way that could show a transformation in the natural conditions of the studied watershed flow. It was noticed changes who compromised the performance of the drainage in some places that the topography together with data of the impervious surface and the population density added for problems like floods. With this kind of information it is possible to prevent problems in these places and improve the planning solutions for them. This research also approves the use of watersheds as planning units; because it is through

them that the effects of urban densities are better understand as urban floods that are the actual big problem faced in Brazilians cities.

Sumário:

	Página
Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas.....	xix
Lista de Abreviaturas	xxi
1. Introdução	01
1.1. Desenvolvimento urbano sustentável	02
1.2. Impermeabilização do solo urbano e os impactos no meio ambiente	06
1.3. Construção de um índice de sustentabilidade urbana	10
1.4. Estrutura da dissertação.....	12
2. Fundamentação Teórica.....	15
2.1. Introdução	16
2.2. Base física de atuação para o planejamento urbano	17
2.2.1. Impermeabilização.....	23
2.2.2. Densidade Populacional	24
2.2.3. Integração entre Impermeabilização e Densidade.....	28
2.3. Algumas propostas positivas ao espaço urbano e ao meio ambiente.....	30
2.4. O papel de índices e indicadores nas análises urbanas	34
2.5. Ferramentas integradoras	36
2.5.1. O sensoriamento remoto como método de estimativa da impermeabilização das cidades	37
2.5.2. O sistema de informação geográfica como ferramenta agregadora na composição de índices urbanos	46
2.5.3. Desagregação de dados censitários utilizando o sistema de informação geográfica	50
2.5.4. A geoestatística interpolando dados desagregados.....	56
2.5.5. O Modelo Numérico do Terreno para gerar o comportamento da bacia hidrográfica.....	60
3. Metodologia.....	65
3.1. Introdução	66
3.2. A fonte de dados.....	69
3.2.1. A imagem de satélite	69
3.2.2. As informações censitárias	73

3.3. Determinado o comportamento da impermeabilização urbana através da classificação da imagem de satélite	75
3.4. Desagregação e interpolação dos dados censitários	78
3.5. Comparação e significado dos valores de densidade populacional e superfície impermeável na superfície da bacia hidrográfica.....	82
3.6. Utilização do Modelo Numérico do Terreno.....	87
3.7. Construção de um índice ambiental urbano através dos indicadores utilizados	89
4. Estudo de caso: a bacia do Arroio da Areia em Porto Alegre	91
4.1. Descrição e localização da bacia hidrográfica	92
4.2. A fonte, a manipulação e o processamento de dados da superfície da bacia pesquisada.....	106
4.3. Resultados obtidos e discussões.....	122
5. Considerações Finais	162
5.1. Síntese do trabalho	163
5.2. Conclusões finais	166
5.3. Sugestões de pesquisas futuras.....	167
Referências bibliográficas	169
Bibliografia consultada.....	175
Anexo A	179
Anexo B	185

Lista de Figuras

Página

1. Introdução

Figura 1.1: O triângulo de conflitos existente em cidades, mas que ao mesmo tempo gera negociações a favor do desenvolvimento mais sustentável (Fonte: Campbell, 1996)..... 04

Figura 1.2: Quatro tipos de superfícies e a mudança de valores de escoamento superficial, infiltração, percolação e evapotranspiração que ocorrem com o aumento da urbanização (Fonte: Spinelli et al., 1995). 09

2. Fundamentação Teórica

Figura 2.1: Relação estilizada entre impermeabilização e qualidade dos arroios urbanos (Fonte: Arnold e Gibbons, 1996)..... 24

Figura 2.2: Distribuição típica do decaimento exponencial da densidade onde são apresentadas quatro possibilidades. 1) $b > 0$; 2 e 3) $b < 0$; e 4) $b = 0$ 26

Figura 2.3: Comportamento universal da densidade populacional com uma cratera próxima ao centro urbano. 27

Figura 2.4: Relação da densidade populacional com a impermeabilização do solo (Fonte: Campana e Tucci, 1995). 29

Figura 2.5: Dois modelos para loteamentos urbanos com diferentes taxas de impermeabilização, porém mesmo valor de densidade populacional. 31

Figura 2.6: Efeito dos reservatórios sobre os histogramas (Fonte: Tucci e Genz, 1995)..... 33

Figura 2.7: Análises realizadas no meio urbano e no meio ambiente com a possibilidade de traçar um paralelo multidisciplinar. 36

Figura 2.8: Comportamentos espectrais da água, grama, asfalto e concreto - elementos encontrados em superfícies urbanas..... 37

Figura 2.9: Exemplo de pixel misto com a presença de elementos como água, vegetação e construção numa área de 30 x 30 metros, onde a resposta espectral será um valor único. 38

Figura 2.10: Representação gráfica para conjuntos binários e conjuntos fuzzy (Fonte adaptada: Van Ranst et al., 1996). 40

Figura 2.11: Exemplo do comportamento gráfico para cada função de pertinência: a) tipo "S"; b) linear; c) tipo "J" e d) comportamento desejado. 42

Figura 2.12: Procedimento para obtenção de um mapa binário com características urbanas diferenciadas de características naturais. 44

<i>Figura 2.13: Esquema do processo de análise de atributos dentro de um sistema de informação geográfica.</i>	46
<i>Figura 2.14: Exemplo da divisão em pixels (100 x 100 metros) de um mapa representativo de plano diretor.</i>	47
<i>Figura 2.15: Fluxograma do processo que uma informação espacial pode percorrer dentro do geoprocessamento.</i>	48
<i>Figura 2.16: Orientação de um mapa em um sistema de coordenadas para outro.</i>	49
<i>Figura 2.17: Exemplo de um polígono com 7 (sete) pontos e a localização espacial do centróide desse polígono.</i>	55
<i>Figura 2.18: Exemplo de setor censitário que possui área onde não há presença de população, portanto, necessita a realocação do centróide.</i>	56
<i>Figura 2.19: Relocação do centróide para dentro do polígono que apresenta uma forma bastante irregular.</i>	56
<i>Figura 2.20: Mapa em degraus de dados espacializados com a interpolação poligonal, onde a alteração só ocorre nos limites dos polígonos.</i>	57
<i>Figura 2.21: Exemplo de uma superfície de dados interpolados através do método da krigagem.</i>	59
<i>Figura 2.22: Passos na produção do modelo numérico do terreno (MNT): a) digitalização das curvas de nível do terreno; b) mapa vetorial dentro de um ambiente de geoprocessamento; e c) rasterização do mapa com pixels com e sem valor (Fonte: Collischonn et al., 1999).</i>	61
<i>Figura 2.23: Ilustração de um MNT a partir das curvas de nível de uma bacia hidrográfica (Fonte: Collischonn et al., 1999).</i>	62

3. Metodologia

<i>Figura 3.1: Fluxograma da metodologia adotada para a construção do mapa indicativo da densidade populacional e a relação com impermeabilização das superfícies urbanas.</i>	68
<i>Figura 3.2: Fluxograma indicando os procedimentos de construção do Índice Ambiental Urbano (IAU).</i>	69
<i>Figura 3.3: Modo rasterizado de uma imagem de satélite, sendo possível notar no canto inferior da tela a referência - 1044X1233X256 tiff -, ou seja, esta imagem possui uma dimensão de 1044 colunas, 1233 linhas e 256 tons de cinza dentro de um formato tipo .tiff.</i>	71
<i>Figura 3.4: Imagem com cores falsas (RGB) sendo registrada no sistema de coordenadas desejado, onde seis são os pontos de controle distribuídos dentro da área de estudo.</i>	72

<i>Figura 3.5: Mapa esquemático dos polígonos dos setores censitários com sua numeração que relaciona as informações numéricas (tabela 3.1).</i>	74
<i>Figura 3.6: Mapa dos setores censitários dentro de um ambiente de geoprocessamento.</i>	75
<i>Figura 3.7: Histograma da figura 3.3 contendo classes como: a) água; b) vegetação; c) área construída; e d) solo descoberto.</i>	76
<i>Figura 3.8: Procedimento para classificação da imagem através da matemática fuzzy e determinação de áreas com valores entre 0 e 1 que caracterizam as condições impermeáveis das superfícies.</i>	77
<i>Figura 3.9: Localização dos polígonos de controle sobre superfícies urbanas diferenciadas sobre a figura 3.4.</i>	79
<i>Figura 3.10: Sobreposição da imagem binária classificada das superfícies urbanas (preto=0 e cinza=1) e do mapa digital dos setores censitários (linhas pretas) com a localização dos centróides (pontos pretos) para a realocação de centróides com problemas (+ pretas).</i>	80
<i>Figura 3.11: Ilustração do mapa resultante da interpolação da variável densidade populacional para toda a superfície espacial de estudo. As linhas dos polígonos é colocada apenas para efeito de comparação com a figura 3.10.</i>	81
<i>Figura 3.12: Etapas adotadas na desagregação e interpolação dos dados censitários: a) cálculo dos centróides dos polígonos agregado à informação da densidade populacional; b) classificação binária da imagem localizando as áreas construídas; c) realocação dos centróides e novo cálculo da densidade populacional relacionada às áreas construídas; e d) interpolação dos valores dos centróides para toda a superfície de área construída.</i>	82
<i>Figura 3.13: Esquema do processo que relaciona dois conjuntos de dados (impermeabilização e densidade populacional) dentro de um ambiente de geoprocessamento.</i>	83
<i>Figura 3.14: Diagrama de espalhamento do experimento agrônomo (Fonte: Brase e Brase, 1987).</i>	86
<i>Figura 3.15: Etapas para o cálculo da área acumulada onde: a) mapa com os valores das altitudes interpoladas nos pixels da área de estudo (MNT); b) indicação da direção dos fluxos de cada pixel para o vizinho mais baixo (aspecto); e c) valor acumulado da contribuição do próprio pixel mais do(s) pixel(s) que se direciona(m) para ele (área acumulada).</i>	88

4. Estudo de caso: a bacia do Arroio da Areia em Porto Alegre

<i>Figura 4.1: Mapa do município de Porto Alegre com a localização do retângulo envolvente sobre a bacia do Arroio da Areia (Fonte adaptada: Secretaria Municipal de Transportes - SMT).</i>	93
<i>Figura 4.2: Detalhe do retângulo localizando a bacia do Arroio da Areia a partir da figura 4.1 com indicações de pontos importantes de referência da área e do contorno da bacia (linha preta). Os retângulos internos 1, 2 e 3 localizam as figuras 4.3, 4.13 e 4.18, respectivamente.</i>	94

<i>Figura 4.3: Mapa de localização das figuras 4.4 até 4.12 – área à montante da bacia..</i>	95
<i>Figura 4.4: Área à montante da bacia o Arroio da Areia, próximo a um dos canais, onde está sendo construído um complexo (Projeto Hermes) com, aproximadamente, 15 prédios de comércios e serviços.....</i>	95
<i>Figura 4.5: Tipologia das construções do primeiro trecho da bacia é tipicamente residencial unifamiliar (casas) individuais ou em condomínios fechados com densidade líquida aproximada de 60 hab/ha.....</i>	96
<i>Figura 4.6: Bueiro (canalização fechada) localizado dentro do primeiro seguimento da bacia, localizado próximo ao campo de esportes do Colégio Anchieta na Av. Nilo Peçanha.....</i>	96
<i>Figura 4.7: Vista oposta ao campo de esportes do Colégio Anchieta, mostrando a declividade e o caminho natural da drenagem.....</i>	97
<i>Figura 4.8: Vista da região central à montante da bacia com uma tipologia de residências unifamiliares com inserção de residenciais multifamiliares (edifícios ao fundo e à esquerda da foto) com densidade líquida entre 60-125 hab/ha.....</i>	98
<i>Figura 4.9: Tipologia da Av. Nilo Peçanha próximo à Teixeira Mendes com uso misto de comércio e residências multifamiliares, na região central da bacia.</i>	98
<i>Figura 4.10: Detalhe da drenagem canalizada no trecho central da bacia..</i>	99
<i>Figura 4.11: Trecho à direita da bacia do Arroio da Areia, próximo à cervejaria Dado Bier. É possível observar uma área de prédios multifamiliares (densidade líquida aproximada de 100 hab/ha) à direita da foto e outra região de casas unifamiliares à esquerda (densidade líquida aproximada de 50 hab/ha), duas tipologias dessa região, bem como a área de mata nativa abaixo</i>	100
<i>Figura 4.12: Detalhe do arroio que percorre seu caminho natural, mas que recebe a influência do esgotamento sanitário no sistema pluvial.....</i>	100
<i>Figura 4.13: Mapa com a localização das figuras 4.14 até 4.17 – região de junção de dois trechos da bacia.....</i>	101
<i>Figura 4.14: Estação de tratamento de esgotos do Shopping Center Iguatemi.....</i>	102
<i>Figura 4.15: Tipologia das habitações após a união de dois trechos da bacia. Nas vias principais mais movimentadas (Rua Anita Garibaldi, por exemplo) há predominância de prédios multifamiliares (densidade líquida aproximada de 350 hab/ha) e nas vias secundárias de menor movimento veicular há predominância de residências unifamiliares (densidade líquida aproximada de 115 hab/ha).....</i>	102
<i>Figura 4.16: Vista do arroio canalizado e coberto, sendo seu uso destinado a passagem de pedestres neste trecho.</i>	103
<i>Figura 4.17: Outra vista do mesmo trecho do arroio também canalizado, porém, aberto.....</i>	103
<i>Figura 4.18: Mapa localizando as figuras 4.19 e 4.20 – região do polder do aeroporto.....</i>	104

<i>Figura 4.19: Tipologia da Vila Dique, onde o uso é misto de comércios e residências unifamiliares, sendo que todas as edificações são de um ou dois pavimentos com uma densidade líquida aproximada de 75 hab/ha.....</i>	<i>105</i>
<i>Figura 4.20: Drenagem da área à jusante da bacia, ao lado da Vila Dique. O arroio é drenado sobre um conduto forçado aberto (dique).</i>	<i>105</i>
<i>Figura 4.21: Retângulo da imagem Landsat-TM de dezembro de 1995 sobre a bacia do Arroio do Areia em 256 tons de cinza</i>	<i>107</i>
<i>Figura 4.22: Imagem com sete polígonos sobre as classes para extrair os pontos de controle....</i>	<i>108</i>
<i>Figura 4.23: Gráfico com o valor médio das respostas espectrais (eixo vertical) de sete classes sobre três bandas da imagem (eixo horizontal)</i>	<i>108</i>
<i>Figura 4.24: Imagem classificada pela matemática fuzzy atribuindo valores entre 0 e 1 representando áreas muito permeáveis até áreas muito impermeáveis, respectivamente.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 4.25: Imagem binária classificada atribuindo valores 0 e 1 representando áreas não construídas e áreas construídas, respectivamente</i>	<i>111</i>
<i>Figura 4.26: Mapa de localização dos setores censitários referente ao Censo Demográfico de 1991 do Município de Porto Alegre. A área em destaque compõem o retângulo envolvente da bacia do Arroio da Areia.....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 4.27: Detalhe do mapa dos setores censitários referente ao retângulo envolvente da bacia do Arroio da Areia, totalizando 419 setores censitários</i>	<i>113</i>
<i>Figura 4.28: Mapa com os 419 setores censitário da bacia do Arroio da Areia e a posição geográfica dos centróides com o valor da densidade populacional representado pela escala de cores (0-668 hab/ha).</i>	<i>116</i>
<i>Figura 4.29: Imagem com a classificação binária onde as áreas claras representam as áreas construídas e, portanto, passíveis à localização dos centróides</i>	<i>117</i>
<i>Figura 4.30: Imagem classificada com o deslocamento dos centróides para as áreas construídas.</i>	<i>118</i>
<i>Figura 4.31: Detalhe dos 5 setores que apresentaram modificações de área, coordenada x e y ou corrdenada z após a sobreposição do mapa binário de área construída e não construída, onde (a) é a situação inicial dos polígonos e centróides e (b) é a situação alterada com destaque para o deslocamento dos centróides 215 e 218</i>	<i>119</i>
<i>Figura 4.32: Mapa com os novos valores de densidade populacional dos 419 setores e com a nova localização de 53 centróides.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 4.33: Mapa final com a área em cinza sendo a superfície total a ser interpolada com os valores de densidade populacional a partir dos centróides de cada setor.....</i>	<i>121</i>
<i>Figura 4.34: Modelo Numérico do Terreno com a malha dos setores censitário sobreposta para melhor localização da região (Fonte adaptada: Freitas, 1998)</i>	<i>122</i>

<i>Figura 4.35: Semivariogramas dos 419 dados amostrais normalizados originais do Anexo A, onde: a) refere-se à direção 0° de maior continuidade e b) à direção 90° de menor continuidade.....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 4.36: Modelo de ajuste do tipo esférico (curva tracejada) sobre o semivariograma dos dados normalizados originais do Anexo A. A linha reta tracejada localiza a posição do “efeito pepita” (nugget effect).....</i>	<i>124</i>
<i>Figura 4.37: Interpolação através da simulação condicional Gaussiana dos dados originais do Anexo A na condição não normal (original).....</i>	<i>125</i>
<i>Figura 4.38: Histograma dos dados estimados originais do Anexo A através da simulação condicional Gaussiana.....</i>	<i>125</i>
<i>Figura 4.39: Semivariogramas dos dados amostrais normalizados alterados do Anexo A, onde a) refere-se à direção 0° de menor continuidade e b) à direção 90° de maior continuidade.....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 4.40: Modelo de ajuste do tipo esférico (curva tracejada) sobre o semivariograma dos dados normalizados alterados do Anexo A. Linha reta tracejada mostra a posição do “efeito pepita” (nugget effect).....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 4.41: Interpolação através da simulação condicional Gaussiana dos dados alterados do Anexo A na condição original (não normal).....</i>	<i>127</i>
<i>Figura 4.42: Histograma dos dados estimados alterados do Anexo A através da simulação condicional Gaussiana.....</i>	<i>127</i>
<i>Figura 4.43: Resultado da regressão linear sobre o conjunto de dados da densidade populacional (eixo x) e da impermeabilização (eixo y).....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 4.44: Comportamento da curva polinomial sobre o conjunto de dados da densidade populacional (eixo x) e da impermeabilização do solo (eixo y).</i>	<i>129</i>
<i>Figura 4.45: Mapa da impermeabilização do solo urbano agrupando em 10 classes os valores da tabela 4.6 com o limite da bacia em branco.....</i>	<i>130</i>
<i>Figura 4.46: Mapa da densidade populacional agrupando em 10 classes os valores da tabela 4.6 com o limite da bacia em branco.....</i>	<i>131</i>
<i>Figura 4.47: Mapa com o resultado do índice KIA para 10 classes da densidade populacional e 10 classes da impermeabilização do solo. Os valores de 0 até 91 se referem a cada uma das combinações entre as classes.....</i>	<i>132</i>
<i>Figura 4.48: Subdivisão em 5 classes dos valores de impermeabilização do solo urbano.....</i>	<i>135</i>
<i>Figura 4.49: Subdivisão em 5 classes dos valores de densidade populacional.....</i>	<i>135</i>
<i>Figura 4.50: Mapa resultante do índice KIA para 5 classes, onde os valores 0-21 são as combinações encontradas entre as classes</i>	<i>136</i>

<i>Figura 4.51: Subdivisão em 5 classes dos valores da densidade populacional apresentados pela tabela 4.10</i>	<i>138</i>
<i>Figura 4.52: Subdivisão em 5 classes dos valores da impermeabilização do solo urbano apresentados pela tabela 4.10</i>	<i>138</i>
<i>Figura 4.53: Mapa resultante do KIA para 5 novas classes das figuras 4.51 e 4.52.....</i>	<i>139</i>
<i>Figura 4.54: Área acumulada calculada a partir apenas do MNT.....</i>	<i>141</i>
<i>Figura 4.55: Mapa reclassificado da área acumulada até 250 pixels ou 22,5 ha de contribuição .</i>	<i>141</i>
<i>Figura 4.56: Mapa resultante do produto entre a impermeabilização do solo urbano (figura 4.51) e a densidade populacional (figura 4.52) com o limite da bacia em branco</i>	<i>142</i>
<i>Figura 4.57: Mapa da declividade calculado a partir do MNT da figura 4.34.....</i>	<i>143</i>
<i>Figura 4.58: Produto da multiplicação entre impermeabilização do solo, densidade populacional, topografia e coseno da declividade (figura 4.34 x figura 4.56 x figura 4.57) com o limite da bacia em branco.....</i>	<i>143</i>
<i>Figura 4.59: Índice ambiental urbano calculado a partir da figura 4.58 com o limite da bacia em branco</i>	<i>144</i>
<i>Figura 4.60: Alteração de duas áreas dentro da bacia com aumento dos valores de densidade populacional.....</i>	<i>146</i>
<i>Figura 4.61: Produto da densidade populacional (alterada), impermeabilização do solo (inicial), topografia e coseno da declividade</i>	<i>146</i>
<i>Figura 4.62: Índice ambiental urbano dos valores da figura 4.61</i>	<i>147</i>
<i>Figura 4.63: Percentual de mudanças entre o resultado inicial para o índice da figura 4.59 e o alterado da figura 4.62.....</i>	<i>147</i>
<i>Figura 4.64: Alteração de duas áreas dentro da bacia com aumento dos valores de impermeabilização do solo</i>	<i>148</i>
<i>Figura 4.65: Produto da densidade populacional (inicial), impermeabilização do solo (alterada), topografia e coseno da declividade</i>	<i>149</i>
<i>Figura 4.66: Índice ambiental urbano dos valores da figura 4.65.....</i>	<i>149</i>
<i>Figura 4.67: Percentual de mudança entre o índice inicial da figura 4.59 e o alterado da figura 4.66</i>	<i>150</i>
<i>Figura 4.68: Alteração de áreas dentro da bacia com aumento dos valores de densidade populacional e impermeabilização do solo.....</i>	<i>151</i>

<i>Figura 4.69: Produto da densidade populacional (alterada), impermeabilização do solo (alterada) e da topografia e o coseno da declividade.....</i>	<i>151</i>
<i>Figura 4.70: Índice ambiental urbano dos valores da figura 4.69.....</i>	<i>152</i>
<i>Figura 71: Percentual de mudança entre o índice inicial da figura 4.59 e o alterado da figura 4.70.....</i>	<i>153</i>
<i>Figura 4.72: Mapa com a criticidade das enchentes nas bacias do projeto Pró-Guaíba, com destaque a bacia do Gravataí que foi classificada como alto grau de criticidade quanto às enchentes.</i>	<i>153</i>
<i>Figura 4.73: Esquema da integração entre as análises de densificação urbana e o IAU.....</i>	<i>155</i>
<i>Figura 4.74: Mapa com os níveis de densificação para áreas de ocupação intensiva do 2º PDDUA e localização aproximada da bacia do Arroio da Areia (Fonte: Porto Alegre, 1997).</i>	<i>157</i>
<i>Figura 4.75: Exemplo de propostas de loteamentos residenciais para aumento de permeabilidade do solo.....</i>	<i>159</i>
<i>Figura 4.76: Exemplo de projetos comerciais, onde (a) é a proposta original, (b) a nova proposta e (c) mostra o novo sistema de drenagem (Fonte: McPherson, 2001)......</i>	<i>160</i>

Lista de Tabelas

Página

2. Fundamentação Teórica

<i>Tabela 2.1: Valores para a capacidade de infiltração em algumas superfícies urbanas (Fonte: Genz e Tucci, 1995).</i>	32
<i>Tabela 2.2: Valores do Coeficiente de Escoamento (C) para combinações de topografia e outros fatores rurais e urbanos (Fonte: Morris e Therivel, 1996).</i>	45
<i>Tabela 2.3: Valores do Coeficiente de Escoamento (C) para área urbanas (Fonte: Morris e Therivel, 1996).</i>	45

3. Metodologia

<i>Tabela 3.1: Apresentação esquemática dos itens informativos das tabelas dos setores censitários apresentadas pelo IBGE.</i>	73
<i>Tabela 3.2: Dados dos setores censitários da figura 3.5 com valores para a densidade populacional referente aos valores da área original (Área 1) e da imagem binária (Área 2).</i>	80
<i>Tabela 3.3: Cálculo do KIA a partir de uma matriz de incerteza qualquer.</i>	84

4. Estudo de caso: a bacia do Arroio da Areia em Porto Alegre

<i>Tabela 4.1: Cálculos estatísticos para a terceira banda sobre os polígonos das 7 classes</i>	109
<i>Tabela 4.2: Conteúdo parcial do censo demográfico referente a um determinado setor (Fonte adaptada: Secretaria de Planejamento, Orçamento e Coordenação da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE).</i>	114
<i>Tabela 4.3: Dados parciais dos cinco primeiros setores da bacia.</i>	115
<i>Tabela 4.4: Dados representativos de cinco setores que apresentaram alterações (em cinza) nos valores de área, coordenada X e Y ou coordenada Z.</i>	118
<i>Tabela 4.5: Comparação entre o total de população simulada para cada tipo de superfície (total e com o mapa binário).</i>	128
<i>Tabela 4.6: Subdivisão dos valores de densidade populacional e de impermeabilização do solo para efeitos do cálculo do KIA.</i>	130
<i>Tabela 4.7: Resultados do Kappa Index of Agreement (KIA).</i>	132
<i>Tabela 4.8: Subdivisão em 5 classes dos valores de densidade populacional e impermeabilização do solo</i>	134

<i>Tabela 4.9: Resultados do KIA para as 5 classes</i>	<i>136</i>
<i>Tabela 4.10: Subdivisão da densidade populacional e da impermeabilização do solo urbano em 5 novas classes</i>	<i>137</i>
<i>Tabela 4.11: Resultados do KIA para as 5 novas classes.....</i>	<i>139</i>
<i>Tabela 4.12: Tabela comparativa de custos em infra-estrutura com relação à densidade das unidades territoriais de planejamento (UTP) para Porto Alegre (Fonte: Porto Alegre, 1998, p.44).</i>	<i>154</i>

Lista de Abreviaturas

AL - Alagoas

C – Coeficiente de Escoamento

CEPAN - Centro de Estudos e Pesquisa de Administração Municipal

EIA – Estudo de Impacto Ambiental

GPS – *Geographic Position System*

IAU – Índice Ambiental Urbano

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ID - Identidade

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IQV – UFFTM – Índice de Qualidade de Vida

ISO – *International Standard Organization*

Metroplan – Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional

MNT – Modelo Numérico do Terreno

MP – Ministério do Planejamento

NE – Nordeste

NH – Novo Hamburgo

PB - Paraíba

PDDU – Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano

PDDUA – Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental

PE - Pernambuco

PET - Polietileno

RGB – Red, Green and Blue

RIMA – Relatório de Impacto Ambiental

RN – Rio Grande do Norte

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SMT – Secretaria Municipal de Transportes

SP – São Paulo

TM – *Thematic Mapped*

UTM – *Universal Transversa de Mercator*

UTP – Unidade Territorial de Planejamento

1.1. Desenvolvimento urbano sustentável

No início do desenvolvimento das cidades, quando os primeiros grupos de habitantes chegavam e definiam a melhor localização para construir suas habitações, observavam as condições naturais mais propícias como a topografia, a vegetação, a disponibilidade de água etc. As condições naturais do terreno são, num primeiro momento, mais importantes para a sobrevivência de uma comunidade, no entanto, com o passar do tempo, a quantidade de pessoas reunidas estabelecem novas condições para desenvolverem suas atividades. Muitas vezes, essas novas condições ultrapassam a capacidade inicial do meio natural como, por exemplo, há maior necessidade de produção de energia, disponibilidade de água potável, ampliação na deposição de dejetos sólidos e líquidos, rapidez no deslocamento de pessoas, aumento dos limites urbanos para localização de moradias ou aumento na densidade de pessoas que ocupam um mesmo espaço, enfim, tudo isso sinalizando o avanço de uma cidade. Contudo, o avanço também pode significar o esgotamento da capacidade de suporte do meio natural e inclusive das próprias infra-estruturas construídas pelo homem, principalmente quando se pensar a longo prazo como será o futuro das cidades se não houver mudança nos uso dos recursos que hoje dispomos (Lee *et al.*, 1992; Silva e Magalhães, 1993). A capacidade de suporte significa que qualquer estrutura é capaz de absorver demanda de uso de suas capacidades e desempenhar sua função sem que haja comprometimento de todo ou parte do sistema. Quando há o esgotamento dessa capacidade, a estrutura deixa de desempenhar suas funções como, por exemplo, um rio pode sofrer um esgotamento na absorção de poluentes que acarrete na morte de espécies da flora e da fauna que nele habitam.

Ao observar a cidade, existe uma variedade de inter-relações onde algumas são importantes de serem observadas sob o ponto de vista ambiental para ampliar a visão do planejamento urbano atual. Para melhor compreender as inter-relações entre os diferentes elementos constituintes da cidade, a utilização de indicadores que relacionam aspectos definidos pelo homem (econômicos e sociais) e aspectos definidos pela natureza (ambientais) pode ampliar a abordagem de um desenvolvimento urbano mais sustentável. Assim, outros dois conceitos se tornam, nesse momento, fundamentais para o entendimento dessa pesquisa:

- Meio Urbano – é o meio construído e habitado onde há maior quantidade de ofertas de produtos e serviços, moradia e lazer, infra-estruturas e tecnologias para o homem, diferente dos recursos disponibilizados pelos meios rurais e naturais. O meio urbano é mais diversificado e heterogêneo do que meio rural, por exemplo, que é caracterizado pela homogeneidade de espaços de produção primária (agrícola, pecuária etc.). O meio urbano é caracterizado, principalmente, pela quantidade elevada de habitantes por hectare, ou seja, possui alta densidade populacional se comparado aos meios rurais e naturais;
- Desenvolvimento Sustentável – sustentabilidade é uma palavra que vem do latim (*sustentare*) como a capacidade de impedir a ruína ou a queda de; amparar (Aurélio, 1999). No planejamento urbano sustentabilidade é um termo empregado para definir o desenvolvimento sustentável das cidades que pode ser interpretado como a capacidade das áreas intra-urbanas (regiões internas da cidade como, espaços de serviços, de produção ou de moradia) manterem suas relações para que o sistema urbano como um todo se desenvolva sem haver comprometimento da cidade a longo prazo. Hoje, inclusive se observa que a sustentabilidade de um meio urbano também está na capacidade que este meio possui em se relacionar de forma positiva e qualitativa com outros meios urbanos, ou seja, estabelecer relações regionais econômicas, sociais e ambientais saudáveis para o desenvolvimento de ambos.

O desenvolvimento sustentável (Bellia, 1996; Buckingham-Hatfield & Evans, 1996;) é uma proposta para as cidades continuarem avançando rumo ao desenvolvimento (melhoria qualitativa) e não apenas ao crescimento (expansão das dimensões). Com isso, metodologias de análise das condições urbanas, sobre o ponto de vista das estruturas construídas e naturais existentes, é uma necessidade que deve ser preenchida. Alguns autores (Campbell, 1996; Haughton & Hunter, 1994; Maclaren, 1996) sugerem que três são as principais inter-relações a serem observadas quando se deseja alcançar um desenvolvimento mais sustentável para as cidades. A figura 1.1 (Campbell, 1996) mostra os três conflitos existentes nas cidades e que desencadeiam negociações, sejam através de soluções mais sustentáveis (ponto de vista do autor) ou não (realidade de muitas cidades no mundo, principalmente de países pobres ou em desenvolvimento).

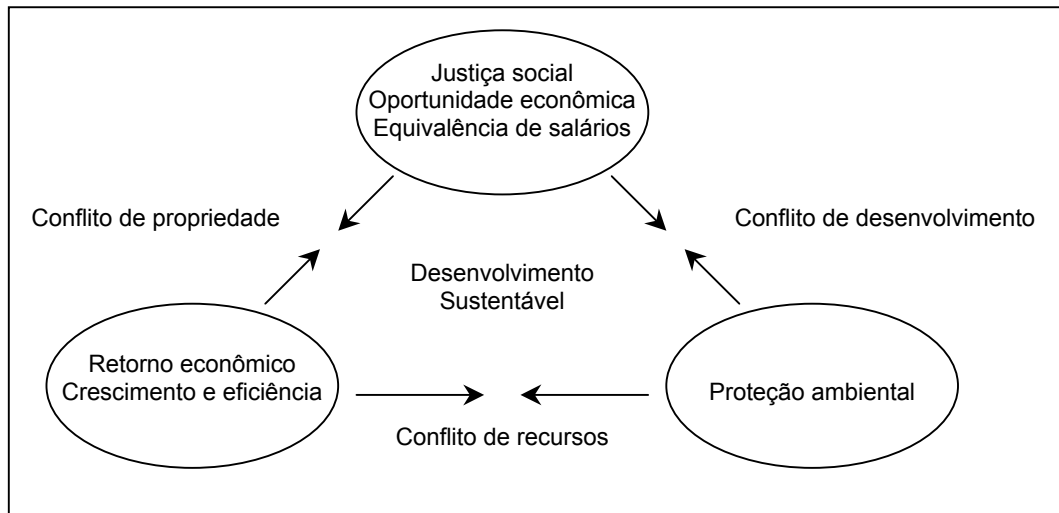


Figura 1.1: O triângulo de conflitos existente em cidades, mas que ao mesmo tempo gera negociações a favor do desenvolvimento mais sustentável (Fonte: Campbell, 1996).

Pela figura 1.1 é possível perceber que a solução para os problemas de muitas cidades existe, e está atrelada aos três elementos apresentados na figura 1.1, ou seja, sociais, econômicos e ambientais. Para Campbell (1996), os conflitos e soluções que ocorrem no processo de desenvolvimento urbano é que encaminha as cidades para a sustentabilidade. Portanto, a definição clara desses três elementos deve estar sempre presente quando se pensa em planejamento urbano, pois é a compreensão dessas inter-relações que surgem soluções para necessidades vitais à manutenção do sistema urbano.

É importante perceber hoje, por exemplo, que quando se altera uma determinada área intra-urbana, isto pode vir a influenciar grande parte ou, até mesmo, todo o sistema da cidade. As construções, as infra-estruturas ou a localização de usos de uma cidade é o resultado de todas as decisões tomadas no seu passado. Dentro de uma análise ambiental do meio urbano tais decisões podem ser avaliadas e observadas para que algumas medidas possam diminuir os efeitos gerados, desde que se tenha noção da causa desses problemas. A análise da realidade urbana não pode ser estanque, pelo contrário, deve comportar a quantidade de informações que cada meio possui como característica única no espaço e no tempo.

O desenvolvimento urbano sustentável é um processo que deve ser conquistado gradativamente (Maclaren, 1996), ou seja, a sustentabilidade, assim como os processos urbanos, é uma condição dinâmica. Teoricamente, a cidade sustentável é aquela que já inicia sua formação com

infra-estruturas convergindo para a sustentabilidade. No entanto, a cidade é o objeto que pode conter parcelas homogêneas sustentáveis ou parcelas em declínio, sendo importante localizar estas parcelas e avaliar o quanto colaboram para o resultado final: a cidade.

A cidade está em contínua transformação, com diferentes padrões de crescimento, assim, a mudança é capaz de causar transformações positivas e negativas para a cidade e o meio ambiente. Para que a verificação dessa mudança seja melhor observada, as características relevantes de uma cidade devem estar nitidamente delimitadas. Por exemplo, uma área natural onde há interesse para o desenvolvimento urbano possui um grande potencial para alcançar o desenvolvimento sustentável, mesmo porque, está na sua fase inicial de crescimento. Por outro lado, uma área já consolidada pode apresentar problemas como poluição, enchentes e congestionamentos, pois tem sua capacidade de transformação bastante limitada pela quantidade de relações já estabelecidas. Tais áreas são fortemente identificadas numa cidade seja pela quantificação populacional ou pelas constantes demandas em ampliações de infra-estruturas, por exemplo. Estas últimas áreas podem ser consideradas economias quando atingem um determinado patamar de crescimento e prestam seu serviço à população. Mas dependendo do patamar que atingem, também podem ser consideradas deseconomias de aglomeração (Carrion, 1996; Richardson, 1975) quando algum serviço gera muita carga ao sistema urbano, ou seja, aumentando os congestionamentos, a poluição, a violência.

Através das idéias abordadas até o momento, esta pesquisa busca compreender qual a maneira de permitir o crescimento das cidades, sem impedir o desenvolvimento econômico e observando os limites que o meio ambiente necessita para manter suas funções. A pesquisa trabalha no questionamento do estímulo ao adensamento populacional e da intensificação da impermeabilização do solo urbano como determinantes (ou não) de problemas ambientais encontrados em bacias hidrográficas urbanas. O adensamento da população e a crescente impermeabilização do solo podem causar aumento de dejetos sólidos que durante fortes chuvas ou pela falta de conhecimento da população contribuem no assoreamento de rios e canais, bem como, na interrupção de canalizações fechadas que, por sua vez, provocam alagamentos ou, ainda, contribuem para as enchentes, pois a impermeabilização do solo, por exemplo, aumenta o volume de água escoada, havendo diminuição das superfícies de absorção ou tempo de evaporação, sendo

esses apenas alguns exemplos dos problemas encontrados em bacias hidrográficas relacionados com a população e a impermeabilização de superfícies.

1.2. Impermeabilização do solo urbano e os impactos no meio ambiente

Hoje muitos dos problemas mundiais envolvem, de alguma forma, as cidades. A imigração é um dos fatores problemáticos em cidades européias, por exemplo. No entanto, a densificação urbana, para o melhor *aproveitamento* das infra-estruturas urbanas, parece ser um dos fatores mais agravantes para o desempenho satisfatório do meio urbano. Assim, avaliar o curso de crescimento das cidade para que seja acrescentado ganhos qualitativos ao desempenho das mesmas, bem como, ao desempenho do sistema ambiental é uma garantia para que esse processo não seja um impedimento para o futuro dos meios urbanos.

O conceito de sustentabilidade nos meios urbanos envolve todas as variáveis existentes nesse meio e não apenas às características construtivas como infra-estruturas, habitação e serviços. Quando se fala em sustentabilidade, deve-se imaginar todo o sistema que envolve o meio urbano. O meio urbano possui recursos gerados pela natureza (ar, solo, vegetação e água) e recursos gerados pelo homem (água tratada e canalizada, solo cultivado, edificações, pavimentações e eletricidade). Características básicas, como as citadas anteriormente, são fundamentais para a sobrevivência da população e devem ser garantidas pela própria cidade.

Observa-se que no Brasil o principal instrumento de planejamento urbano é a execução de planos diretores que normatizam o espaço construído, onde são embasadas os critérios e decisões de crescimento e desenvolvimento de uma cidade. No entanto, sabe-se que apenas este instrumento não é suficiente para o desenvolvimento sustentado, pois não trata a cidade com seus processos dinâmicos, não inclui o meio natural onde a cidade se insere, e não avalia os processos de suporte para a manutenção da cidade. Pode-se dizer que a utilização de planos diretores é uma forma reduzida de planejamento de cidades, pois possui um caráter pouco flexível, não acompanha a constante alteração do meio urbano, nem insere as causas e os efeitos urbanos, ambientais, econômicos e sociais que a cidade contém.

A normatização, geralmente estabelecida pelos planos, envolve: densidade habitacional (hab/ha); índice de aproveitamento ($A_{constr.}/A_{total}$); taxa de ocupação (%); altura máxima permitida (nº de pavimentos) e recuo de ajardinamento (m). No entanto, nenhuma das normas está relacionada com a realidade complexa das cidades como, por exemplo, às condições mínimas de saúde e habitabilidade sem risco eminente de perda patrimonial ou humana. Pelas normatizações, as cidades se tornam o canteiro de obras da máxima rentabilidade econômica das incorporadoras ou das prefeituras que investem nas infra-estruturas e as querem otimizadas no seu uso. O planejamento urbano no Brasil, assim como em muitos países em desenvolvimento, pouco considera as condições ambientais sadias, sustentáveis, qualitativas que a cidade deve oferecer à população para que esta desempenhe melhor suas funções de trabalho, moradia e lazer.

Tomando como parâmetro o avanço industrial, mecanismos de controle de produção mais limpa é um exemplo da melhoria das condições de produção industrial, pois diminui emissões e, algumas vezes, reintegra materiais que antes eram descartados durante o processo produtivo. As cidades, dentro dessa mesma ótica, podem utilizar mecanismos de controle da produção do solo, direcionando esse processo para uma produção urbana mais sustentável. Dentro da administração de empresas existem muitas propostas de ponta que podem ser adaptadas para a administração urbana, pois na empresas o que se visa é o melhor aproveitamento econômico da produção respeitando nos dias de hoje o meio ambiente. Mas mecanismos de controle ambiental também já são utilizados em cidades como os estudos de impacto ambiental (EIAs) e os relatórios de impacto ambiental (RIMAs) para grandes projetos construtivos urbanos, onde existe a possibilidade de comprometimento ambiental. As normas como as da *International Standard Organization* (ISO) da série 14000 são hoje implantadas em empresas e indústrias brasileiras que estão em processo de melhoria contínua para com o meio ambiente. Depois da ECO 92 no Rio de Janeiro, o encontro mundial para discussões ambientais, surgiu a Agenda 21 que procura estabelecer um novo conjunto de princípios para auxiliar comunidades a direcionarem soluções ambientalmente corretas. Ou seja, inúmeras alternativas já estão disponíveis para organizar qualquer projeto, empresa, comunidade, região ou cidade.

Um plano diretor não se valida apenas com aplicação de conceitos ambientais, mas também através de métodos que realizem as avaliações ambientais necessárias para atualizar o

plano. No novo plano diretor de desenvolvimento urbano e ambiental de Porto Alegre, por exemplo, existem avanços, mas ainda é utilizado o mesmo método, a mesma caracterização de unidades de planejamento que não inovam no que se refere aos impactos e às relações existentes na cidade. Legislação que defini apenas áreas de preservação também não é o suficiente para caracterizar um plano diretor de desenvolvimento urbano e ambiental, no caso de Porto Alegre. As construções urbanas são bem abordadas nesse novo plano, como na maioria dos planos diretores brasileiros, mas é esquecido que o solo urbano não é apenas um substrato inerte de ocupação dessas construções, pelo contrário é um solo que possui um papel fundamental para a manutenção do sistema urbano como regulador da absorção de água das chuvas, por exemplo.

As características naturais das cidades devem participar da construção e manutenção das mesmas. As condições hídricas, climáticas, topográficas, de acessibilidade etc. devem ser incluídas às normas construtivas para que haja melhor desempenho do uso do solo urbano. Com o planejamento estanque apenas no desempenho construtivo das cidades, o meio ambiente só é levado em consideração quando sua capacidade de suporte cede espaço ao descontrole e a situações de calamidade pública, como alagamentos, desmoronamentos etc.

A vida urbana é facilitada com a construção de habitações, infra-estruturas que melhoram o desempenho das pessoas para trabalhar, se locomover diariamente e ter segurança, com isso, amplifica-se a impermeabilização do solo e conseqüentemente o escoamento superficial, pois o solo urbano é um conjunto de diferentes tipos de superfícies pouco ou nada permeáveis como telhados, calçadas, ruas asfaltadas, lajes, dentre outras. A figura 1.2 (Spinelli *et al.*, 1995) mostra a alteração das condições de escoamento superficial, evapotranspiração, infiltração e percolação quando do aumento da urbanização para diferentes superfícies (natural, 10-20% impermeável, 35-65% impermeável e 65-100% impermeável). Nesse contexto, pode-se compreender que as enchentes não são apenas conseqüência de fortes chuvas, mas possuem a contribuição da localização, dimensionamento e manutenção de infra-estruturas que se tornam sobrecarregadas ou do uso inadequado do solo quando em áreas naturalmente alagadiças não apenas por habitações irregulares, mas como também pela decisão equivocada de administrações municipais.

Após a figura 1.2, algumas manchetes do Jornal Correio do Povo entre os anos de 1998 a 2001 são apresentadas para ilustrar as conseqüências dos alagamentos ou enchentes em cidades no Brasil e no mundo.

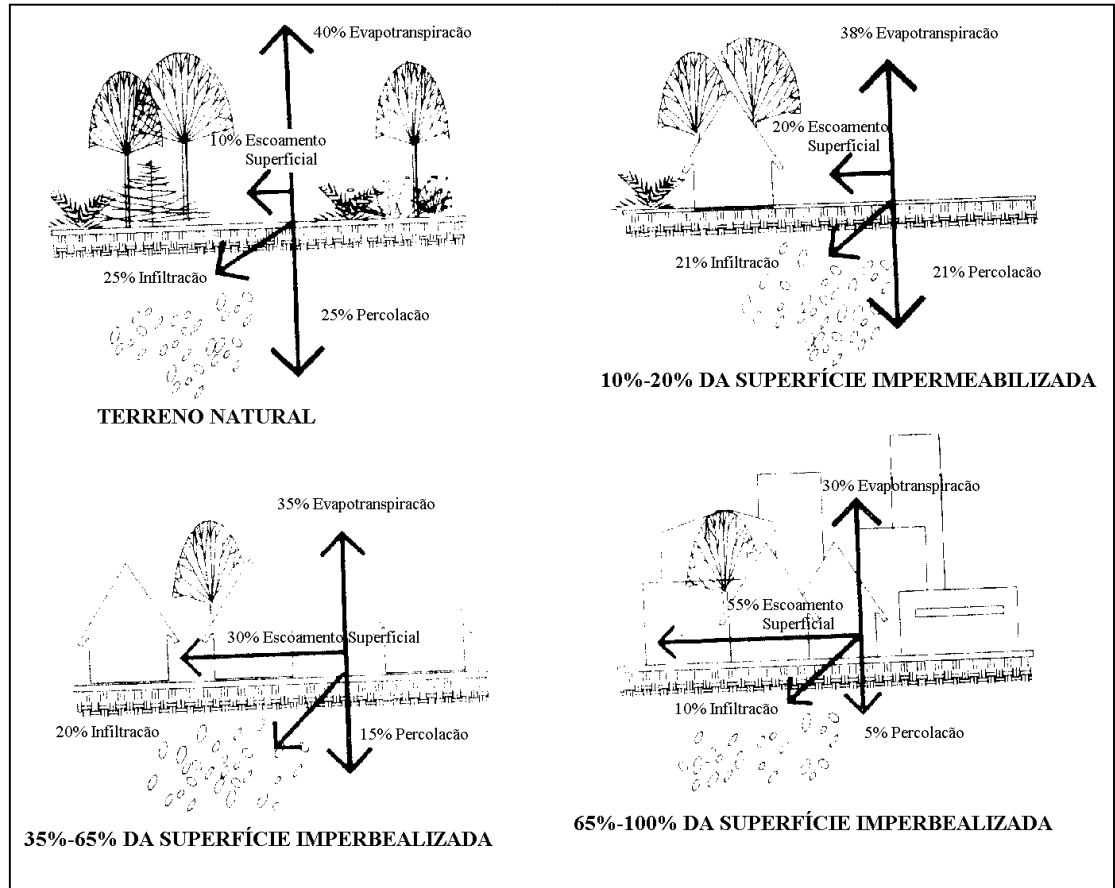


Figura 1.2: Quatro tipos de superfícies e a mudança de valores de escoamento superficial, infiltração, percolação e evapotranspiração que ocorrem com o aumento da urbanização (Fonte: Spinelli et al., 1995).

1. "Começa trabalho de dragagem do arroio Feijó. O objetivo das obras é reduzir o risco de enchentes na região" (Correio do Povo: Porto Alegre, 10 de Janeiro de 2001).

2. "Advertência sobre a água para beber. O governo do Estado fez um alerta ontem no sentido de que as pessoas das áreas atingidas por enchentes tenham cuidado com o consumo de água de poços ou de locais expostos" (Correio do Povo: Porto Alegre, 17 de Outubro de 2000).



3. "NH obtém R\$ 300 mil para sanar área sujeita a cheia" (Correio do Povo: Porto Alegre, 22 de Abril de 2000).



4. *“Santa Catarina tem mais de 600 desabrigados. As chuvas que atingiram Santa Catarina nos últimos dias causaram destruição em vários municípios das regiões Extremo Sul e Norte”* (Correio do Povo: Porto Alegre, 18 de Fevereiro de 2000).

5. *“14 mortos em SP devido às chuvas”* (Correio do Povo: Porto Alegre, 10 de Janeiro de 2000).

6. *“Chuva e enchentes castigam a Bahia”* (Correio do Povo: Porto Alegre, 21 de Dezembro de 1999).

7. *“Mais de 100 morrem em cheias no México”* (Correio do Povo: Porto Alegre, 14 de Setembro de 1998).

8. *“Cheias fazem China remover 330 mil”* (Correio do Povo: Porto Alegre, 8 de Agosto de 1998).



9. *“Risco de enchente preocupa Porto Alegre. Bird considera este o pior problema ambiental da cidade, única Capital do país a ter um setor específico para tratar do assunto”* (Correio do Povo: Porto Alegre, 19 de Julho de 1998).

10. *“Argentina prepara-se para esvaziar cidade. Buenos Aires - Uma operação militar sem precedentes na Argentina está sendo preparada para o caso de que seja necessário evacuar a cidade de Resistência, ameaçada de ser inundada pelas águas do Rio Paraná, atualmente quase sete metros acima de seu nível normal”* (Correio do Povo: Porto Alegre, 30 de Abril de 1998).

Pelas 10 manchetes citadas acima, é possível perceber que alagamentos não são eventos naturais sem controle, mas podem ser minimizados seus efeitos se forem adotadas medidas de planejamento urbano voltadas também para as características ambientais. Se houver estudos que avaliem as condições das bacias urbanas no que se refere às condições de localização da população, das edificações, das infra-estruturas existentes etc. já é possível ter um panorama do que será enfrentado quando em situações extremas (enchentes).

A bacia hidrográfica urbana é uma unidade de planejamento eficaz no que se refere às análises de causa e efeito da urbanização no meio ambiente. No caso de se trabalhar com as bacias hidrográficas o problema das enchentes é facilmente detectado, pois é possível observar o desempenho das infra-estruturas e também da variável social (população). Dentro de uma

abordagem multidisciplinar, haverá maior entendimento e cooperação entre os diferentes agentes que contribuem para o desenvolvimento das cidades.

1.3. Construção de um índice de sustentabilidade urbana

A hipótese de pesquisa é de que áreas com maior concentração populacional apresentam piores condições à drenagem eficiente das águas pluviais, causando problemas não necessariamente na própria área, mas principalmente em áreas à jusante da bacia (áreas mais baixas). Apesar de óbvio, esta relação de montante para jusante no espaço de bacias urbanas, normalmente não é considerada na prática urbanística quando do gerenciamento de cidades.

O desenvolvimento de uma metodologia para a verificação do comportamento de áreas intra-urbanas, explicitado através dos fluxos dentro de bacias hidrográficas, é o objetivo geral deste estudo, que busca associar os impactos decorrentes da urbanização com a drenagem de uma área, indicada através da impermeabilização da superfície do terreno e densidade populacional. O resultado final dessa metodologia é a avaliação dos diferentes graus de impermeabilização encontrados dentro da cidade, relacionando com as densidades populacionais e os seus impactos à jusante (posições mais baixas topograficamente) na bacia hidrográfica. Com este resultado é possível observar a localização e a dimensão dessa relação no espaço da bacia hidrográfica urbana para que se tenha a noção de causa e efeito das enchentes no processo de desenvolvimento urbano. O processo de desenvolvimento é levantado através diferentes graus de urbanização encontrados na bacia como, por exemplo, a diferenciação quanto à densidade populacional ou quanto aos espaços construídos, sendo todos levantamentos de dados da realidade.

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- Constatar a validade de se trabalhar com os dois indicadores - impermeabilização do solo urbano e densidade populacional – na avaliação de desempenho do ambiente urbano (drenagem);
- Observar a pertinência de análises intra-urbanas (internas à cidade) no que se refere à causa e efeito dos processos de adensamento das cidades, utilizando, para isso, a bacia hidrográfica como unidade de planejamento.

Percebe-se que a cidade atual desobedece muitos princípios do desenvolvimento sustentável: trabalhar para manter condições semelhantes para gerações futuras; melhorar a interação com o meio ambiente natural; não desperdiçar recursos naturais, dentre outros. Com a inclusão das variáveis ambientais, se está trabalhando diretamente com a capacidade de suporte de determinada área para que os espaços urbanos tenham um desempenho ótimo ou, pelo menos, satisfatório para as atividades ali desenvolvidas. São estas as características que diferenciam esta pesquisa dos métodos de delimitação de unidades territoriais de planejamento de regimes urbanísticos utilizados, incorporando a conceituação de bacia hidrográfica como fator limitante aos processos de urbanização.

1.4. Estrutura da dissertação:

Após a apresentação em linhas gerais da pesquisa, exposta neste capítulo introdutório, é descrito a seguir a organização da dissertação.

O capítulo 2 contém a fundamentação teórica ou a revisão da bibliografia em relação aos principais elementos da pesquisa. Uma primeira parte desse capítulo é destinada a descrição de teorias do crescimento urbano para que se compreenda a importância desse estudo dentro do planejamento e quais os fatores observados dentro desse processo. Ainda dentro dessa primeira parte do capítulo 2, é feita uma comparação do que há de propostas para solucionar problemas urbanos, para o nosso caso, a impermeabilização dos espaços construídos. A sugestão de autores sobre a melhor utilização de grandes espaços construídos como os estacionamentos que são superfícies pouco eficientes e o potencial que apresentam para absorção de cargas de chuva.

Com uma visão da primeira parte, entra-se para a segunda parte do capítulo 2: a base física do espaço urbano. Esta segunda parte é dedicada à discussão dos diferentes fenômenos naturais que a cidade apresenta e que são renegados a um segundo plano até que surja algum desconforto para a população e exija uma solução emergencial.

Na terceira parte do capítulo 2, são trazidos exemplos, dentro do planejamento, de casos de uso do solo urbano com efeitos positivos para o meio natural. É a inserção da visão multidisciplinar dentro dos problemas urbanos, ou dentro das soluções que o planejamento oferece. Se antes a cidade sofria um crescimento descontrolado, agora ela pode iniciar um crescimento

baseado no conhecimento das variáveis intervenientes desse processo para que haja um desenvolvimento sustentado.

A quinta parte desse capítulo, traz alguns autores que utilizam um instrumento muito detalhado e completo para analisar as condições urbanas: os dados dos censos demográficos. É demonstrado o que existe dentro de um trabalho de censo demográfico, sua periodicidade e como este tipo de instrumento pode ser adicionado à determinação do uso de áreas urbanas. Comenta-se a importância de desagregação das unidades de informação – os setores censitários, para espacializar melhor esses dados sobre as populações urbanas.

Se na parte anterior se comenta sobre a desagregação dos dados para que haja uma espacialização mais adequada e realista, é na sexta parte do capítulo 2 que se traz a descrição de técnicas de interpolação dos dados, bem como, a definição das técnicas mais adequadas para cada tipo de dado disponível.

A sétima e última parte desse capítulo trata do sistema de informação geográfica, ou também conhecido como SIG. Por ser uma ferramenta bem utilizada hoje, é feita uma descrição e uma análise dos potenciais de utilização dentro do planejamento urbano, observando-se a vasta aplicabilidade dentro de trabalhos envolvendo diferentes disciplinas, diferentes bancos de dados e a sobreposição dentro de um sistema único de coordenadas.

O capítulo 3 é destinado a descrição da metodologia da pesquisa. É abordado, numa parte introdutória, um organograma dos passos necessários (técnicas e dados) para gerar o produto final da pesquisa. Numa segunda parte do capítulo 3, é descrito detalhadamente os dados utilizados e os tratamentos necessários para que haja a sobreposição dos dados. Na terceira parte do capítulo da metodologia, é explicado os métodos de determinação de áreas impermeáveis, bem como, os diferentes índices de impermeabilização para os diferentes usos do solo.

A quarta parte do capítulo 3 descreve os procedimentos para a desagregação e posterior interpolação dos dados censitários. No seguimento, uma quinta parte desse capítulo é dedicada a adequação dos dados manipulados, são feitas comparações entre os dados estimados e os dados originais, também identifica-se a relação existente entre os diferentes dados sobrepostos.

Na sexta parte do capítulo 3, são comentados as contribuições do Modelo Numérico do Terreno (MNT) para o resultado da pesquisa, pois ele indica o caminho do escoamento na bacia hidrográfica. A última parte da metodologia descreve o Índice Ambiental Urbano (IAU) com o fechamento para todos os elementos apresentados anteriormente e suas contribuições no índice.

O capítulo 4 traz o estudo de caso, ou seja, a descrição do objeto de estudo e a aplicação da metodologia anteriormente apresentada no capítulo 3. A primeira parte desse capítulo é destinado à localização e descrição da área de estudo. Na segunda parte do capítulo 4 é apresentado e comentado parte dos dados originais e parte dos resultados obtidos a partir dos métodos propostos, estando o material completo anexado à dissertação. A terceira e última parte expõe a manipulação dos dados já transformados na segunda parte para a realização do produto final que é o IAU, juntamente é feito as discussões das etapas e dos resultados obtidos.

O capítulo 5 finaliza a dissertação com as considerações finais da pesquisa. Na primeira parte é feito uma comparação entre as proposições feitas na introdução do trabalho e os resultados obtidos. Na segunda parte, analisa-se a relevância do estudo realizado e, na terceira e última parte, são propostas algumas sugestões para trabalhos futuros.

2. Fundamentação teórica

2.1. Introdução

A fundamentação teórica dessa pesquisa busca esclarecer a importância da inovação no que se refere às unidades de planejamento, bem como, de novas metodologias de abordagem no planejamento urbano. Inicialmente, a base física de planejamento ou a unidade de planejamento proposta nesta pesquisa é a bacia hidrográfica e este assunto é coberto no item 2.2 desse capítulo. Ainda dentro desse item é feita uma subdivisão para esclarecer a importância de se analisar a bacia hidrográfica do ponto de vista da impermeabilização do solo e da densidade populacional.

O item 2.3 da fundamentação teórica busca exemplificar alguns tratamentos no desenho urbano que repercutem de forma positiva para o meio ambiente, mais precisamente para a questão de impermeabilização do solo urbano. Este item é fundamental para que se tenha idéia de que a alteração morfológica no uso do solo, muitas vezes, é significativa no desempenho de funções básicas de infra-estrutura. Os exemplos também ampliam a importância do desenho urbano, uma ferramenta minuciosa e, principalmente, funcional sobre os aspectos de desempenho das estruturas urbanas.

O item 2.4 aborda o objetivo de se trabalhar com indicadores e índices. Ainda que se questione a validade de quantificações em detrimento de qualificações urbanas, muitas vezes, para que se inicie análises profundas sobre as situações urbanas, os indicadores e índices podem cumprir uma função essencial de monitoramento e levantamento do funcionamento da cidade. Os indicadores são um instrumento de pesquisa urbana que deve ser mantido, e também deve ser aperfeiçoado para que registre os comportamentos atuais e perceptíveis da cidade tanto pelos estudiosos da área quanto pelos moradores que a habitam.

Assim, o item seguinte (2.5) trata das ferramentas integradoras, ou seja, se são levantados indicadores urbanos para análises, estes devem ser tratados de alguma forma para que se obtenha resultados na forma espacial, sendo os estudos urbanos nitidamente relacionados aos comportamentos no espaço. As ferramentas descritas nesta fundamentação cobrem: a) o sensoriamento remoto através das imagens de satélite, por ser uma ferramenta que possibilita uma atualização de fontes de dados cadastrais, por exemplo; b) o sistema de informação geográfica que proporciona criar um vasto banco de dados sobre uma mesma região passível de sobreposições

entre diferentes informações através de análises matemáticas, por exemplo; c) desagregação de dados através da atribuição de valores para pontos centrais de polígonos, pois normalmente os dados cadastrais referem-se a regiões e não a pontos no espaço; d) interpolação dos dados desagregados, sendo este o último passo para que todo o espaço urbano fique coberto com informações espacializadas, ou seja, cada ponto definido dentro de uma malha de pontos recebe uma informação, possibilitando a interconexão de informação entre os diferentes mapas gerados dentro do sistema de informação geográfica; e e) o Modelo Numérico do Terreno (dados interpolados da topografia) que possibilita avaliar o caminho das águas dentro da bacia em estudo. O conjunto de procedimentos que as ferramentas comentadas proporciona é o que nos instrumentaliza para melhor analisar os fenômenos urbanos decorrentes dos indicadores escolhidos para estudos relacionados ao espaço urbano.

2.2. Base física de atuação para o planejamento urbano

Os processos de mudanças na forma das cidades ocorreram ao longo de séculos. Os diferentes tipos de necessidades sociais, políticas, econômicas e culturais foram os auxiliares nesse processo de mudança (Conzen, 1988). Na idade média, as cidades desenvolviam-se dentro de limites forçados. As cidades muradas, como eram chamadas, possuíam um propósito: a proteção contra invasores. Hoje, existe uma grande quantidade de estudos sobre o comportamento ou o crescimento das cidades que auxiliam a melhor compreensão dos processos urbanos que, por sua vez, são fundamentais para que se trabalhe com o planejamento ou a organização das cidades.

Se num tempo distante as pessoas se uniam para melhorar sua proteção, hoje são outros os motivos que movem o crescimento urbano. Para desvendar algumas inclinações pelo qual o crescimento urbano ocorre, são trazidos alguns autores que abordam este estudo de diferentes maneiras.

Hillier e Hanson (1984) comentam que as construções urbanas não são apenas objetos, mas possuem um propósito maior: são transformadores do espaço, e que a ordenação dos espaços pelos prédios são na realidade a ordenação das relações entre as pessoas, possuindo o crescimento uma caracterização da necessidade social. Reconhecendo a ordenação espacial, se reconhece uma sociedade.

Por outro lado, para Conzen (1988) a compreensão dos motivos do crescimento devem ser destinados apenas ao tipo de morfologia urbana que se desenvolve em cada cidade. Na mesma linha, Whitehand (1988) traz uma visão panorâmica dos estudiosos que se interessaram pelo estudo da morfologia e faz uma subdivisão: inicialmente, havia os geógrafos interessados numa “revolução quantitativa”, na construção de modelos derivados da economia de terras e em estudos sobre a forma e o desenho urbano; mais recentes, são os cientistas sociais interessados na relação entre os diferentes tipos de economia e o desenvolvimento urbano, e adiciona a influência nos estudos morfológicas da arte ou da arquitetura histórica. O autor adverte que tais subdivisões de estudos apresentam uma certa artificialidade para explicar o desenvolvimento urbano, como se houvesse uma competição, onde cada subdivisão espera explicar melhor a morfologia urbana, esquecendo-se que as cidades são compostas por todos os tipos de influências e análises. A cidade é um processo multidisciplinar, impossível de ser analisado, em sua complexidade, por apenas um olhar. Nesse sentido, o autor confirma a importância da diversidade de olhares sobre a cidade para que se possa obter um planejamento mais eficiente. Hillier e Hanson (1984) também corroboram para essa necessidade quando falam sobre as construções não se tratarem apenas de objetos, mas também de sistemas espaciais de relação, assim como a cidade e as diferentes relações sociais, econômicas, ambientais, físicas etc. que possui.

Compreendendo ainda o processo do crescimento urbano, se por um lado alguns estudos se destinam à descrição do processo, Logan e Molotch (1993) abordam alguns dos efeitos do crescimento. A análise dos autores gira em torno do uso e da troca de valores que existe na máquina de crescimento que é a cidade para a grande maioria dos grupos que atuam localmente. Tais grupos certificam que o crescimento urbano é fundamental para a base econômica da cidade, para a geração de empregos, promove recursos para solucionar problemas sociais (segurança, saúde, moradia etc.) e permite que o mercado imobiliário providencie diferentes tipos de moradias necessárias ao crescimento “natural” da população. Ou seja, criticam que muitas pessoas são encorajadas a acreditar que o crescimento urbano resolve os problemas. No entanto, a solução das cidades deve estar embasada na compreensão e nas avaliações realistas das cidades. Um dos problemas exemplificados por Logan e Molotch (1993) é de que o tamanho e a razão do crescimento urbano geram um crescimento e exacerbação da segregação e desigualdade, problemas comuns para as cidades nos países em desenvolvimento como o Brasil. Outro exemplo, não apenas para

estes países, mas para todo o mundo, e um dos maiores problemas detectados hoje, é a geração de poluentes hídricos e atmosféricos causados pelo crescimento contínuo das cidades.

Para que haja melhores estratégias de ação dentro do planejamento, é necessário também que se utilizem métodos de identificação das causas do crescimento urbano. Uma das metodologias de análise que detectam potencialidades e estabilidades nos sistemas configuracionais urbanos é o estudo das centralidades urbanas (Krafta, 1994). A metodologia permite identificar locais onde há forças que influenciam a transformação ou o crescimento urbano. É um estudo que mede a diferenciação morfológica para que também haja uma diferenciação no tratamento das propostas urbanas. Este tipo de modelo permite prever comportamentos do espaço urbano com os possíveis efeitos que determinadas configurações espaciais podem causar no sistema urbano como um todo. Trabalhos como esse são fundamentais à compreensão e explicação da cidade e suas pressões internas. No entanto, ainda há necessidade de observar o modo como estes comportamentos são absorvidos pelo meio ambiente. Os efeitos ambientais são visíveis no meio urbano que perde sua qualidade a cada momento em que amplia seus limites, mas as causas para esta perda de qualidade ambiental ainda não foram detectadas. O modelo de centralidade pode ser um ponto de partida para analisar a causa dos problemas que surgem com o crescimento urbano.

Bertuglia *et al.* (1994) abordam modelos como os de acessibilidade e oportunidade, e sugere alguns indicadores de desempenho para o planejamento urbano. Entretanto, um dos diferenciais do trabalho apresentado por Bertuglia *et al.* (1994), é a constatação sobre os processos urbanos possuírem um caráter dinâmico e que, pela sua revisão, muitos dos modelos do planejamento trabalham apenas com problemas de médio e longo prazo, sendo pouco enfatizado a criação de modelos que trabalhem com indicadores dinâmicos de curto prazo, como se este componente não fosse parte do processo de crescimento urbano. No mundo todo há uma incrível rapidez no desenvolvimento de novas tecnologias, de avanços culturais, médicos, bem como, de novos problemas urbanos. É possível de se pensar que em breve os instrumentos do planejamento também deverão acompanhar este ritmo para organizar com suficiente rapidez e eficiência o processo de produção do uso do solo.

Como foi visto, muitos trabalhos em planejamento urbano são tratados pelos modelos demográficos, locacionais, de transporte ou de interação espacial (Wilson, 1974), onde a maioria

dessas aplicações envolvem dados relacionados às atividades urbanas e aos agentes interessados, não referindo-se em nenhum momento às características físicas ambientais desse meio. A produção do solo urbano foi, até recentemente, estudo exclusivo de geógrafos, cientistas sociais, economistas e arquitetos. Quando há o tratamento dos problemas ambientais urbanos, outros trabalhos (Maclaren, 1996) sugerem a abordagem multidisciplinar, ou seja, o envolvimento de diferentes disciplinas que auxiliem a compreensão dos problemas urbanos e ambientais. Como se vê, há necessidade da ampliação multidisciplinar dos estudos urbanos no que se refere à biologia, engenharia, geologia etc., pois o planejamento de cidades e a influência que esse meio exerce é tão complexo e diverso quanto o seu próprio processo de crescimento.

Pelo que se viu anteriormente a criação de indicadores sociais, econômicos e físicos das construções urbanas, bem como, indicadores relacionados diretamente com a qualidade ambiental desses meios deve constar nas análises urbanas como elementos constituintes da paisagem e do processo urbano daqui para frente. O mapeamento dos indicadores é um processo amplo e capaz de encaminhar soluções para problemas ou carências urbanas encontradas. Deve-se ter em mente que trabalhos de prevenção são melhores opções como acontece, por exemplo, com os Estudos de Impacto Ambiental (EIA), envolvendo grupos multidisciplinares que avaliam processos físicos do solo, água, ar, ecossistemas vivos etc. de áreas que receberão projetos de alteração significativa no local (Morris e Therivel, 1996). Estes estudos, no entanto, avaliam apenas projetos de grande porte, enquanto que o planejamento urbano deveria também se preocupar com alterações urbanas de qualquer porte, pois o somatório dessas terá seu efeito em diferentes instâncias ambientais, sociais, econômicas etc.

Entidades governamentais que lidam com as questões ambientais, bem como, as entidades não governamentais como associação de moradores, órgãos ligados aos empreendedores imobiliários, empresas privadas etc. constituem, de certo modo, a abordagem multidisciplinar de uma cidade ou região. Entretanto, nenhum desses participantes, nem mesmo os órgãos municipais de controle e administração urbanos, possuem uma visão comum sobre as unidades de atuação. Cada um atua sobre uma setorização diferenciada: alguns utilizam os limites do bairro como sua unidade de atuação, outros criam sua própria unidade para calcularem o valor do solo e sua taxa, por exemplo, ou para que os instrumentos reguladores construtivos e de usos do solo atuem, ou ainda

para o levantamento censitário, dentre outros. É necessário que se estabeleça uma unidade comum de atuação multidisciplinar para que se tenha melhor noção das alterações encontradas ou estabelecidas.

A utilização de bacias hidrográficas como unidades de análise ambiental vem se tornando comum quando se deseja observar o comportamento do ponto de vista ambiental e também urbano. Encontrar indicadores ambientais no meio urbano, quando se observa o comportamento de uma bacia hidrográfica, possibilita estabelecer tanto a causa quanto o efeito revertido ao ambiente. O fator causa e efeito é facilmente percebido quando se observa o comportamento da drenagem urbana, por exemplo, como a contribuição das áreas impermeáveis do meio urbano nas enchentes (Arnold e Gibbons, 1996; Campana e Tucci, 1995; Genz e Tucci, 1995; Harbor, 1994; Leopold, 1969; Ramos *et al.*, 1999; Smith e Vidmar, 1994; Spinelli *et al.*, 1995). A divisão de grandes bacias hidrográficas que, muitas vezes, envolvem limites regionais, para a análise de sub-bacias, que se aproximam mais dos limites urbanos, é uma das facilidades de se trabalhar com este tipo de unidade de planejamento. Estes sistemas menores facilitam o trabalho de análise de áreas urbanas, tendo-se como base, inclusive, o comportamento inicial da bacia como o anterior a sua urbanização pela simples análise pedológica (solo) da área. Dentro dos estudos hídricos, as condições do solo, da topografia, da vegetação predominante, dentre outras características podem indicar como era seu comportamento antes da impermeabilização do solo.

Em situações anteriores de ocupação do solo, pelas características naturais do solo, a bacia hidrográfica apresenta um determinado comportamento de drenagem das águas de chuva. Quando esta mesma região possui uma ocupação urbana, muitas das superfícies tendem a ser mais impermeabilizadas, dificultando a absorção da água no solo. A infra-estrutura para solucionar a impermeabilização é a construção de condutores ou canalizações por onde a água será escoada. Assim, o caminho que a água da chuva percorre na bacia durante os eventos de chuvas é desviado e se torna mais volumoso, pois não conta mais com um percentual de absorção do volume d'água, ou seja, o coeficiente de escoamento da água se torna maior. É através deste raciocínio que o comportamento ambiental é retratado pela bacia hidrográfica através de superfícies impermeáveis como o fator causal. Sendo assim, se as áreas impermeáveis representam o indicador ambiental do

meio urbano, a densidade populacional adiciona mais outra forma eficiente para indicar a relação existente entre o crescimento das cidades e o aumento dos problemas urbanos.

Na relação entre esses dois indicadores, entretanto, algumas situações podem não ser diretamente proporcionais. Nem sempre o uso do solo urbano está diretamente relacionado à presença de população. A população reside em uma cidade e utiliza diferentes serviços que estão relacionados à impermeabilização do solo como, por exemplo, áreas de estacionamentos e áreas industriais, mas estas não estão relacionadas à presença de população. Essas áreas construídas são impermeáveis, mas não possuem densidade populacional. Essas diferenciações ocorrem necessariamente apenas em áreas urbanas. Em áreas rurais, normalmente, a presença de áreas construídas está relacionada à presença de população, por mais que os valores de densidade populacional sejam menores do que os encontrados em áreas urbanas.

A alta impermeabilização do solo pode ser um indicativo relacionados ao crescimento das cidades e aos problemas urbanos e ambientais. Um solo impermeável gera um escoamento pluvial mais intenso, causando um volume e velocidade mais intensos do que áreas que possuem um solo com capacidade de absorção e contenção da água da chuva, por exemplo. Se isto estiver atrelado a uma alta densidade urbana, pode-se acrescer aumento de produção de dejetos sólidos trazendo problemas de acúmulo de lixo nas canalizações, ou seja, a possibilidade de obstrução no escoamento causando, assim, enchentes. Se essa área é densamente habitada, o fator enchente será um transtorno e um perigo urbano.

Se tratou anteriormente que a maioria dos modelos urbanos tratavam apenas dos processos de médio e de longo prazo e que havia necessidade de adequá-los também para os processos dinâmicos de curto prazo. Como no caso da crescente impermeabilização das cidades, usualmente, são utilizadas medidas estruturais (construção de diques, piscinas de contenção etc.) para solucionar os problemas encontrados. Normalmente, tais soluções demandam tempo considerável para a construção, como também, grandes investimentos financeiros do poder público. O papel do planejamento urbano sustentável também é a percepção de que algumas dessas soluções podem ser tomadas de forma alternativa com medidas que dispensem grandes estruturas construtivas, mas que trabalhem diretamente com a causa principal dos problemas de drenagem – a impermeabilização do solo urbano. Assim, por exemplo, as ruas podem receber um tipo de

pavimentação que absorva melhor a água das chuvas, diminuindo o escoamento superficial e a possibilidade de alagamentos, pois são elementos construtivos existentes e que sofrem modificações constantes (Genz e Tucci, 1995; Campana e Tucci, 1994).

2.2.1. Impermeabilização

Se no começo deste capítulo se falou em segurança do território pela construção de muros nas cidades medievais, tal preocupação também existe quanto à drenagem pluvial que, neste caso, está relacionada à preservação da vida na contenção de acidentes ou doenças que podem advir de inundações ou enchentes. Para Arnold e Gibbons (1996) a impermeabilização é um importante indicador ambiental dentro das análises urbanas, pois superfícies impermeáveis são, muitas vezes, um veículo eficiente na contaminação de águas. Sem a devida organização para uma drenagem eficiente, toda a canalização construída para drenar as supostas águas das superfícies impermeáveis, também acabam servindo para o escoamento de esgotos e dejetos sólidos (lixo).

O pouco controle ou fiscalização dos condutos pluviais, tornam este equipamento capaz de assumir característica versáteis. Os rios urbanos não se constituem apenas de águas de chuva, mas de todo o lixo produzido pelas moradias, como o esgotamento sanitário e inclusive os desejos sólidos, que são jogados nas calçadas ou nos terrenos baldios e acabam sendo direcionados para estes condutos quando em eventos chuvosos. O problema não pára por aí, a contaminação dessas águas superficiais também gera a contaminação do solo e dos lençóis freáticos. Ou seja, a cadeia relacionada à impermeabilização do solo urbano é bastante complexa e diretamente ligada ao meio ambiente e a saúde da população que ainda não percebe este sistema como sendo resultado de suas ações e desejos.

Arnold e Gibbons (1996) ilustram em seu trabalho uma relação estilizada da saúde ou degradação dos arroios urbanos com a cobertura impermeável das bacias urbanas como mostra a figura 2.1.

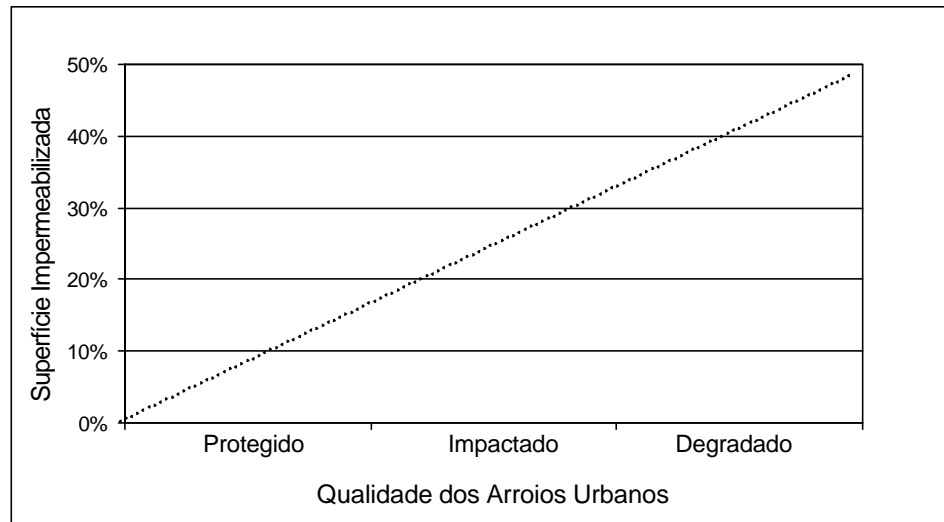


Figura 2.1: Relação estilizada entre impermeabilização e qualidade dos arroios urbanos (Fonte: Arnold e Gibbons, 1996).

O principal motivo de utilizar a impermeabilização como indicador ambiental dos meios urbanos é a possibilidade de mensuração da quantidade e do comportamento da mesma. Os autores estudaram também que a quantidade de impermeabilização de uma superfície é diretamente relacionado com o tipo de uso do solo, ou seja, áreas residenciais possuem maior superfície permeável e áreas industriais e comerciais possuem maior superfície impermeável. O comportamento é facilmente detectado através de modelos hidrológicos que calculam a velocidade e o volume do escoamento superficial ao longo da bacia (de montante à jusante) pelo volume de chuvas da região.

Na continuação desse capítulo, será tratado da unidade de planejamento para que as superfícies impermeáveis sejam melhor detectadas e trabalhadas para monitorar o comportamento da drenagem pluvial que é a bacia hidrográfica nos meios urbanos.

2.2.2. Densidade populacional

Densidade populacional é descrita como a relação entre a população residente e a área total de uma cidade, uma região, um setor etc. (CEPAM, 1971). O primeiro conceito é genérico, podendo ser denominando que densidade é qualquer elemento físico ou atividade relacionada ao espaço em que está distribuído. No entanto, há duas características que se pode diferenciar se tratando de densidade, uma é a densidade bruta, já descrita anteriormente, e outra é a densidade líquida que relaciona esta população apenas com as áreas ocupadas por residências, comércios,

serviços ou indústrias. Normalmente, o que se encontra quantificado e generalizado pelos os estudos regionais como densidade é a chamada densidade bruta. A densidade líquida, por sua vez, pode ser melhor destinada aos estudos intra-urbanos, ou seja, ela é mais detalhada e pode estar relacionada ao indicador ambiental ou à impermeabilização do solo através dos usos dado a ele.

A densidade populacional (indicador utilizado na pesquisa e que distribui a população no espaço) possui características determinantes como a demanda por serviços urbanos (infra-estruturas de drenagem) e a produção de impactos urbanos (dejetos sólidos). Com essas características é possível justificar o aumento de galerias pluviais que apresentam grande quantidade de garrafas PET, sacos plásticos, móveis, utensílios domésticos etc. No jornal Correio do Povo de 5 de julho de 2001 há inclusive uma matéria que cita essa questão: “*São Borja – (...) a enxurrada carregou o lixo das áreas mais altas e acabou entupindo bueiros (...)*”.

Estudos intra-urbanos anteriores, iniciaram a observação da densidade referida ao total da cidade. O primeiro autor a trazer importantes avanços para análises espaciais foi Colin Clark. Clark (1951) defendeu a tese de que a densidade decai exponencialmente quando se afasta dos grandes centros urbanos. Quando o tempo passa, algumas regiões residenciais perdem em população e novas áreas surgem, ampliando a malha de habitações sobre o limite da cidade. Para sua formulação, ele define:

$$y = Ae^{-bx} \quad 2.1$$

Onde: y é a densidade;

x a distância do centro da cidade;

A é um coeficiente do valor tolerado de densidade que a população aceita em áreas mais próximas ao centro. O autor comenta que quando x é igual a zero, ou seja, no centro da cidade, y é igual a A .

b é um coeficiente que pode ser um valor dependente ao custo de transporte até o centro.

Este coeficiente fecha com a teoria que Clark propõe do decaimento exponencial, onde a densidade começa a apresentar um comportamento mais significativo quando b , ou o valor do custo do transporte, começa a ser maior que zero. A figura 2.2 ilustra bem este comportamento em relação ao custo (b).

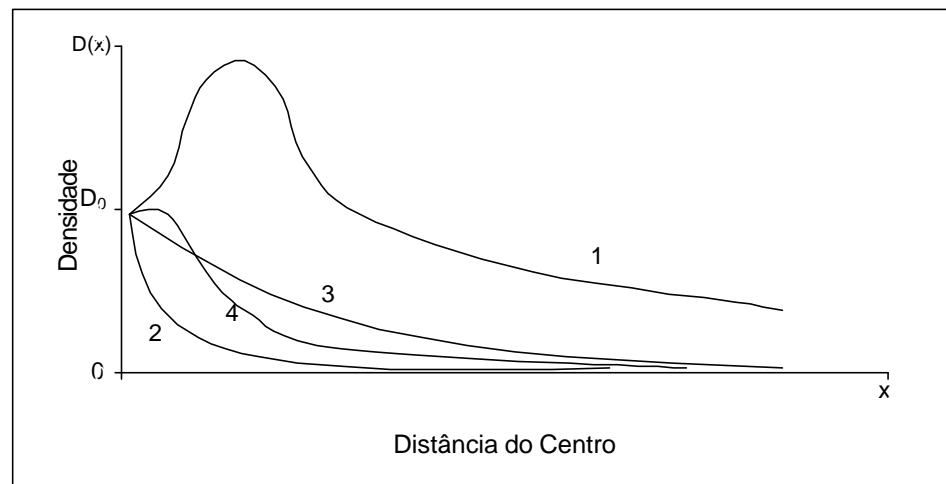


Figura 2.2: Distribuição típica do decaimento exponencial da densidade onde são apresentadas quatro possibilidades. 1) $b > 0$; 2 e 3) $b < 0$; e 4) $b = 0$.

Entretanto, é importante observar que sua formulação é datada das décadas de 50 e 60, e baseado no comportamento de cidades americanas da época. Para esta etapa do desenvolvimento das cidades americanas, sua teoria era bastante avançada e cabível. Mesmo assim, o próprio autor se depara com alguns problemas como, por exemplo, a existência de parques ou até mesmo rios, não é uma variável que seu modelo possa absorver. Ele trata o espaço urbano de maneira contínua, ou seja, passível de expansão urbana, sem barreiras.

Newling (1969) aprofunda o modelo de Clark trazendo novos elementos matemáticos para adaptar o comportamento da densidade nos meios urbanos. Newling combate o modelo de Clark alegando que ele não é universalmente aplicável. Justifica que com a aplicação de um termo linear no expoente da equação de Clark torna o modelo mais apropriado como é demonstrado na equação 2.2:

$$D_d = D_0 e^{bd - cd^2} \quad 2.2$$

Onde: D_d é a densidade populacional de uma distância d ;

D_0 é a densidade no centro da cidade;

$-c$ é a taxa de mudança;

b é a taxa de mudança instantânea da densidade com a distância do centro e pode ser tanto positivo quanto negativo.

O comportamento da densidade em relação à distância é apresentado na figura 2.3, que para Newling o centro urbano representa um cratera, ou seja, a densidade residencial não é muito significativa em relação a uma distância de $b/2c$.

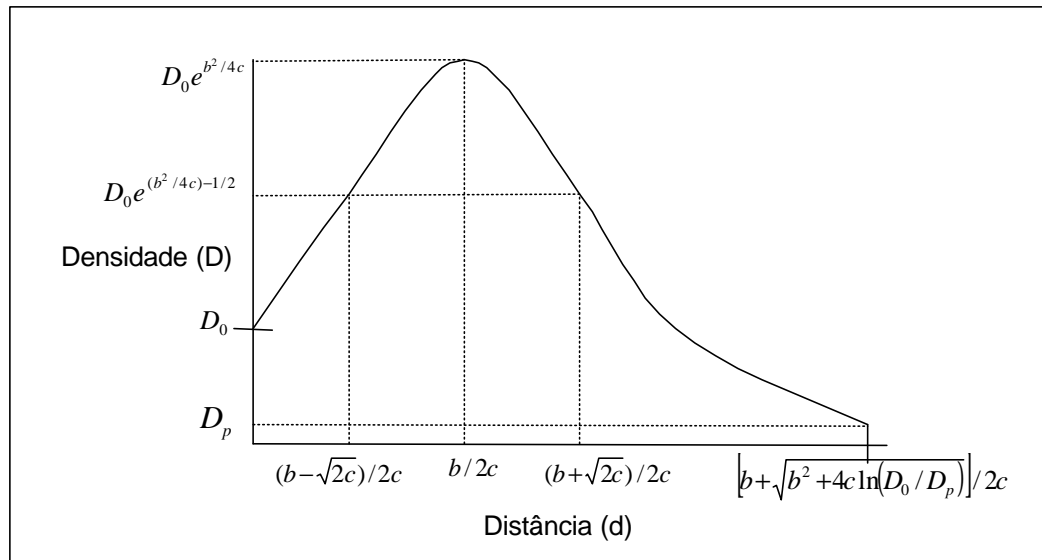


Figura 2.3: Comportamento universal da densidade populacional com uma cratera próxima ao centro urbano.

Observa-se que a máxima distância do centro é $b/2c$ onde a densidade chega ao seu pico, ou seja, $D_0 e^{b^2/4c}$. A densidade no perímetro da área urbanizada é apresentada como D_p que se encontra dentro do raio da área urbanizada (d_p) definido como: $[b + \sqrt{b^2 + 4c \ln(D_0/D_p)}]/2c$. Os pontos de inflexão recaem sobre a distância negativa e positiva de $1/\sqrt{2c}$, respectivamente.

O mais importante avanço nas análises espaciais, através da variável densidade, é a possibilidade de modelar cenários temporais de crescimento da cidade. Newling (1969) traça os sucessivos estágios de crescimento das cidades. Quando no estágio inicial, o gráfico demonstra um decaimento onde a distância é próxima ao centro da cidade. Com o amadurecimento, a cidade começa a apresentar um acréscimo de densidade e a distância onde as residências se localizam é maior em relação ao núcleo inicial ou centro, mas ainda com um comportamento de decaimento. Quando ingressa no estágio de maturidade avançada, então, começa a apresentar o comportamento do decaimento exponencial, ou seja, com uma leve manutenção de densidade e então o decaimento mais pronunciado. E, finalmente, quando atinge um estágio avançado, começa a apresentar o

comportamento descrito pela matemática de Newling como decaimento com equação linear no expoente, onde a área do centro é representada por uma cratera, ampliando o valor da densidade nas áreas próximas ao centro e então apresentando o decaimento pronunciado para as áreas mais afastadas (figura 2.3).

Numa batalha que se desenrolou depois do trabalho de Clark, alguns modelos foram ampliando e acrescentando coeficientes à sua equação inicial. No trabalho de Zielinski (1979) se pode observar todos os tipos de modelos que aplicaram estas duas variáveis: densidade e distância. Onze foram os modelos listados pelo autor e analisados comparativamente para se chegar na seleção do modelo que melhor representava o comportamento universal das cidades. Tais estudos comprovam também que as populações do passado viviam em centros mais densos do que hoje (pelo menos nos estudos dos autores acima citados), talvez este seja um indicativo da melhora dos transportes públicos e da tecnologia existente. No entanto, esta não é a única consideração que se pode tirar desses modelos.

2.2.3. Integração entre impermeabilização e densidade

A impermeabilização do solo é o fator que deve estar relacionado ao comportamento da densidade populacional estudada nos modelos acima. As enchentes urbanas, geralmente, ocorrem de maneira mais problemática em grandes cidades, pois a impermeabilização do solo é maior, bem como a quantidade de habitantes. Geralmente, as vias são asfaltadas, há maior incidência de habitações irregulares em áreas de alagamentos que contribuem ainda mais no despejo de lixo dentro dos canais de drenagem, gerando assim uma cadeia de soluções que se tornam incontrolláveis, ampliando os problemas das bacias urbanas. Campana e Tucci (1995) trazem um estudo onde apresentam a relação da densidade populacional e o grau de impermeabilização do solo urbano. A figura 2.4 demonstra o resultado que os autores obtiveram em relação a estimativa de bacias urbanas em três cidades do Brasil: Porto Alegre, Curitiba e São Paulo.

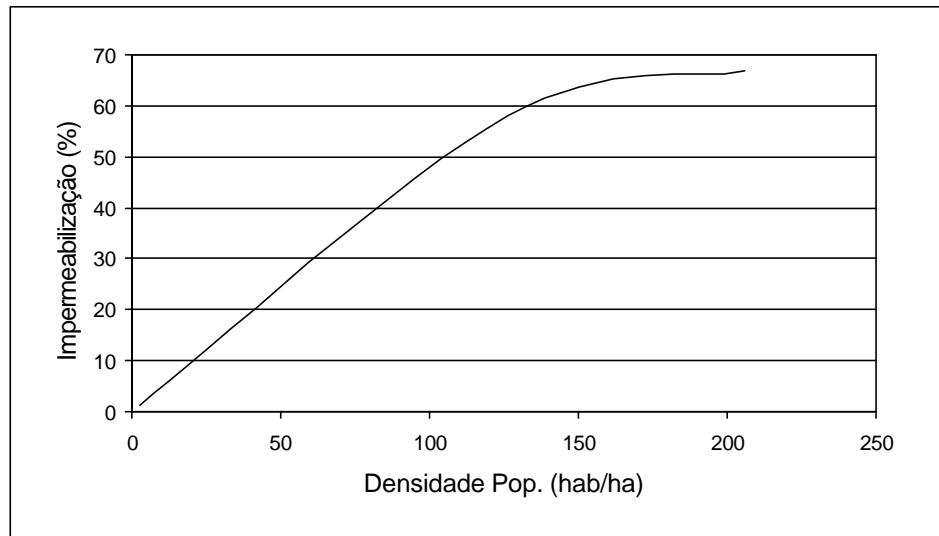


Figura 2.4: Relação da densidade populacional com a impermeabilização do solo (Fonte: Campana e Tucci, 1995).

Dentro das considerações do planejamento urbano, é possível incluir análises hidrológicas como a proposta pelos autores citados acima. A equação que define a taxa de impermeabilização do solo da figura 2.4 é a seguinte:

$$I = 4D_1 + 4,57D_2 + 4,7D_3 - 405,7$$

2.3

Onde: I é a taxa de áreas impermeáveis;

D_1 é a parcela da bacia com densidade menor que 50 hab/ha;

D_2 é a parcela com densidade entre 50 e 100 hab/ha;

D_3 é a parcela com densidade acima de 100 hab/ha.

A equação 2.3 foi aplicada em dois tipos de situações: numa bacia totalmente rural e o resultado para a taxa de impermeabilização foi negativo, demonstrando uma situação distante da real; e numa bacia urbana onde a taxa da bacia com densidade superior a 100 hab/ha era de 100%, o resultado final foi de 64,3%, sendo este o resultado máximo para a taxa de impermeabilização.

A outra equação que também define a taxa de impermeabilização e é utilizada quando a equação 2.3 não puder ser utilizada, ou seja, quando não for possível determinar as diferentes taxas de densidade da bacia.

$$I = 0,54D - 4,936$$

2.4

Onde: D é a densidade média da bacia.

Em Spinelli *et al.* (1995) foi apresentado um estudo onde se incluía as equações acima descritas para a Bacia do Arroio Dilúvio em Porto Alegre, agregando algumas teorias do planejamento urbano, num enfoque interdisciplinar para minimizar as deficiências do planejamento urbano atual. Logo, a aplicabilidade da união entre modelos urbanos e hidrológicos é possível. Assim, é necessário apenas que tais estudos se tornem significativos para que haja aplicabilidade prática no planejamento das cidades. Se contarmos com o avanço das tecnologias para implantar os modelos em prefeituras apenas com a utilização de computadores pessoais, juntamente com o conhecimento e os dados necessários, este parece ser um caminho bastante seguro para o planejamento.

No item seguinte desse capítulo, são trazidas algumas soluções intra-urbanas para minimizar os problemas urbanos e ambientais detectados pelos modelos urbanos e hidrológicos.

2.3. Algumas propostas positivas ao espaço urbano e ao meio ambiente

Observar o comportamento do crescimento urbano ou da drenagem pluvial através de modelos urbanos e hidrológicos não é o resultado final para o planejamento urbano. Através deles, pode-se iniciar outra etapa que é a proposição de soluções para alterar o comportamento urbano ou de drenagem. Para minimizar as enchentes urbanas (os efeitos), é importante que a atuação seja diretamente na causa do problema que pode ser, por exemplo, o descontrole da impermeabilização do solo urbano. Dentro do indicador apresentado anteriormente - a impermeabilização do solo urbano -, um princípio é proposto por Tucci e Genz (1995) de que cada usuário urbano (número de moradores) não deve ampliar a cheia natural, ou o volume de água pluvial que a bacia apresenta em determinado volume de chuva. Como se para cada projeto a ser construído na cidade, tenha uma solução para que a água pluvial não seja totalmente drenada para a canalização pluvial pública, mas que uma parcela desta água seja retida, absorvida e evaporada na própria área construída.

Arnold e Gibbons (1996) fizeram estudos para proposta de novos loteamentos urbanos utilizando apenas o desenho urbano como ferramenta para minimizar a superfície impermeável. É mantido o mesmo valor de densidade populacional para os dois projetos, mas o primeiro é o tipo padrão de quadras e ruas ortogonais e o segundo já possui um caráter mais orgânico, respeitando, até mesmo, a passagem do arroio sem necessidade de canalização forçada. A figura 2.5 (adaptada de Arnold e Gibbons, 1996) é uma versão de seu estudo.

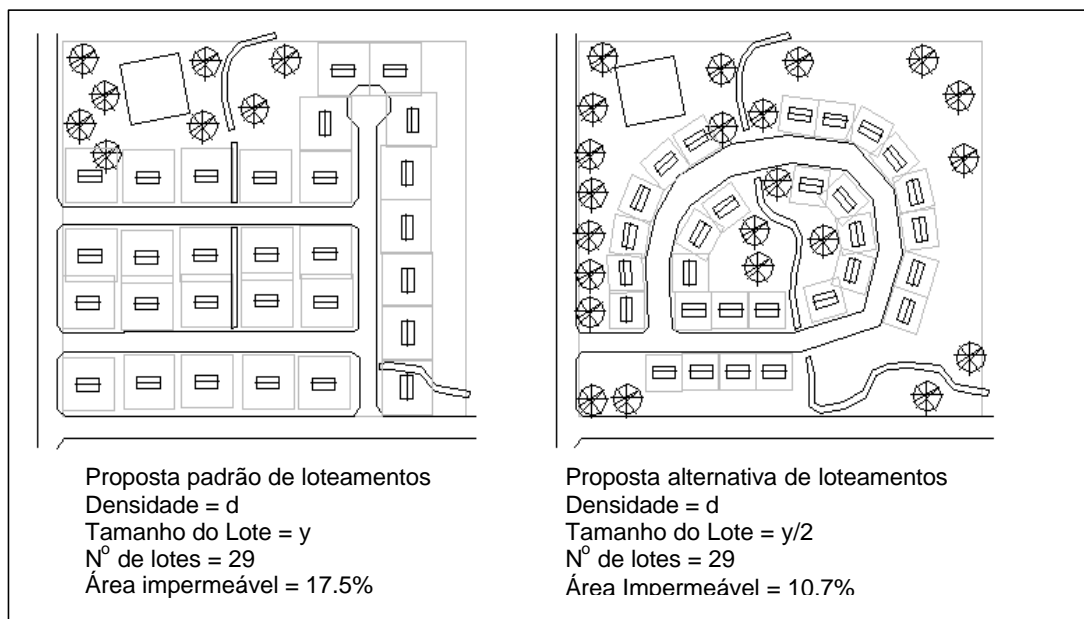


Figura 2.5: Dois modelos para loteamentos urbanos com diferentes taxas de impermeabilização, porém mesmo valor de densidade populacional.

Nas duas propostas de desenho urbano apresentadas na figura 2.5, a superfície de ruas pavimentadas foi menor para a segunda proposta, como houve também a diminuição no tamanho do lote e aumento da área verde. No entanto, é importante destacar que nesse estudo pouco foi avaliado no que se refere às condições de afastamentos entre as habitações, se respeitam dimensões de habitabilidade e privacidade, por exemplo. Estudos sobre a qualidade dos conjuntos arquitetônicos são amplamente abordados em Martin e March (1972) e Radberg (1997). Assim, a figura 2.5 é apenas uma ilustração do que pode ser trabalhado como alternativa de desenho urbano.

Outra solução estudada por Genz e Tucci (1995) é a utilização de diferentes tipos de pavimentação ou de pequenas medidas estruturais para algumas áreas de loteamentos como áreas de ajardinamento, ruas, calçadas e telhados. Com relação à pavimentação, esses autores descrevem alguns materiais e suas propriedades para infiltração de águas pluviais que é apresentado na tabela 2.1, onde dois materiais não obtiveram resultados (-) por apresentarem suspeita de fuga de água durante a simulação.

Tabela 2.1: Valores para a capacidade de infiltração em algumas superfícies urbanas (Fonte: Genz e Tucci, 1995).

Superfície	Declividade (%)	Coefficiente de escoamento	Taxa de infiltração (mm/h)	Precipitação simulada (mm/h)
Gramado	1 a 9	0,54 a 0,68	19 a 23	110 a 142
Chão batido	1,3	0,92 a 0,95	-	11 a 120
Paralelepípedo antigo	2 a 11	0,88 a 0,95	-	103 a 128
Paralelepípedo novo	4	0,58 a 0,63	18 a 23	114 a 124
Blockrets	2	0,83 a 0,85	10 a 14	116 a 127

Os autores fazem uma ressalva quanto à área de simulação que foi de 1 m², não sendo recomendado a utilização desses resultados em superfícies como grandes estacionamentos comerciais, mas apenas para o geral das áreas de ajardinamento e ruas.

A utilização de reservatórios de contenção ou para reaproveitamento das águas de chuvas para irrigação de jardins ou lavagem de carros também é outra solução para minimizar o volume de escoamento. A coleta feita pelas calhas no telhado das construções pode ser conectada ao reservatório que, depois, reverte em uso para diferentes fins no lote. Os reservatórios podem ser abertos ou enterrados, dependendo das condições existentes no lote. A figura 2.6 apresenta as diferentes efeitos no histograma quanto às condições no lote.

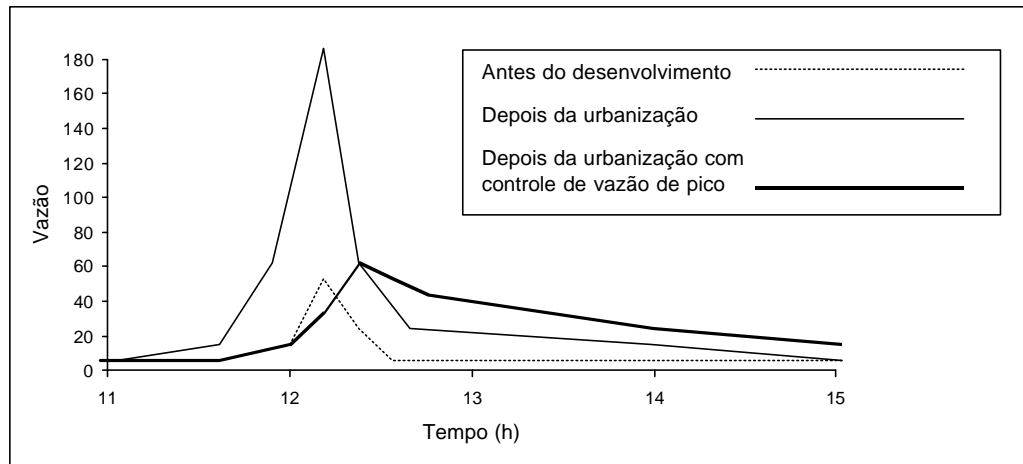


Figura 2.6: Efeito dos reservatórios sobre os histogramas (Fonte: Tucci e Genz, 1995).

O ponto positivo dos reservatórios é a drástica redução do pico do histograma, ou seja, em chuvas intensas, após uma hora, o volume de água que é escoado em áreas urbanizadas é triplicado em relação a áreas não urbanizadas. Quando é inserido uma medida estrutural simples, como os reservatórios de contenção nos lotes, a vazão no pico é deslocada para 1 ½ de tempo de chuva, além de reduzir em 1/3 este volume. É importante comentar que este comportamento foi analisado no conteúdo de um lote urbano, mas é perfeitamente aplicável no conjunto da bacia urbana.

Outro estudo, agora aplicado num contexto maior que apenas o lote, é o de Ramos *et al.* (1999) onde avalia o novo Plano Diretor do Município de Belo Horizonte aprovada em 1996 e compara com as situações do plano diretor anterior de 1985. Dentro do novo plano diretor, foi instituído uma taxa de permeabilização mínima aos lotes. O estudo foi realizado em duas bacias urbanas da cidade, com diferenças na vazão de pico em relação ao plano anterior de 9 e 14% para cada bacia. Uma das ressalvas quanto à este estudo, que demonstra um resultado positivo quanto à mudança da legislação, é que, nem sempre, o que está escrito e aprovado pela legislação é mandatório para lotes que já possuem uma edificação e que, necessariamente, não serão alterados.

Uma sugestão adotada, para se observar a realidade urbana, é a utilização de imagens aéreas e do sensoriamento remoto para que se tenha uma avaliação, por exemplo, das áreas ainda não urbanizadas, as já consolidadas e as que sofrem alteração ao longo de determinado tempo, como por exemplo, após a implantação de novos planos diretores. O item seguinte desse

capítulo aborda a utilização do sensoriamento remoto como ferramenta para a estimativa de áreas impermeáveis na cidade.

2.4. O papel de índices e indicadores nas análises urbanas

Indicadores são, na sua maioria, simplificações de fenômenos para estudos (Maclaren, 1996). A complexidade de determinados fenômenos como os urbanos, por exemplo, necessitam que se trabalhe, muitas vezes, com uma diversidade de indicadores para melhor explicar os comportamentos existentes em cidades. Se numa simplificação da realidade pode-se perder informações, com a utilização de indicadores, por outro lado, há a possibilidade de ampliar a ótica sobre tais fenômenos para poder analisá-los de forma controlada. Pode-se entender que índice urbanístico é uma expressão matemática que estabelece as relações entre o espaço e as grandezas representativas das realidades sociais, econômicas e físicas das áreas urbanas (CEPAN, 1971).

O crescimento populacional é um indicador comumente utilizado pelo planejamento urbano, pois, observando seu comportamento através dos anos, pode-se prever o futuro de algumas cidades – aumento de população significa aumento de infra-estruturas etc. Essa é uma das funções dos indicadores, ou seja, auxiliar na análise futura de determinados fenômenos. Outra função, é monitorar comportamentos através de determinados indicadores que possibilitem explicar o decréscimo ou acréscimo de características representativas para as análises. Por exemplo, um indicador de criminalidade ou de expectativa de vida pode ser uma maneira de monitorar as condições sociais e até econômicas de uma população. O monitoramento pode ser importante na definição de políticas que estabeleçam patamares para a diminuição, como no caso da criminalidade, ou para o aumento, como no caso da expectativa de vida.

No entanto, a realidade não pode ser apenas controlada por esses indicadores, mas eles são uma maneira de se observar objetivamente a realidade. O importante é escolher indicadores apropriados para cada fenômeno em estudo. Assentamentos irregulares em áreas de risco podem ser indicadores de baixa qualidade de vida urbana, por exemplo. Por outro lado, podem ser indicadores que medem a má distribuição de renda ou a falta de moradias populares no mercado. Nesses exemplos, pode-se perceber que a maioria dos fenômenos que os indicadores explicam são relacionados a soluções setoriais, ou seja, sociais, administrativas, de saúde pública, educacionais,

dentre outros. Assim, os indicadores também fazem o papel de monitorar as responsabilidades de certos setores governamentais ou não (Maclaren, 1996).

A construção de índices é um passo a frente na observação de indicadores, pois o índice relaciona matematicamente os indicadores em estudo (CEPAN, 1971). Pode-se dizer que os índices sócio-econômicos são os mais popularmente conhecidos. Para o planejamento urbano os índices urbanísticos, normalmente, relacionam-se ao espaço como os índices construtivos, por exemplo. Assim, o espaço territorial delimitado para cada índices urbanístico torna-se de extrema importância para que hajam estudos comparativos entre os índices definidos. É aí que se encontra uma das grandes dificuldades nos estudos urbanos na utilização de índices sócio-econômicos, por exemplo, e relacioná-los aos índices urbanísticos, ou seja, é preciso adaptá-los, primeiramente, para que as operações matemáticas se correlacionem.

Muitos são os critérios adotados para subdivisão de áreas urbanas como a homogeneidade e a polarização (CEPAN, 1971). Dentro da homogeneidade são encontradas as características de predominância e de intensidade de uso do solo. Já na polarização, a principal característica é a influência de centros de serviços, de corredores de transporte etc. Entretanto, com o avanço dos estudos urbanos e com a necessidade de ampliação multidisciplinar, tais critérios ficam muito restritos ao urbano. Se os fenômenos urbanos possuem influência maior do que apenas os limites da cidade, porque não adotar novos critérios para as áreas de análise e se trabalhar com bacias hidrográficas para efeitos de análise ambiental?

Existe uma variedade de estudos que trabalham no limiar entre duas ou mais disciplinas. A biologia, os recursos hídricos, a economia, o planejamento urbano e a sociologia são alguns exemplos de disciplinas que devem caminhar juntas para se processar métodos multidisciplinares de desenvolvimento urbano sustentável. O importante é a existência de uma relação contínua entre causa e efeito dos resultados urbanos e ambientais, mantidos entre as diversas disciplinas. O que se sabe apenas é que o resultado de um estudo não é suficiente para determinar o comportamento geral dos processos urbanos frente ao meio ambiente, bem como, a fonte de dados que hoje se dispõe necessita sempre de aperfeiçoamentos através da sua verificação multidisciplinar. A figura 2.7 ilustra o paralelo existente entre o meio urbano e o meio ambiente com as devidas análises multidisciplinares que podem ser realizadas.

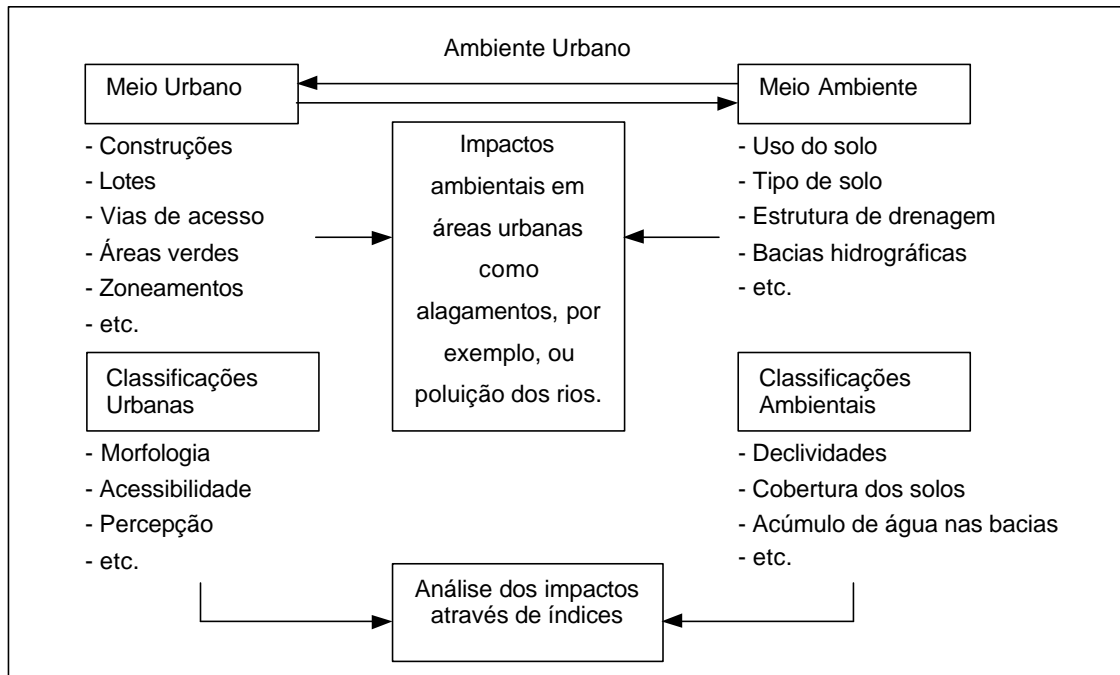


Figura 2.7: Análises realizadas no meios urbano e no meio ambiente com a possibilidade de traçar um paralelo multidisciplinar.

2.5. Ferramentas integradoras

Uma das questões positivas atualmente para a diversificação dos estudos urbanos é o avanço de ferramentas que facilitam o tratamento e avaliação de áreas urbanas, bem como, de fenômenos que ocorrem dentro e no entorno das cidades. Algumas ferramentas existentes hoje possuem melhor capacidade para trabalhar com maior quantidade de dados e, mesmo assim, produzir resultados em curto espaço de tempo.

Se antes a maioria dos levantamentos urbanos eram feitos através de questionários, por exemplo, para quantificações urbanas ou através de fotos aéreas para a localização no espaço, hoje a utilização de imagens de satélite pelo sensoriamento remoto vem facilitar a localização e o monitoramento de áreas urbanas. Juntamente com o sistema de informações geográficas (SIG) pode-se trabalhar com a delimitação espacial de parâmetros urbanos e sobrepor uma variedade de informações urbanas sobre uma mesma localização no espaço. A geoestatística é outra ferramenta que possibilita melhorar as estatísticas para regiões urbanas desconhecidas quantitativamente, pois seu principal atributo é a distribuição de parâmetros no espaço, obedecendo ou não comportamentos conhecidos.

A seguir os itens sobre sensoriamento remoto, sistema de informações geográficas, geoestatística e Modelo Numérico do Terreno são abordados com maiores detalhes.

2.5.1. O sensoriamento remoto como método de estimativa da impermeabilização das cidades

Os cadastros espaciais das cidades, normalmente, são adquiridos na forma de fotos aéreas sobre a cidade e, posteriormente, essas imagens são transpostas na forma de mapas. A alteração no uso do solo ocorre a todo o momento e nem sempre as atualizações sobre os mapas cadastrais ocorrem na mesma rapidez. Atualmente, o uso de imagens de satélite se tornou uma ferramenta que possibilita a atualização dessas informações, bem como, a obtenção de outras informações.

A imagem de satélite não é uma foto aérea, mas é a resposta espectral que cada objeto apresenta ao refletir a luz solar que é, então, captada pelo satélite em diferentes bandas ou frequências espectrais. Dependendo do tipo de componente existente na superfície do objeto, o satélite captará a reflectância deste e o valor será atribuído a uma paleta de cores. A figura 2.8 é uma adaptação de Campana (1992) que demonstra as diferentes respostas espectrais de elementos básicos encontrados em superfícies urbanas como água, grama, asfalto e concreto.

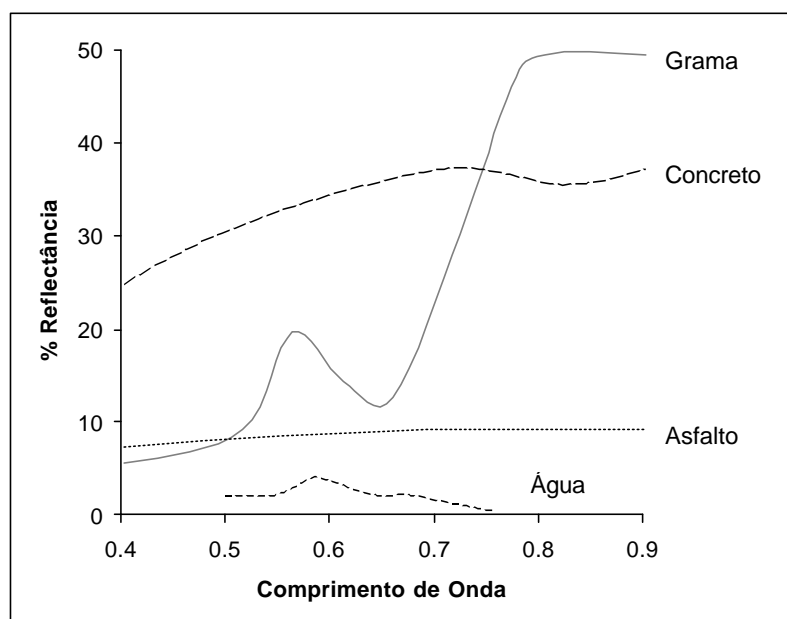


Figura 2.8: Comportamentos espectrais da água, grama, asfalto e concreto - elementos encontrados em superfícies urbanas.

As bandas podem variar entre 0 até 1,1 μm de comprimento de onda, o que equivale ao espectro visível entre o ultravioleta e o infravermelho. Para o satélite tipo *Landsat TM* quatro são as bandas captadas: a) banda 4 equivale aos comprimentos 0,5 a 0,6 μm ; b) banda 5 equivale aos valores 0,6 a 0,7 μm ; c) banda 6 aos valores 0,7 a 0,8 μm ; e d) banda 7 aos valores 0,8 a 1,1 μm de comprimento de onda (Schowengert, 1983). Para estudos de superfícies urbanas, normalmente, se trabalha com as três primeiras bandas, ou seja, com respostas espectrais de 0,5 até 0,8 μm .

As características físicas de uma área têm relação com a aparência e predomínio de materiais, formas e texturas. Quando essa área localiza-se dentro dos limites de uma cidade, a variedade de materiais, formas e texturas pode ser quase infinita. A caracterização não fica apenas nas construções, mas incluem a tipologia das mesmas, principalmente, sua altura e disposição no solo. Áreas com construções esparsas podem significar loteamentos de residências unifamiliares, ou até mesmo um depósito industrial. Mas também pode-se encontrar, numa cidade, áreas verdes, com rios e lagos. Resumindo, na zona urbana, além das características naturais, pode-se observar uma mistura de elementos construídos que formam legítimos “bosques de espécies” criadas pelo homem.

O pixel é a unidade de definição da imagem de satélite. Normalmente, as imagens *Landsat TM* são disponibilizadas com o tamanho de pixel correspondente a um quadrado 30 x 30 metros ou, até mesmo, 10 x 10 metros, por exemplo, sendo este o grau de detalhamento da imagem. Assim, nem sempre um pixel possui a resposta espectral de apenas um elemento. Em um pixel pode haver a conjunção de áreas de vegetação com áreas construídas sendo esta uma unidade mista como a figura 2.9, adaptada de Fisher e Pathirana (1990), ilustra.

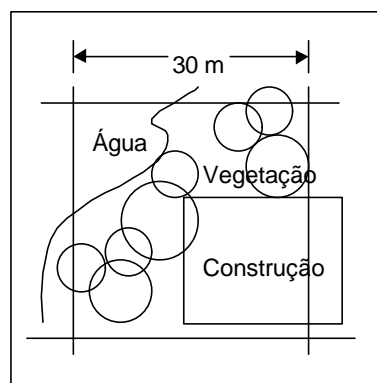


Figura 2.9: Exemplo de pixel misto com a presença de elementos como água, vegetação e construção numa área de 30 x 30 metros, onde a resposta espectral será um valor único.

A classificação de imagens é tarefa individual quando da seleção e definição da quantidade necessária de características para descrever uma área. No processo de classificação de uma imagem o importante é o conhecimento sobre a região a ser classificada. Será esse conhecimento que embasará, por exemplo, a diferenciação de áreas urbanas entre si.

A imagem pode ser classificada com ou sem supervisão. Deve-se ter em mente que qualquer tipo de classificação realizada sobre uma imagem haverá transformação dos dados originais, muitas vezes, reduzindo essas informações para a identificação de grupos de indivíduos que possuem propriedades comuns (Burrough, 1989). Dentro da classificação multiespectral (utiliza mais de uma banda), dois métodos apresentam boa aplicabilidade para estudos urbanos. A matemática *fuzzy* (Burrough, 1989; Fisher e Pathirana, 1990 e Wang, 1990) e a teoria de conjuntos binários (Freitas, 1998) são técnicas apropriadas para classificar diferentes tipos de superfícies. A primeira se adequa mais para superfícies heterogêneas que se deseja manter, de alguma forma, esta característica, enquanto a segunda técnica se aplica melhor para superfícies homogêneas. A diferença de classificação dos dados entre os conjuntos binários e os *fuzzy* é apresentada na figura 2.10, sendo esta adaptada de Van Ranst *et al.* (1996).

A teoria de conjuntos binários ou booleanos, assim como a teoria da matemática *fuzzy* apresentam características interessantes, pois representam informação adicional na análise de superfícies urbanas. A possibilidade de criação de imagens, onde se pode selecionar entre áreas urbanas (construções, asfalto etc.) e áreas de cobertura natural (água, vegetação, solo descoberto etc.), por exemplo, simplificando a classificação de imagens, fornece resultados mais objetivos sobre as condições das superfícies da área em estudo.

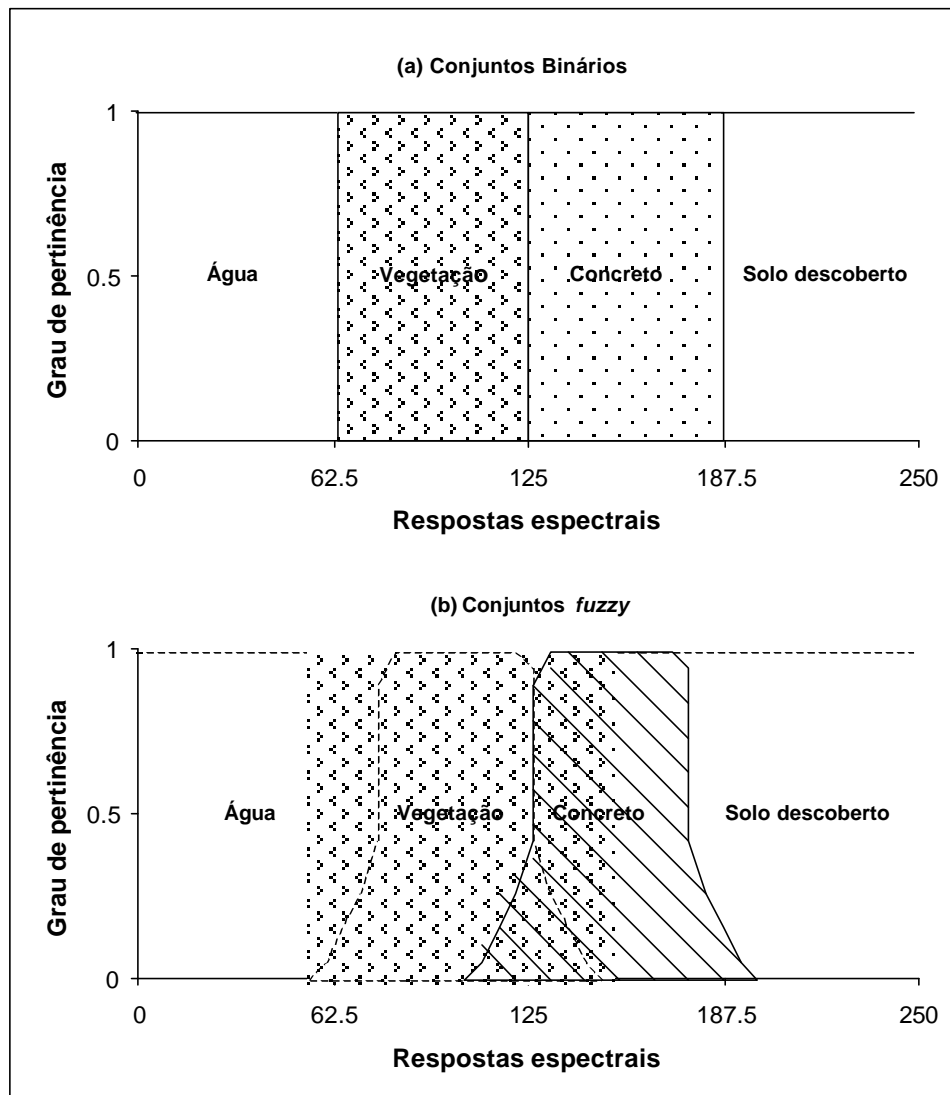


Figura 2.10: Representação gráfica para conjuntos binários e conjuntos fuzzy (Fonte adaptada: Van Ranst et al., 1996).

No caso de tecidos urbanos, as superfícies são bastante heterogêneas como visto na figura 2.9 onde três são as classes que se misturam (água, vegetação e construção). Quando se opta por manter algum grau de diferenciação dentro da classificação de uma imagem, a abordagem da matemática *fuzzy* possibilita que se trabalhe com a função pertinência de uma forma mais complexa, permitindo a obtenção de uma imagem classificada com as nuances de propriedades ou classes misturadas. O valor da função de pertinência *fuzzy* de uma amostra demonstra o quanto verdadeira ela é em relação a um elemento ideal da classe selecionada (Campana, 1992). Os valores de pertinência variam de 0 (não pertence) até 1 (grau máximo de pertinência).

Através da equação 2.5 (Burrough, 1989) podemos observar como a lógica *fuzzy* define o conjunto dos pares ordenados de A em X.

$$A = \{x, \mathbf{m}_A(x)\} \quad x \in X \quad 2.5$$

Onde: $X = \{x\}$ é o conjunto *fuzzy*;

$\mathbf{m}_A(x)$ é o grau de pertinência de x em A e varia de 0 até 1;

$x \in X$ significa que x está contido em X.

O grau de pertinência é definido por várias funções como tipo “S”, “J”, linear ou ainda definidas em função do comportamento que se deseja alcançar (Eastman, 1999). A figura 2.11 exemplifica a representação gráfica para cada uma das quatro funções acima de acordo com a classificação de superfícies urbanas, onde: a = pertinência cresce acima do valor 0; b = pertinência alcança o valor 1; c = pertinência sai do valor 1; e d = pertinência se torna 0.

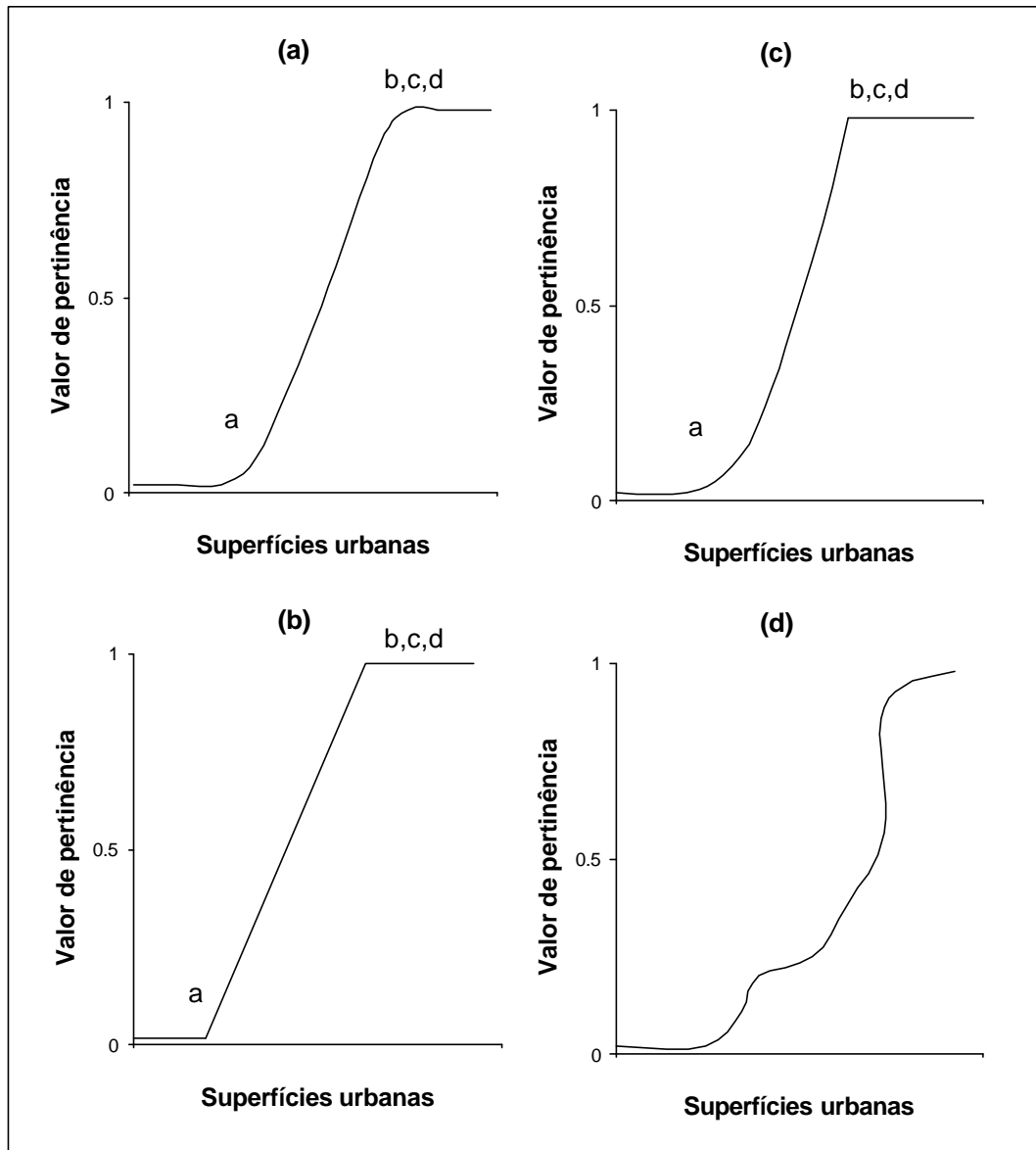


Figura 2.11: Exemplo do comportamento gráfico para cada função de pertinência: a) tipo "S"; b) linear; c) tipo "J" e d) comportamento desejado.

No caso da última função (comportamento desejado), o usuário indica os pontos de controle por onde a função apresentará comportamentos diferenciados. Ainda dos exemplos utilizados na figura 2.11, todos apresentaram um comportamento crescente em relação à pertinência, contudo o comportamento poderá ser decrescente, simétrico ou ainda assimétrico (Burrough, 1989).

A equação 2.6 (Van Ranst *et al.*, 1996) define a função de pertinência tipo “S”, utilizada como exemplo para aplicação da classificação *fuzzy* em superfícies urbanas.

$$S(x; \mathbf{a}, \mathbf{b}, \mathbf{g}) = \begin{cases} 0; & x \in]-\infty, \mathbf{a}[\\ 2[(x-\mathbf{a})/(\mathbf{g}-\mathbf{a})]^2; & x \in [\mathbf{a}, \mathbf{b}[\\ 1-2[(x-\mathbf{g})/(\mathbf{g}-\mathbf{a})]^2; & x \in [\mathbf{b}, \mathbf{g}[\\ 1; & x \in [\mathbf{g}, +\infty[\end{cases} \quad 2.6$$

Onde: $\mathbf{b} = (\mathbf{a} + \mathbf{g})/2$

Por outro lado, os conjuntos binários utilizam operações algébricas tipo E, OU, E/OU e NÃO para se verificar a condição verdadeira ou falsa de uma condição definida, simplificando muito mais a classificação de uma imagem. A equação 2.7 (Burrough, 1989) demonstra como é caracterizada a função de pertinência dos conjuntos binários.

$$\begin{aligned} \mathbf{m}_A(x) &= 0 \text{ para } x < b \\ \mathbf{m}_A(x) &= 1 \text{ para } x \geq b \end{aligned} \quad 2.7$$

Onde: b define a condição limite exata.

Utilizando-se o exemplo de áreas urbanas descritas em imagens de satélite, uma série de pixels formam o conjunto de valores onde as respostas espectrais se apresentam caracterizadas por elementos encontrados em superfícies urbanas, estes conjuntos de valores são selecionados para configurarem a condição “verdadeira” (valor = 1) para a característica urbana. Os demais pixels que formem conjuntos diferentes desses são caracterizados como “falsos” (valor = 0). A figura 2.12 demonstra como esse procedimento pode ser realizado (adaptado de Freitas, 1998).

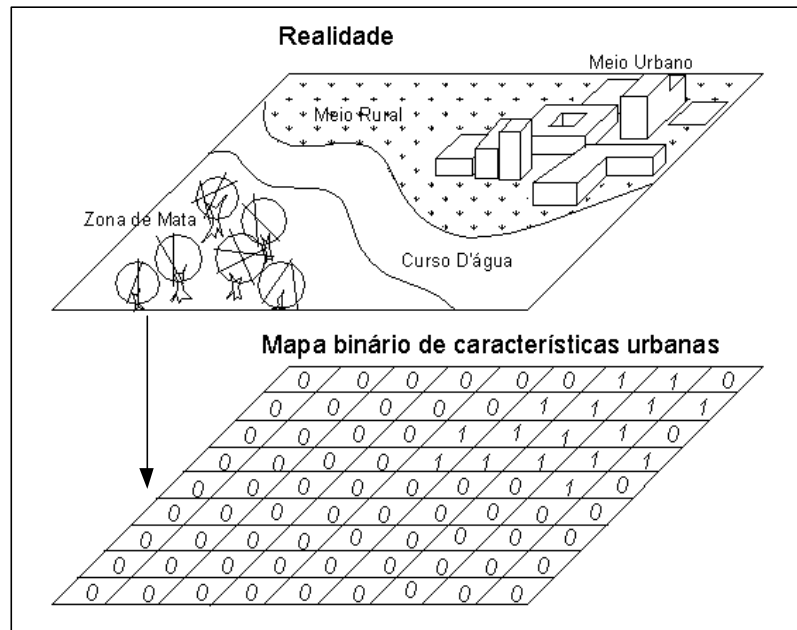


Figura 2.12: Procedimento para obtenção de um mapa binário com características urbanas diferenciadas de características naturais.

Sobre o procedimento de classificação de imagens, pode-se utilizar os valores 0 e 1 das lógicas *fuzzy* ou binária para definir percentuais inclusive de impermeabilização de áreas urbanas. Alguns autores (Fisher e Pathirama, 1990; Van Ranst *et al.*, 1996) utilizam relação similar em suas especialidades. Normalmente, as áreas urbanas são caracterizadas como 100% impermeáveis (Campana, 1992). Entretanto, este não é um padrão homogêneo, pois como foi visto anteriormente, dentro das áreas urbanas há diferença de superfícies, ou seja, há uma heterogeneidade inclusive entre as próprias construções.

Arnold e Gibbons (1996) trazem uma classificação mais detalhada para as superfícies impermeáveis. Suas características envolvem: a) áreas com cobertura natural (envolvendo ótimas condições de absorção), b) superfícies de 10-20% impermeáveis (áreas mistas com algumas construções ou pavimentações), c) superfícies de 35-50% impermeáveis (áreas mistas com parte construída e parte não construída); e d) superfícies de 75-100% impermeáveis (áreas mistas com a grande maioria de construções ou pavimentações). Através desta abordagem, pode-se trabalhar com uma classificação mais detalhada das áreas urbanas no que se refere às construções e aos diferentes graus de impermeabilização do solo.

Morris e Therivel (1996) observam outros critérios de classificação de áreas urbanas. Os autores demonstram que para a classificação de graus de impermeabilização do solo, outros

fatores também devem ser considerados. A seguir, são apresentadas duas tabelas com os alguns critérios de classificação do tipo de cobertura e dos respectivos valores para o coeficiente de escoamento (valor que indica o quanto de água é escoada numa superfície, ou seja, não é absorvida, infiltrada nem evaporada no local, mas passa adiante um determinado volume d'água) dessas áreas utilizados pelos autores.

Tabela 2.2: Valores do Coeficiente de Escoamento (C) para combinações de topografia e outros fatores rurais e urbanos (Fonte: Morris e Therivel, 1996).

(a) Combinação da topografia, vegetação e textura de solo.

Vegetação e Topografia	Textura do solo		
	Cobertura arenosa aberta	Cobertura mista orgânica e arenosa	Cobertura orgânica
Floresta			
Plano (0-5% de inclinação)	0,10	0,30	0,40
Acidentado (5-10%)	0,25	0,35	0,50
Inclinado (10-30%)	0,30	0,50	0,60
Pasto			
Plano	0,10	0,30	0,40
Acidentado	0,16	0,36	0,55
Inclinado	0,22	0,42	0,60
Solo cultivado			
Plano	0,30	0,50	0,60
Acidentado	0,40	0,60	0,70
Inclinado	0,52	0,72	0,82

(b) Combinação da topografia e extensão das superfícies impermeáveis urbanas.

Topografia da área urbana	30% de superfície impermeável	50% de superfícies impermeável	70% de superfícies impermeável
Plana	0,40	0,55	0,65
Acidentado	0,50	0,65	0,80

Tabela 2.3: Valores do Coeficiente de Escoamento (C) para área urbanas (Fonte: Morris e Therivel, 1996).

Uso do Solo	C	Textura do solo	C
Comercial		Estradas	
Centro da cidade	0,7-0,95		
Subúrbio	0,5-0,7		
Industrial		Pavimentadas	0,7-0,85
Leve	0,5-0,8	Ruas e passeios	0,75-0,85
Pesada	0,6-0,9	Telhados	0,75-0,95
Residencial		Terreno orgânico	
Unifamiliar	0,3-0,5	Plano (<2% inclin.)	0,13-0,17
Multifamiliar geminado	0,4-0,6	Médio (2-7%)	0,18-0,22
Multifamiliar em altura	0,6-0,75	Inclinado (>7%)	0,25-0,35
Subúrbio	0,25-0,4		
Outros		Terrenos arenoso	
Parque de manobras	0,2-0,35	Plano	0,05-0,10
Praças	0,2-0,35	Médio	0,10-0,15
Parques	0,1-0,25	Inclinado	0,15-0,20
Baldio	0,1-0,3		

O método racional (utilizado para definir os resultados das tabelas 2.2 e 2.3) para predição de escoamento amplia a descrição do solo urbano, pois utiliza como parâmetros de infiltração no solo a topografia, a cobertura vegetal e o tipo de solo. Assim, se 50% da chuva tornar-se superfície de escoamento, ou seja, chegar ao solo e não for absorvida, então C (coeficiente de escoamento) será igual à 0,5. Nesse sentido, com melhor detalhamento na classificação das áreas urbanas, a impermeabilização do solo pode reverter-se num indicador representativo da realidade física e do comportamento espacial das áreas urbanas, levando-se em consideração seu efeito dentro da bacia hidrográfica.

2.5.2. O sistema de informação geográfica como ferramenta agregadora na composição de índices urbanos

O sistema de informação geográfica, também conhecido como SIG, é um instrumento agregador de informações (atributos) que ocorrem num determinado ponto geográfico e que recebem uma análise processual através do uso de computadores ou não. Dependendo do tamanho da área de análise e do número de atributos sobrepostos, é possível, inclusive, fazer análises manualmente. A figura 2.13 demonstra o esquema geral de análise dentro de um sistema de informação geográfica.

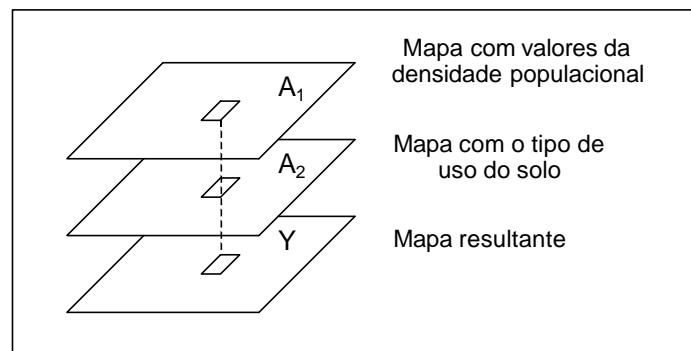


Figura 2.13: Esquema do processo de análise de atributos dentro de um sistema de informação geográfica.

$$\text{Onde: } Y = f(A_1; A_2; \dots A_n)$$

2.8

O pixel é a unidade de referência geográfica, o módulo onde cada atributo será distribuído no espaço. O tamanho do pixel depende da escala do mapa a ser utilizado. Para imagens de satélite o tamanho dos pixels pode ser um quadrado de 30 x 30 metros. Em mapas como os de planos diretores com a divisão das unidades territoriais de planejamento (UTP), por exemplo, pode-se

adotar quadrados de 100 x 100 metros, ou seja, pixels de 1 ha (hectare). A figura 2.14 a seguir ilustra este exemplo.

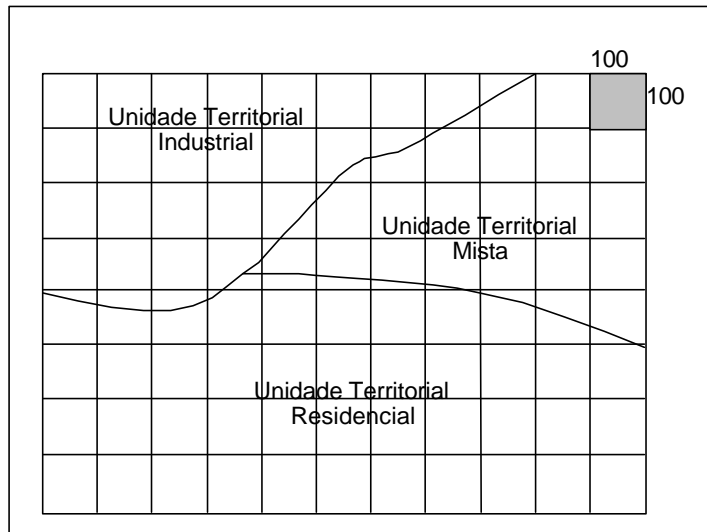


Figura 2.14: Exemplo da divisão em pixels (100 x 100 metros) de um mapa representativo de plano diretor.

Um trabalho realizado dentro do sistema de informação geográfica envolve diferentes etapas, desde a aquisição de dados até a geração do produto desejado. Para que se processe uma informação dentro de um SIG, primeiro é necessário que se tenha disponível o dado ou informação desejada que pode ser adquirida através da coleta em campo (realidade) ou de informações já coletadas por fontes seguras. O segundo passo se resume a localizar estas informações geograficamente, ou seja, para um determinada posição no espaço (coordenadas x e y), se terá um atributo ou informação (coordenada z) que estará representando a realidade em um determinado período (tempo). Através dessa etapa é possível realizar análises de fenômenos ou comportamentos: a) temporais (quando um determinado atributo ou informação muda com o decorrer do tempo); b) espaciais (quando um determinado atributo muda de lugar); e c) espaço/temporais (quando um determinado atributo muda no tempo e de lugar).

O terceiro passo dentro de um trabalho de geoprocessamento é observar qual é o tipo de lógica que o atributo em questão obedece, neste caso, pode ser do tipo contínuo (ocorre pelo espaço geográfico de forma contínua) ou discreto (ocorre apenas em pontos isolados ou localizados). Finalmente, o quarto e último passo é o tipo de estrutura representativa do banco de dados que pode ser uma estrutura *raster* (atributos são distribuídos como uma matriz com linhas e colunas) ou uma

estrutura vetorial (atributos são representados por pontos, linhas ou polígonos). A figura 2.15 representa esse fluxograma com as etapas e informações necessárias para se estruturar um trabalho de geoprocessamento.

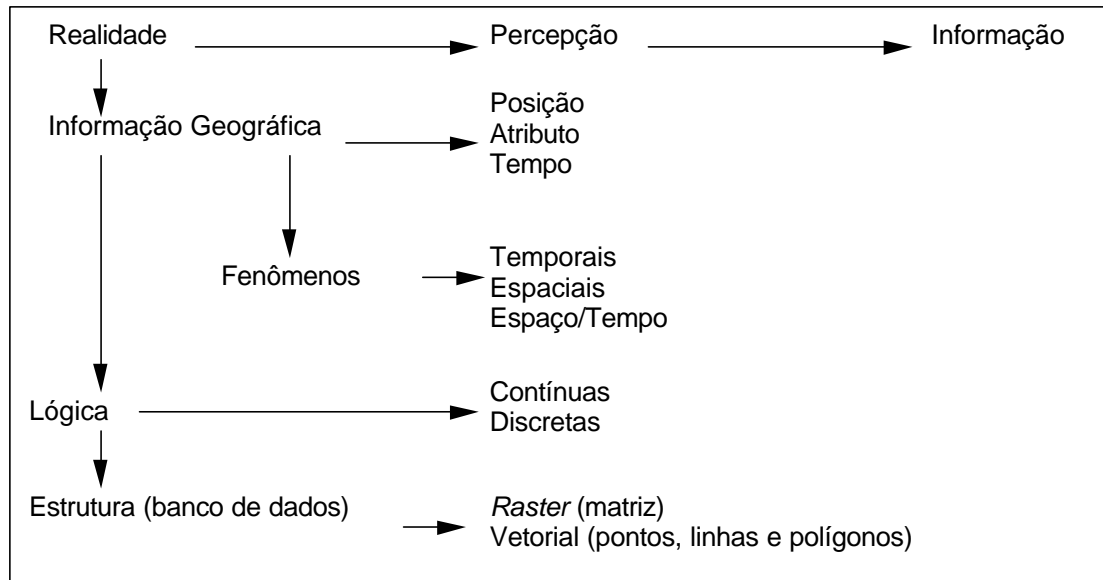


Figura 2.15: Fluxograma do processo que uma informação espacial pode percorrer dentro do geoprocessamento.

Após a inserção de algumas informações dentro do SIG é importante que se tenha em mente que existem diferentes sistemas de coordenadas. As coordenadas geográficas (graus, minutos e segundos) são utilizadas, normalmente, para estudos relacionados à precisão de posições no espaço, como para a perfuração de poços, por exemplo. Quando se deseja realizar análises espaciais e anexar valores a essas posições no espaço, normalmente, são utilizadas as coordenadas planas (x, y e z), onde x e y são as posições relativas no espaço e z é o valor da variável que se está trabalhando.

Dentro do sistema de coordenadas planas existem diferenças como, por exemplo, o sistema UTM e o sistema Gauss Kruger. O sistema UTM é mais disseminado pelo Brasil, sendo que o sistema Gauss é um sistema adotado pelo país vizinho, a Argentina.

Quando se deseja sobrepor mapas com diferentes sistemas, é necessário que se escolha apenas um dos sistemas, pois cada sistema quando sobreposto não condiz com a mesma posição geográfica no espaço, pois possuem distorções diferenciadas. Alguns programas computacionais que trabalham com geoprocessamento possuem comandos bastante diretos e

simples para alterar o sistema de coordenadas dos mapas a serem trabalhados. Basicamente, se localizam pontos de controle distantes entre si para orientar um mapa com sistema diferente do desejado. A figura 2.16 ilustra este procedimento (adaptado de Eastman, 1999).

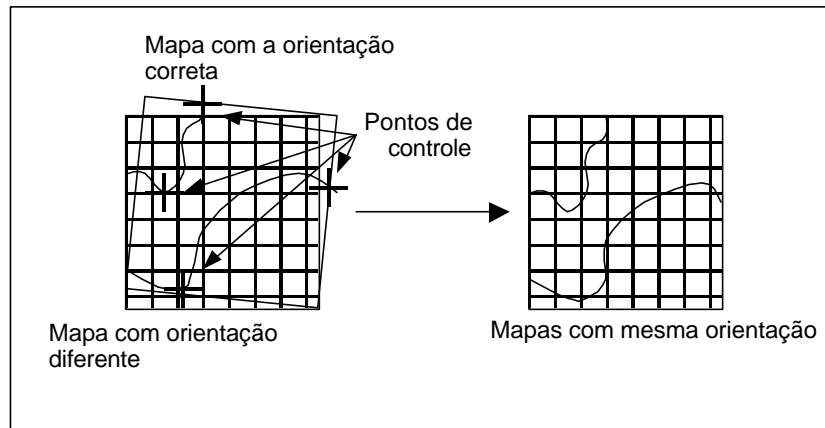


Figura 2.16: Orientação de um mapa em um sistema de coordenadas para outro.

Quando se tem definido o sistema de coordenadas, vários mapas podem ser sobrepostos para gerar o resultado desejado pelo estudo (figura 2.16). Nesse sentido, Xiang (1993) realiza um estudo para a determinação de áreas com potencial ambiental construtivo. O objetivo desse estudo é minimizar os impactos da urbanização num meio ambiente bastante suscetível. A alternativa de analisar áreas em fase crescente de urbanização não impede que situações existentes deixem de ocorrer, mas observa que minimizações, quanto às parcelas ainda não urbanizadas, podem significar alguma restituição ao meio ambiente. Este autor, então, desenvolve um sistema de indicadores que estão relacionados às análises de geoprocessamento. Por exemplo, ele possui um mapa com o levantamento das áreas já urbanizadas da região, um mapa com as condições topográficas, dentre outros que o auxiliam a determinar áreas que possuem ainda algum potencial construtivo, gerando também o potencial máximo de construção para que a situação ambiental atual possa ser controlada na região.

Percebe-se que as características físicas de uma área de estudo são bastante representativas para, mas outros trabalhos incluem características sociais e até mesmo econômicas dentro das análises espaciais (Harvey e Chirsmann, 1998; Leão, 1997). Quando se observa a aplicação da metodologia de Xiang (1993), deve-se ressaltar que a área de estudo é um parque ecológico, situação especial de ocupação. Entretanto, a cidade não é um local onde apenas algumas pessoas podem usufruir de condições ambientais ideais, pelo contrário, é um local onde muitas

pessoas vêm ao encontro de facilidades, ou de economias de aglomeração (Carrion, 1996; Ely, 1986). Nesse caso, o valor ambiental não estará relacionado a condições ímpares de reserva e preservação, mas à disponibilidade e acessibilidade de áreas verdes ao maior número de pessoas possível, por exemplo.

Como muitos instrumentos, o SIG é bastante poderoso, pois seu resultado é função do relacionamento entre pessoas e tecnologias (Harvey e Chrisman, 1998), sendo assim, é um instrumento que funciona de acordo com os desejos e objetivos de quem o manipula. É importante observar, através dessas análises, a variedade de características que podem ser sobrepostas dentro de um sistema de informações geográficas e, assim, gerar as informações de que se necessita.

2.5.2. Desagregação de dados censitários utilizando o sistema de informação geográfica

Após a explanação sobre as informações contidas em imagens de satélite, veremos quais as informações contidas no censo demográfico e a manipulação desses para distribuí-los espacialmente através do sistema de informação geográfica.

Os dados disponíveis hoje sobre populações urbanas ou rurais são os dados referentes aos censos demográficos. São informações de grande interesse estatísticos, mas quando se deseja utilizá-los para análises espaciais urbanas, alguns problemas são enfrentados como a forma, a espacialização da informação e a periodicidade com que ocorre.

As unidades mínimas de aglomeração dos dados são os chamados setores censitários, que são os espaços correspondentes ao levantamento realizado por apenas um recensador. O número de questionários preenchidos por cada recensador está na ordem de 250 a 350 domicílios urbanos e de 150 a 250 domicílios rurais no Brasil (Cunha *et al.*, 1997) o que confere o tamanho de cada setor censitário. A forma encontrada de agregação das informações censitárias dentro de setores é uma maneira de não identificar o domicílio, tornando assim a informação genérica. No entanto, para que se possa utilizar esta fonte rica de informações nas análises urbanas, é necessário desagregar esse dado da sua forma espacial.

A importância da desagregação é melhorar os valores de densidade populacional, principalmente, nos grandes setores que distribuem a população seja em espaços abertos, industriais

ou comerciais. O interessante é que a população seja melhor distribuída, preferencialmente dentro das áreas residenciais. Outro problema que a desagregação soluciona é a distribuição dos valores sem os limites estabelecidos pelos setores, pois sabe-se que tais barreiras não são encontradas na realidade da cidade, mas o setor é apenas estabelecido para efeitos de levantamento dos questionários do censo.

A quantidade de informações contidas nos dados censitários, no entanto, não são apenas quantificação de populações e áreas, tornando este instrumento uma fonte rica de informações para ser explorada. Os questionários cobrem informações sobre o nível de alfabetização da população daquele setor, sobre a renda mensal, a condição do domicílio (alugado, emprestado ou próprio), até mesmo sobre a oferta de serviços como coleta de lixo, abastecimento de água e esgoto. Tais informações, muitas vezes, se perdem nos trabalhos estatísticos, não sendo mais aplicáveis para análises intra-urbanas, mas para análises regionais, ou seja, servindo de comparativo entre cidades, ou ainda entre regiões das cidade (norte, sul etc.). Por exemplo, tais informações são utilizadas na distribuição do transporte coletivo, ou seja, para que grandes estruturas possam servir e aproximar populações mais afastadas dos centros urbanos.

Contudo as informações censitárias servem também como indicativos para o planejamento, pois refletem a realidade do período em que foram coletadas. Os levantamentos censitários ocorrem a cada dez anos, havendo um longo período de ausência de atualização dos dados. Trabalhos de estimativas estatísticas que prevêem como será o cenário futuro dessas populações são realizados com maior periodicidade pelos geógrafos que são os mais interessados nesse tipo de informação. Mas, entretanto, a alteração espacial, que também ocorre durante o período de ausência dessas informações, não é considerada como objeto de estudos.

Bracken e Martin (1989) são alguns dos autores que enfatizam a grande utilidade dos dados censitários que acabam, muitas vezes, se perdendo na invalidação de seu uso nas análises espaciais. Com o surgimento da metodologia que utiliza-se dos centróides dos setores censitários como a base para a distribuição dos dados censitários, estes dados podem ser aplicados, não diretamente como números de habitantes, mas relativos à área que representam como o número de habitantes por metro quadrado ou hectare, acabam se tornando uma informação passível de distribuição espacial.

Quando se utiliza um ponto como representante do dado associado como, por exemplo, a densidade populacional, se tem um número de pontos representativos de cada setor censitário, formando uma malha de pontos localizados em posições diferentes. Os autores recomendam atribuir pesos diferenciados aos pontos quando estes representarem uma área muito grande ou muito pequena. É dito que para os pontos representativos de grandes áreas, grandes setores censitários, estes devem obter um peso menor, pois são representativos de uma região pouco densificada da malha urbana, e vice-versa no que se refere aos pontos que representam pequenas áreas, mas com densidade elevada. Para os autores, esta é uma forma de minimizar o efeito dos grandes setores censitários que possuem em seu interior, muitas vezes, áreas verdes, vazios urbanos etc. que não representam em nenhum sentido a localização de população.

Bertuglia *et al.* (1994) já abordam os dados censitários na forma de indicadores de desempenho urbano. Através de um modelo de interação espacial – tipo Lowry - analisam o comportamento dos trabalhadores e seus diferentes níveis de especialização. Os autores organizam uma hierarquia das cidades do Reino Unido entre atratividade do mercado de trabalho, desempregos, trabalhadores graduados, percentual de trabalhadores classificados como profissionais etc. Basicamente, sobrepõem os diversos indicadores, através de simulações, e acham o local mais propício para situar uma determinada atividade econômica. Esta metodologia pode resultar na possibilidade de localizar a diferença entre áreas da cidade, ou seja, realizar análises intra-urbanas, mas os autores utilizam-na para análises regionais.

Questões como a qualidade de vida da população são discutidas atualmente pelos planejadores como um dos fatores imprescindíveis para o bom funcionamento de uma cidade. Almeida (1997) cria o índice de qualidade de vida (IQV-UFFTM) para o estado do Rio de Janeiro envolvendo dados demográficos que representem, de alguma forma, situações de qualidade urbana. Almeida trabalha, por exemplo, com percentual de domicílios com rede geral de água, de esgoto, com coleta de lixo diária, com terminais telefônicos; com percentuais dos chefes de domicílio abaixo da linha de pobreza; com taxa percentual de alfabetização dos chefes de domicílio, dentre outros. Todos os dados são disponibilizados a partir do censo demográfico que entram no cálculo de 5 índices. Este índices são referentes à infra-estrutura básica, à renda, à educação, ao potencial educacional e à saúde. Existem outros dois indicadores, um de atividade industrial e outro de violência. Pode-se

considerá-los bem demonstrativos de uma situação que, entre as cidades desse estado, podem auxiliar no planejamento regional e econômico, com a facilidade de disponibilizar os dados censitários através de consultas no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) ou em outro órgão estadual de estatística.

Entretanto, o problema detectado pela disponibilidade dos dados pesquisados serem novamente verificados apenas em 10 (dez) anos, período que ocorrerá o novo levantamento dos dados censitários desse país, mostra que o IQV-UFFTM possui este compromisso de utilizar esses dados com uma periodicidade consideravelmente grande. Outro comentário ao IQV-UFFTM, é a metodologia envolvendo indicadores que, necessariamente, não resultam no nível de qualidade de vida da população do ponto de vista ambiental, sendo este um ponto que desperta a curiosidade de trabalhos futuros. A qualidade de vida analisada apenas pelos dados contidos no censo demográfico é válida, mas entende-se que o conceito de qualidade de vida está além dos itens censitários.

Com os elementos hoje disponíveis talvez exista uma carência para elaborar um índice efetivo de qualidade de vida. A quantidade de infra-estruturas, por outro lado, também não é o fator determinante para a qualidade de vida de populações. Às vezes, a quantidade de infra-estruturas acessadas por determinadas classes sociais se torna subtilizada, enquanto que para outras classes a infra-estrutura mínima não é suficiente para a população e muito menos para que contribua para a qualidade de vida urbana.

O índice proposto por Almeida (1997), a partir dos indicadores utilizados, não realiza uma boa correlação entre as condições da população e do meio urbano. Os fatores geradores da qualidade de vida devem incluir também o ambiente para que contribua na melhor descrição da complexidade dos fenômenos urbanos. Contudo, o autor traz pontos positivos na sua metodologia no sentido de comprovar, mesmo que com algumas falhas, a necessidade de desenvolver índices que descrevem melhor as condições internas das cidades brasileiras.

Metodologias empregando dados censitários é uma ferramenta bastante difundida (Almeida, 1997; Cunha *et al.*, 1997; Torres, 1979; Bertuglia *et al.*, 1994), cabendo também a utilização de ferramentas como o sistema de informação geográfica (SIG) para melhor relacionar espacialmente os indicadores escolhidos. O SIG possibilita que uma determinada informação possa estar vinculada

a determinada posição no espaço. Numa cidade as formas de se agregar informações variam entre secretarias, por exemplo. Cada uma utiliza o tipo de regionalização (bairros, unidades de planejamento, unidades de valorização, zonas para orçamento participativo etc.) para melhor controlar suas demandas ou serviços. Quando da utilização de um sistema de informação geográfico (SIG), não há mais necessidade de se pensar em regionalizações diferenciadas, pois pode haver integração e sobreposição de informações.

A metodologia que propõe redistribuição dos dados censitários através dos centróides dos polígonos, apresentada por Bracken e Martin (1989 e 1991), possui a característica de relacionar determinada informação a um ponto no espaço. Para definir a distribuição das densidades na malha urbana, por exemplo, Bracken e Martin (1989) comentam que o problema está na não distribuição espacial ou geográfica dos dados censitários. Para reverter o problema, sugerem a utilização dos *centróides* dos setores censitários como pontos representantes para a distribuição espacial dos dados. O cálculo das coordenadas do centróide ou do centro geométrico de um polígono é apresentado na equação 2.9, com a figura 2.17 ilustrando a localização espacial do mesmo.

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \frac{\sum x_n}{n} \\ \bar{y} &= \frac{\sum y_n}{n}\end{aligned}\tag{2.9}$$

Onde: \bar{x} e \bar{y} são a média dos valores para a coordenada x e a coordenada y;

$\sum x_n$ e $\sum y_n$ é o somatório dos n valores em x e y;

n é o número de pontos do polígono.

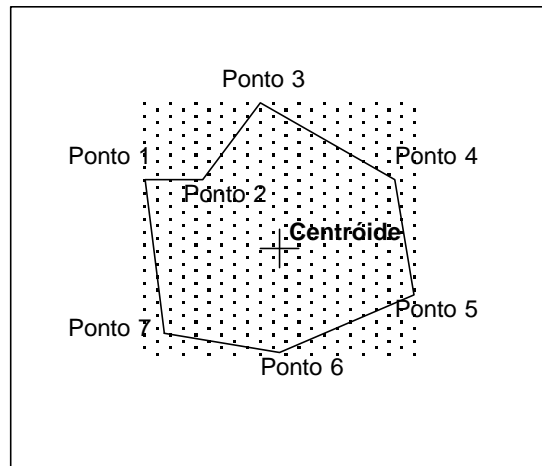


Figura 2.17: Exemplo de um polígono com 7 (sete) pontos e a localização espacial do centróide desse polígono.

O cálculo do centróide é facilmente obtido por qualquer programa computacional que trabalhe com dados espaciais ou dados em geral, para isso, basta possuir polígonos fechados com as devidas coordenadas dos pontos que o compõem.

A população urbana não é uma propriedade contínua no espaço. Deve-se perceber que quando se fala em população de uma cidade, está se referindo à população de moradores da mesma. Logo, dependendo do tipo de uso do solo urbano, não haverá população em determinadas áreas como, por exemplo, em praças, parques, locais exclusivamente de comércio, zonas industriais, ou áreas de estacionamento. Alguns métodos de distribuição espacial de dados podem receber informações para retirar determinadas áreas onde não devem ser distribuído nenhum valor, ou seja, a população naquele local em específico é zero. Como a maioria das distribuições espaciais consideram retângulos como a área a proceder a simulação dos dados, o que se recomenda proceder é a inserção de máscaras onde o valor será único (zero) para que não receba a distribuição dos valores.

Braken e Martin (1989) perceberam que, na distribuição espacial, os centróides representam os pontos mais elevados de valor dentro do setor e que serão a base para que a superfície de distribuição espacial seja modelada. Se, por outro lado, a localização do centróide coincidir com a localização de áreas onde, nesse caso, a população não se localiza, sugere-se que o centróide seja realocado. A figura 2.18 ilustra esse exemplo.

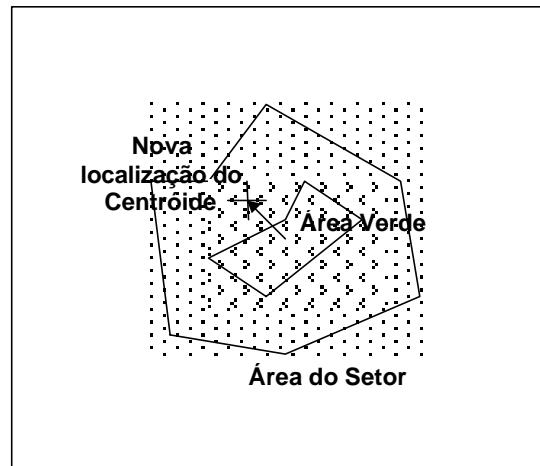


Figura 2.18: Exemplo de setor censitário que possui área verde onde não há presença de população e, portanto, necessita a realocação do centróide.

A realocação do centróide pode ser um procedimento matemático ou, até mesmo, manual, pois muitas vezes não se consegue obter um resultado satisfatório como mostra a figura 2.19, onde a irregularidade de um polígono pode causar num resultado matemático fora de seus limites. O importante é saber que o centróide será o ponto de distribuição espacial do valor referente ao setor censitário ou a qualquer polígono que contenha informação, não cabendo que o mesmo se encontre fora de seus limites, provavelmente contabilizando ao polígono vizinho.

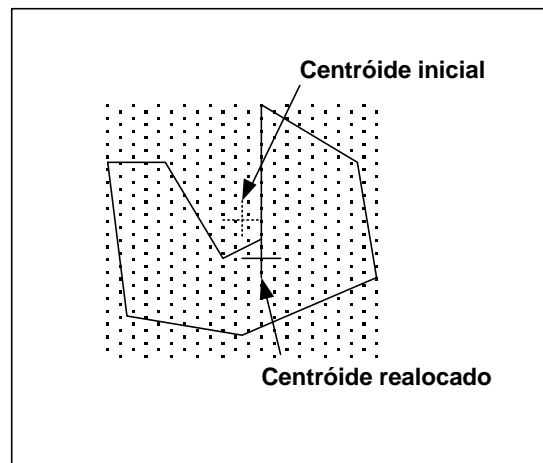


Figura 2.19: Relocação do centróide para dentro do polígono que apresenta uma forma bastante irregular.

2.5.3. A geoestatística interpolando dados desagregados

A seguir algumas técnicas de geoestatística são apresentadas para avaliar o tipo que melhor se aplica para descrição das superfícies urbanas.

A interpolação de dados é uma ferramenta fundamental para se trabalhar melhor com o geoprocessamento de informações, pois é através dela que se estima os dados não disponíveis de uma determinada região. Dentro de um sistema de informações geográficas trabalha-se com vários mapas (*layers*) sobrepostos, com isso, a necessidade de se obter superfícies completas de dados para que cada unidade de informação (*pixel*) possa, na sobreposição, conter a informação de todos os mapas utilizados (Eastman, 1999).

Quando se possui apenas alguns valores (dados amostrais ou desagregados) de uma região, algumas técnicas são empregadas para se determinar o conjunto completo dos dados. Com a desagregação dos dados censitários, por exemplo, o mais surpreendente na distribuição espacial dos mesmos é a visualização do comportamento da população, no caso, através da densidade populacional. Quando os dados ficam restritos a regiões como os polígonos censitários, estes possuem uma distribuição homogênea, dando muitas vezes a noção de que existe um salto de valores entre um setor e outro. Esse tipo de aparência está também relacionado à interpolação dos dados pelas características de limites dos polígonos ou interpolação poligonal (Burrough, 1986; Isaaks e Sriastava, 1989), sendo um tipo mais simples de interpolação que assume que toda a variação ocorre apenas nos limites dessas entidades. A figura 2.20 mostra o comportamento espacial desse tipo de interpolação.

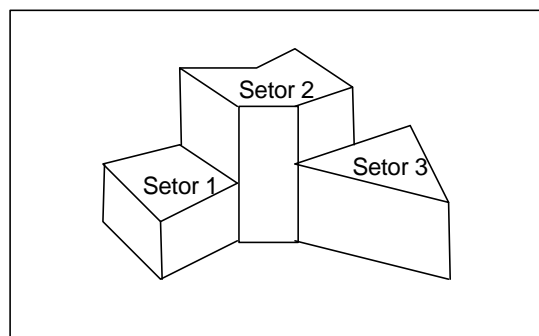


Figura 2.20: Mapa em degraus de dados espacializados com a interpolação poligonal, onde a alteração só ocorre nos limites dos polígonos.

No entanto, o comportamento linear sobre os polígonos não é condizente com a realidade das superfícies urbanas, mesmo com relação à densidade. Uma solução melhor e mais próxima da realidade, seria a suavização entre um limite e outro de cada setor, dando a aparência de uma superfície mais contínua entre os diversos polígonos existentes na malha urbana. Com o método

da triangulação dos dados, a mudança entre um setor e outro começa a ser suavizada. Outro método é do inverso da distância, determinado a partir do centróide (centro geométrico) do polígono com o valor decaindo até seus limites na função inversa da distância, partindo assim para um comportamento espacial melhor distribuído que os anteriores. Técnicas de interpolação como a krigagem e a simulação Gaussiana iniciam um processo de estimação de dados dentro de uma malha de pixels, distribuindo valores de acordo com o comportamento dos dados amostrais relativos aos centróides dos polígonos que, por sua vez, não determinam mais limites geográficos.

Em Cunha *et al.* (1997) duas técnicas são comparadas na sua aplicação em dados urbanos. Uma das técnicas é conhecida como média móvel ponderada e foi descartada como método de aplicação aos dados urbanos, pois esta técnica desconsidera o comportamento dos dados iniciais amostrais (valores dos centróides dos polígonos). A técnica da *krigagem* dos dados foi que se mostrou mais propícia para ser aplicada em dados urbanos. A krigagem é um dos métodos geostatístico de interpolação dos dados. Parte-se de dados amostrais para se determinar os demais dados desconhecidos que compõem a superfície espacial. A determinação dos dados desconhecidos pela *krigagem* é proporcionada pela análise do semivariograma dos dados amostrais baseado na equação 2.10 (Burrough, 1986).

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n I_i \cdot Z(x_i) \quad 2.10$$

Onde: I_i é o peso estabelecido para cada interpolação local pelos dados amostrais;

$$\sum_{i=1}^n I_i = 1.$$

Pela *krigagem* dos dados, a distribuição espacial fica melhor representada como mostra a figura 2.21.

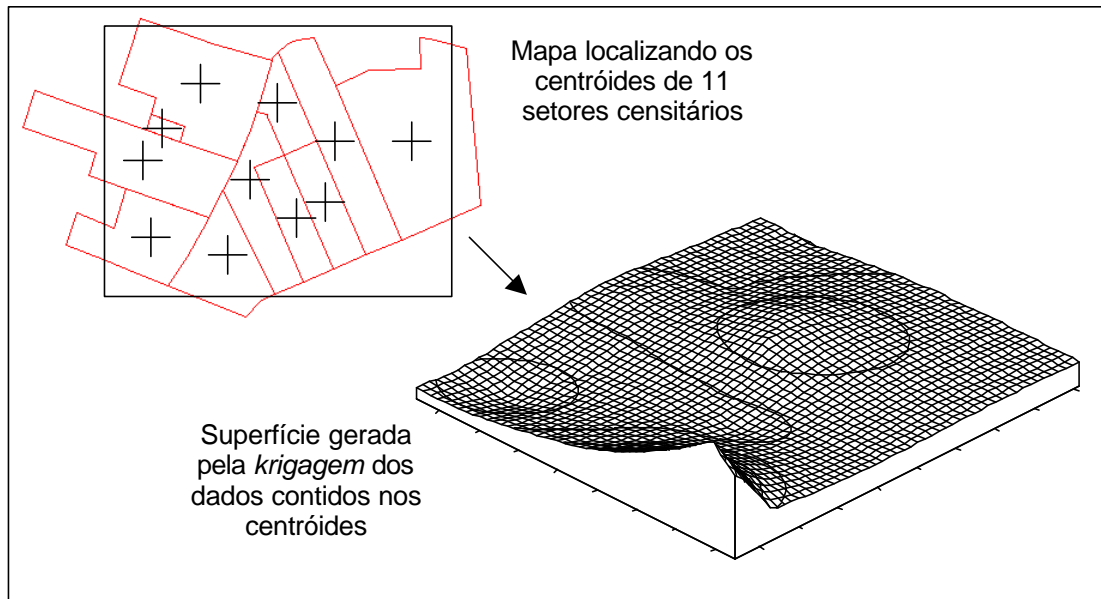


Figura 2.21: Exemplo de uma superfície de dados interpolados através do método da krigagem.

A *krigagem* é um método bastante válido dentro das análises urbanas, mas a aplicação desse método é mais indicado para grandes áreas, dentro de análises regionais, por exemplo. No detalhamento de análises intra-urbanas pode haver algumas desvantagens de se aplicar a *krigagem*, pois ela não obedece o comportamento da covariância dos dados amostrais quando da interpolação para os demais dados desconhecidos, assim é sugerido a utilização de métodos que obedeçam essas relações.

A simulação condicional Gaussiana (Costa, 1997) é outro método recomendado para a interpolação de dados urbanos, sendo que este método obedece a correlação dos dados iniciais (amostra), caracterizado como uma distribuição condicional para $Z(x)$. A condição de obedecer a correlação dos dados originais é obedecida também para uma vizinhança local de x durante a simulação. Neste tipo de simulação, é necessário que os dados amostrais obedeçam um comportamento normal para o cálculo do semivariograma. Portanto, é feito a normalização dos dados iniciais, assumindo-se a hipótese de multinormalidade, ou seja, os dados interpolados assumirão uma distribuição normal. A simulação condicional Gaussiana se baseia na decomposição da função de probabilidade multivariada (equação 2.11) de uma função randômica ($Z(x)$) que produz uma série de funções condicionais univariadas (equação 2.12).

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n; z_1, z_2, \dots, z_n) \quad 2.11$$

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n; z_1, z_2, \dots, z_n) = f(x_1; z_1)$$

$$x \quad f(x_2; z_2 | Z(x_1) = z_1)$$

$x \quad \dots$

2.12

$$x \quad f(x_n; z_n | Z(x_a) = z_a, a = 1, \dots, n-1)$$

Como já visto, existem outros métodos de interpolação a partir de pontos amostrais como o modelo de Thiessen, Média Móvel Ponderada, Triangulação etc. Mas é a *krigagem* e a simulação Gaussiana que resultam em superfícies de pontos com melhor ajuste (Eastman. 1999), principalmente, no que se refere aos estudos mineiros e geológicos, bem como, para os estudos urbanos. Costa (1997) explica a diferença existente entre os métodos de interpolação da simulação Gaussiana e da *krigagem*. A *krigagem* utiliza métodos de regressão e não reproduz a variabilidade original dos dados, no entanto, mantém os valores originais dos pontos amostrais. Já a simulação utiliza métodos estocásticos, que não mantêm os valores originais, mas obedece o comportamento que estes dados apresentam quanto à distância e quanto à direção (variância e covariância dos dados ou variograma). O resultado espacial de ambos os métodos são similares. No entanto, a simulação Gaussiana mantém, no resultado final, o mais importante que é o comportamento dos dados, proporcionando um grande aproveitamento desse método nas análises urbanas.

2.5.5. O Modelo Numérico do Terreno para gerar o comportamento da bacia hidrográfica

Outro tipo de informação física aplicada em estudos urbano e que utiliza a geoestatística é a transformação das cotas topográficas em Modelo Numérico do Terreno. Também conhecido como MNT, este tipo de informação possibilita a exploração de dados que sofram a influência da topografia como, por exemplo, o escoamento das águas de chuva, carregando consigo, muitas vezes, vários tipos de resíduos sólidos (garrafas plásticas, sacos plásticos, areia etc.) e líquidos (esgoto sanitário, produtos químicos etc.).

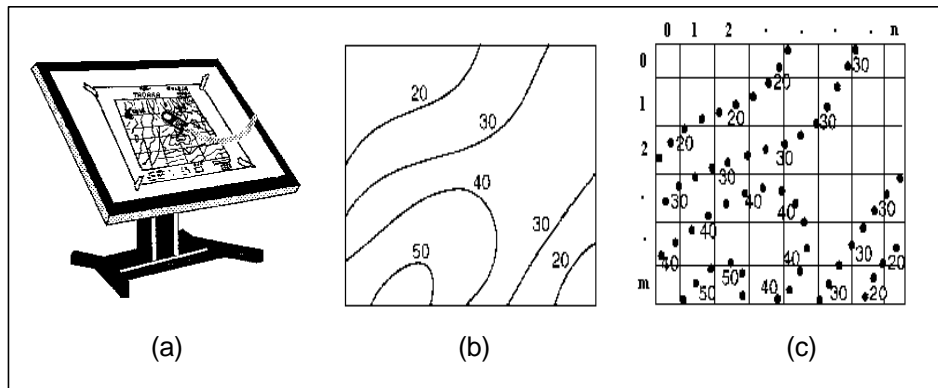


Figura 2.22: Passos na produção do modelo numérico do terreno (MNT): a) digitalização das curvas de nível do terreno; b) mapa vetorial dentro de um ambiente de geoprocessamento; e c) rasterização do mapa com pixels com e sem valor (Fonte: Collischonn *et al.*, 1999).

Pela figura 2.22c o mapa rasterizado, nesse exemplo, ainda não é o produto final do MNT, pois a malha de valores ainda é irregular. Para que a malha de valores se torne regular, o MNT é produzido por um método geoestatístico mais simples que a krigagem ou a simulação Gaussiana apresentados anteriormente. A interpolação dos pontos ou curvas topográficas é feita, muitas vezes, pelo método da Média Móvel Ponderada que adota o pressuposto de que pontos próximos tendem a ser mais similares do que pontos distantes entre si. A equação 2.13 descreve a avaliação feita na vizinhança de cada ponto a ser interpolado.

$$\hat{Z}(x) = \sum_{i=1}^n I_i Z(x_i) \quad 2.13$$

Tendo em mãos o MNT, muitos são os produtos que podem ser gerados por ele como, por exemplo, declividade, aspecto contínuo, curvatura, sombreamento, aspecto discreto, área acumulada, rede de drenagem e delimitação de sub-bacias. Todos esses produtos são normalmente utilizados para estudos hidrológicos das bacias (Collischonn *et al.*, 1999; Mediondo *et al.*, 1999), no entanto, esses elementos também podem ser aproveitados em análises urbanas (Smith & Vidmar, 1994), principalmente na avaliação da drenagem urbana como a capacidade de contenção e vazão de chuvas, por exemplo. A figura 2.23 ilustra o MNT de uma bacia hidrográfica.

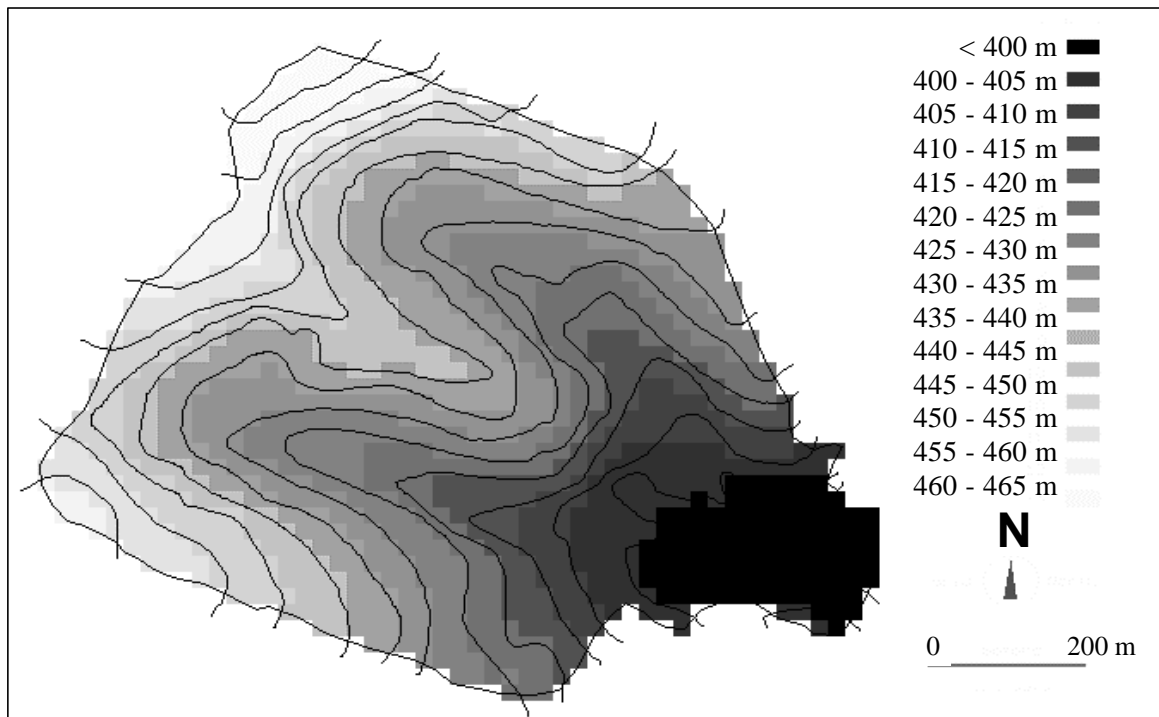


Figura 2.23: Ilustração de um MNT a partir das curvas de nível de uma bacia hidrográfica (Fonte: Collischonn et al., 1999).

A partir do MNT, com elementos como a declividade e a área acumulada, o *Stream Power Index* (Moore et al., 1993) trabalha com a distribuição espacial para casos de erosão provocados pela água, utilizando assim vários elementos que colaboram para esse efeito como a topografia da região, o fator de erodibilidade do solo, a quantidade de chuva, o coeficiente de escoamento, dentre outros indicadores. A palavra *Stream Power Index* seria o índice de força das correntezas que através de seus indicadores mede a força que um determinado volume d'água possui dado as características do solo, da topografia e do líquido, no caso, a água. Através do comportamento da erosão do solo, o autor consegue traçar regiões com maior ou menor impacto (erosão). O índice de erosão (H) definido por Moore et al. (1993) é apresentado na equação 2.14.

$$H = rgA_s i \tan b a_1 e^{-a_2(1-C_s)} \quad 2.14$$

Onde: A_s é uma área acumulada específica;

b é a declividade local em graus;

g é a aceleração dada pela gravidade;

r é a densidade da água;

i é a taxa de excesso de água da chuva;

O restante da equação ($a_1 e^{-a_2(1-C_r)}$) é o coeficiente de eficiência de retenção do sedimento.

A importância de apresentar esse índice, como fonte de inspiração para o desenvolvimento do índice ambiental urbano, é a semelhança existente entre os impactos ambientais em bacias hidrográficas frente aos fatores urbanos, que no caso seriam comparadas às características do solo, por exemplo. O *Stream Power Index* calcula o impacto da sedimentação dos rios, um índice similar, mas com foco no ambiente urbano de uma bacia, o cálculo incluiria a contribuição da impermeabilização do solo e a densidade populacional como causa do aumento de escoamento superficial na bacia o que, dependendo da topografia, pode causar problemas de alagamentos.

Sendo a equação uma função da topografia (A_s e b), do solo (a_1 e a_2) e do tipo de cobertura da superfície (C_r) para cada posição (pixel), cada um dos elementos da equação pode ser considerado um mapa dentro do Sistema de Informação Geográfica. Com essa comparação, é possível recriar um índice ambiental urbano, alterando-se alguns dos elementos contidos na equação do *Stream Power Index*. A topografia fica assegurada na equação, descrita por A_s (área acumulada) e β (declividade), já que é responsável pela descrição do comportamento (escoamento) dentro da bacia hidrográfica e pode ser retirada do modelo numérico do terreno (fonte de dados). A declividade possui fator diferencial nesse cálculo, pois ela entra como fator de aumento ou diminuição na velocidade da água escoada, diferente de métodos como o Método Racional que não caracteriza a velocidade, mas apenas o volume de água acumulada ao longo da bacia. O elemento r (densidade da água) é substituído pela densidade populacional, pois é um dos elementos de interesse urbano e que modifica a característica do escoamento das águas pelo incremento de dejetos sólidos nas canalizações, por exemplo. É importante comentar que o indicador densidade populacional já entra distribuído espacialmente, pois a fonte de dados utilizada (informação censitária) depende dessa espacialização para tornar a informação útil. Sem a espacialização dos valores de população dentro de áreas (setores censitários) não haveria como determinar a posição de cada habitante na região da bacia em estudo. O elemento i (taxa de excesso de água de chuva) é substituído pela taxa de impermeabilização do solo urbano. O coeficiente de retenção de sedimentos ($a_1 e^{-a_2(1-C_r)}$) e a

aceleração (g) são retirados da equação, pois não existe outro elemento para análise que o índice ambiental urbano inclui.

O capítulo seguinte apresenta os métodos adotados para se chegar à construção do índice ambiental urbano (IAU) e descreve com maior detalhe as transformações das fontes de dados para extração dos indicadores utilizados.

3.1. Introdução

Nesta pesquisa, a análise urbana realizada faz uma tentativa de adequar um caráter mais *ambiental* ao planejamento urbano, ou seja, analisar a causa e o efeito dos ecossistemas urbanos no ambiente, considerando a bacia hidrográfica como unidade de planejamento. A maioria dos métodos de abordagem ambiental trata de análises regionais, pois envolverem uma quantidade maior de variáveis associadas ao meio ambiente. Nessa pesquisa é desenvolvida uma metodologia de análise de áreas intra-urbanas para demonstrar as diferentes, mas decisivas, influências do meio urbano no meio ambiente sem ater-se aos limites municipais, mas aos limites de uma bacia hidrográfica que pode estar abrangendo parte da área de um município ou até mesmo de vários municípios, demonstrando assim que os efeitos ambientais são percebidos além dos limites municipais.

A pesquisa vem contribuir no tratamento das alterações ambientais decorrentes do desenvolvimento urbano de forma similar aos zoneamentos dos planos diretores, ou seja, delimitando zonas de influências e não pontos com limites bem definidos. Tais alterações ambientais, provenientes de áreas construídas, são revertidas em parâmetros, possibilitando uma normatização dos aspectos ambientais e construtivos. O plano diretor é um instrumento bastante utilizado no planejamento urbano, assim torna-se necessário esse instrumento seja avaliado através das análises ambientais para que se defina se a estrutura urbana proposta possui ganhos ambientais e urbanos. Nota-se que em planos diretores que envolvem o conceito ambiental, não há um levantamento descritivo de alguns critérios como, por exemplo, os construtivos preexistentes, os administrativos, os estruturais, os econômicos e os ambientais.

O procedimento metodológico, aqui proposto, parte da obtenção de indicadores urbanos e ambientais, através do sistema de informação geográfica (SIG), com o objetivo de construir um mapa indicativo dos padrões construtivos referentes à impermeabilização do solo e à densidade populacional encontrados numa a bacia hidrográfica urbana. A análise de critérios sustentáveis referente aos indicadores será feita a partir de um mapa final contendo essas informações processadas. A partir do resultado *final*, pode-se compor diferentes análises como: minimização ou otimização das ocupações máximas do solo urbano em bacias, tendo-se como foco a sustentabilidade urbana, ao invés de prejuízos ambientais irremediáveis ou de perdas econômicas para o município; determinação e regulamentação do

uso do solo visando a segurança do meio ambiente e da população; observância da densificação do solo urbano e das conseqüências de seu aumento ou redução etc.

O Banco Mundial, através do relatório *Brazil: Managing Pollution Problems*, desenvolvido entre 1996-7, já havia concluído que cidades como São Paulo ou Curitiba enfrentam situações alarmantes quanto as enchentes, sendo este um evento de grande risco ambiental, econômico e de segurança pública. Assim, a proposta metodológica inclui a análise de parâmetros locais, formando um sistema de classificação parcial e inicial na escala intra-urbana, para que então seja interligado com parâmetros globais dentro da escala de uma bacia hidrográfica que representa os efeitos no meio ambiente. Em Porto Alegre, existe um setor específico para tratar de enchentes e que o Banco Mundial ajuda a financiar, pois considera que as enchentes são o principal problema ambiental da cidade (Correio do Povo de 19 de Julho de 1998).

O esquema metodológico é apresentado, nas suas diferentes etapas de aquisição e produção de informações, nos fluxogramas das figuras 3.1 e 3.2. É importante observar que o resultado final são as produções geradas pela cidade, especificamente pela população de moradores da área.

A numeração apresentada no fluxograma da figura 3.1 representa não apenas os passos adotados no procedimento metodológico, mas também os itens seguintes desse capítulo. A fonte de dados é o item 3.2 desse capítulo, primeiro passo para a compreensão da metodologia proposta. É através das informações contidas em imagens de satélite e em dados censitários que se inicia uma variedade de classificações e interpretações para a transformação dessas em dados para a pesquisa. O item 3.3 aborda em detalhes a classificação da imagem de satélite para que traduza as diferenças encontradas nas superfícies urbanas e, assim, gerar dados sobre a impermeabilização do solo urbano. Em paralelo o item 3.4 aborda a transformação das informações censitárias em dados que possam ser trabalhados espacialmente, pois esta será uma característica obrigatória para os dados dessa pesquisa. O passo seguinte (número 4 pela figura 3.1) ou item 3.5 é a verificação da relação existente entre os dados gerados no item 3.3 e 3.4, ou seja, entre os valores de impermeabilização e os de densidade populacional. Finalmente, o item 3.6 mostra como é construído um índice que relaciona os dois indicadores (impermeabilização e densidade).

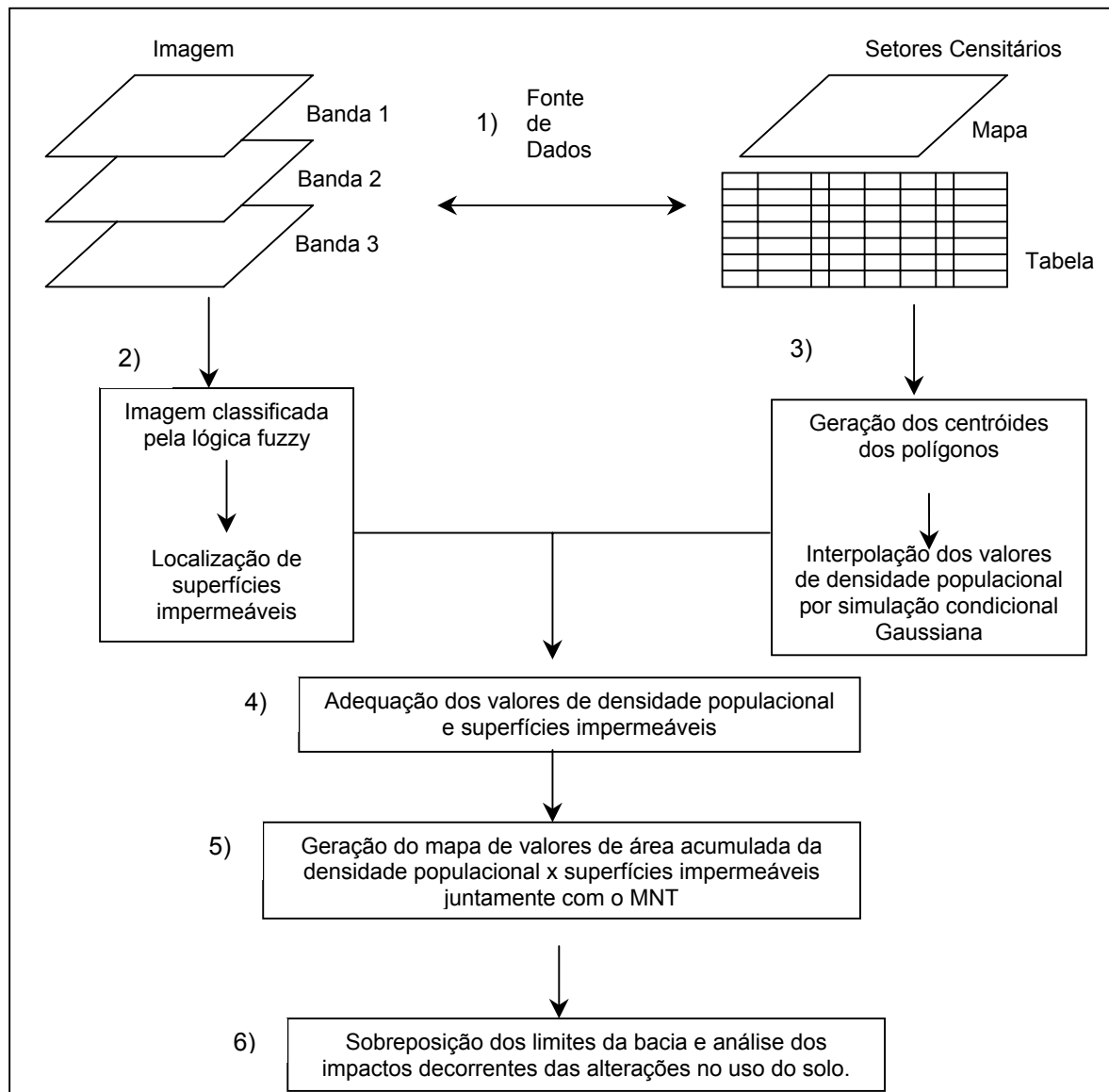


Figura 3.1: Fluxograma da metodologia adotada para a construção do mapa indicativo da densidade populacional e a relação com impermeabilização das superfícies urbanas.

O fluxograma da figura 3.2 é uma continuação da figura 3.1, mas com o detalhamento dos componentes que integram os itens 5 e 6 desse fluxograma. O item 1 e 2 da figura 3.2 se refere à etapa desse capítulo que descreve a obtenção de informações da topografia da região de estudo, onde o item 4 e 5 são as informações adquiridas que integrarão o índice. O item 3 é basicamente o fluxograma anterior entre os itens 1 e 4, e compõem o último elemento para a construção do índice ambiental urbano (IAU), representado pelo item 6 da figura 3.2 e detalhado na última etapa desse capítulo.

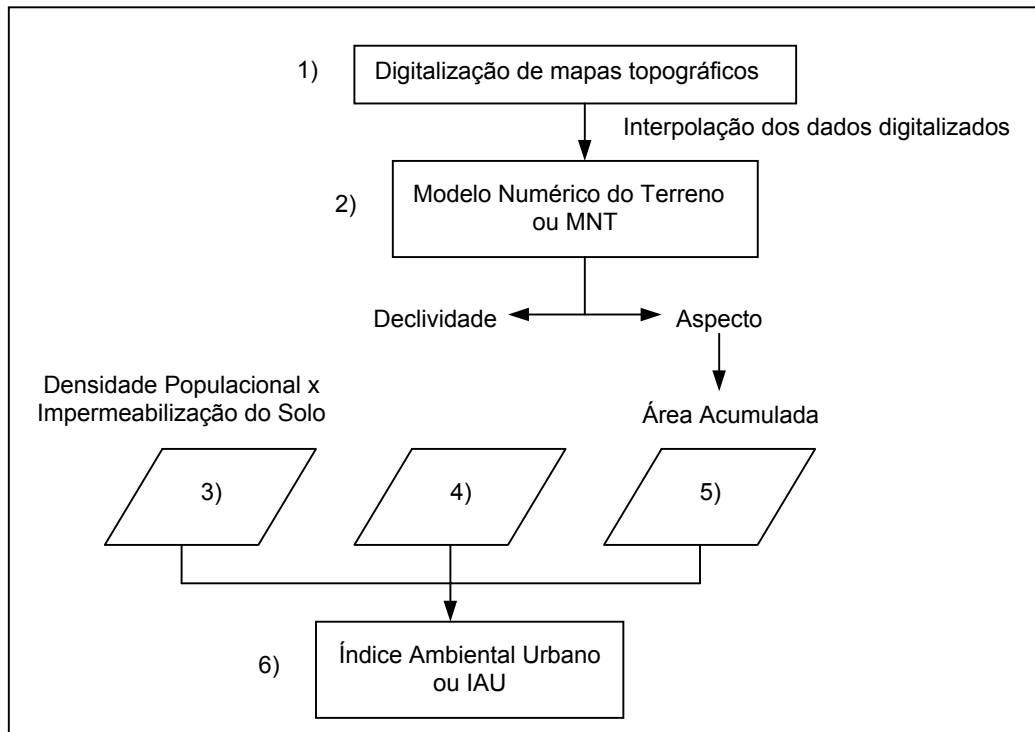


Figura 3.2: Fluxograma indicando os procedimentos de construção do Índice Ambiental Urbano (IAU).

3.2. A fonte de dados

As características físicas e sociais, disponibilizadas pela pesquisa, são extraídas de imagem de satélite e informações censitárias. As imagens de satélite são uma fonte de razoável atualização para os dados que, juntamente com as informações censitárias, formam uma rica base de dados da realidade.

Para viabilizar a aplicação da metodologia, foi escolhida uma bacia hidrográfica urbana delimitando a área de estudo. A bacia hidrográfica é uma boa unidade de planejamento que também pode ser utilizada, principalmente quando se deseja observar os efeitos ambientais refletidos pelas condições da impermeabilização do solo urbano e as possíveis conseqüências no comportamento das vazões de pico da chuva para os acúmulos em rios urbanos (para exemplo, ver histograma da figura 2.6). A partir da bacia hidrográfica urbana é possível fazer alterações controladas de superfícies de impermeabilização e observar os efeitos nas calhas dos rios, por exemplo. Entretanto, para esta pesquisa, não serão utilizados métodos de simulação das condições de impermeabilização do solo e análises de hidrogramas, mas realizar apenas o mapeamento de dois indicadores: a população e as superfícies impermeáveis.

3.2.1. A imagem de satélite

A imagem de satélite é um conjunto de informações digitais que podem ser manipuladas para se adquirir dados sobre determinada área. A imagem possui pontos de informações chamados pixels que devem ser geograficamente identificados dentro de um sistema de coordenadas (geo-referenciamento da imagem). O pixel contém a resposta espectral (espectro eletromagnético) de uma superfície captada pelo sensor (satélite), ou seja, capta a intensidade de energia refletida e atribui valores inteiros e positivos em níveis de cinza (INPE, 2000).

As imagens de satélite podem ser adquiridas de formas variadas. Dependendo da área de estudo, muitas universidades e secretarias municipais já dispõem desse material, enquanto outras localidades são pouco estudadas e, por isso, não estão disponibilizadas de forma fácil. Entretanto, qualquer localidade pode ser adquirida no Brasil, por exemplo, através do banco de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) que dispõe de imagens datadas a partir do final dos anos 70, início dos 80. O custo pode ser bastante elevado dependendo da abrangência da área de estudo e da data que se deseja obter, mas é um valor que vale o investimento se houver interesse e utilidade reais para o estudo.

Qualquer imagem quando disponibilizada inicialmente, não possui nenhum sistema de referência. Elas vêm, normalmente, num formato de arquivo rasterizado onde as coordenadas são do tipo linhas e colunas (figura 3.3), ou seja, não possui nenhum sistema de coordenadas geográficas (graus, minutos e segundos) ou planas (x, y e z) e este é um dos primeiros procedimentos a serem adotados: geo-referenciamento da imagem adquirida ou registro da imagem. Antes disso, porém, o arquivo da imagem deve ser importado para dentro do programa computacional que fará o registro da mesma.

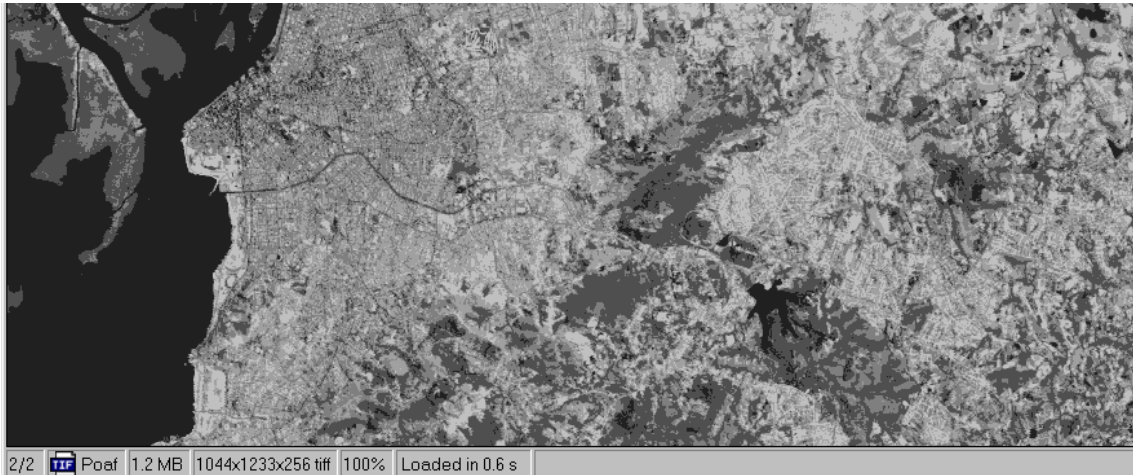


Figura 3.3: Modo rasterizado de uma imagem de satélite, sendo possível notar no canto inferior da tela a referência - 1044X1233X256 tiff -, ou seja, esta imagem possui uma dimensão de 1044 colunas, 1233 linhas e 256 tons de cinza dentro de um formato tipo .tiff.

Muitos programas computacionais que trabalham com sensoriamento remoto possuem operações de georreferenciamento de imagens. O processo é feito, primeiramente, optando-se pelo sistema de coordenadas que se deseja trabalhar. Os sistemas UTM, Gauss Krugger, polinomial, cilíndrica etc. são formas diferentes de se localizar pontos no globo terrestre. A transformação para um sistema geográfico ou plano também corrige possíveis distorções na imagem, já que ela é captada por satélite a uma grande distância.

O registro da imagem utiliza transformações polinomiais de 1^o ou 2^o grau para estabelecer o mapeamento das coordenadas da imagem e do sistema escolhido. A equação 3.1 (INPE, 2000) demonstra o sistema genérico de ajuste.

$$\text{Primeiro grau: } \begin{aligned} xr &= a_1x + b_1y + d_1 \\ yr &= a_2x + b_2y + d_2 \end{aligned}$$

$$\text{Segundo grau: } \begin{aligned} xr &= a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2 \\ yr &= b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy + b_4x^2 + b_5y^2 \end{aligned} \quad 3.1$$

$$Ncp = (N + 1)(N - 2) / 2$$

$$N = 1 \Rightarrow 3 \text{ pts.}$$

$$N = 2 \Rightarrow 6 \text{ pts.}$$

Os procedimentos adotados durante o registro de uma imagem são três, basicamente: a) definir os pontos de controle (N_{cp}); b) definir a equação de mapeamento (para as coordenadas x e y); e c) definir o processo de interpolação das informações contidas na imagem (tons de cinza ou coordenada z).

É recomendado a utilização mínima de seis pontos de controle que podem ser encontrados em mapas cartográficos da área. Se esta informação não for disponível, uma sugestão é sair a campo e coletá-los em um GPS ou *Geographic Position Systems*, que são instrumentos manuais e de boa precisão que localizam através da triangulação de satélites a exata posição de determinado ponto no globo. Com este instrumento é possível se optar por informação de posições geográficas ou planas.

A figura 3.4 exemplifica o registro da imagem com seis pontos de controle, onde estes estão distribuídos no espaço de forma a possibilitar uma melhor interpretação das novas coordenadas, diminuindo o erro de precisão que para áreas urbanas é de 0,5 pixel para uma resolução de 30 metros.



Figura 3.4: Imagem com cores falsas (RGB) sendo registrada no sistema de coordenadas desejado, onde seis são os pontos de controle distribuídos dentro da área de estudo.

Após o registro da imagem é possível trabalhar com a manipulação das informações contidas na imagem, também chamado de classificação da imagem. Mas este procedimento será melhor descrito no item 3.3 deste capítulo.

3.2.2. As informações censitárias

Os dados censitários são de fácil aquisição, pois é um instrumento de pesquisa geográfico utilizado em muitos países. No Brasil, por exemplo, é possível adquirir essas informações no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Tanto a fonte de dados numérica quanto espacial são possíveis de serem adquiridas a partir do censo de 1991.

As informações censitárias são distribuídas em regiões denominadas setores censitários, que são as unidades mínimas de informação dentro desse sistema. A seguir é apresentada um tabela (3.1) esquemática contendo todas as informações que podem ser adquiridas sobre cada setor censitário.

Tabela 3.1: Apresentação esquemática dos itens informativos das tabelas dos setores censitários apresentadas pelo IBGE.

Informações contidas nas folhas de respostas por setor censitário

Tipologia de respostas quantificadas

Número do Setor Censitário:						
Tipo do Setor Censitário:		Urbano		Rural	Especial	
Número de domicílios:		Total		Particular Permanente		
Abastecimento de água:		c/ canalização		s/ canalização		
Instalação sanitária:		No domicílio		Comum	Não tem	
Residência:	Própria	Alugada		Cedida	Outra	
Lixo:	Coletado	Queimado	Enterrado	Jogado em terreno baldio		Outro
Número de Cômodos:		Média	Dormitórios		Banheiros	
Total de pessoas:		Em particular improvisado		particular permanente	improvisados	
Chefes em domicílio permanente:		Rendimento até ½ salário		(...)	Mais de 20 salários	
		s/ rendimento	s/ declaração			
Renda média nominal dos chefes:		das unid. hab. em dom. coletivos			Salário mínimo útil	
População residencial total:						
Pop. alfabetizada:						
Total de domicílios:		1 morador	2 moradores	(...)	10 ou mais	
Domicílio particulares:		1 morador	2 moradores	(...)	10 ou mais	
Unid. Hab. em dom. coletivos:		1 morador	2 moradores	(...)	10 ou mais	

Além das informações numéricas, existe um mapa com a localização dos polígonos de cada setor censitário. No Brasil, este mapa foi disponibilizado na forma digital a partir de 1991. Normalmente, os limites dos setores censitários são barreiras naturais como rios ou construídas como

ruas e estradas. A figura 3.5 é um exemplo de como os setores censitários são apresentados na forma de polígonos fechados.



Figura 3.5: Mapa esquemático dos polígonos dos setores censitários com sua numeração que relaciona as informações numéricas (tabela 3.1).

Na figura 3.5 é possível observar uma variedade de formas e tamanhos dos setores censitários, pois cada setor possui seu tamanho pelo número de domicílios (entre 250 até 300 em setores urbanos e 150 até 250 em setores rurais) encontrados na área.

As informações necessárias para a pesquisa são duas: a) o número de moradores de cada setor censitário; e b) o valor e localização da área dos setores censitário. Com essas informações é possível gerar um dado que será distribuído espacialmente: a densidade populacional. Este procedimento será descrito melhor no item 3.4 desse capítulo. Entretanto, para que se possa dispor do dado sobre a densidade populacional de maneira que se possa distribuí-lo espacialmente, é preciso organizá-lo dentro de um sistema de informação geográfica – SIG.

O sistema de informação geográfica possibilita que o mapa digitalizado com os polígonos dos setores censitários (valores bidimensionais de x e y) contenham também a informação sobre a densidade populacional (valor tridimensional de z). Dentro de um ambiente de geoprocessamento cada polígono recebe uma identidade (ID) que o atrela a uma banco de dados contendo as informações desejadas. A figura 3.6 mostra como fica o mapa vetorial da figura 3.4 após ser rasterizado e receber a informação tridimensional.

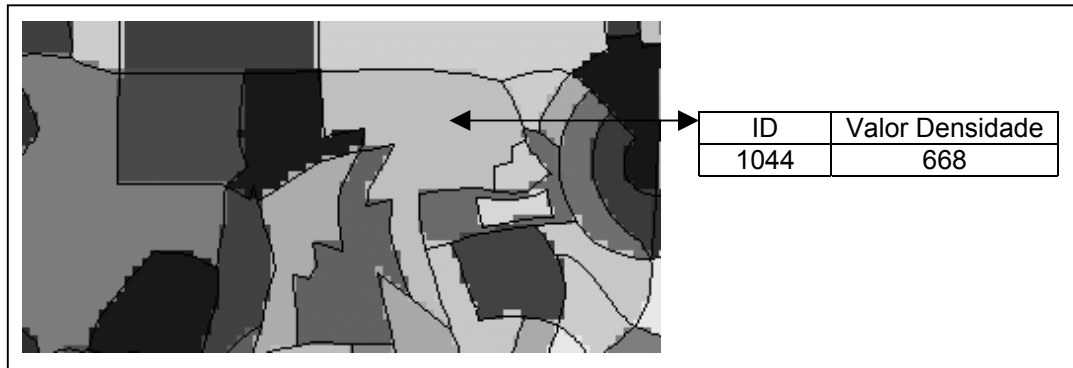


Figura 3.6: Mapa dos setores censitários dentro de um ambiente de geoprocessamento.

Como a imagem de satélite, o mapa digitalizado também possui um geo-referenciamento dentro de um sistema de coordenadas, preferencialmente o mesmo, para que, posteriormente, ambas fontes de dados (imagem e mapa dos setores) sejam analisadas dentro de um mesmo ambiente de geoprocessamento.

3.3. Determinando o comportamento da impermeabilização urbana através da classificação da imagem de satélite

Um dos passos fundamentais para esse processo metodológico é a determinação de áreas e índices de impermeabilização da cidade. Por um lado, como se trabalha com uma bacia hidrográfica urbana, necessita-se de indicadores que influenciam o desempenho da drenagem urbana. Além de determinar as áreas de impermeabilização, pode-se determinar os índices de impermeabilização, pois cada uso do solo urbano (residencial, industrial, comercial, parques e praças, solo agrícola ou descoberto, rios e lagos, etc.) pode apresentar diferentes níveis de impermeabilização (Morris e Therivel, 1996).

A partir da imagem de satélite é possível determinar o tipo de superfície urbana. A resposta espectral armazenada em cada *pixel* da imagem solicita diferentes valores que podem ser interpretados ou classificados de acordo com a informação que se possui da superfície urbana. Assim, como os pontos de controle para o registro da imagem, é importante ter algumas pontos de informações sobre a malha urbana para que se faça uma boa classificação da imagem.

Em Campana *et al.* (1992) é descrito uma metodologia para estimar as áreas impermeáveis, baseado na matemática *fuzzy* e no conceito de *pixel* mistura de imagens tipo Landsat TM.

Uma imagem possui n linhas e n colunas, ou seja, é uma matriz onde o valor de cada pixel já é associado à uma matemática *fuzzy*. Dentro de uma tipologia de superfície, captada pelo sensoriamento remoto, existe uma gama de valores associados. Num pixel de tamanho 30 x 30 metros, por exemplo, pode haver o encontro de um rio com uma área de forte adensamento urbano, o que para o satélite será lido através do conceito de *pixel* mistura. Tal conceito possui uma natureza não-estatística, ou seja, é uma relação de possibilidade e não de probabilidade como se encontra nas matemáticas estatísticas. Assim, na abordagem *fuzzy*, um pixel é classificado com a possibilidade de pertencer a mais de uma classe, não havendo um atrelamento de seu valor a uma classe exclusiva.

Usualmente, na classificação da imagem, quando se utiliza uma área urbana, as classes são definidas como: a) água (incluindo qualquer tipo de corpo d'água como rios, lagos, arroios etc.); b) vegetação (incluindo praças, parques e qualquer áreas arborizadas); c) área construída ou urbana propriamente dita (ruas, calçadas e edificações); e d) solo descoberto ou exposto (pedreiras, encostas, topo de morros, ruas de chão batido etc.). Dentro de uma classificação tipo *fuzzy*, a variação de valores dos pixels diminuem, aproximando os valores dentro da variação de 0 até 1. Sendo assim, é como se as informações contidas na imagem fossem simplificadas para valores dentro dessa variação. A figura 3.7 mostra o histograma da imagem apresentada pela figura 3.3 para que possamos observar freqüências de valores encontrados nas 4 (quatro) classes mencionadas acima.

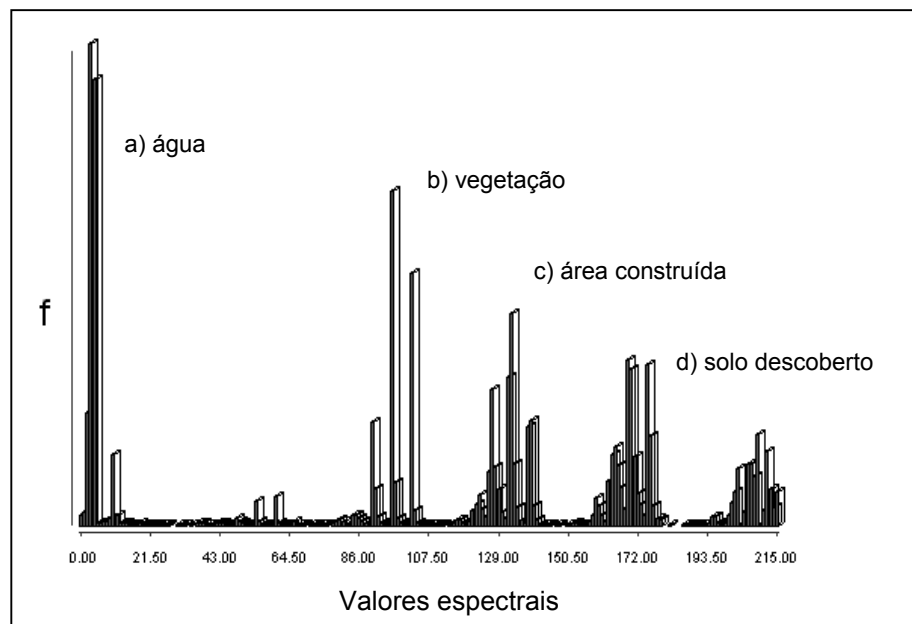


Figura 3.7: Histograma da figura 3.3 contendo classes como: a) água; b) vegetação; c) área construída; e d) solo descoberto.

Os valores espectrais para cada uma das classes está, aproximadamente, relacionado aos picos de valores agrupados, onde a água, por exemplo, possui valores espectrais baixos (entre 0 e 21,5 pelo histograma), indicando zonas bem escuras pelos níveis de cinza. Por outro lado, a classe solo descoberto possui valores elevados dentro da escala de cinza, pois reflete mais a luz solar. Alguns pixels, como comentado anteriormente, podem apresentar uma mistura de classes, por isso, as classes vegetação e área construída se encontra nos valores médios. É a partir desses valores que podem ser definidos os valores de pertinência (α e γ da equação 2.6) na classificação *fuzzy* para áreas urbanas impermeáveis, por exemplo.

Pela matemática *fuzzy*, vai se obter uma nova imagem digital com uma gama de valores entre 0 e 1 que representarão, proporcionalmente, áreas com menor característica impermeável (valores próximos a 0) e áreas com maior característica impermeável (valores próximos a 1), e que se relacionam satisfatoriamente com os valores de vegetação (menor característica impermeável) e solo descoberto (maior característica impermeável). A figura 3.8 ilustra o procedimento de classificação para a obtenção da imagem final.

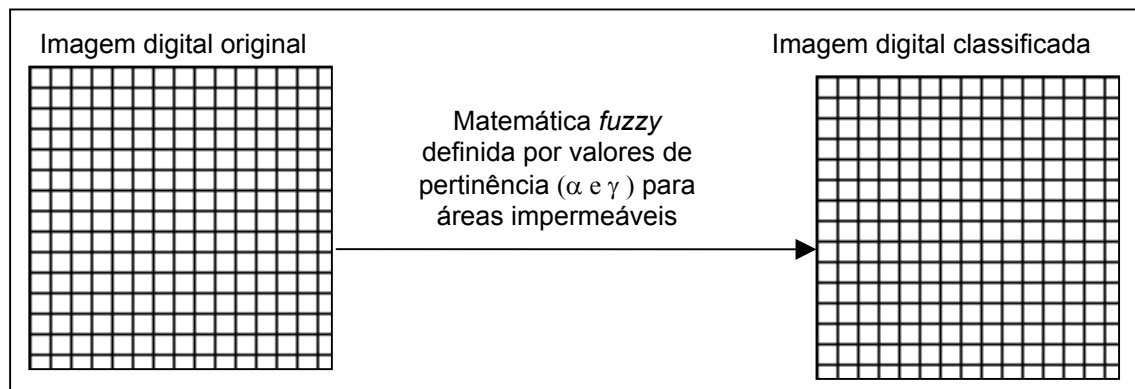


Figura 3.8: Procedimento para classificação da imagem através da matemática fuzzy e determinação de áreas com valores entre 0 e 1 que caracterizam as condições impermeáveis das superfícies.

Em mãos dessa imagem classificada, posteriormente será realizada a análise juntamente com um mapa digital contendo a densidade populacional (item 3.4 a seguir) dentro de um ambiente de geoprocessamento. Este procedimento metodológico será descrito no item 3.5 desse capítulo.

3.4. Desagregação e interpolação dos dados censitários

A densidade populacional foi o resultado obtido no item 3.2 como informação georeferenciada aos polígonos dos setores censitários. Entretanto, para que esta informação possa ser manipulada espacialmente, de acordo com a teoria de que a variável densidade populacional possui um comportamento distribuído ao longo de toda a superfície urbana e não apenas dentro dos limites dos polígonos, o passo seguinte da metodologia é desagregar os valores da densidade populacional desses polígonos. Para isso, utiliza-se o cálculo dos centróides dos polígonos (equação 2.9) como sendo o ponto onde o valor da densidade será atribuído.

O cálculo das coordenadas dos centróides é feito automaticamente em muitos programas computacionais de desenho gráfico ou mesmo por programas de cálculo quando se trabalha com arquivos descritivos do mapa digital, contendo assim as coordenadas por pontos de cada polígono. No caso de levantar a informação sobre os centróides em programas gráficos, é preciso que todos os polígonos sejam fechados e transformados em regiões, fazendo com que as propriedades de massa deles possam ser descritas.

A localização de um centróide, muitas vezes, pode estar fora do polígono, sendo este um problema comum quando a forma do polígono for muito irregular. Dentro do procedimento metodológico adotado por esta pesquisa, inicia-se um passo para realocação desses centróides através da combinação entre: a) o mapa dos centróides, com o limite dos setores para que se verifique individualmente quais setores possuem esse problema; e b) uma imagem binária com a classificação das áreas construídas.

A imagem binária é adquirida através da classificação da imagem digital original sobre a área de estudo através do procedimento apresentado no capítulo anterior (figura 2.10 e equação 2.7). No entanto, alguns detalhes podem ser explicados como, por exemplo, que durante a classificação binária de uma imagem são utilizados polígonos de controle que representam as características espectrais das superfícies que se deseja nomear com o valor 1 (um). A quantidade de polígonos são definidos pela quantidade de superfícies com a mesma característica que se deseja classificar, mas que apresentam algumas particularidades. A figura 3.9 ilustra a definição desses polígonos na superfícies da imagem original.

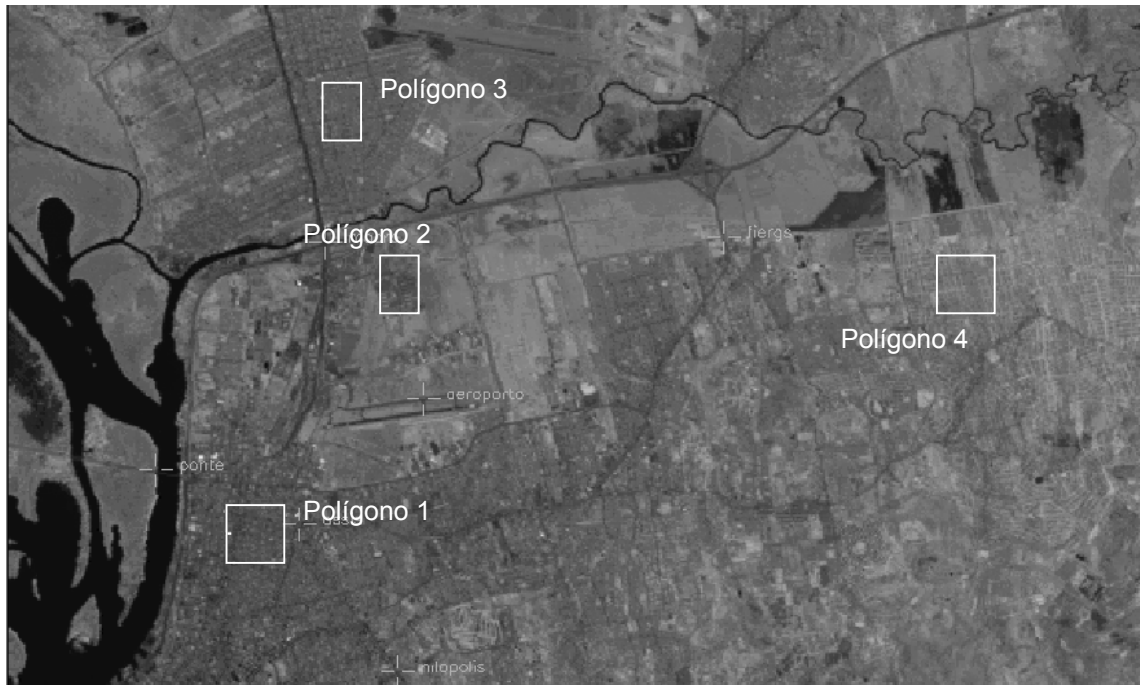


Figura 3.9: Localização dos polígonos de controle sobre superfícies urbanas diferenciadas sobre a figura 3.4.

A partir da definição dos polígonos, é verificado os valores representativos de superfícies urbanas para que sejam definidos como valores 1 dentro da imagem binária. O restante de valores que não representam estas superfícies são classificados como 0. Tendo-se em mãos a imagem binária classificada, passa-se para o procedimento de igualar as áreas de sobreposição. Defini-se um retângulo que contenha os limites da bacia hidrográfica sobre a imagem binária e o mapa digital dos setores censitários com os centróides dos mesmos. Assim, é feita a sobreposição, dentro de um ambiente de geoprocessamento, da imagem e do mapa digital para que se estabeleça a posição dos novos centróides para os polígonos que apresentaram problemas, localizando estes novos centróides dentro das regiões definidas como superfícies urbanas. A figura 3.10 exemplifica este procedimento realizado sobre as informações da figura 3.5.

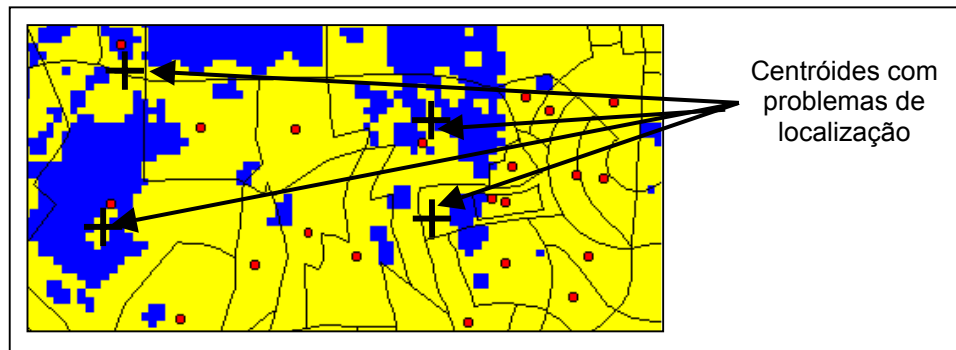


Figura 3.10: Sobreposição da imagem binária classificada das superfícies urbanas (preto=0 e cinza=1) e do mapa digital dos setores censitários (linhas pretas) com a localização dos centróides (pontos pretos) para a realocação de centróides com problemas (+ pretas).

Com posse das coordenadas dos novos centróides, é o momento de calcular o novo valor das áreas dos setores censitários que agora serão calculados de acordo com as áreas com valores iguais a 1 (em amarelo) da imagem binária classificada. É importante salientar que o cálculo da nova densidade deve ser realizado já que foi definido, pela imagem binária, as áreas urbanas (construídas), ou seja, áreas onde existe maior probabilidade de haver população, diferentemente do restante das áreas que representam áreas de floresta, de rios, ou de solo descoberto, por exemplo. A tabela 3.2. exemplifica a nova condição dos dados para alguns setores da figura 3.5.

Tabela 3.2: Dados dos setores censitários da figura 3.5 com valores para a densidade populacional referente aos valores da área original (Área 1) e da imagem binária (Área 2).

Setor	Pop. Res. Total	Área 1 (ha)	Densidade 1 (hab/ha)	Área 2 (ha)	Densidade 2 (hab/ha)
563	1043	9,36	111,43	9,36	111,43
564	858	5,40	158,89	5,40	158,89
565	612	6,57	93,15	6,57	93,15
566	536	2,07	258,94	2,07	258,94
567	617	5,49	112,38	5,49	112,38
568	754	5,04	149,60	5,04	149,60
576	878	15,66	56,06	14,67	59,85
578	1119	9,27	120,712	9,27	120,712
579	571	10,19	56,06	8,82	64,74
(...)					(...)
643	572	9,19	62,24	8,73	65,52

Nota-se que nem todos os setores exemplificados pela tabela 3.2 sofreram alteração na sua área e, conseqüentemente, nos valores de densidade populacional. O último passo a ser realizado nessa etapa metodológica é a interpolação da variável densidade populacional (agora alterada pela imagem binária) a partir dos centróides dos polígonos (também alterados quando localizados fora dos limites do polígono ou quando for a das áreas construídas). O método de interpolação geoestatística é o da simulação condicional Gaussiana apresentado no capítulo 2 (equação 2.12).

O método de interpolação adotado nessa metodologia geram cenários de alta resolução espacial, com grande probabilidade de representarem a realidade. Os métodos geoestatísticos estimam valores para toda a superfície espacial em estudo, baseando-se na semelhança com os pontos da vizinhança e condicionados ao comportamento dos valores originais (semivariograma). No entanto, como os resultados finais obedecem uma função randômica, a cada simulação executada haverá diferença entre os valores, mas a distribuição espacial dos resultados serão similares, pois a cada nova simulação, haverá uma nova probabilidade da realidade, não havendo assim um único resultado para a superfície espacial. A figura 3.11 é um exemplo de como ocorre o processo de simulação da variável densidade populacional através dos valores originais dos centróides.

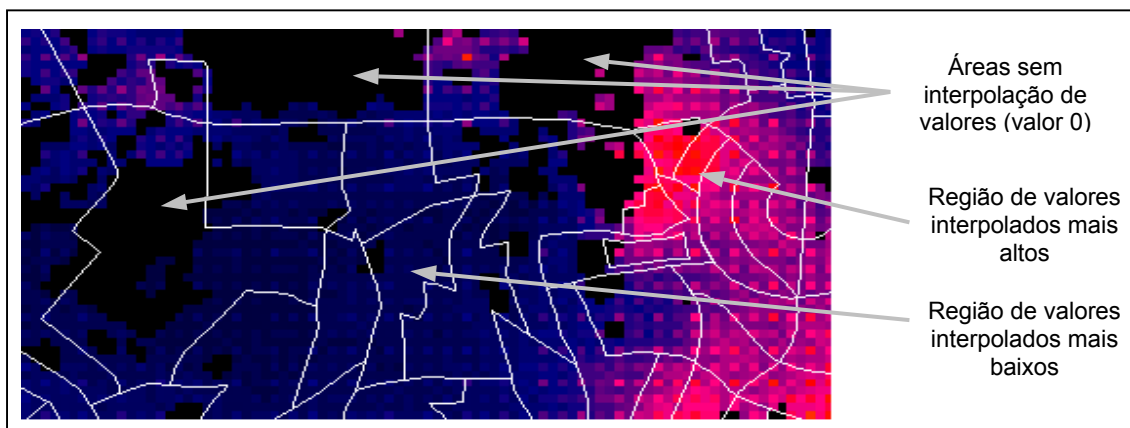


Figura 3.11: Ilustração do mapa resultante da interpolação da variável densidade populacional para toda a superfície espacial de estudo. As linhas dos polígonos é colocada apenas para efeito de comparação com a figura 3.10.

A figura 3.12, a seguir, resume os procedimentos adotados nessa etapa metodológica de desagregação e interpolação dos dados censitários.

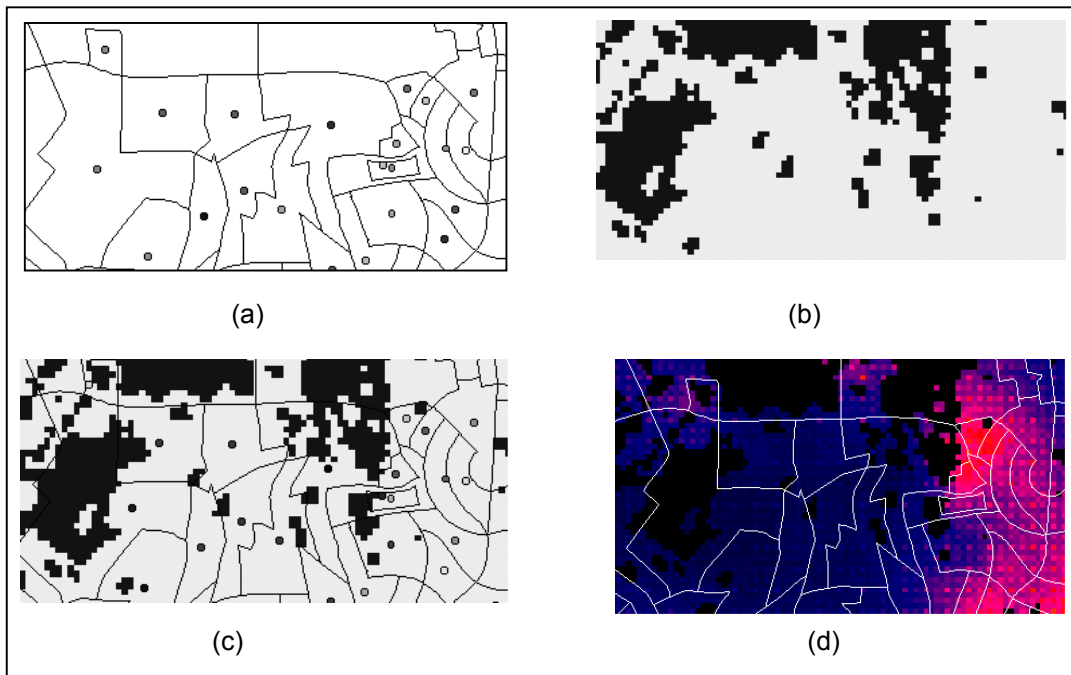


Figura 3.12: Etapas adotadas na desagregação e interpolação dos dados censitários: a) cálculo dos centróides dos polígonos agregado à informação da densidade populacional; b) classificação binária da imagem localizando as áreas construídas; c) realocação dos centróides e novo cálculo da densidade populacional relacionada às áreas construídas; e d) interpolação dos valores dos centróides para toda a superfície de área construída.

Através do mapa gerado com os valores simulados (mapa *d* da figura 3.12) para toda a área de estudo (retângulo envolvente da bacia hidrográfica), é possível observar a relação existente entre estes valores e os valores de impermeabilização do solo urbano (item 3.3), a ser apresentado no item 3.5 desse capítulo.

3.5. Comparação e significado dos valores de densidade populacional e de superfícies impermeáveis na superfície da bacia hidrográfica

Após produzir dois mapas com informações distintas (impermeabilização e densidade populacional) dentro de uma mesma área de estudo (retângulo envolvendo a bacia hidrográfica), o procedimento metodológico desta pesquisa faz uma análise de correlação entre esses mapas, utilizando o *Kappa Index of Agreement* (Bonham-Carter, 1994; Ridd e Liu, 1998). A figura 3.13 apresenta o processo pelo qual será gerado um novo mapa com os valores desse índice.

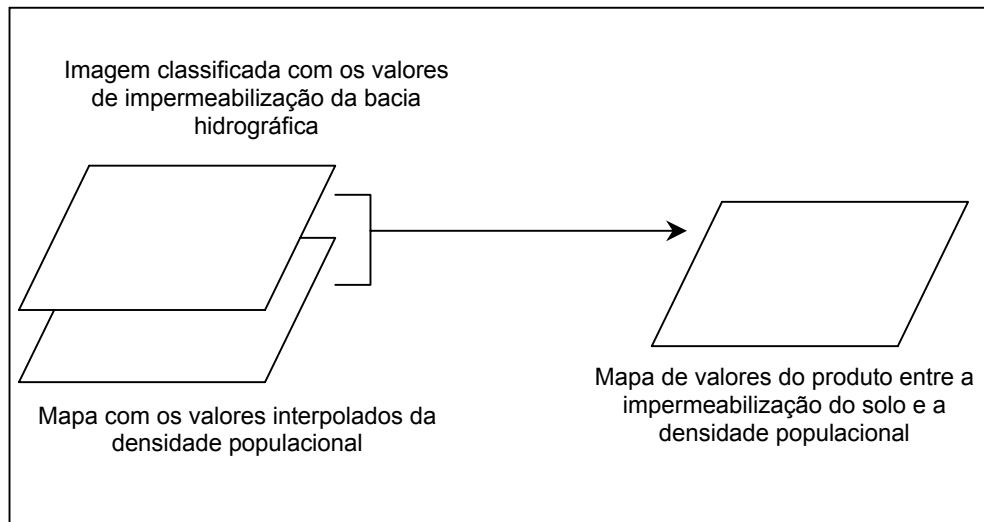


Figura 3.13: Esquema do processo que relaciona dois conjuntos de dados (impermeabilização e densidade populacional) dentro de um ambiente de geoprocessamento.

Este tipo de procedimento é bastante utilizado quando se possui dados dentro de sistemas de informação geográfica, pois possibilita a tabulação cruzada entre os pares de valores de dois mapas. A correlação mede o quanto um conjunto de dados explica ou é explicado por outro conjunto de dados. A correlação entre dois mapas é útil para explorar as relações existentes entre os dois conjuntos de dados, muito mais do que confirmar a relação que se deseja (Bonham-Carter, 1994). Neste caso, a relação desejada é observar que o grau de impermeabilização das superfícies urbanas acompanha de alguma forma os valores de densidade populacional (observar figura 2.4 no capítulo 2).

Para continuar com esta análise, é necessário que os dois conjuntos de dados apresentem mesmo número de classes. Ou seja, será preciso estabelecer intervalos entre os valores existentes em cada um dos mapas para definir, por exemplo, 5 (cinco) classes. As unidades para cada conjunto de valores não precisa ser a mesma, sendo até mesmo preferível que assim o seja. A tabela 3.3 (adaptada de Bonham-Carter, 1994) mostra como ocorre o processo matemático para se definir o *Kappa Index of Agreement* (KIA).

Tabela 3.3: Cálculo do KIA a partir de uma matriz de incerteza qualquer.

A. Matriz de incerteza:

		Mapa da densidade populacional					
Imagem classificada com as superfícies impermeáveis	Classes	1	2	3	4	5	Total
	1	148	0	1	1	1	151
	2	1	50	6	0	0	57
	3	8	15	39	6	0	68
	4	2	3	7	25	1	38
	5	0	0	1	1	6	8
	Total	159	68	54	33	8	322

B. Matriz de proporções observadas:

		Mapa da densidade populacional					
Imagem classificada com as superfícies impermeáveis	Classes	1	2	3	4	5	Total
	1	0,460	0	0,003	0,003	0,003	0,468
	2	0,003	0,156	0,019	0	0	0,177
	3	0,025	0,047	0,121	0,019	0	0,212
	4	0,006	0,009	0,021	0,075	0,003	0,117
	5	0	0	0,003	0,003	0,019	0,025
	Total	0,494	0,211	0,167	0,103	0,025	1,000

C. Matriz de proporções esperadas:

		Mapa da densidade populacional					
Imagem classificada com as superfícies impermeáveis	Classes	1	2	3	4	5	Total
	1	0,232	0,099	0,078	0,048	0,012	0,468
	2	0,088	0,037	0,030	0,018	0,004	0,177
	3	0,104	0,045	0,035	0,022	0,005	0,212
	4	0,058	0,025	0,020	0,012	0,003	0,117
	5	0,012	0,005	0,004	0,003	0,001	0,025
	Total	0,494	0,211	0,167	0,103	0,025	1,000

D. Valores condicionais Kappa:

Classes i	K_i	Proporção correta
1	0,961	0,980
2	0,844	0,877
3	0,488	0,574
4	0,619	0,358
5	0,744	0,750

A equação 3.2 define o índice KIA em proporção às áreas esperadas.

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n p_{ii} - \sum_{i=1}^n q_{ii}}{1 - \sum_{i=1}^n q_{ii}}$$

3.2

Onde: p_{ii} é a proporção de área observada;

q_{ii} é a proporção de área esperada assumindo-se não associação entre os mapas;

n é o número de classes iguais entre os mapas.

Para o cálculo do índice KIA é observado apenas a diagonal principal das matrizes de proporção. Este índice varia no intervalo entre -1 (total incompatibilidade) até $+1$ (total compatibilidade), sendo o valor 0 uma indicação de compatibilidade não melhor do que a esperada pelo acaso.

A equação 3.3 também é uma forma de se calcular o índice KIA por classe.

$$K_i = \frac{p_{ii} - q_{ii}}{p_{i.} - q_{ii}} \quad 3.3$$

Onde: $p_{i.}$ é o produto das somas marginais.

Assim, o resultado para a tabela 3.3 fica: a) proporção de compatibilidade observada $(0,460+0,155+0,121+0,078+0,019)=0,832$, ou seja, 83,2% de compatibilidade; b) proporção de compatibilidade esperada $(0,232+0,037+0,035+0,012+0,001)=0,317$; e c) $K=(0,832-0,317)/(1-0,317)=0,7540$, ou seja, 75,40% de compatibilidade entre os mapas retirando-se a valor esperado. O mesmo procedimento também é aplicado para o índice KIA por classes (K_i) para se saber a compatibilidade existente por classes. Com isto, é possível analisar a relação, por exemplo, dos valores para impermeabilização do solo ocorrerem de forma similar que valores para densidade populacional. A determinação do K_i é fundamental para no caso de não ser observado compatibilidade entre os mapas, sendo possível observar, então, de que maneira a relação entre os dois mapas pode ser explicada através das classes. A partir dos mapas divididos em classes para o cálculo do índice KIA, é possível prosseguir dentro da metodologia e trabalhar na construção de um índice para a pesquisa que envolva as duas variáveis ambientais urbanas (impermeabilização e densidade populacional). A opção em utilizar os valores de densidade populacional e impermeabilização do solo como classes de valores, minimiza a quantidade de valores a serem multiplicados, possibilitando uma melhor análise desse produto ou relação.

Outra forma de observar a relação existente entre o conjunto dos dados é a utilização de equações matemáticas como, por exemplo, a equação linear. A regressão linear analisa a relação

matemática existente entre dois conjuntos de dados (variável x e variável y) chamada, nesse caso, de correlação. A figura 3.14 mostra o diagrama de espalhamento de dados para exemplificar uma correlação.

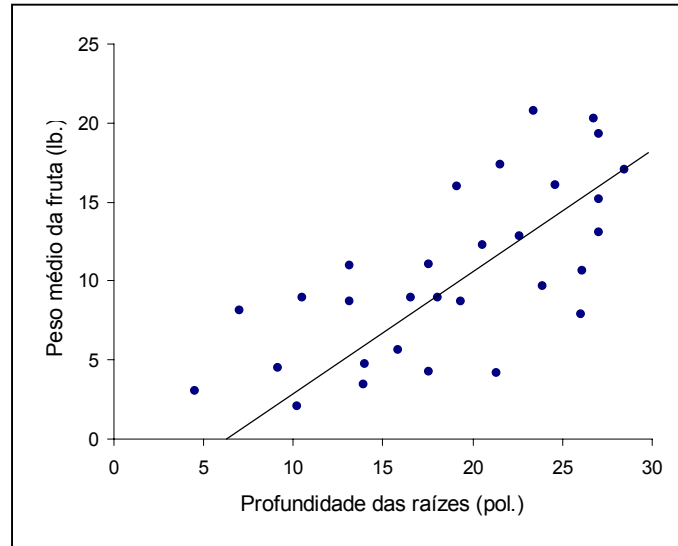


Figura 3.14: Diagrama de espalhamento do experimento agrônômico (Fonte: Brase e Brase, 1987).

Na figura 3.14 é possível observar a presença de uma reta que representa a equação linear que melhor descreve a correlação entre os dados. Esta reta é calculada através do método dos mínimos quadrados expressa pelas equações (3.4 a 3.8) a seguir.

$$y = a + bx \quad 3.4$$

$$\text{Onde: } b = \frac{SS_{xy}}{SS_x} \quad 3.5$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad 3.6$$

\bar{y} é a média dos valores de y;

\bar{x} é a média dos valores de x;

$$SS_{xy} = \sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n} \quad 3.7$$

$$SS_x = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} \quad 3.8$$

n é o número de pontos do diagrama de espalhamento.

A definição da reta através dos mínimos quadrados para os dados da tabela 3.4 fica:

$$\sum x = 565,1; \quad \sum y = 315,7; \quad \sum x^2 = 11.929,01; \quad \sum xy = 6.665,09;$$

$$SS_x = 11.929,01 - \frac{(565,1)^2}{30} = 1.284,41 \text{ e } SS_{xy} = 6.665,09 - \frac{(565,1)(315,7)}{30} = 718,3544;$$

$\bar{x} = 1,8366$ e $\bar{y} = 10,5233$; sendo assim, $b = 0,5593$ e $a = -0,0118$. Logo:

$y = -0,0118 + 0,5593x$ é a reta que aparece na figura 3.14.

A importância de se utilizar o cálculo de um novo valor para y é a possibilidade de gerar mapas atualizados de densidade populacional (no caso das variáveis a serem utilizadas por esta pesquisa) para cada imagem de satélite disponível. Ou seja, a disponibilização das imagens possuem uma frequência maior do que os dados censitários que ocorrem apenas a cada dez anos. Logo, se for utilizada a equação linear gerada pela correlação dos dados, se gera novos valores para a densidade que se aproximam bastante da relação observada, sendo este um mecanismo de predição quando da disponibilização de apenas uma das fontes de dados (a imagem).

3.6. Utilização do Modelo Numérico do Terreno

A última etapa para compor o índice da pesquisa, é a definição do Modelo Numérico do Terreno, ou MNT como é usualmente referido (Smith e Vidmar, 1994; Collischonn *et al.*, 1999; Mendiondo *et al.*, 1999) que utiliza dados da topografia da área de estudo, no caso, a bacia hidrográfica. O MNT possibilita avaliar a causa e o efeito de variáveis no espaço, pois a partir dele é possível calcular declividades, acúmulos, o sentido de escoamento das bacias etc. Quatro são as etapas antes da construção do índice: a) determinação do MNT a partir das curvas de nível do terreno; a partir do MNT é possível seguir com: b) cálculo da declividade por pixel; c) cálculo do aspecto por pixel e d) cálculo da área acumulada por pixel. Cada uma dessas etapas são descritas a seguir.

A topografia do terreno é obtida através de cartas topográficas onde são descritas as curva de nível do terreno juntamente com a cota topográfica referente a cada curva. Para o MNT as cotas topográficas ficam distribuídas sobre toda a superfície de estudo, ou seja, para todos os pixels, por isso, é

realizado uma interpolação dos valores existentes, originalmente dispostos como linhas, ou ainda, como pontos geográficos com os valores de x, y (coordenadas) e z (altitude).

A partir dos dados interpolados (superfície) é feita a análise do terreno através do atributo descrito pela altitude (cota topográfica). A declividade (ou inclinação) é um elemento importante para o cálculo do IAU, pois ela vai indicar as regiões da bacia hidrográfica com maior declividade vão contribuir no aumento da velocidade de escoamento da água da chuva, já as regiões com baixa declividade podem representar locais com maior probabilidade de ocorrer alagamentos. A declividade é calculada, basicamente, pela diferença de altitude existente entre os pixels, considerando o vetor gradiente da função $Z(x,y)$ que indica a direção de maior crescimento definida pela equação 3.9.

$$\theta = \text{arc.tg}\left[-(\delta Z / \delta Y) / (\delta Z / \delta X)\right] \quad 3.9$$

O valor para θ varia no intervalo $(\pi; -\pi)$, sendo que a conversão de θ para graus (0–360) é feita dependendo do sinal de $\delta Z / \delta Y$ e $\delta Z / \delta X$. A declividade é dada pelo módulo:

$$\text{Declividade} = \left[(\delta Z / \delta Y)^2 + (\delta Z / \delta X)^2 \right]^{1/2} \quad 3.10$$

O aspecto é uma indicação do sentido para onde cada pixel encaminha seus valores. A figura 3.15 ilustra uma seqüência onde a partir do MNT (a) são calculados outros dois elementos: o aspecto (b) e a área acumulada (c).

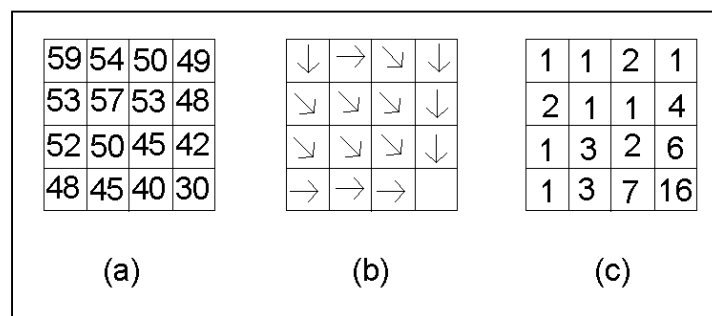


Figura 3.15: Etapas para o cálculo da área acumulada onde: a) mapa com os valores das altitudes interpoladas nos pixels da área de estudo (MNT); b) indicação da direção dos fluxos de cada pixel para o vizinho mais baixo (aspecto); e c) valor acumulado da contribuição do próprio pixel mais do(s) pixel(s) que se direciona(m) para ele (área acumulada).

A área acumulada é calculada a partir da primeira célula (pixel) do canto superior esquerdo considerando-se a direção do fluxo (aspecto). Para calcular o aspecto, é analisado um pixel, verificando-se sua vizinhança, identifica-se o vizinho mais baixo e, então, é atribuída a direção do

escoamento. Por exemplo, o pixel do canto superior esquerdo da figura 3.15a (valor 59) tem seu vizinho mais baixo o valor 53, resultando em uma direção de escoamento para sul, como é ilustrado pela figura 3.15b no mesmo lugar do primeiro pixel (canto superior esquerdo). A área acumulada (figura 3.15c) é a contribuição que cada pixel recebe, indicada pelo aspecto. Ou seja, o pixel comentado anteriormente não possui contribuição de nenhum outro pixel, mas apenas de si mesmo, visto as setas de direção do aspecto, logo seu valor é um (1). Já o pixel abaixo dele possui uma contribuição desse, logo seu valor será 2, ou seja, ele mesmo e o acima contribuem para a área acumulada, e assim sucessivamente. Nota-se que o último pixel da figura 3.15c (canto inferior direito) possui um valor de 16, ou seja, ele é o somatório da contribuição de todos os pixels da área de estudo, logo supõe-se que possui a cota topográfica mais baixa do exemplo (30).

O cálculo da área acumulada é uma demonstração do processo que ocorre dentro da bacia hidrográfica e que auxilia na compreensão dos fatores causa e efeito. Esse procedimento matemático, juntamente com as noções do *Stream Power Index* (Moore *et al.*, 1993) contribuem na formação do índice ambiental urbano (IAU) que será apresentado a seguir.

3.7. Construção de um índice ambiental urbano através dos indicadores utilizados

Análogo ao *Stream Power Index* (Moore *et al.*, 1993) que indica a capacidade de transporte de sedimentos de um canal de escoamento, é proposto um índice ambiental urbano (IAU) que, neste caso, qualifica o escoamento de bacias urbanas. Ou seja, a qualificação do escoamento é feita a partir do grau de urbanização, expresso através da impermeabilização do solo urbano e da densidade populacional, no caminho que as águas percorrem as áreas de interesse, representado pela área acumulada (somatório das contribuições ao longo da bacia), a densidade populacional (contribuições de sedimentos e dejetos sólidos), a impermeabilização do solo (contribuição para o escoamento superficial) e o cosseno da declividade (indicando aumento ou diminuição na velocidade do escoamento). O IAU é apresentado na equação 3.11 a seguir:

$$IAU = A_s \times I \times D \times \cos \beta \quad 3.11$$

Onde: A_s é a área acumulada (valores inteiros de 1 até $+\infty$) em cada pixel obtida a partir do aspecto do Modelo Numérico do Terreno;

I é a impermeabilização do solo urbano para cada pixel obtida através da classificação (*fuzzy*) da imagem de satélite com valores inteiros de 1 até 5, representando o menor até o maior percentual de impermeabilização do solo urbano, ou seja, apenas das áreas construídas (classificação binária da imagem);

D é a densidade populacional para cada pixel obtida através dos dados censitários (número total de moradores e área do setor censitário) e da imagem de satélite (novo cálculo da área do setor censitário, considerando apenas áreas construídas gerando também novos valores de densidade populacional);

$\cos \beta$ é o cosseno da declividade em cada pixel obtida a partir do Modelo Numérico do Terreno.

O índice é calculado para cada pixel que forma a região de estudo de uma bacia hidrográfica urbana. O valor resultante, entretanto, serve apenas como representação de áreas com maior impacto (valores mais elevados) ou com menor impacto (valores baixos) para as condições de drenagem. A seguir, é iniciado o capítulo 4 onde serão apresentados os dados da pesquisa, bem como os resultados e discussões, podendo-se então conferir a aplicabilidade da metodologia detalhada nesse capítulo.

4. Estudo de caso: a bacia do Arroio da Areia em Porto Alegre

4.1. Descrição e localização da bacia hidrográfica:

A área de estudo é situada sobre a bacia do Arroio da Areia, localizada no município de Porto Alegre na região norte da cidade. A bacia possui uma área de 20,85 Km², com o uso do solo, predominantemente, urbano à montante (ao sul, na parte mais alta) da bacia, sendo à jusante (ao norte, na parte mais baixa) o uso misto, ou seja, uso urbano com uso rural em algumas partes. A figura 4.1 localiza a região de estudo sobre a bacia dentro do limite municipal. O retângulo envolvente sobre a bacia possui uma dimensão de 6 Km por 9 Km, totalizando uma área de 54 Km².

A área da bacia é de 20,85 Km², contudo, apenas 11,7 Km² é o total de área drenada pela bacia, os 9,15 km² restantes fazem parte do pântano do Aeroporto Internacional Salgado Filho, sendo uma área praticamente plana com drenagem através de bombas. Dentro dos 11,7 Km² de área drenada à montante da bacia, alguns trechos são drenados por canais naturais (arroyos), mas quase a totalidade da área é drenada através de condutos forçados.

Os limites da bacia são:

- ao extremo norte, o Rio Gravataí e a BR 101 que são os divisores com o município de Canoas;
- no limite extremo sul, a Av. Protásio Alves;
- no limite oeste a Av. Carlos Gomes, continuando pela Av. Don Pedro e Av. Ceará;
- e a Av. do Forte é o limite leste da bacia.

A figura 4.2 ilustra estes limites e também alguns pontos importantes de referência da bacia do Arroio da Areia como o Aeroporto Internacional Salgado Filho e o Shopping Center Iguatemi.

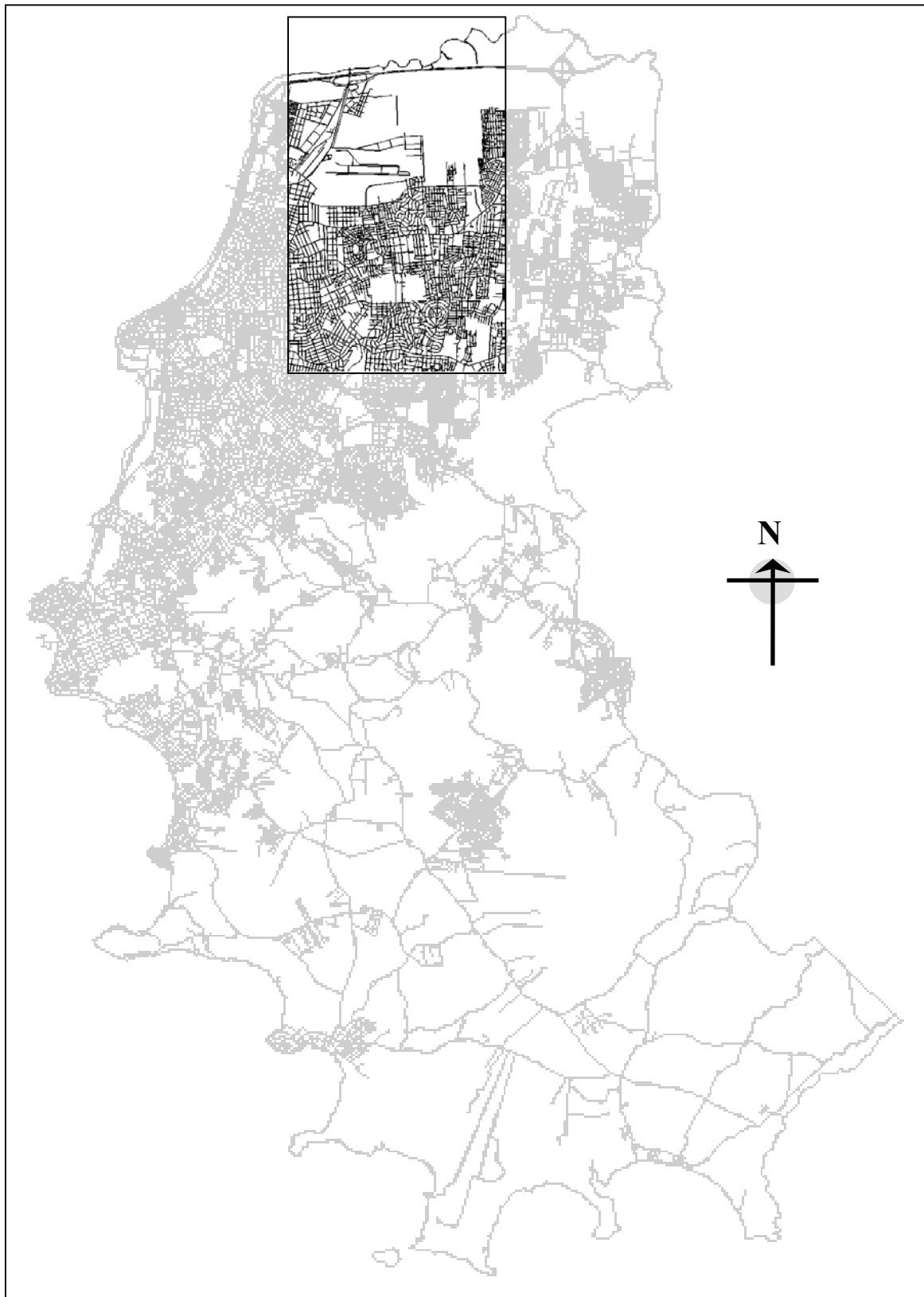


Figura 4.1: Mapa do município de Porto Alegre com a localização do retângulo envolvente sobre a bacia do Arroio da Areia (Fonte adaptada: Secretaria Municipal de Transportes - SMT).

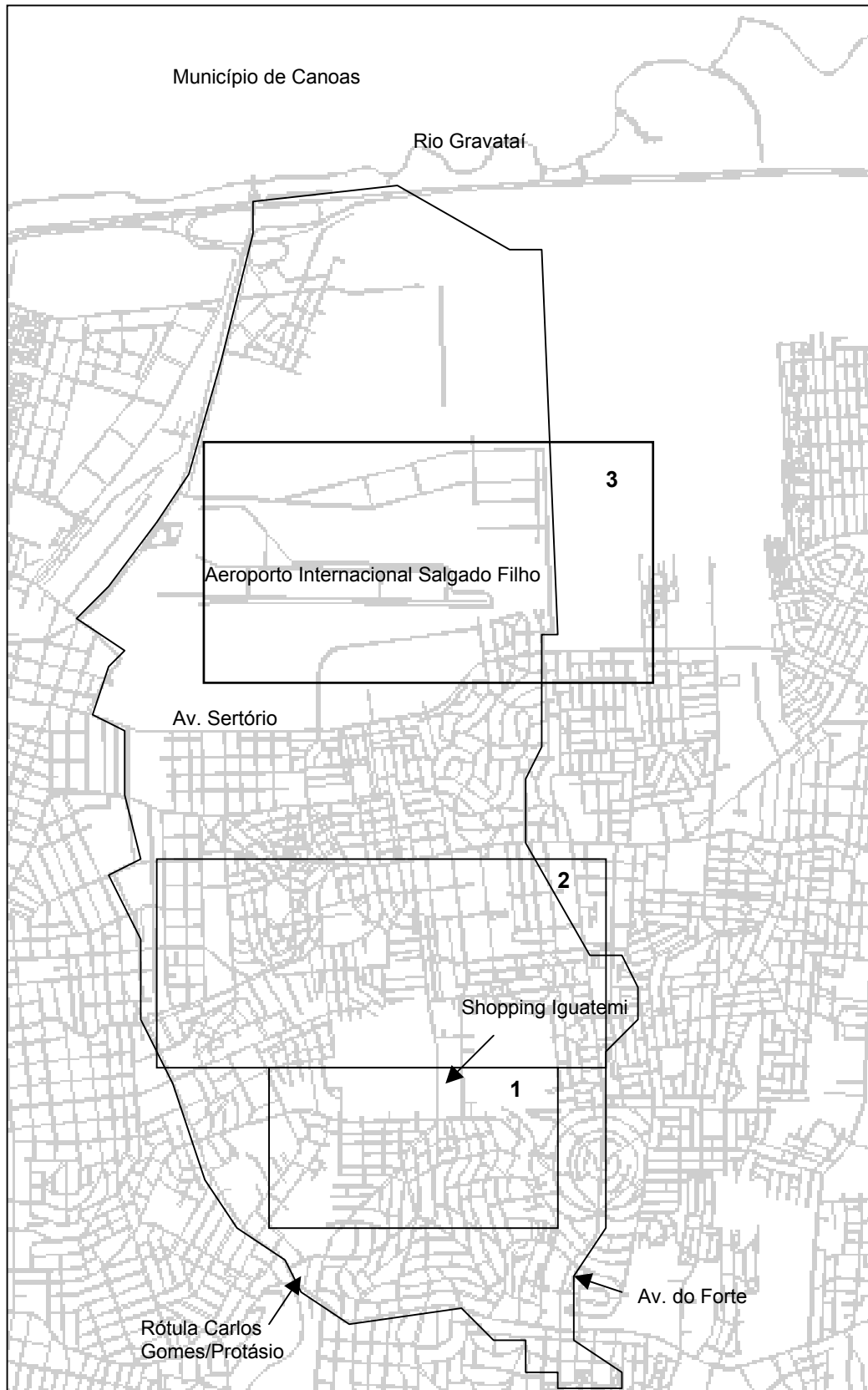


Figura 4.2: Detalhe do retângulo localizando a bacia do Arroio da Areia a partir da figura 4.1 com indicações de pontos importantes de referência da área e do contorno da bacia (linha preta). Os retângulos internos 1, 2 e 3 localizam as figuras 4.3, 4.13 e 4.18, respectivamente.

A seguir serão apresentadas alguns mapas ampliados para a localização de fotos ilustrativas de alguns pontos da drenagem do Arroio da Areia em Porto Alegre. A figura 4.3 apresenta a localização das figuras 4.4 até 4.12 que são representativas da montante da bacia do Arroio da Areia onde existem três canais de drenagem (linhas em vermelho na figura 4.3).

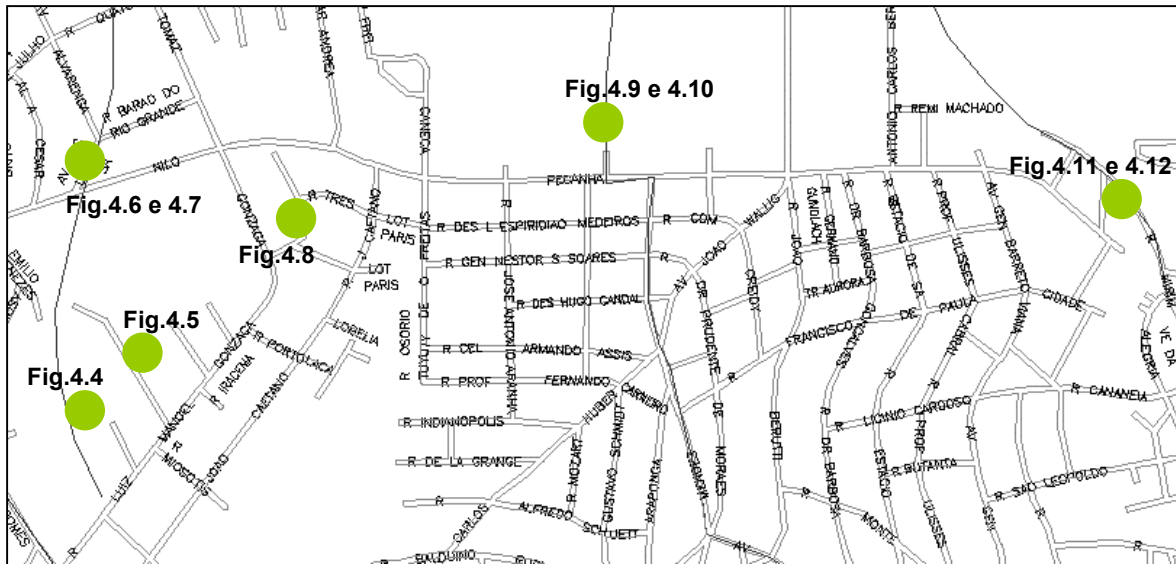


Figura 4.3: Mapa de localização das figuras 4.4 até 4.12 – área à montante da bacia.



Figura 4.4: Área à montante da bacia o Arroio da Areia, próximo a um dos canais, onde está sendo construído um complexo (Projeto Hermes) com, aproximadamente, 15 prédios de comércio e serviços.



Figura 4.5: Tipologia das construções do primeiro trecho da bacia é tipicamente residencial unifamiliar (casas) individuais ou em condomínios fechados com densidade líquida aproximada de 60 hab/ha.

Nesta área da bacia, há o predomínio de lotes maiores com áreas grandes de ajardinamento o que auxilia na drenagem da bacia, permitindo que alguma porção da água das chuvas possa ser absorvida pelo solo ou contida pela vegetação.



Figura 4.6: Bueiro (canalização fechada) localizado dentro do primeiro seguimento da bacia, localizado próximo ao campo de esportes do Colégio Anchieta na Av. Nilo Peçanha.

Nas figuras 4.6 e 4.7 é possível observar o caminho por onde a água é drenada. A foto 4.6 além de mostrar um conduto fechado de drenagem do arroio, mostra ao fundo uma área de mata, por ser uma propriedade ainda não construída, mas que já está sendo transformada pelo projeto Hermes como mostra a figura 4.4. Normalmente, numa região de grande declividade como essa, as áreas mais baixas sofrem quando o volume de água escoado é muito intenso, havendo a inundação dessas áreas baixas, sendo este o resultado da falta de planejamento e estratégia da localização de grandes projetos que impermeabilizam sensivelmente a área. Ainda na figura 4.7 é possível notar que algumas vias são pavimentadas com paralelepípedos, um pavimento com melhor desempenho na absorção de águas da chuva.



Figura 4.7: Vista oposta ao campo de esportes do Colégio Anchieta, mostrando a declividade e o caminho natural da drenagem.

As figuras 4.8 e 4.9 mostram a tipologia residencial do trecho central à montante da bacia. Esta região possui bastante homogeneidade entre as tipologias que, normalmente, são unifamiliares. Entretanto, com a implantação do Shopping Center Iguatemi na década de 80, esta homogeneidade vem sofrendo alterações. Antes as residências unifamiliares eram tipicamente atreladas a grandes lotes com boa área de ajardinamento, agora, as residências multifamiliares não são apenas edifícios, mas conjuntos de edifícios que ganham força no mercado imobiliário desta região.



Figura 4.8: Vista da região central à montante da bacia com uma tipologia de residências unifamiliares com inserção de residenciais multifamiliares (edifícios ao fundo e à esquerda da foto) com uma densidade líquida entre 60-125 hab/ha .



Figura 4.9: Tipologia da Av. Nilo Peçanha próximo à Teixeira Mendes com uso misto de comércio e residências multifamiliares, na região central da bacia.

A maioria dos edifícios e comércios nessa avenida só foram implantados após a construção do Shopping Center. Anteriormente, eram caracterizados como residências de um ou dois pavimentos, com pequenos comércios e serviços. Hoje, a região à montante da bacia do Arroio do Areia é caracterizada como área em expansão, ampliando sensivelmente a densidade construtiva e, conseqüentemente, populacional.



Figura 4.10: Detalhe da drenagem canalizada no trecho central da bacia.

Na figura 4.10 aparece uma estrutura de drenagem na mesma localidade da figura 4.9, sendo este um trecho que amplia seu volume consideravelmente durante fortes chuvas, por esse motivo foi instalado uma grade sobre a canalização do arroio por medidas de segurança. A colocação da proteção foi feita após um veículo ter sido arrastado pelas águas para dentro da canalização, causando a morte das pessoas que se encontravam dentro do veículo. Este acontecimento é um exemplo marcante do que a força das águas pode causar quando em situações de chuvas intensas dentro de áreas urbanas.

As figuras 4.11 e 4.12 mostram o terceiro e último trecho da bacia, que possui uma grande área com vegetação ainda nativa, bem como, o arroio percorrendo seu percurso natural. Entretanto, pode-se supor que nesta região, à montante da bacia, a qualidade da água do arroio deveria ser de boa qualidade, mas, pelo contrário, ela apresenta um odor e coloração característicos de contato com o esgotamento sanitário.



Figura 4.11: Trecho à direita da bacia do Arroio da Areia, próximo à cervejaria Dado Bier. É possível observar uma área de prédios multifamiliares (densidade líquida aproximada de 100 hab/ha) à direita da foto e outra região de casas unifamiliares à esquerda (densidade líquida aproximada de 50 hab/ha), duas tipologias dessa região, bem como a área de mata nativa abaixo.

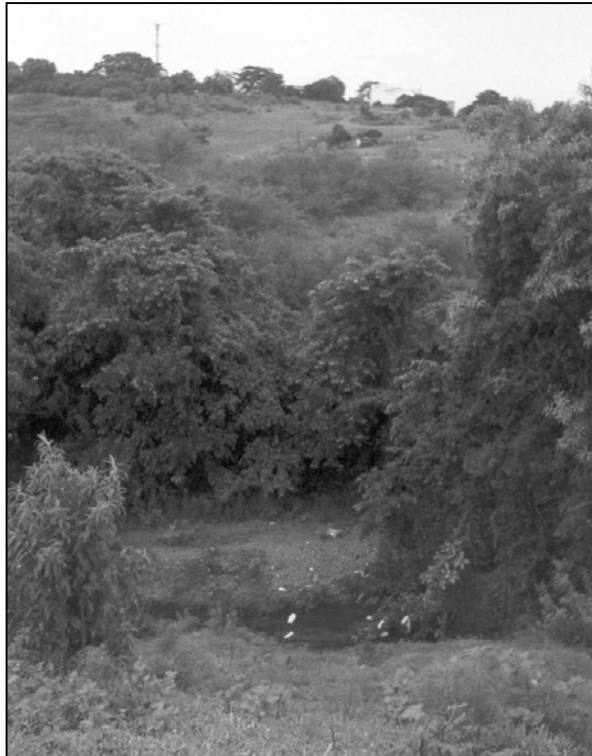


Figura 4.12: Detalhe do arroio que percorre seu caminho natural, mas que recebe a influência do esgotamento sanitário no sistema pluvial.

Esta região é a que sofre o maior crescimento após a vinda do Shopping Center. A área era bastante desabitada, com muitos terrenos desocupados que, no entanto, receberam prontamente o caminho do desenvolvimento. Reconhece-se, entretanto, que antes dessa região ter sido foco de empreendimentos imobiliários a qualidade das águas no arroio já era questionável, tendo sido apenas agravado a sua condição. A questão permanece mesmo após ter ocorrido o desenvolvimento urbano na área, sendo esta uma questão que poderia ter sido solucionada quando da ampliação dos sistemas sanitários.

A figura 4.13 localiza as figuras 4.14 até 4.19. A figura 4.15 mostra a estação de tratamento do esgoto sanitário do Shopping Center Iguatemi que, sendo um instrumento para decantação de sólidos antes de entrar no sistema comum de esgotamento, localiza-se numa região que sofre com o acúmulo de águas de chuva. Durante dias de chuva, os moradores à jusante da estação reclamam do aumento da quantidade de esgoto gerada sobre a canalização aberta do arroio, podendo ser uma das causas a inundação da estação pelas águas da chuva.

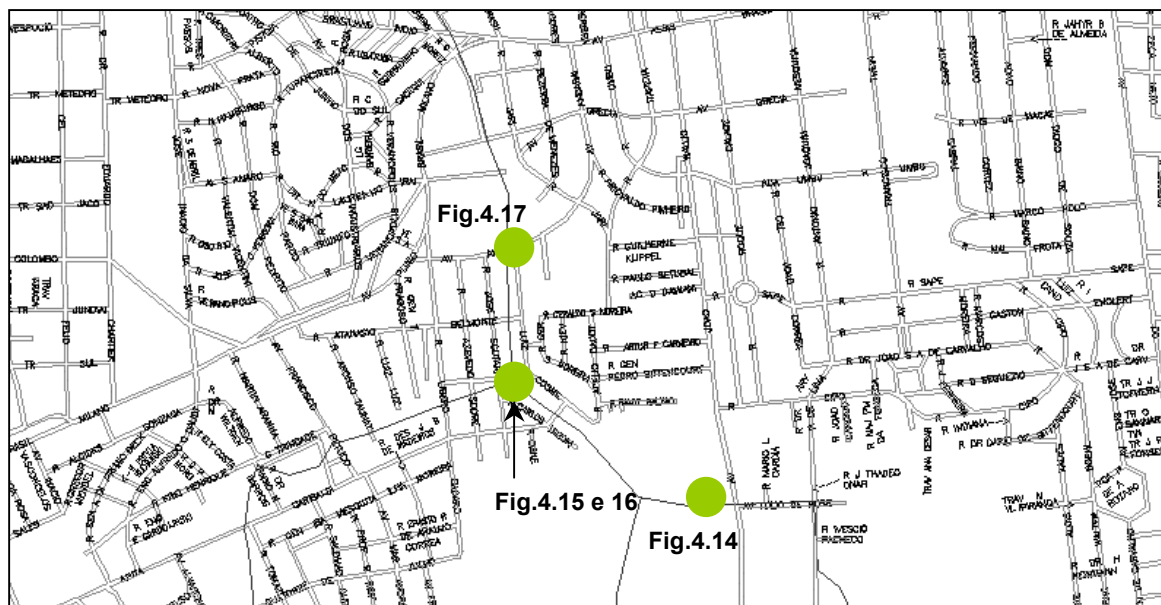


Figura 4.13: Mapa com a localização das figuras 4.14 até 4.17 – região de junção de dois trechos da bacia.



Figura 4.14: Estação de tratamento de esgotos do Shopping Center Iguatemi.

As figuras 4.15 até 4.17 ilustram a situação de tipologia e da drenagem ao centro da bacia, quando os trechos ao centro e à direita da bacia se unem. A densidade construtiva da região é maior, comparado às situações à montante.



Figura 4.15: Tipologia das habitações após a união de dois trechos da bacia. Nas vias principais mais movimentadas (Rua Anita Garibaldi, por exemplo) há predominância de prédios multifamiliares (densidade líquida aproximada de 350 hab/ha) e nas vias secundárias de menor movimento veicular há predominância de residências unifamiliares (densidade líquida aproximada de 115 hab/ha).



Figura 4.16: Vista do arroio canalizado e coberto, sendo seu uso destinado a passagem de pedestres neste trecho.



Figura 4.17: Outra vista do mesmo trecho do arroio também canalizado, porém, aberto.

Nesta região, os lotes são menores e a área de ajardinamento das residências unifamiliares também é menor. Em alguns trechos da bacia, o arroio é canalizado e coberto, em outros, a arroio é canalizado e aberto, sendo este último sistema motivo de reclamações dos moradores que não suportam o mal cheiro. Contudo, através da percepção dos moradores sobre a qualidade dos arroios urbanos, se possui um importante indicador ambiental da drenagem urbana. Ou seja, sua função é múltipla e desorganizada, mesmo em regiões com boas condições sócio-econômicas e em pleno desenvolvimento urbano.

A figura 4.18 localiza as figuras 4.19 e 4.20. As figuras 4.19 e 4.20 ilustram a região da bacia localizada na área do polder do aeroporto. O uso predominante dessa região é industrial, comercial e de serviços. Não há destino de uso residencial na maior parte dessa região, o que não impede seu uso por populações carentes. A Vila Dique é um assentamento irregular que se localiza ao lado do dique de drenagem da bacia.

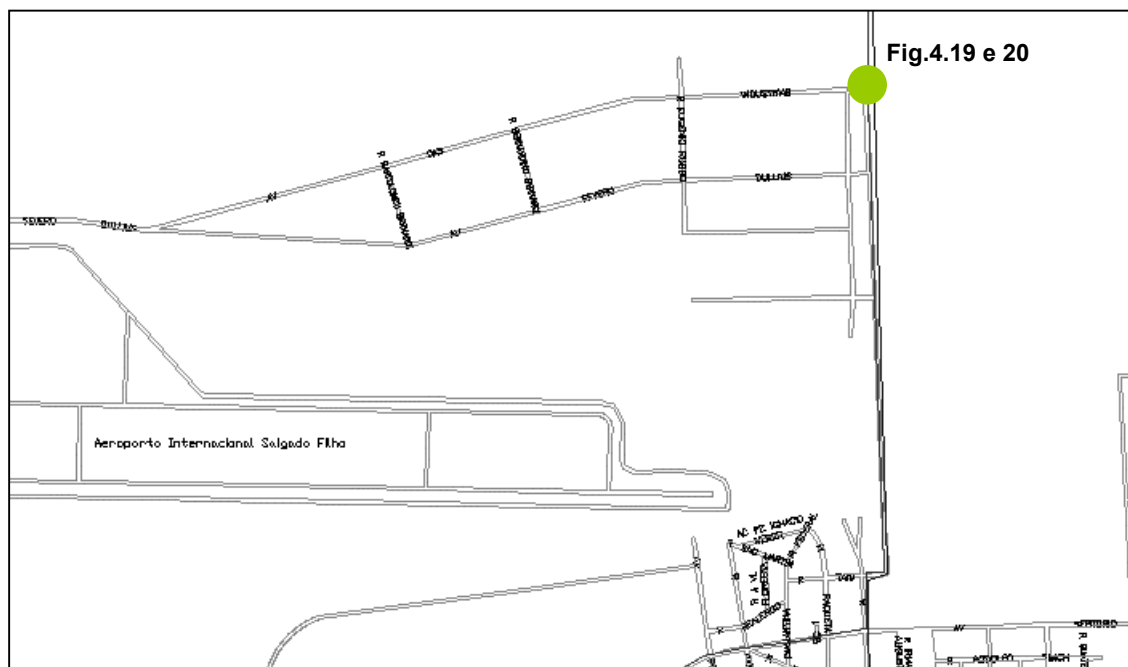


Figura 4.18: Mapa localizando as figuras 4.19 e 4.20 – região do polder do aeroporto.



Figura 4.19: Tipologia da Vila Dique, onde o uso é misto de comércios e residências unifamiliares, sendo que todas as edificações são de um ou dois pavimentos com uma densidade líquida aproximada de 75 hab/ha.



Figura 4.20: Drenagem da área à jusante da bacia, ao lado da Vila Dique. O arroio é drenado sobre um conduto forçado aberto (dique).

A região do polder do Aeroporto é a mais carente do ponto de vista sócio-econômico de seus moradores, onde é claro a mistura entre a drenagem pluvial e o esgotamento sanitário por não haver sistema de esgotamento sanitário, principalmente sobre o dique. No entanto, foi verificado que em todos os trechos de visitação da bacia, a qualidade da água nos condutos abertos sempre foi baixa. Mesmo em regiões à montante da bacia se encontrou a presença de dejetos sólidos como plásticos, garrafas PET etc. dentro da canaliza o do arroio. O problema da drenagem da bacia do

Arroio da Areia não está apenas no sistema de canalização e desvios das rotas de drenagem e de esgotamento sanitário, mas também com a presença da população que contribui significativamente para risco de impedimento da passagem das águas de chuva quando atribui um outro uso às canalizações como o depósito de lixo. É importante salientar que esta forma de uso ocorre de maneira direta (lixo jogado pelos moradores dentro da canalização) ou indireta (lixo trazido pela água para dentro da canalização).

4.2. A fonte de dados e a alteração dos dados para geração de resultados sobre a bacia:

A partir do levantamento descritivo e fotográfico da área é possível passar para a descrição a fonte de dados da pesquisa: a imagem de satélite e os dados censitários sobre a bacia do Arroio da Areia. A primeira fonte de dados utilizada é uma imagem de satélite tipo Landsat-TM sobre Porto Alegre, de dezembro de 1995, com pixel de definição de 30 metros. O ideal seria utilizar uma imagem com o mesmo ano do levantamento censitário, ou seja, 1991. No entanto, a única imagem disponível para esta pesquisa, e que se aproximava desta data, foi a do ano de 1995.

A figura 4.21 apresenta a imagem de satélite em cores falsas, já com o correto sistema de coordenadas adotado (Gauss Krugger, longitude 51° Oeste, latitude 30° Sul), porém sem classificação alguma. O registro da imagem sobre Porto Alegre já foi utilizado como exemplo no capítulo 3, apresentado pela figura 3.4. A informação adicionada pela figura 4.21 é o retângulo de inserção sobre a bacia do Arroio da Areia que possui as seguintes coordenadas planas: no canto inferior esquerdo $x_1 = 181000\text{m}$ e $y_1 = 1675000\text{m}$; no canto superior direito $x_2 = 187000\text{m}$ e $y_2 = 1884000\text{m}$. Sendo a definição da imagem em pixels de $30 \times 30 \text{ m}$, o retângulo de inserção sobre a bacia possui uma dimensão de 200 linhas por 300 colunas.



Figura 4.21: Retângulo da imagem Landsat-TM de dezembro de 1995 sobre a bacia do Arroio do Areia em 256 tons de cinza.

O passo seguinte junto a fonte de dados é a classificação da imagem de satélite. O método de classificação utilizado para obter valores que representarão a impermeabilização do solo é o da matemática fuzzy (equação 2.6) com a função de pertinência tipo “S”, onde os valores utilizados para os pontos de controle a e b foram, respectivamente, 27 e 75. A figura 4.22 apresenta regiões onde se avaliou os valores para os pontos de controle sobre uma das bandas (banda 3) e a figura 4.23 mostra o resultado das respostas espectrais para cada uma das classes selecionadas nas três bandas disponíveis da imagem.



Figura 4.22: Imagem com sete polígonos sobre as classes para extrair os pontos de controle.

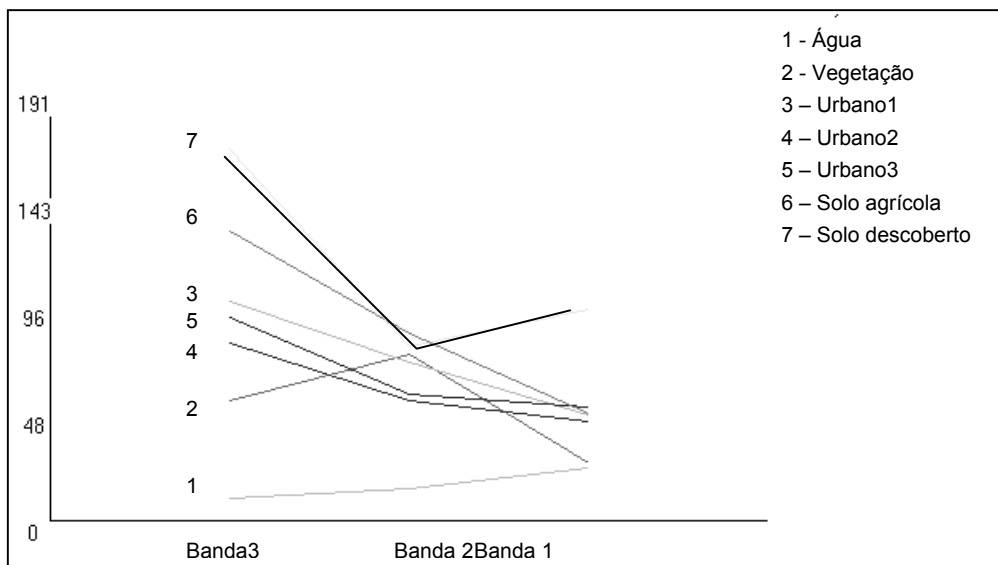


Figura 4.23: Gráfico com o valor médio das respostas espectrais (eixo vertical) de sete classes sobre três bandas da imagem (eixo horizontal).

Tabela 4.1: Cálculos estatísticos para a terceira banda sobre os polígonos das 7 classes:

Categoria	Tipo de cálculo	Resultado
1. Água	Mínimo	22
	Máximo	29
	Total	951
	Média	23.775
	Range	7
	Desvio padrão da população	1.739073
	Desvio padrão da amostra	1.761228
2. Vegetação	Mínimo	24
	Máximo	27
	Total	699
	Média	25.888889
	Range	3
	Desvio padrão da população	0.628539
	Desvio padrão da amostra	0.640513
3. Urbano 1	Mínimo	28
	Máximo	73
	Total	2243
	Média	46.729167
	Range	45
	Desvio padrão da população	11.001401
	Desvio padrão da amostra	11.117821
4. Urbano 2	Mínimo	31
	Máximo	58
	Total	4537
	Média	44.480392
	Range	27
	Desvio padrão da população	5.540812
	Desvio padrão da amostra	5.568174
5. Urbano 3	Mínimo	34
	Máximo	67
	Total	6952
	Média	50.744526
	Range	33
	Desvio padrão da população	7.074194
	Desvio padrão da amostra	7.100154
6. Solo agrícola	Mínimo	35
	Máximo	55
	Total	7054
	Média	47.662162
	Range	20
	Desvio padrão da população	4.515071
	Desvio padrão da amostra	4.530402
7. Solo descoberto	Mínimo	75
	Máximo	107
	Total	7241
	Média	94.038961
	Range	32
	Desvio padrão da população	8.368837
	Desvio padrão da amostra	8.423716

Os valores destacados na tabela 4.1 são os valores de a e b para a função de pertinência tipo “s” crescente, onde $a=27$ e $b=75$.

A figura 4.24 mostra a imagem classificada *fuzzy* com valores de 0 (representando áreas muito permeáveis) até 1 (representando áreas muito impermeáveis).

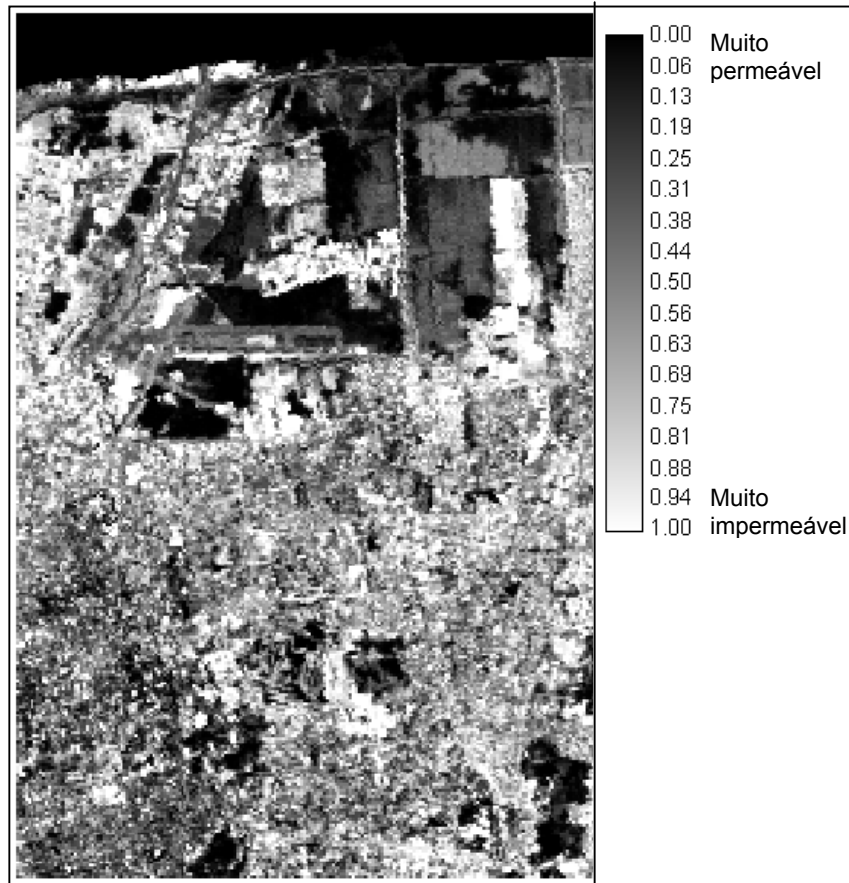


Figura 4.24: Imagem classificada pela matemática fuzzy atribuindo valores entre 0 e 1 representando áreas muito permeáveis até áreas muito impermeáveis, respectivamente.

O segundo tipo de classificação da imagem utiliza a teoria dos conjuntos binários (equação 2.7) para compor o banco de dados da pesquisa. Os valores atribuídos a imagem são 0 ou 1 que representam, respectivamente: a) área não construída, como vegetação, solo descoberto e água, onde não há presença de população residente; e b) área construída onde há probabilidade da presença de população residente.

Selecionou-se seis áreas representativas de áreas urbanas para a classificação sobre as três bandas da imagem (figura 3.9). É importante comentar que numa classificação onde as áreas representativas fossem selecionadas diferentemente, o resultado final (figura 4.25) também seria diferente do obtido nesta pesquisa. Portanto, a classificação apresentada na figuras 4.25 é apenas um dos possíveis resultados da representação do que supomos da realidade sobre a

imagem. No entanto, os polígonos representando áreas urbanas delimitaram áreas visitadas e conhecidas, bem como, a utilização das três bandas da imagem também auxiliam na melhor definição dos *pixels* que representam áreas urbanas, diminuindo assim o erro da classificação pelo método da máxima verossimilhança, ou seja, de que conjuntos de pixels que apresentam o mesmo comportamento dos selecionados nas três bandas, neste caso, possuem maior probabilidade de também estarem representando áreas urbanas.

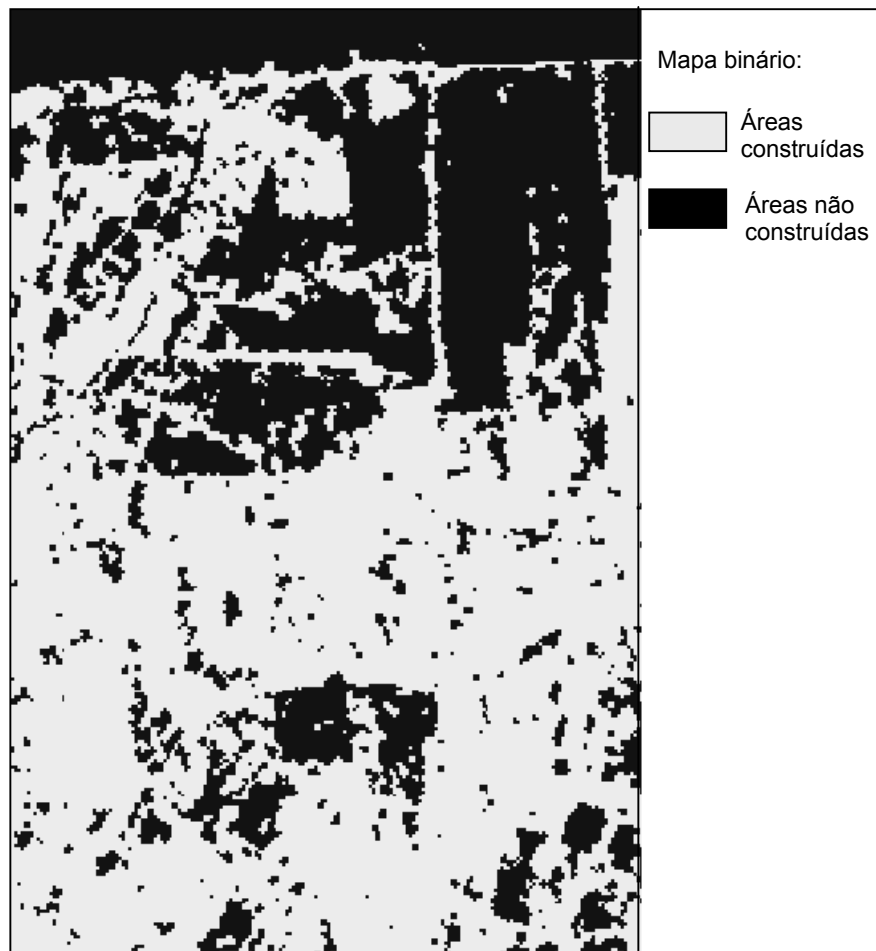


Figura 4.25: Imagem binária classificada atribuindo valores 0 e 1 representando áreas não construídas e áreas construídas, respectivamente.

A imagem binária classificada será utilizada a seguir, juntamente com os dados do Censo Demográfico de 1991 para o município de Porto Alegre. A figura 4.26 localiza os 419 setores no mapa digitalizado do Censo Demográfico de 1991 para o município de Porto Alegre (Fonte adaptada: Fundação Estadual de Planejamento Metropolitano e Regional - Metroplan). A figura 4.27 é uma ampliação desta mesma região.



Figura 4.26: Mapa de localização dos setores censitários referente ao Censo Demográfico de 1991 do Município de Porto Alegre. A área em destaque compõem o retângulo envolvente da bacia do Arroio da Areia.

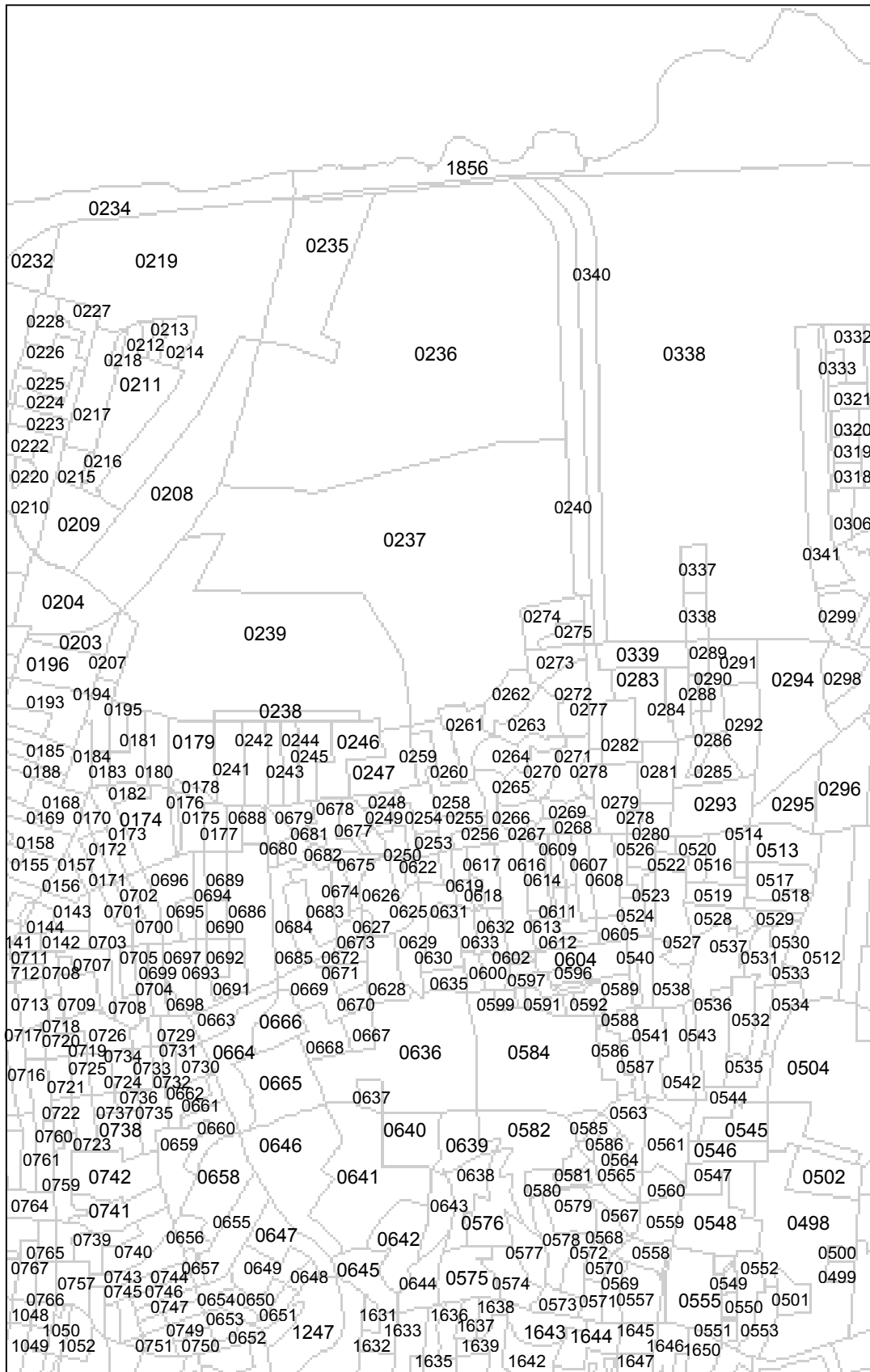


Figura 4.27: Detalhe do mapa dos setores censitários referente ao retângulo envolvente da bacia do Arroio da Areia, totalizando 419 setores censitários.

Sobre os dados do censo, a região da bacia do Arroio da Areia possui, apenas, 204 setores censitários, sendo que apresentam uma população de 123.437 habitantes, numa área de 22,92 Km², representando um acréscimo de 2,07 Km² sobre a área da bacia, propriamente. No entanto, para gerar a superfície dos dados interpolados, optou-se por trabalhar com o mesmo retângulo de inserção da imagem. O retângulo duplicou o número de setores, totalizando 419 setores censitários. A dimensão do retângulo é de 6.000 m por 9.000 m, ou seja, uma área de 54 Km².

A partir do mapa dos setores, foi possível listar os 419 números atribuídos aos setores e, assim, realizar a pesquisa nos dados do arquivo do universo do Censo Demográfico de 1991. A tabela 4.1 demonstra o conteúdo parcial para cada setor censitário, onde se escolheu aleatoriamente um dos setores como exemplo.

Tabela 4.2: Conteúdo parcial do censo demográfico referente a um determinado setor (Fonte: Secretaria de Planejamento, Orçamento e Coordenação da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE).

Setor: 1870

Tipo do Setor: Rural exclusive aglomerado rural

Domicílios:	Total	Urbana	Rural
Particulares Permanentes	132	-	132
Abastecimento de água:	Total	Urbana	Rural
c/ canalização interna	108	-	108
s/ canalização interna	24	-	24
Instalação sanitária:	Total	Urbana	Rural
Só no domicílio	110	-	110
Comum a mais de um	-	-	-
Não tem	22	-	22
Condição da ocupação:	Total	Urbana	Rural
Próprio	79	-	79
Alugado	23	-	23
Cedido	30	-	30
Outro	-	-	-
Destino do lixo	Total	Urbana	Rural
Coletado	30	-	30
Queimado	10	-	10
Enterrado	89	-	89
Jogado	2	-	2
Outro	1	-	1
Nº médio de cômodos/domicílio	5.08	-	5.08
Nº médio de dormitórios/domicílio	1.73	-	1.73
Nº médio de banheiros/domicílio	0.85	-	0.85
Nº médio de pessoas/domicílio	3.48	-	3.48
Particulares improvisados	-	-	-

Moradores		Total	Urbana	Rural							
Em domicílios particulares permanentes		460	-	460							
Em domicílios particulares improvisados		-	-	-							
Chefes em domicílios particulares permanentes		132	-	132							
População residente:		Total	Urbana	Rural							
Total		460	-	460							
Alfabetizada		332	-	332							
Espécie e situação do domicílio:	Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10+
Total	132	13	23	40	28	14	6	5	-	2	1
Particulares	132	13	23	40	28	14	6	5	-	2	1
Unid. habit. em domicílios coletivos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tendo em mãos o mapa digitalizado dos polígonos referentes a cada setor censitário, foi levantada a área total para cada um dos setores, bem como, a localização dos centros geométricos desses polígonos (centróides). A junção dessas informações com o valor da população de moradores, de cada setor, gerou um banco de dados que é ilustrado parcialmente através da tabela 4.2 a seguir. A íntegra dos dados para os 419 setores é apresentada no Anexo A.

Tabela 4.3: Dados parciais dos cinco primeiros setores da bacia.

Número do setor	Número de moradores	Área (m ²)	Área (ha)	Densidade (hab/ha)	Coord. X do centróide	Coord. Y do centróide
141	382	26364.135	2.6364135	144.8938101	181046.2668	1677987.726
142	455	46087.596	4.6087596	98.7250446	181314.2069	1678005.494
143	713	69100.513	6.9100513	103.183025	181331.7112	1678210.367
144	586	37640.322	3.7640322	155.6841079	181132.7562	1678151.661
145	375	8188.403	0.8188403	457.9647638	181039.5262	1678207.583
(...)	-	-	-	-	-	-
Total	#419	272.227	52.86 Km²			

A posição dos centróides, calculado para cada polígono pela equação 2.9, é apresentada na figura 4.28 juntamente com a delimitação dos setores. Uma escala de cores representa as densidades populacionais entre 0 até 668 hab/ha.

Pela figura 4.28, a maioria dos centróides não ficaram fora dos limites dos polígonos, mas quando realizado a sobreposição com a imagem binária classificada das áreas construídas, alguns centróides apresentaram-se deslocados.

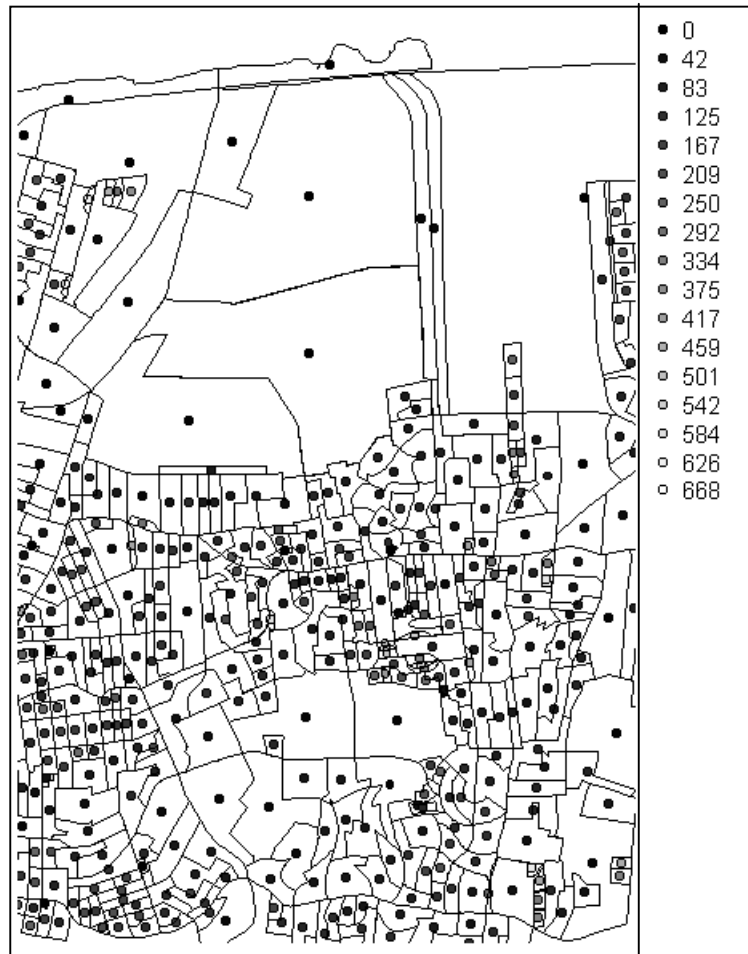


Figura 4.28: Mapa com os 419 setores censitário da bacia do Arroio da Areia e a posição geográfica dos centróides com o valor da densidade populacional representado pela escala de tons de cinza (0-668 hab/ha).

Os valores apresentados pela figura 4.28 foram retirados dos dados do IBGE, sem haver superestimação do valor mais alto (668 hab/ha), mas apenas o cálculo da população residente total dividida pela área do setor correspondente. Para contar com uma melhor definição das áreas dos setores, utilizou-se a imagem de satélite com a classificação binária (0 e 1) para área construída (valor 1) e não construída (valor 0) que é apresentada na figura 4.29 com a sobreposição da figura 4.28.

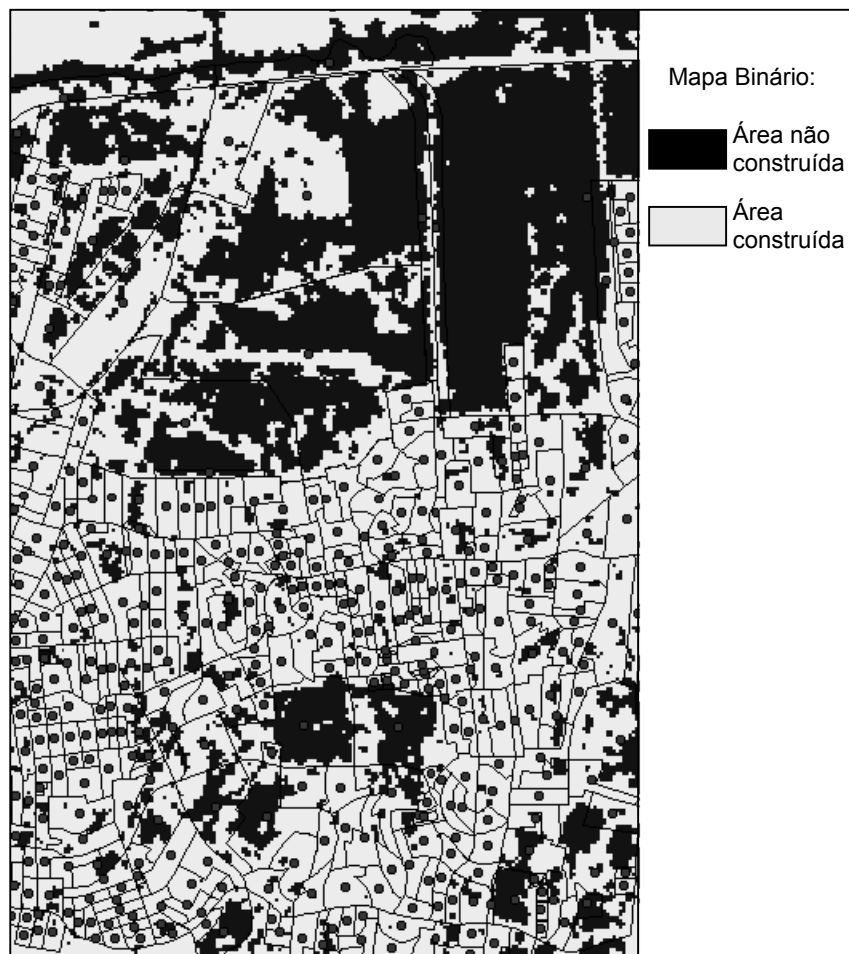


Figura 4.29: Imagem com a classificação binária onde as áreas claras representam as áreas construídas e, portanto, passíveis à localização dos centróides.

Observando-se a figura 4.29, nota-se que alguns centróides ficaram localizados sobre áreas não construídas (em preto), mais precisamente 53 deles. Para que a modelagem dos dados fosse mais representativa da realidade, esses 53 centróides foram deslocados para que ficassem sobre as áreas construídas. A figura 4.30 mostra o resultado da nova localização dos centróides.

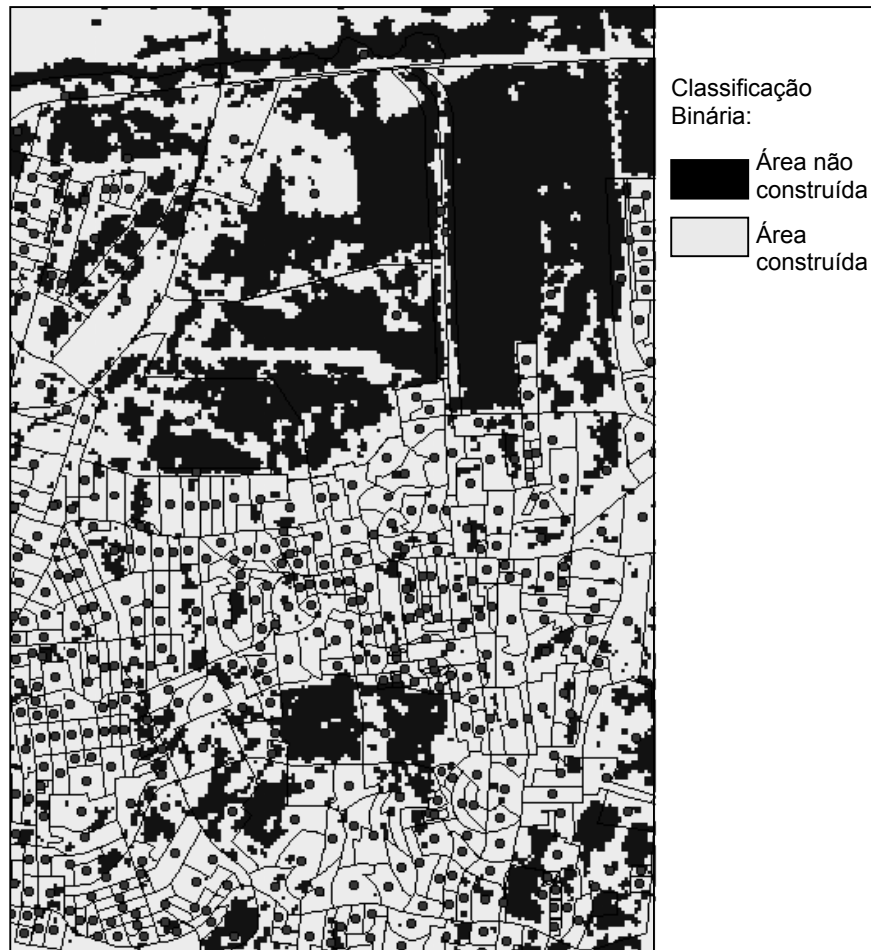


Figura 4.30: Imagem classificada com o deslocamento dos centróides para as áreas construídas.

Ao utilizar a imagem classificada, um novo cálculo para a densidade populacional foi realizado, agora com os valores apenas das áreas construídas dos setores. A tabela 4.3 selecionou uma lista de cinco setores que sofreram ou não mudança na área, na localização do centróide (coordenada x e y) ou no valor da densidade (coordenada z). A íntegra dos dados alterados para os 419 setores estão no Anexo A.

Tabela 4.4: Dados representativos de cinco setores que apresentaram alterações (em cinza) dos valores de área, coordenada x e y ou coordenada z.

Nº do Setor	Número de moradores	Área 1 (ha)	Área 2 (ha)	X ₁	X ₂	Y ₁	Y ₂	Z ₁	Z ₂
214	2320	6.21	5.85	182106.46	182106.46	1682276.53	1682276.53	373.59	396.58
215	789	4.68	2.70	181364.65	181386.49	1681381.57	1681454.06	168.59	292.22
216	736	1.08	1.08	181474.00	181474.00	1681374.15	1681374.15	681.48	681.48
217	961	17.82	13.32	181519.78	181519.78	1681897.32	1681897.32	53.93	72.15
218	891	1.35	0.81	181693.35	181687.22	1682203.2	1682168.57	660	1100.00

A tabela 4.4 mostrou que quatro dos setores exemplificados (114, 115, 117 e 118) sofreram alteração de área após a sobreposição do mapa binário, ou seja, inicialmente os setores possuíam a totalidade da área do polígono (área 1) e, depois, esta foi reduzida apenas para a situação de área construída (área 2) com a exclusão da área não construída da imagem classificada. Os mesmos setores sofreram, assim, mudança no valor da densidade populacional (n° habitantes/área). Pela tabela, apenas os centróides de dois setores (115 e 118) foram deslocados para uma posição dentro da área construída (X_2 e Y_2) do mapa binário sendo o restante permanecendo na posição inicial (X_1 e Y_1). O deslocamento dos centróides é um processo manual através da observação direta sobre o mapa. A figura 4.31 mostra em detalhe os setores utilizados na tabela 4.4 como exemplo.

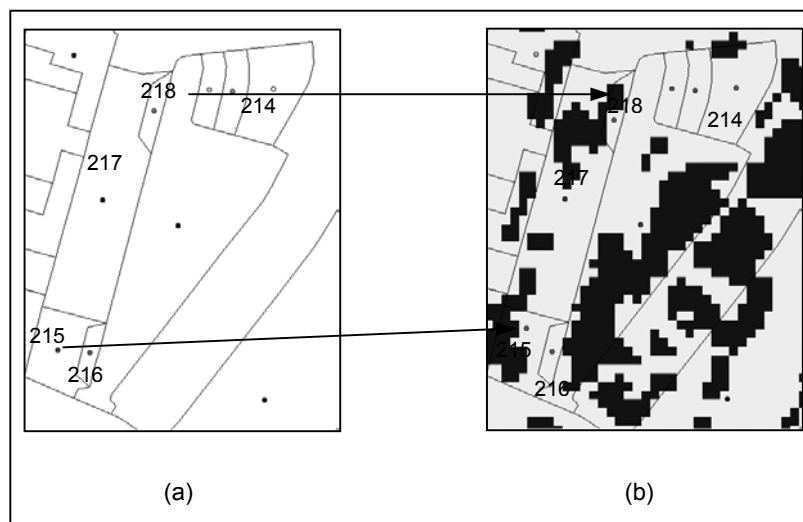


Figura 4.31: Detalhe dos 5 setores que apresentaram modificações de área, coordenada x e y ou coordenada z após a sobreposição do mapa binário de área construída e não construída, onde (a) é a situação inicial dos polígonos e centróides e (b) é a situação alterada com destaque para o deslocamento dos centróides 215 e 218.

A figura 4.32 apresenta o mapa com a nova localização e valores de densidade populacional para os 419 setores, sendo possível observar que o maior valor para a densidade populacional ficou em 1.100 hab/ha (setor 218). Essa situação não é comum, principalmente, quando o plano diretor vigente em 1991 estimava uma densidade máxima de 200 hab/ha para essa região.

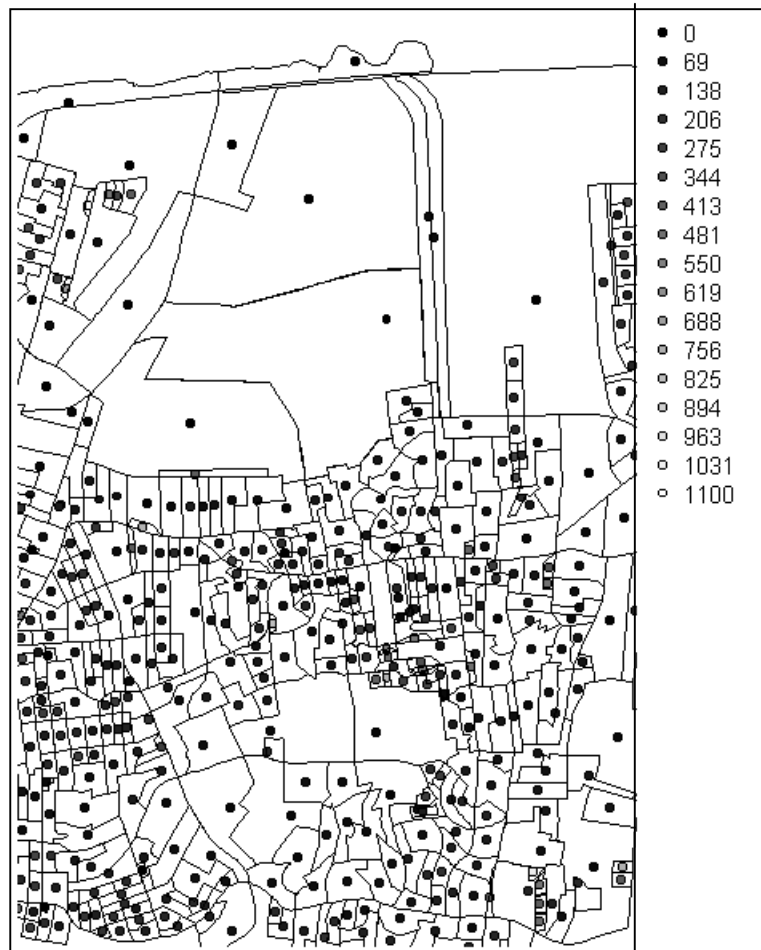


Figura 4.32: Mapa com os novos valores de densidade populacional dos 419 setores e com a nova localização de 53 centróides.

Na realização da simulação condicional Gaussiana da variável densidade populacional, foi utilizado o mapa binário das áreas construídas como a superfície a ser interpolada. Uma área ao Norte do mapa foi removida, pois não pertence ao município de Porto Alegre e, logo, não receberá nenhum valor estimado. A figura 4.33 é o resultado da subtração desta área pertencente ao município de Canoas, delimitada pelo rio Gravataí.



Figura 4.33: Mapa final com a área em cinza sendo a superfície total a ser interpolada com os valores de densidade populacional a partir dos centróides de cada setor.

Depois de trabalhar as informações contidas na imagem de satélite e nos setores censitários, um último elemento é apresentado como fonte de dados: o Modelo Numérico do Terreno (MNT). A figura 4.34 mostra o MNT (Freitas, 1998) com os setores censitários sobrepostos, sendo o MNT os dados das curvas de nível já interpolados resultando numa superfície homogênea dos valores da topografia da área de estudo.

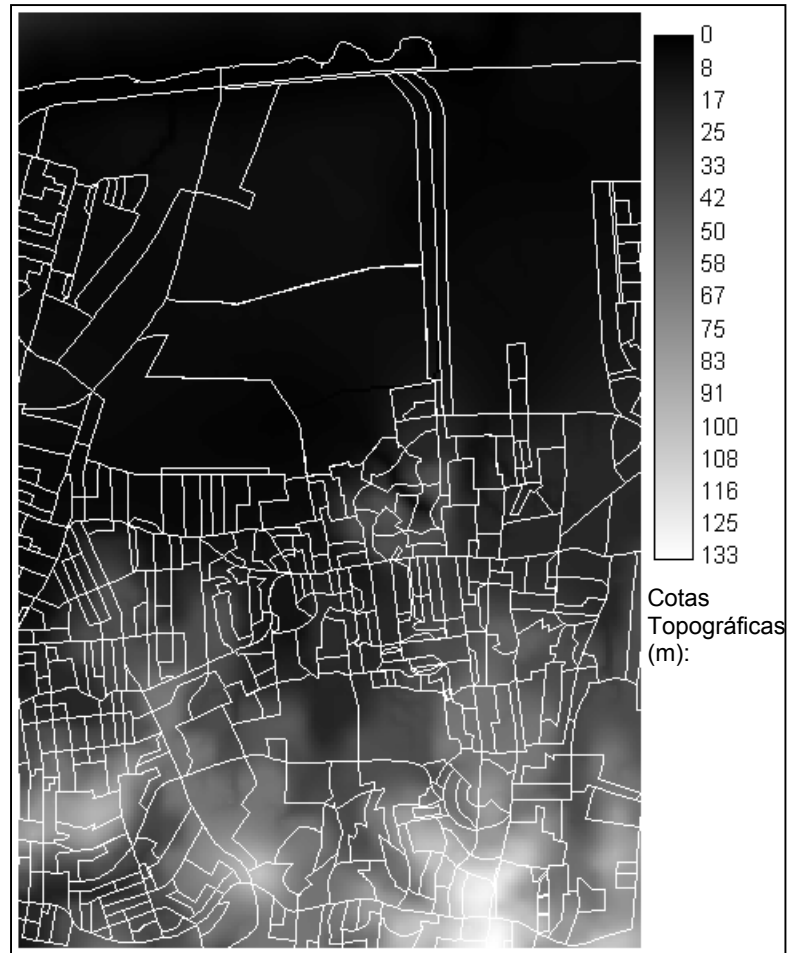


Figura 4.34: Modelo Numérico do Terreno com a malha dos setores censitários sobreposta para melhorar a localização da região (Fonte adaptada: Freitas, 1998).

O MNT da região é a última fonte de dados necessária para o desenvolvimento e aplicação da metodologia proposta. A seguir, serão apresentados os resultados encontrados, bem como, alguns comentários de cada uma das etapas metodológicas.

4.3. Resultados obtidos e discussões

Após a organização do banco de dados referente à classificação da imagem de satélite (método fuzzy e binário), bem como, a desagregação da informação sobre a densidade populacional dos polígonos dos setores, foi realizada a interpolação da variável densidade populacional para a Bacia do Arroio da Areia em duas situações: a) antes da classificação das áreas construídas (figura 4.28) com uma superfície de 50,84 Km²; e b) após a inserção da imagem binária classificada para as áreas construídas (figura 4.33) com uma superfície de 33,59 Km². Estas duas

situações servem para verificar a diferença ou não na adoção de imagens de satélite como instrumento de precisão para as estimativas da variável densidade populacional.

Para a realização da simulação Gaussiana (equação 2.12) dos valores de densidade populacional, utilizou-se um programa computacional que interpolou os 419 pontos amostrais sobre as duas situações de superfícies (sem e com o mapa binário da imagem de satélite). Três são os procedimentos adotados na produção do mapa da superfície interpolada dos dados:

1. Utilização do modelador de dependência espacial para os dados amostrais normalizados, observando-se a variância dos mesmos quanto à distância e direção no espaço, produzindo-se o semivariograma na direção de maior e menor continuidade;
2. Produção de um modelo geostatístico que obedeça o comportamento dos dados amostrais partindo-se do semivariograma dos dados normalizados produzido anteriormente para a direção de maior continuidade;
3. Finalmente, escolha do tipo de interpolação a ser aplicada aos dados, tomando-se por base o modelo anteriormente escolhido, o arquivo dos dados amostrais e a área onde os dados serão estimados.

Primeiramente, os três procedimentos acima foram aplicados ao conjunto dos dados antes da utilização da imagem de satélite (dados originais do Anexo A). A figura 4.35 mostra dois semivariogramas dos dados originais normalizados, um para a direção de maior continuidade (0° ou Norte/Sul) e outro para a de menor continuidade (90° ou Leste/Oeste).

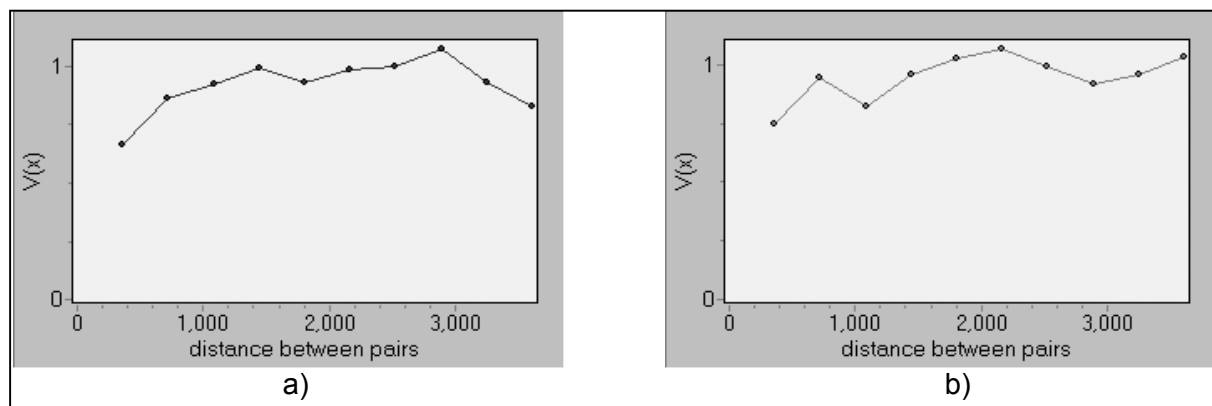


Figura 4.35: Semivariogramas dos 419 dados originais normalizados do Anexo A, onde: a) refere-se à direção 0° de maior continuidade e b) à direção 90° de menor continuidade.

O semivariograma à 0° (Norte /Sul) demonstra que os dados possuem maior continuidade na direção norte da região, pois a distância entre os pares de pontos apresentada pelo eixo x (*distance between pairs*) mostra que os pares iniciais possuem um comportamento crescente e contínuo, diferente do segundo semivariograma que mostra que o comportamento inicial dos pares de pontos oscila (crescente para decrescente e para crescente novamente). A seguir, a figura 4.36 apresenta o procedimento de ajuste teórico dos semivariogramas através do modelo esférico escolhido para esse caso.

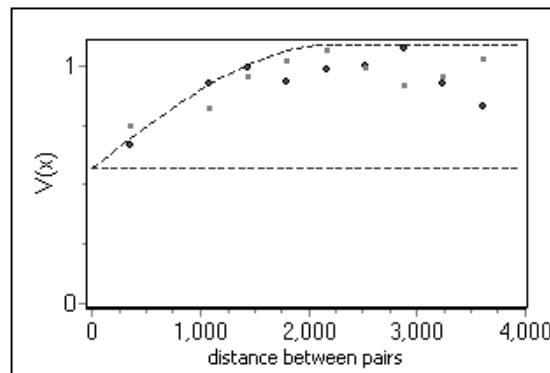


Figura 4.36: Modelo de ajuste do tipo esférico (curva tracejada) sobre o semivariograma dos dados originais normalizados do Anexo A. A linha reta tracejada localiza a posição do “efeito pepita” (nugget effect).

A equação de ajuste para a estimativa da variável densidade populacional é apresentada pela equação 4.1.

$$f(x) = 0.57Nug(0) + 0.52Sph(2205) \quad 4.1$$

Com o modelo de ajuste dos semivariogramas, foi realizada a interpolação dos dados utilizando-se a simulação Gaussiana que obedece o comportamento dos dados amostrais, sendo assim, uma simulação condicional. A figura 4.37 apresenta o resultado para a primeira superfície a partir dos 419 dados originais da densidade populacional do Anexo A. O histograma dos dados simulados é apresentado pela figura 4.38.

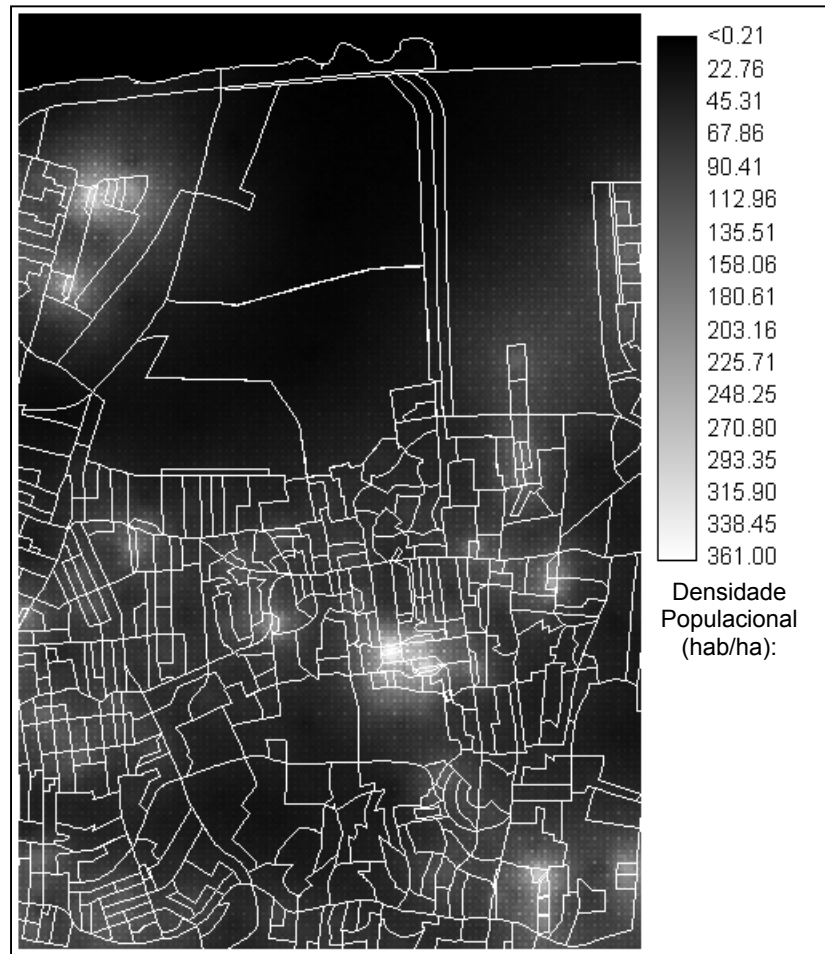


Figura 4.37: Interpolação através da simulação condicional Gaussiana dos dados originais do Anexo A na condição não normal (original).

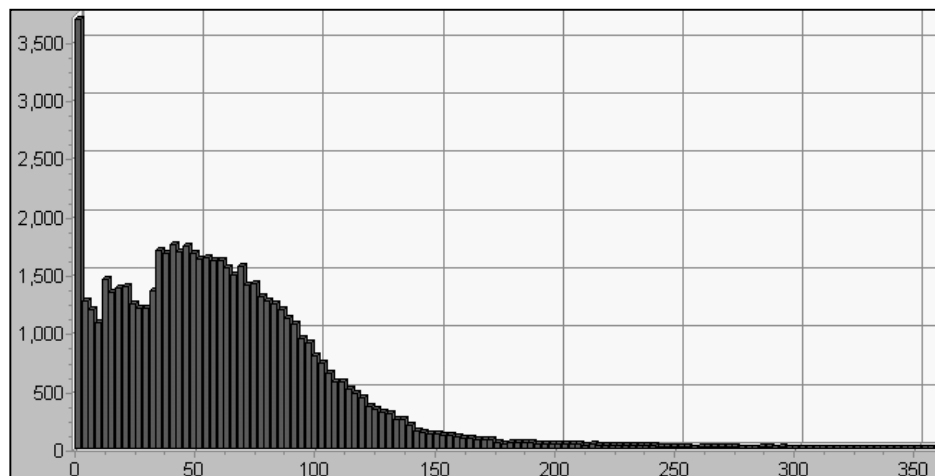


Figura 4.38: Histograma dos dados estimados originais do Anexo A através da simulação condicional Gaussiana.

As soma da população total dos valores estimados pela simulação condicional Gaussiana para a superfície de 50,84 Km² foi estimado em 320.800 habitantes e apresenta um

aumento de 118,46% em relação à população total da amostra (original). A íntegra dos valores estimados são apresentados no Anexo B.

A etapa seguinte interpolou os valores de densidade populacional alterados apenas para a área construída ou urbana da imagem binária classificada. Lembrando que as densidades originais foram alteradas pelo fator área quando da utilização da imagem binária classificada e a tabela dos dados completos é apresentada no Anexo A. Assim, os novos dados foram analisados através dos semivariogramas apresentados pela figura 4.39.

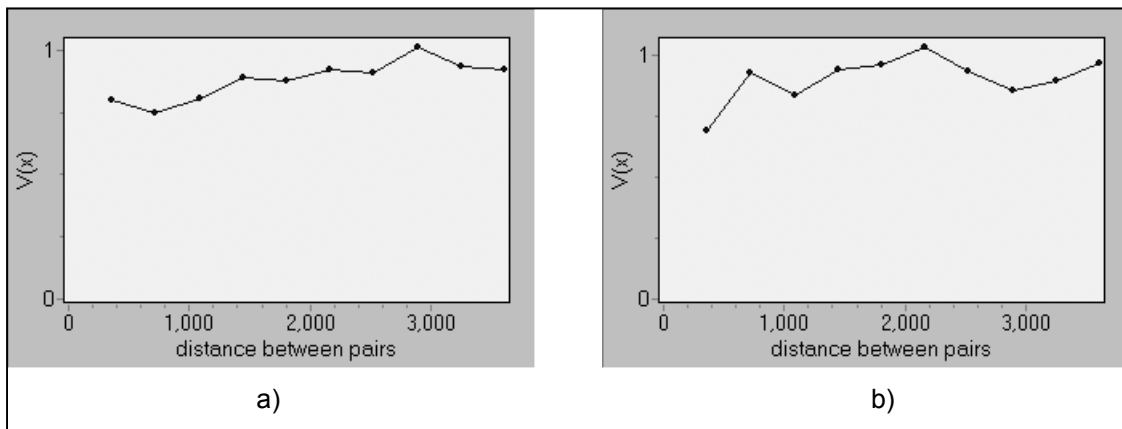


Figura 4.39: Semivariogramas dos dados alterados normalizados do Anexo A, onde a) refere-se à direção 0° de menor continuidade e b) à direção 90° de maior continuidade.

Os dados gerados após a adição da imagem de satélite, que redefiniu uma área menor para a distribuição da densidade populacional, apresentam maior continuidade na direção de 90° (Leste/Oeste), o inverso da situação anterior, pois a 0° os pares de pontos se encontram numa situação inicial de alta variância (eixo y) o que entre os dois semivariogramas é a pior condição. A figura 4.40 apresenta o modelo de ajuste para os dados estimados e a equação 4.2 apresenta a equação de ajuste para o cálculo da variável estimada.

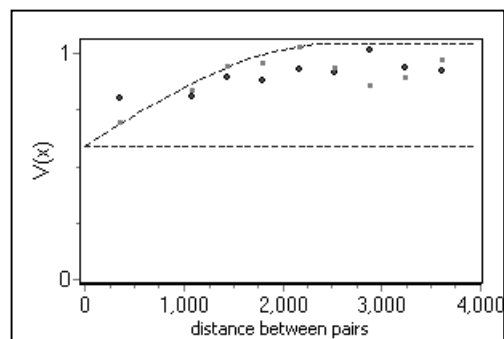


Figura 4.40: Modelo de ajuste do tipo esférico (curva tracejada) sobre o semivariograma dos dados normalizados alterados do Anexo A. Linha reta tracejada mostra a posição do “efeito pepita” (nugget effect).

$$f(z) = 0.59Nug(0) + 0.45Sph(2500)$$

4.2

A figura 4.41 apresenta a segunda versão da interpolação dos dados para a área construída. A figura 4.42 apresenta o histograma dos dados simulados da figura 4.41.



Figura 4.41: Interpolação através da simulação condicional Gaussiana dos dados alterados do Anexo A na condição original (não normal).

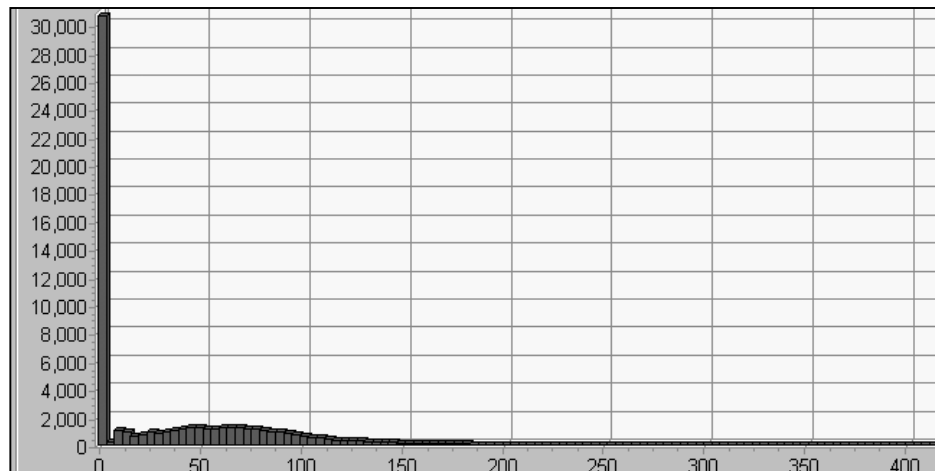


Figura 4.42: Histograma dos dados estimados alterados do Anexo A através da simulação condicional Gaussiana.

A soma da população dos valores estimados através da simulação condicional Gaussiana para a área construída classificada pela imagem de satélite foi de 94,84% do valor original, sendo o valor final de 256.826 habitantes (íntegra dos dados no Anexo B). É possível perceber que o valor estimado pela simulação condicional Gaussiana sobre os dados da densidade populacional alterados pela imagem binária obteve um valor mais próximo do original que é de 270.809 habitantes. A tabela 4.5 compara os resultados encontrados nos dois processos de simulação.

Tabela 4.5: Comparação entre o total de população simulada para cada tipo de superfície (total e com o mapa binário).

	Área das superfícies (Km ²)	População dos dados censitários originais (hab.)	População da simulação (hab)	Percentual de correspondência censo/simulação (%)
Para toda a superfície	50,84	270.809	320.800	118,46
Para a superfície do mapa binário	33,59		256.826	94,84

Utilizando a figura 4.41 como parâmetro de análise da densidade populacional e a figura 4.42 como parâmetro da impermeabilização do solo, partiu-se para o traçado da relação existente entre as duas variáveis. A figura 4.43 mostra o conjunto dos dados com uma simples regressão linear feita pelo mesmo programa que operou com os dados e que gera um arquivo pequeno para apresentar os 60.000 pontos (tamanho da área de estudo é de 200 linhas por 300 colunas). A figura 4.44 mostra a curva que apresentou a melhor correlação (gerado no Excel), sendo que os 60.000 pontos não foram possíveis de serem apresentados por causa do tamanho do arquivo gerado.

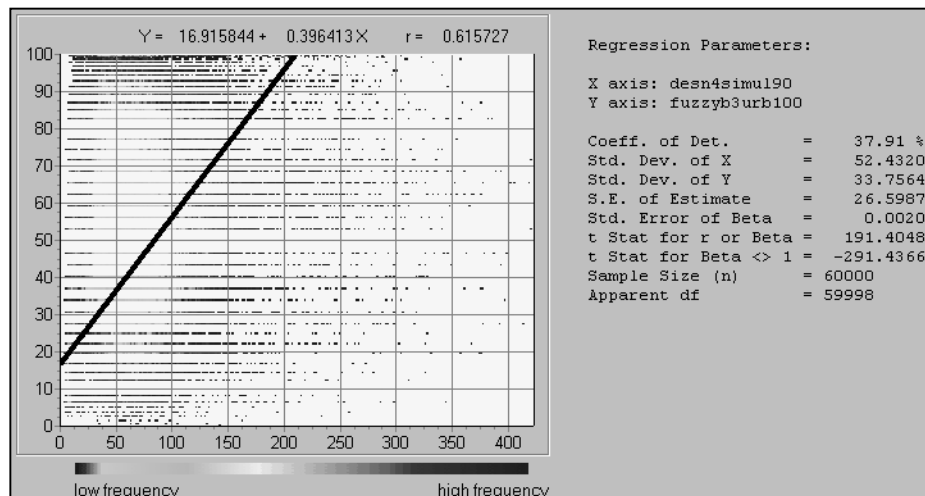


Figura 4.43: Resultado da regressão linear sobre o conjunto de dados da densidade populacional (eixo x) e da impermeabilização (eixo y).

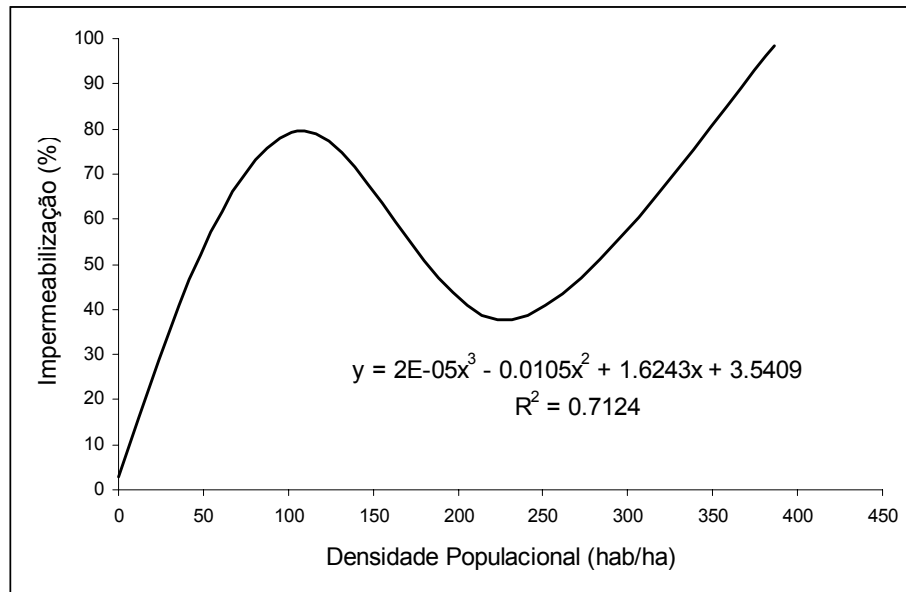


Figura 4.44: Comportamento da curva polinomial sobre o conjunto de dados da densidade populacional (eixo x) e da impermeabilização do solo (eixo y).

O comportamento apresentado pela curva da figura 4.44 mostra que quando a densidade populacional ultrapassa os 100 hab/ha, há um decréscimo no percentual de impermeabilização do solo. Isso pode ser consistente com situações onde existem construções verticalizadas com recuos e ajardinamentos. Contudo, quando a densidade populacional passa dos 250 hab/ha, a curva já retorna para a condição de aumento na impermeabilização do solo, isso pode ser representando, por exemplo, com as condições de assentamentos irregulares, onde a densidade construtiva e populacional são intensas, sendo poucos os locais públicos ou os ajardinamentos, pois não há regulamentação e recuos entre as habitações.

O seguinte procedimento para análise da correlação entre as variáveis é através do *Kappa Index of Agreement* (KIA). Para realizar esse cálculo, é preciso que ambos conjuntos de dados sejam subdivididos em um mesmo número de classes. Optou-se em dividir os valores de densidade populacional e impermeabilização do solo em dez classes apresentadas na tabela 4.6, sendo que os valores das subdivisão das classes foram selecionados de forma a gerar o melhor valor para o KIA.

Tabela 4.6: Subdivisão dos valores de densidade populacional e de impermeabilização do solo para efeitos do cálculo do KIA.

Classes:	Densidade Populacional (hab/ha):	Impermeabilização do Solo (%):
1	0 - 1	0 - 10
2	1 - 10	10 - 20
3	10 - 25	20 - 30
4	25 - 50	30 - 40
5	50 - 75	40 - 50
6	75 - 100	50 - 60
7	100 - 150	60 - 70
8	150 - 200	70 - 80
9	200 - 250	80 - 90
10	250 - 423	90 - 100

As figuras 4.45 e 4.46 apresentam o resultado da classificação em dez classes da impermeabilização do solo e da densidade populacional, respectivamente.

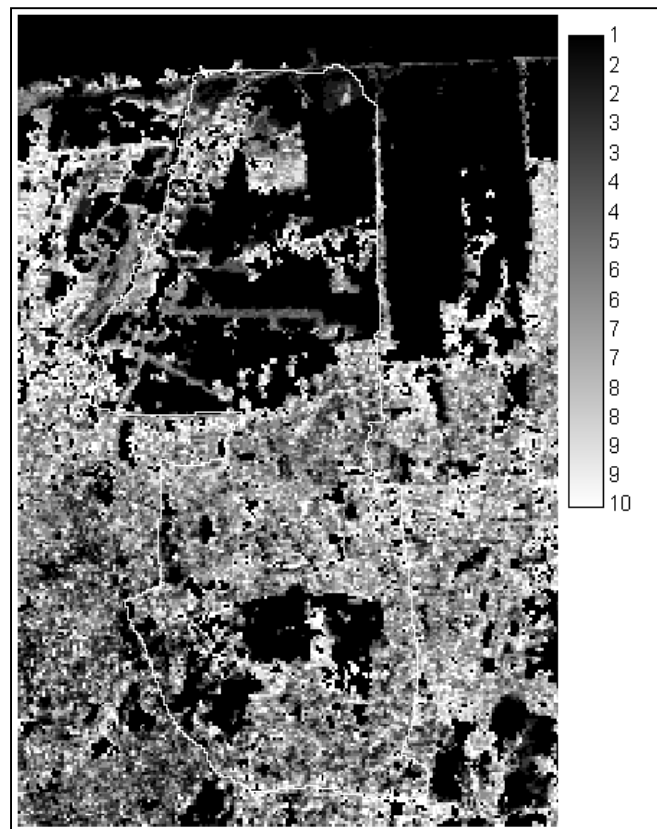


Figura 4.45: Mapa da impermeabilização do solo urbano agrupando em 10 classes de valores da tabela 4.6 com o limite da bacia em branco.

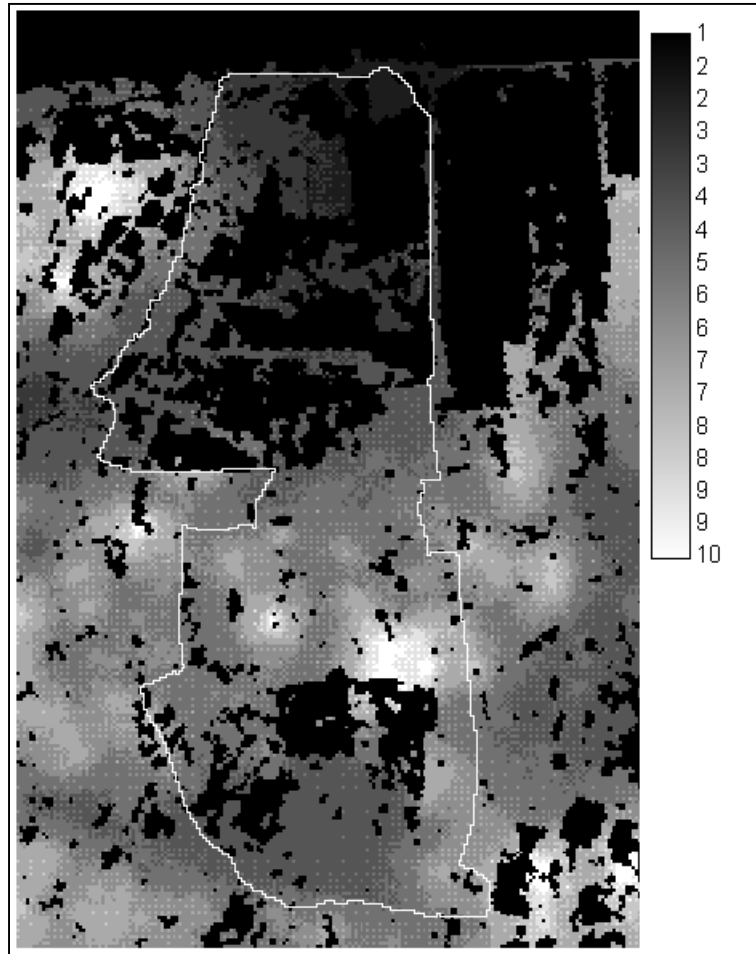


Figura 4.46: Mapa da densidade populacional agrupando em 10 classes de valores da tabela 4.6 com o limite da bacia em branco.

Após igualar as condições para as duas variáveis (densidade populacional e impermeabilização do solo), é possível realizar o cálculo do KIA que mede a relação existente entre as variáveis. A figura 4.47 e a tabela 4.7 apresentam o resultado para o KIA em relação as classes das figuras 4.45 e 4.46.

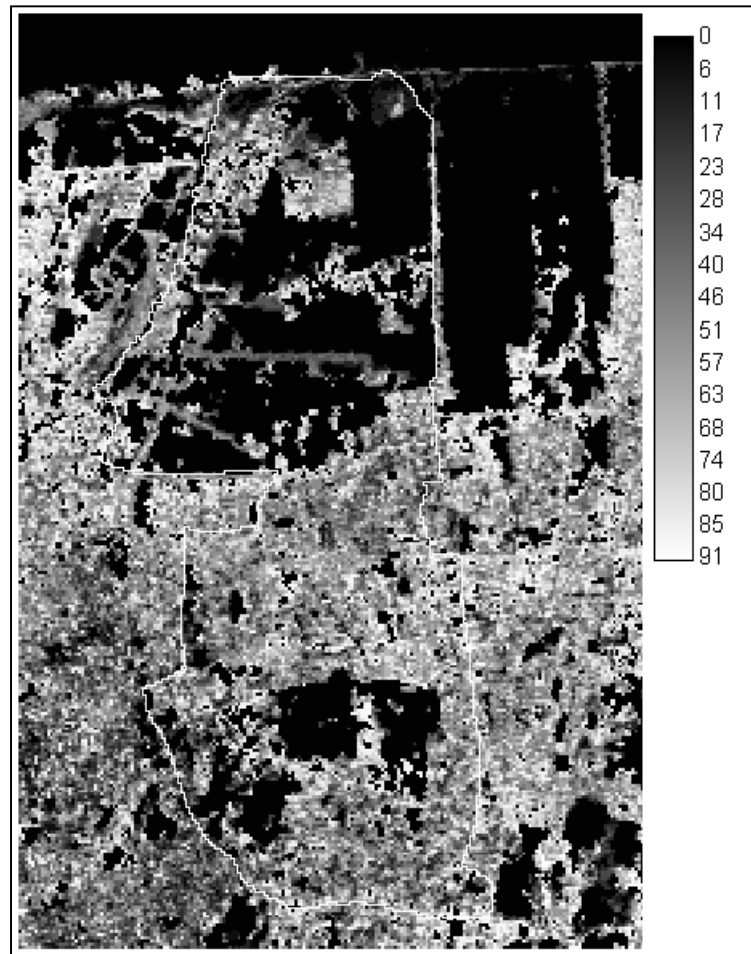


Figura 4.47: Mapa com o resultado do KIA para 10 classes da densidade populacional e 10 classes da impermeabilização do solo. Os valores de 0 até 91 se referem a cada uma das combinações encontradas entre as classes.

Tabela 4.7: Resultados do Kappa Index of Agreement (KIA).

(a) Tabulação cruzada da densidade populacional (colunas) e da impermeabilização do solo (linhas):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
1	22674	106	116	307	367	238	149	49	24	10	24040
2	0	181	134	390	587	401	300	79	20	17	2109
3	0	87	137	531	773	533	328	56	38	24	2507
4	0	79	222	931	1237	849	546	100	36	27	4027
5	0	47	218	932	1203	877	564	93	41	39	4014
6	0	69	262	1599	2201	1524	994	225	106	75	7055
7	0	45	183	1098	1632	1032	725	217	106	101	5139
8	0	33	114	698	985	634	522	128	56	39	3209
9	0	44	218	989	1290	897	779	240	87	72	4616
10	0	6	220	773	871	586	543	167	78	40	3284
Total	22674	697	1824	8248	11146	7571	5450	1354	592	444	60000

Chi Square = 56336.6875

df = 81

Cramer's V = 0.323

(b) Tabulação cruzada proporcional da densidade populacional (colunas) e da impermeabilização do solo (linhas):

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
1	0.3779	0.0018	0.0019	0.0051	0.0061	0.004	0.0025	0.0008	0.0004	0.0002	0.4007
2	0	0.003	0.0022	0.0065	0.0098	0.0067	0.005	0.0013	0.0003	0.0003	0.0352
3	0	0.0015	0.0023	0.0089	0.0129	0.0089	0.0055	0.0009	0.0006	0.0004	0.0418
4	0	0.0013	0.0037	0.0155	0.0206	0.0142	0.0091	0.0017	0.0006	0.0005	0.0671
5	0	0.0008	0.0036	0.0155	0.0201	0.0146	0.0094	0.0016	0.0007	0.0007	0.0669
6	0	0.0012	0.0044	0.0267	0.0367	0.0254	0.0166	0.0038	0.0018	0.0013	0.1176
7	0	0.0008	0.0031	0.0183	0.0272	0.0172	0.0121	0.0036	0.0018	0.0017	0.0857
8	0	0.0006	0.0019	0.0116	0.0164	0.0106	0.0087	0.0021	0.0009	0.0007	0.0535
9	0	0.0007	0.0036	0.0165	0.0215	0.015	0.013	0.004	0.0015	0.0012	0.0769
10	0	0.0001	0.0037	0.0129	0.0145	0.0098	0.0091	0.0028	0.0013	0.0007	0.0547
Total	0.3779	0.0116	0.0304	0.1375	0.1858	0.1262	0.0908	0.0226	0.0099	0.0074	1

(c) Utilizando a densidade populacional como referência:

Categoria	KIA
1	1
2	0.2327
3	0.0348
4	0.0491
5	0.044
6	0.0949
7	0.0518
8	0.0434
9	0.0759
10	0.0374

(d) Utilizando a impermeabilização do solo como referência:

Categoria	KIA
1	0.9087
2	0.0751
3	0.025
4	0.1087
5	0.1399
6	0.1028
7	0.0553
8	0.0177
9	0.0091
10	0.0048

Kappa index of agreement = 0.3259

A tabela 4.7a apresenta a quantidade de pixels que se encontram na sobreposição das classes de densidade e impermeabilização, sendo a diagonal principal o total de pixels para a mesma classe entre as variáveis, e a última linha da última coluna o número total de pixels da área de estudo (60.000). A tabela 4.7b possui o mesmo cruzamento, mas com os resultados apresentados percentual. A classe 1 da impermeabilização do solo, por exemplo, possui 22674 pixels ou 37,79% dos pixels sobre a classe 1 da densidade populacional, sendo a única classe que possui apenas 1 única sobreposição. As demais classes da impermeabilização do solo cruzam de maneira distribuída sobre as classes da densidade populacional. As tabelas 4.7c e 4.7d mostram os resultados do KIA por classe de cada um dos mapas, ou seja, da densidade populacional e da impermeabilização do solo, respectivamente. A única classe, como já vimos, que apresenta o valor máximo do índice é a classe 1 da impermeabilização do solo (tabela 4.7d). A classe 1 da densidade populacional (tabela 4.7c) possui um valor significativo de 0,91. No entanto, as demais classes possuem valores abaixo de 0,7, não representando boa compatibilidade no cruzamento entre as classes.

O valor KIA para toda a superfície das duas variáveis é de 32,59%, concluindo que a compatibilidade existente entre as dez classes da densidade populacional e da impermeabilização do solo não é significativa, pois é menor do que 70%. Contudo, é importante lembrar que o valor do KIA não é relevante estatisticamente, mas demonstra a compatibilidade existente entre dois conjuntos de dados.

Com base nas informações da tabela 4.7, foi feita um novo agrupamento entre as classes para se obter um KIA mais significativo. A tabela 4.8 mostra como foi realizado o novo agrupamento tomando como base a tabela 4.6, pois foi através do agrupamento dos valores da tabela 4.7 que se gerou a tabela 4.8. Ou seja, pelo agrupamento dos valores totais de densidade (tabela 4.7a e b) das classes: 2, 3 e 4 chegou-se a um valor de 10.769 pixels ou 0,1795; e das classes 7, 8, 9 e 10 chegou-se a um valor de 7.840 pixels ou 0,1307. Sendo que a classe 1 possui 22.674 pixels ou 0,3779; a classe 5 possui 11.146 pixels ou 0,1858; e a classe 6 possui 7571 pixels ou 0,1262. Esse agrupamento de classes próximas, possibilitou uma melhor distribuição nos totais dos valores do KIA para a densidade populacional. O mesmo procedimento foi feito para os valores totais de impermeabilização do solo, agrupando-se as classes 2, 3, 4 e 5 com 12.657 pixels ou 0,2108; as classes 6 e 7 com 12.194 pixels ou 0,2033; e as classes 8 e 9 com 7.825 ou 0,1304; permanecendo a classe 1 com 24.040 pixels ou 0,4007 e a classe 10 com 3.284 pixels ou 0,0547.

Tabela 4.8: Subdivisão em 5 classes dos valores de densidade populacional e impermeabilização do solo.

Classes:	Densidade Populacional (hab/ha):	Impermeabilização do Solo (%):
1	0 - 1	0 – 10
2	1 – 50	10 - 50
3	50 – 75	50 – 70
4	75 – 100	70 – 90
5	100 – 423	90 – 100

As figuras 4.48 e 4.49 apresentam o resultado da classificação em cinco classes da impermeabilização do solo e da densidade populacional, respectivamente.

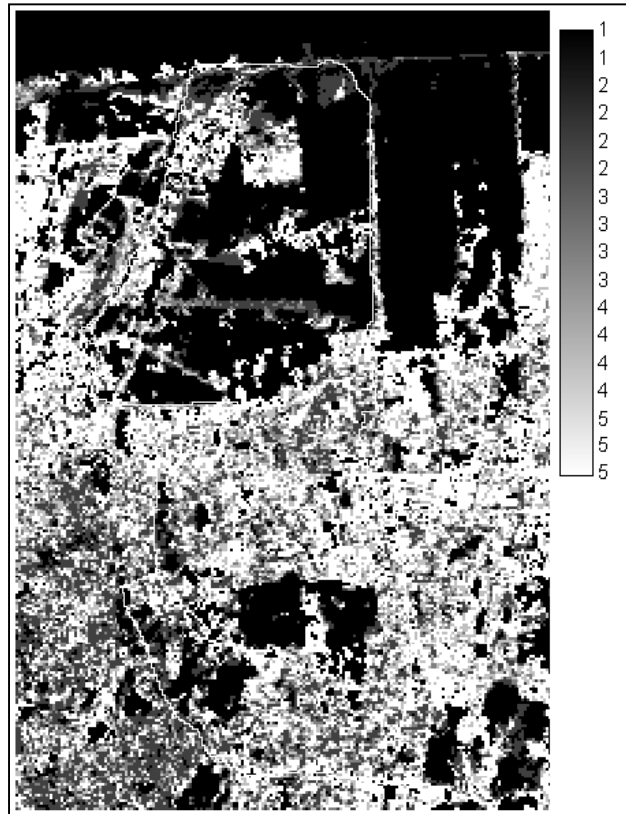


Figura 4.48: Subdivisão em 5 classes dos valores de impermeabilização do solo urbano.

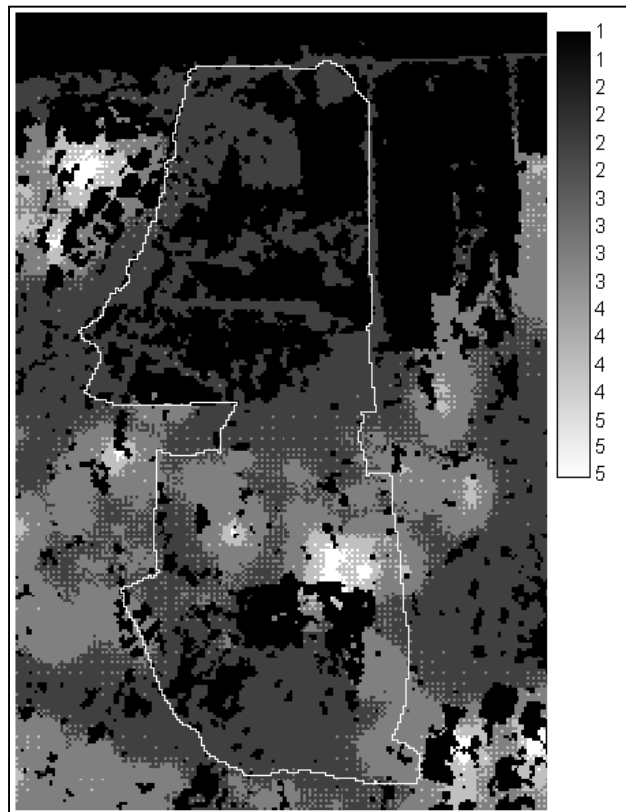


Figura 4.49: Subdivisão em 5 classes dos valores de densidade populacional.

A figura 4.50 e a tabela 4.9 apresentam os resultados do KIA para as novas condições geradas pelas 5 classes.

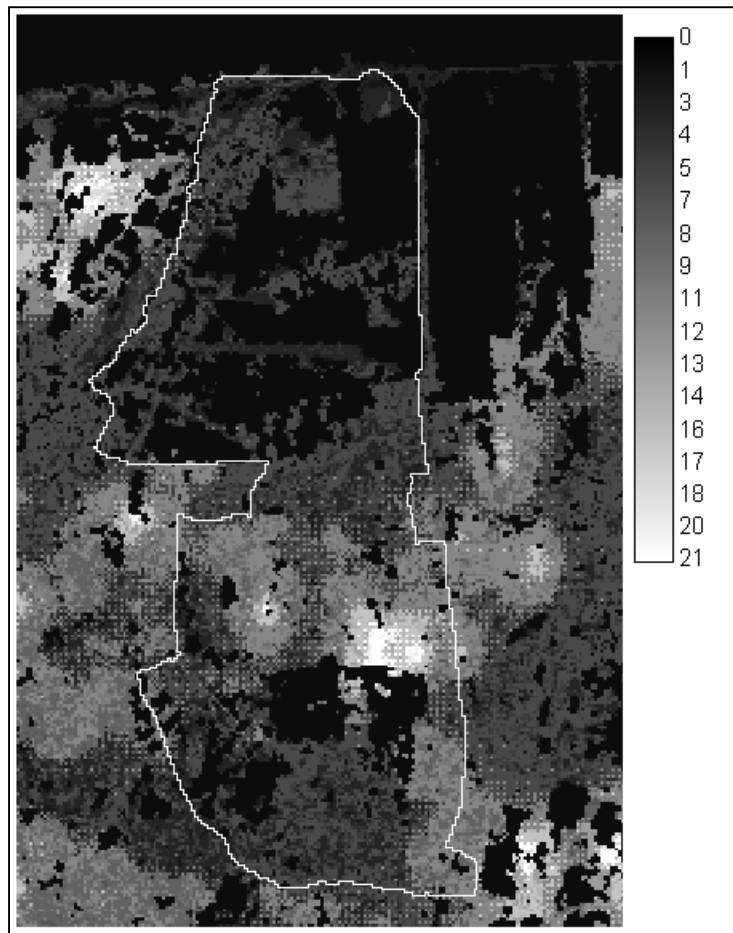


Figura 4.50: Mapa resultante do índice KIA para 5 classes, onde os valores 0-21 são as combinações encontradas entre as classes.

Tabela 4.9: Resultados do KIA para as 5 classes.

(a) Tabulação cruzada da densidade populacional (colunas) e da impermeabilização do solo (linhas):

	1	2	3	4	5	Total
1	22674	529	367	238	232	24040
2	0	3889	3800	2660	2308	12657
3	0	3256	3833	2556	2549	12194
4	0	2096	2275	1531	1923	7825
5	0	999	871	586	828	3284
Total	22674	10769	11146	7571	7840	60000

Chi Square =54867.48438

df = 16

Cramer's V = 0.4781

(b) Tabulação cruzada proporcional da densidade populacional (colunas) e da impermeabilização do solo (linhas):

	1	2	3	4	5	Total
1	0.3779	0.0088	0.0061	0.004	0.0039	0.4007
2	0	0.0648	0.0633	0.0443	0.0385	0.211
3	0	0.0543	0.0639	0.0426	0.0425	0.2032
4	0	0.0349	0.0379	0.0255	0.0321	0.1304
5	0	0.0167	0.0145	0.0098	0.0138	0.0547
Total	0.3779	0.1795	0.1858	0.1262	0.1307	1

(c) Utilizando a densidade populacional como referência:

Categoria	KIA
1	1
2	0.1903
3	0.1765
4	0.0826
5	0.0538

(d) Utilizando a impermeabilização do solo como referência:

Categoria	KIA
1	0.9087
2	0.1557
3	0.1579
4	0.0795
5	0.1397

Kappa index of agreement = 0.394

Os resultados apresentados pela tabela 4.9 apresentaram uma melhora de 20,9% no valor do KIA (KIA= 39,4%) em relação ao da tabela 4.7 (KIA= 32,59%). As classes foram reduzidas pela metade, mas o valor do KIA não obteve o aumento proporcional esperado. Um dos fatores dessa baixa produtividade pode estar relacionado a dissonância entre o agrupamento das classes pela tabela 4.7. Uma nova sugestão de subdivisão em 5 classes é feita e apresentado pela tabela 4.10.

Tabela 4.10: Subdivisão da densidade populacional e da impermeabilização do solo urbano em 5 novas classes.

Classes:	Densidade Populacional (hab/ha):	Impermeabilização do Solo (%):
1	0 - 1	0 - 10
2	1 - 50	10 - 50
3	50 - 150	50 - 75
4	150 - 250	75 - 90
5	250 - 423	90 - 100

As figuras 4.51 e 4.52 apresentam a nova subdivisão em 5 classes da impermeabilização do solo e da densidade populacional, respectivamente.

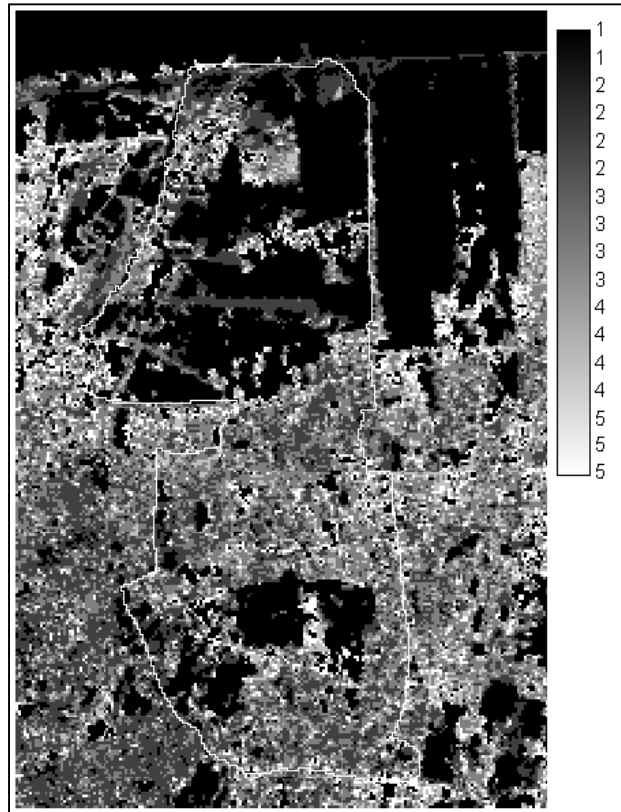


Figura 4.51: Subdivisão em 5 classes dos valores da impermeabilização do solo urbano apresentados pela tabela 4.10.

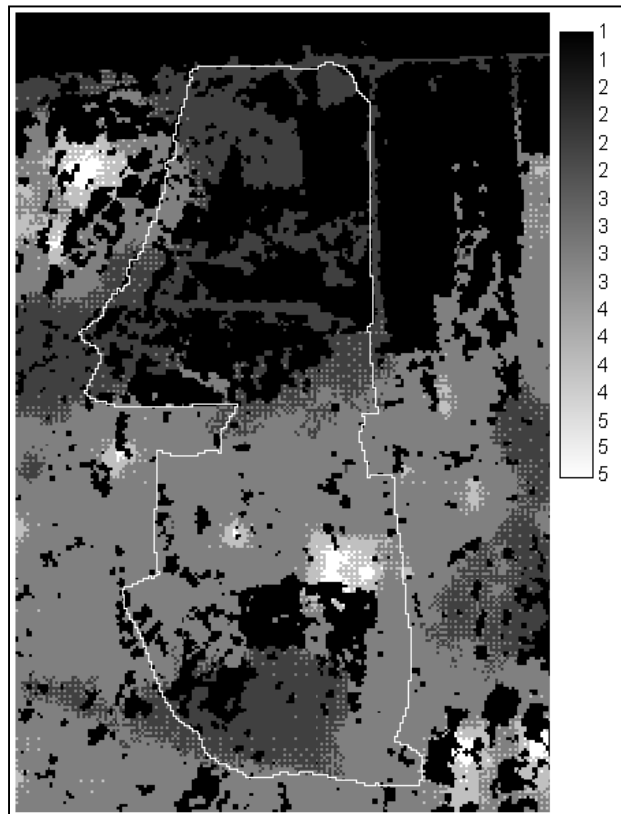


Figura 4.52: Subdivisão em 5 classes dos valores da densidade populacional apresentados pela tabela 4.10.

A figura 4.53 apresenta as 21 sobreposição encontradas entre as 5 classes das figuras 4.51 e 4.52. A tabela 4.11 apresenta os resultados dessa tabulação cruzada.

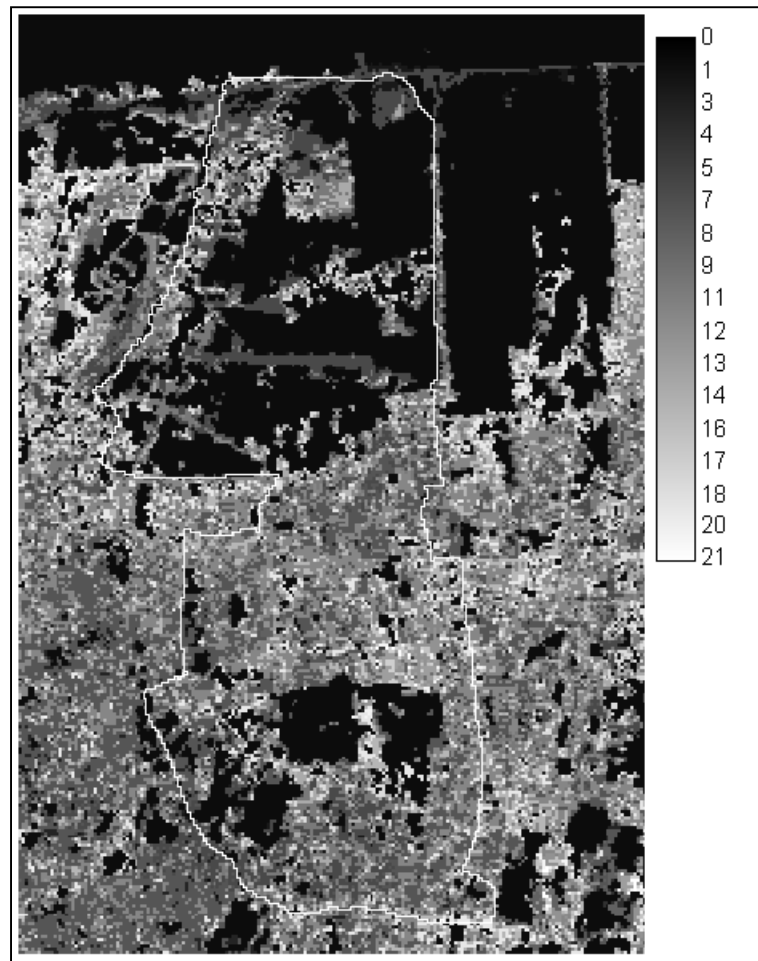


Figura 4.53: Mapa resultante do KIA para 5 novas classes das figuras 4.51 e 4.52.

Tabela 4.11: Resultados do KIA para as 5 novas classes.

(a) Tabulação cruzada da densidade populacional (colunas) e da impermeabilização do solo (linhas):

	1	2	3	4	5	Total
1	22674	529	754	73	10	24040
2	0	3889	8198	463	107	12657
3	0	3611	9111	747	196	13665
4	0	1741	4104	418	91	6354
5	0	999	2000	245	40	3284
Total	22674	10769	24167	1946	444	60000

Chi Square =54853.26953

df = 16

Cramer's V = 0.4781

(b) Tabulação cruzada proporcional da densidade populacional (colunas) e da impermeabilização do solo (linhas):

	1	2	3	4	5	Total
1	0.3779	0.0088	0.0126	0.0012	0.0002	0.4007
2	0	0.0648	0.1366	0.0077	0.0018	0.211
3	0	0.0602	0.1519	0.0125	0.0033	0.2278
4	0	0.029	0.0684	0.007	0.0015	0.1059
5	0	0.0167	0.0333	0.0041	0.0007	0.0547
Total	0.3779	0.1795	0.4028	0.0324	0.0074	1

(c) Utilizando a densidade populacional como referência:

Categoria	KIA
1	1
2	0.1903
3	0.1933
4	0.1218
5	0.0374

(d) Utilizando a impermeabilização do solo como referência:

Categoria	KIA
1	0.9087
2	0.1557
3	0.442
4	0.0345
5	0.0048

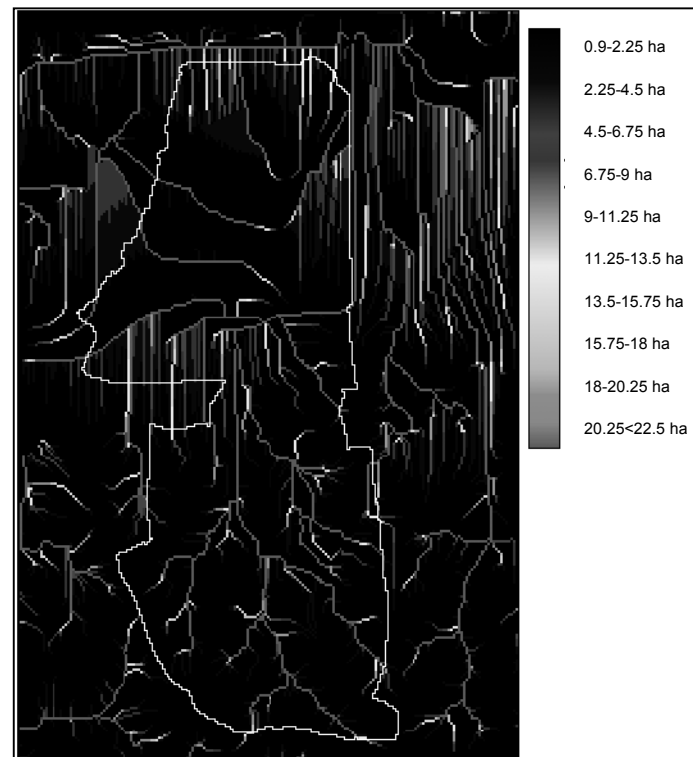
Kappa index of agreement = 0.4438

A tabela 4.11 apresentou 36,18% de melhora no valor do KIA (KIA= 44,38%) em relação ao inicial da tabela 4.7 (KIA= 32,59%) com 10 classes, melhorando em relação ao agrupamento da tabela 4.8. Essa melhora pode estar relacionada a uma subdivisão mais proporcional, principalmente, dos valores de impermeabilização do solo. Contudo, mesmo havendo elevação do KIA, o mesmo continua abaixo de um valor significativo para que as duas variáveis possuam boa compatibilidade (70%). Ou seja, não é possível concluir que qualquer alteração nos valores de densidade populacional implique em alteração proporcional dos valores de impermeabilização do solo.

Dando continuidade à construção do índice ambiental urbano (IAU), é apresentado na figura 4.54 o resultado da área acumulada relativo aos valores do MNT para que se faça um comparativo com os resultados gerados pelo IAU. A área acumulada é um cálculo utilizado nos modelos hidrológicos, como indicativo da direção do escoamento, e normalmente utiliza apenas os dados do MNT (topografia) e atribui um único valor para cada pixel igual a um (1) relativo ao volume de chuvas. No IAU esse valor único é transformado, utilizando-se para isso o produto da densidade, impermeabilização e coseno da declividade, havendo assim um peso diferenciado em cada pixel. A figura 4.55 é uma reclassificação da figura 4.54 e ilustra sub-bacias com contribuição de 1 pixel ou 0,9 ha até 250 pixels ou 22,5 ha.



Figura 4.54: Área acumulada calculada a partir apenas do MNT.



4.55: Mapa reclassificado da área acumulada até 250 pixels ou 22,5 ha de contribuição.

A reclassificação feita na figura 4.55 torna mais visível de que maneira cada canal de escoamento da figura 4.54 recebe contribuição e de que local. A faixa de valores entre 1 até 250 pixels ou 0,9 até 22,5 ha foi escolhida após analisar o histograma da figura 4.54 que apresenta 95,18% dos pixels (ou seja, 57.108 pixels) com contribuição entre esses valores. Na área ao sul da figura 4.55 é possível perceber que são formadas pequenas sub-bacias, ou seja, o escoamento que antes era representado por três canais na figura 4.54, agora é subdividido e apresenta diversos canais menores, representando uma boa condição de escoamento natural dessa região. O mesmo não acontece na área ao norte da figura 4.55 que apresenta linhas retas como contribuição ao canal principal e isso se dá pela condição plana dessa região e pela falta de informação topográfica mais detalhada (condição da fonte de dados).

Dentro do IAU, os valores utilizados da impermeabilização do solo e da densidade populacional são relativos as cinco classes referentes às figuras 4.51 e 4.52. Esses valores são multiplicados entre si e formam um produto que é apresentado na figura 4.56. Juntamente com os valores do MNT (figura 4.34) e o coseno do mapa de declividade apresentado pela figura 4.57, será gerado um segundo produto, agora com quatro variáveis (densidade, impermeabilização, topografia e coseno da declividade), apresentado na figura 4.58.

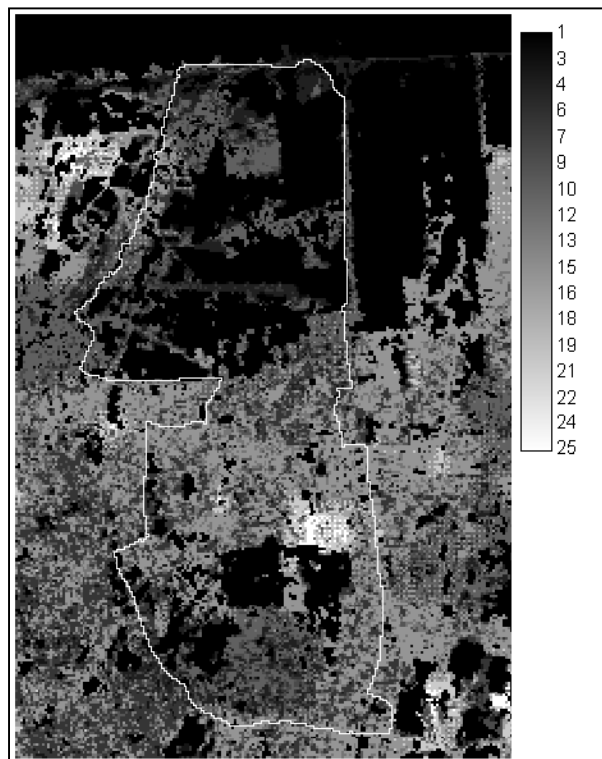


Figura 4.56: Mapa resultante do produto entre a impermeabilização do solo urbano (figura 4.51) e a densidade populacional (figura 4.52) com o limite da bacia em branco.

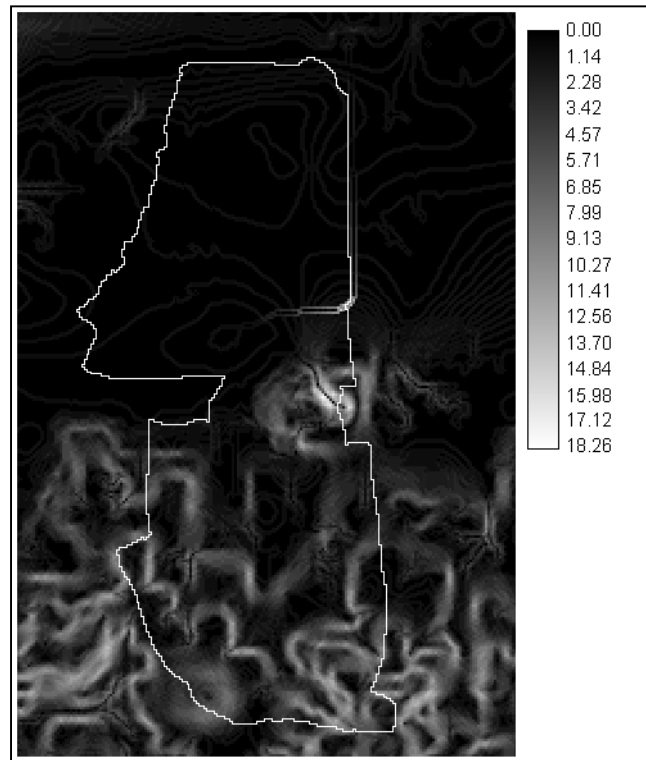


Figura 4.57: Mapa da declividade calculado a partir do MNT da figura 4.34.

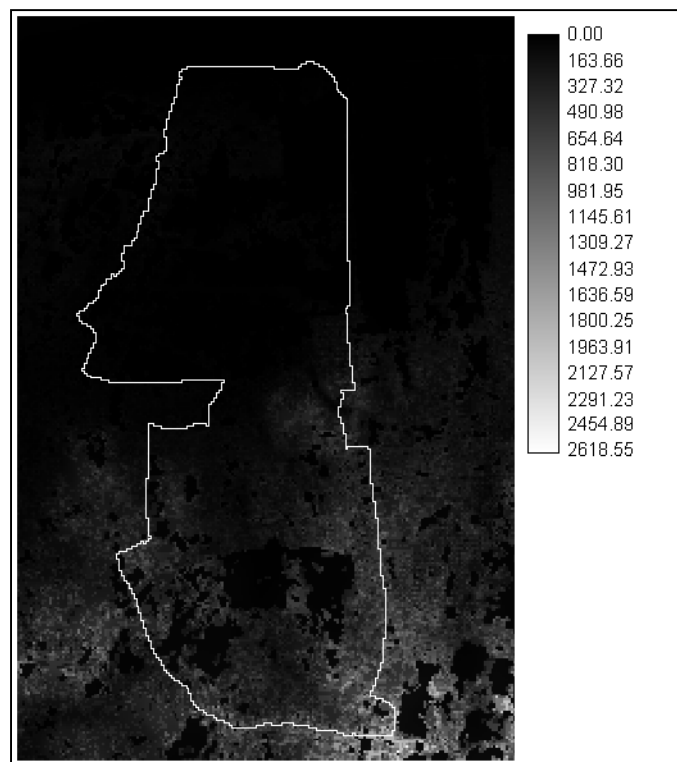


Figura 4.58: Produto da multiplicação entre impermeabilização do solo, densidade populacional, topografia e coseno da declividade (figura 4.34 x figura 4.56 x figura 4.57) com o limite da bacia em branco.

A figura 4.57 mostra a declividade, que pode ser apresentada em graus ou em percentual, e é calculada a partir do mapa do MNT. Para extrair, posteriormente, os valores do cosseno, é preciso transformar a declividade em graus (valores de -1 até +1) para radiano (valores de 0 até +1). O mapa com os valores dos cossenos não é apresentado, pois não é bom exemplo ilustrativo, possuindo baixo contraste. A figura 4.59 apresenta o mapa ilustrativo do IAU sem os valores, mas apenas a legenda de cores que vai desde áreas com menor impacto até áreas com maior impacto dado os componentes utilizados pelo índice (densidade, impermeabilização, topografia e cosseno da declividade). Como a imagem 4.55, a imagem 4.59 também foi classificada para apresentar a faixa de acumulação da maioria dos pixels, neste caso, a faixa foi mais baixa, entre 1-50 pixels de contribuição para um conjunto de 98,10% dos pixels. A equação 4.3 relembra o cálculo do IAU (equação 3.11 apresentada na metodologia).

$$IAU = A_s \times I \times D \times \cos \beta$$

4.3

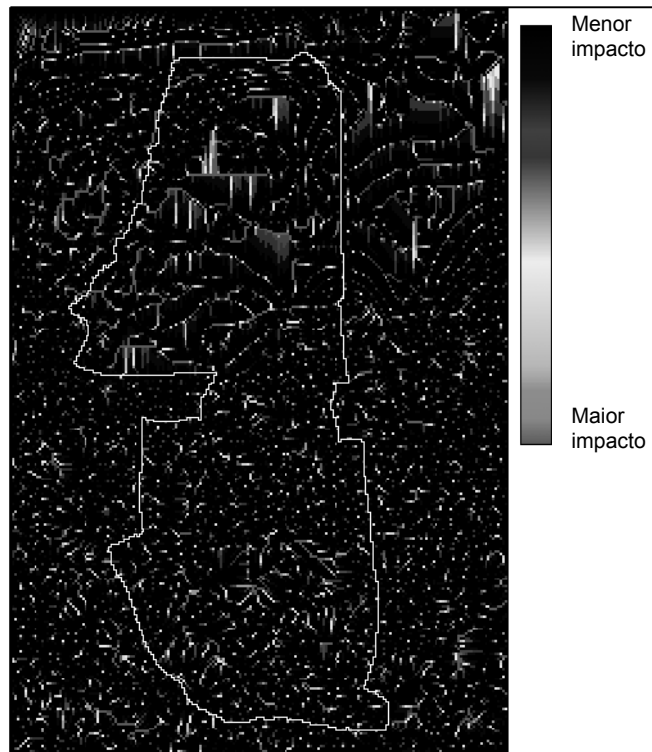


Figura 4.59: Índice ambiental urbano calculado a partir da figura 4.58 com o limite da bacia em branco.

A figura 4.54 apresentou a situação normal de drenagem da bacia com um acúmulo máximo de 24.927 pixels no pixel mais à jusante, por outro lado a figura 4.59 apresentou os acúmulos localizados em pequenas regiões e não distribuídos ao longo dos canais naturais. Pela indicação do índice, a região à jusante (ao norte da bacia) apresenta situação de maior impacto, sendo que a região à montante (ao sul da bacia) apresenta menor incidência de locais com maior impacto. Contudo, a situação dos locais ao norte é compreendida pela condição natural da área (plana e alagadiça). No entanto, a situação ao sul é mais preocupante, por mais que apresente pouca incidência de maior impacto, pois é um local com boa declividade e com condições favoráveis de escoamento das água, mas a situação começa a ser invertida quando é adicionado outros componentes dentro do comportamento de escoamento, como a densidade populacional e a impermeabilização do solo. Nesse sentido, com o IAU é possível obter um resultado que saliente possíveis problemas de drenagem da bacia.

Para melhor observar os efeitos à jusante dos problemas causados pela densidade e impermeabilização, foi realizado uma alteração em algumas áreas do terreno em estudo que apresentavam valores baixos, aumentando ao máximo esses valores. Serão realizadas três simulações diferenciadas. A primeira é apresentada na figura 4.60 com as alterações realizadas no mapa da densidade populacional. O produto entre as variáveis é apresentado na figura 4.61 e o IAU dessa alteração é apresentado na figura 4.62 que foi classificada para destacar a faixa de acumulação da maioria dos pixels que, neste caso, está entre 1-50 pixels de contribuição para o conjunto de 98,06% dos pixels. A figura 4.63 mostra a diferença entre os resultados inicial (figura 4.59) e alterado (figura 4.62) através da equação 4.4:

$$\%mudança = \frac{(alterado - inicial)}{inicial} \quad 4.4$$



Figura 4.60: Alteração de duas áreas dentro da bacia com aumento dos valores de densidade populacional.

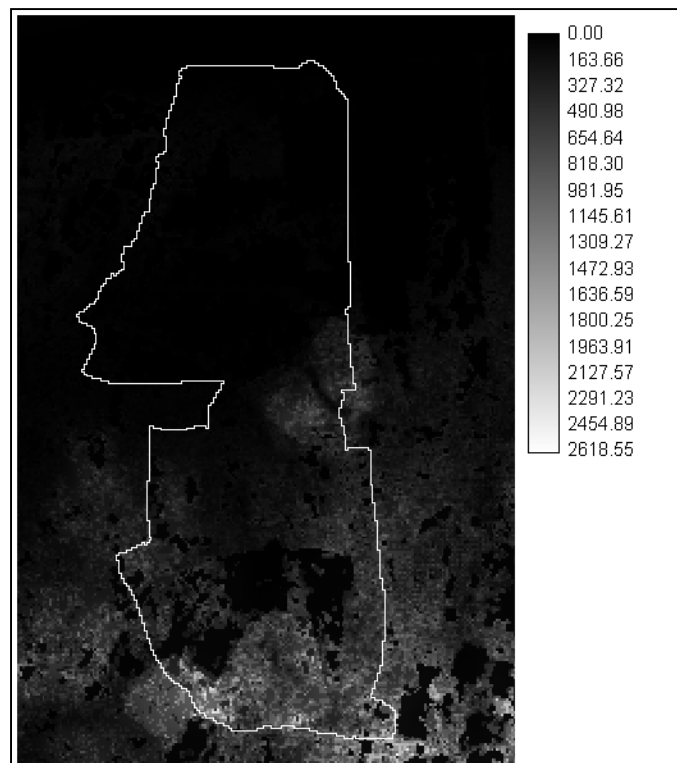


Figura 4.61: Produto da densidade populacional (alterada), impermeabilização do solo (inicial), topografia e coseno da declividade.

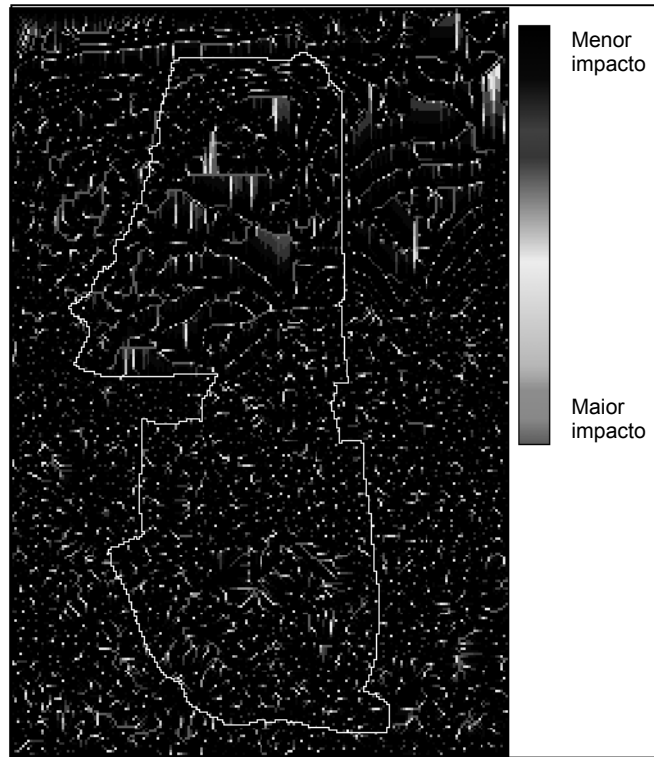


Figura 4.62: Índice ambiental urbano dos valores da figura 4.61.

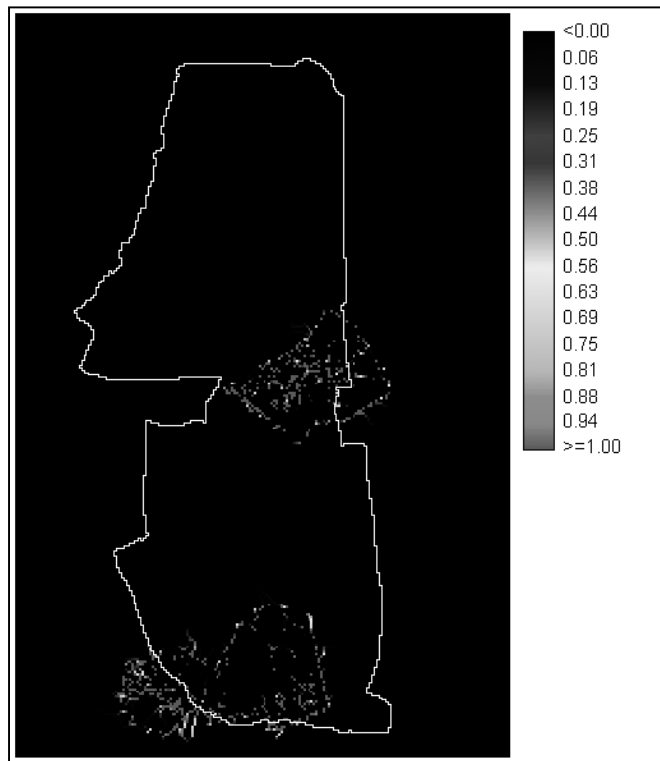


Figura 4.63: Percentual de mudanças entre o resultado inicial para o índice da figura 4.59 e o alterado da figura 4.62.

A alteração nos valores da densidade populacional mostra que a mudança fica apenas dentro das áreas alteradas, com alguns efeitos percebidos para fora dessas áreas à jusante da região, comprovando a hipótese inicial da pesquisa. A segunda simulação é feita alterando-se apenas os valores da impermeabilização do solo, sendo a área alterada mantida nos seus limites anteriores. A figura 4.64 apresenta a alteração no mapa de impermeabilização do solo. A figura 4.65 apresenta o produto da densidade populacional (inicial), impermeabilização do solo, topografia e coseno da declividade. A figura 4.66 apresenta o IAU dos valores da figura 4.65 com a faixa de acumulação da maioria dos pixels entre 1-50 pixels de contribuição para o conjunto de 97,94% dos pixels. A figura 4.67 apresenta o percentual de mudança entre o resultado inicial e a alteração na impermeabilização.

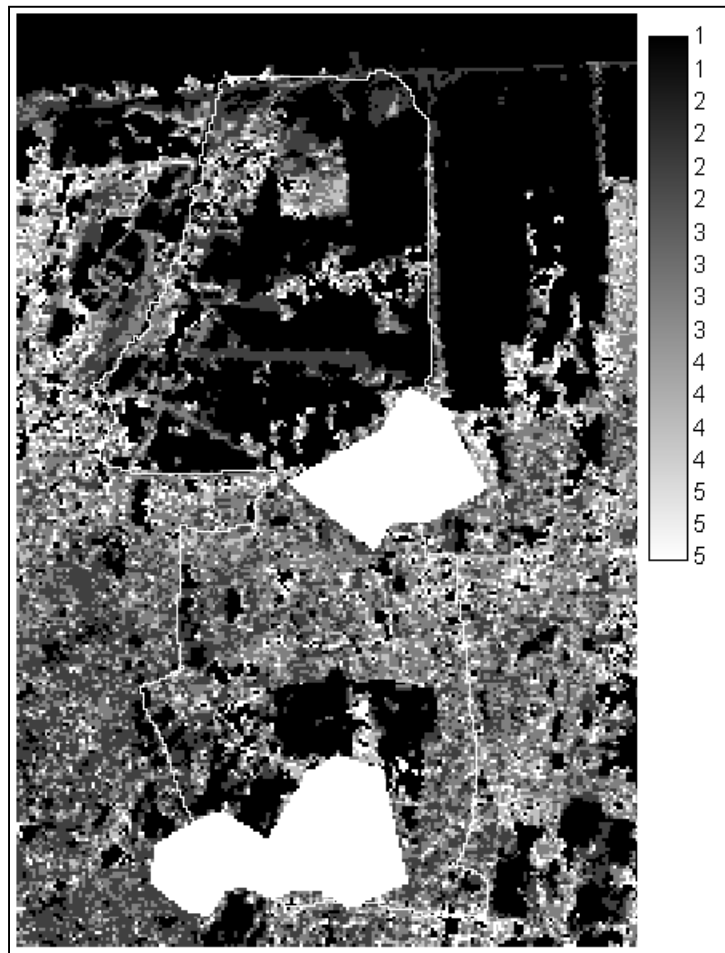


Figura 4.64: Alteração de duas áreas dentro da bacia com aumento dos valores de impermeabilização do solo.

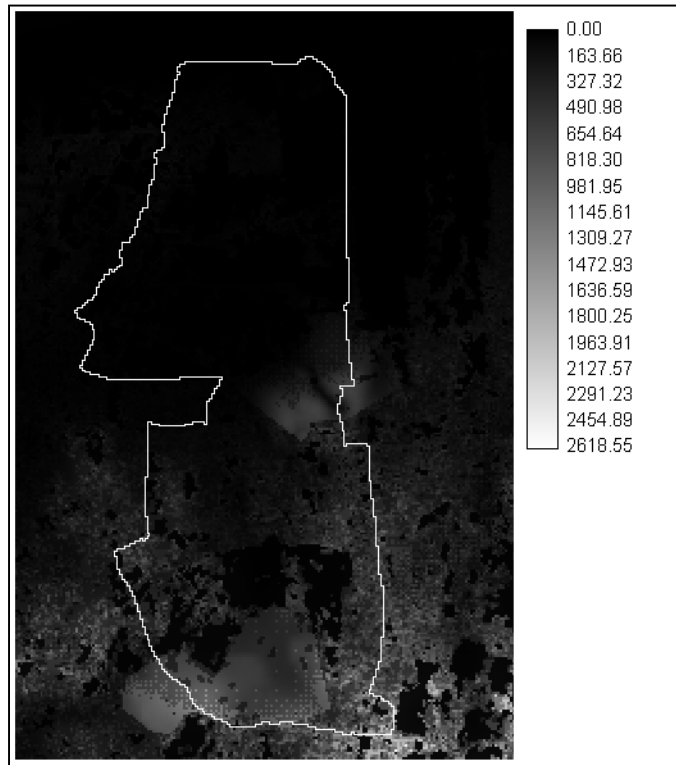


Figura 4.65: Produto da densidade populacional (inicial), impermeabilização do solo (alterada), topografia e coseno da declividade.

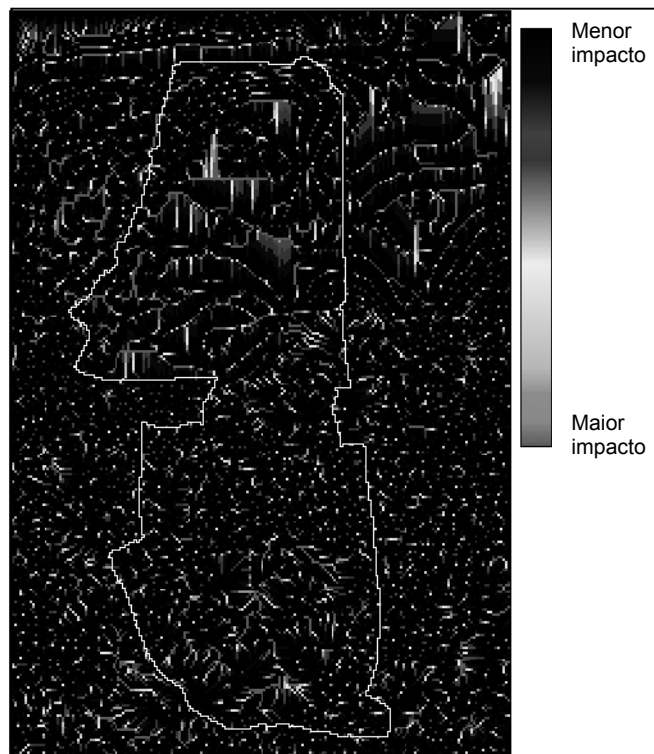


Figura 4.66: Índice ambiental urbano dos valores da figura 4.65.

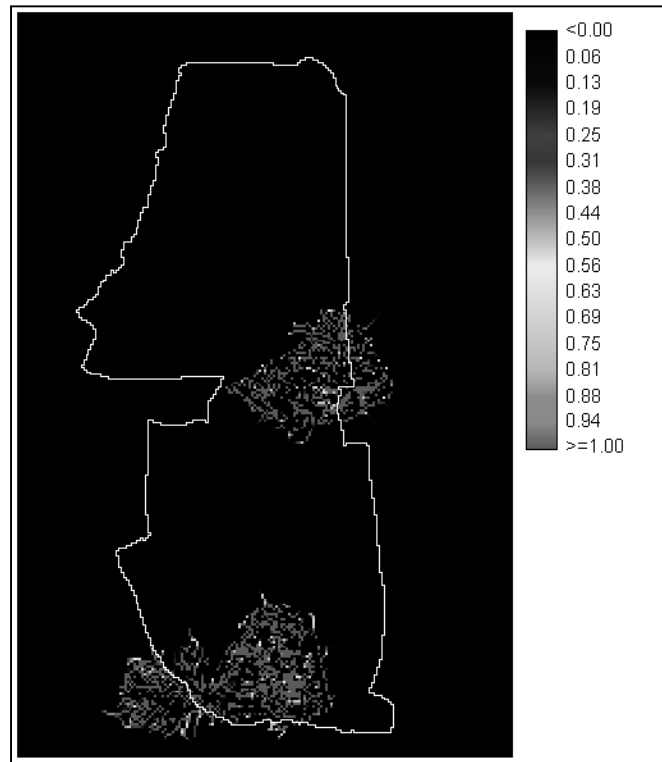


Figura 4.67: Percentual de mudança entre o índice inicial da figura 4.59 e o alterado da figura 4.66.

A alteração dos valores da impermeabilização do solo surtiu efeito maior do que a alteração dos valores de densidade populacional, isso é observado na comparação entre as figuras 4.63 e 4.66. Na figura 4.66, o índice se mostrou mais elevado ainda na posição à montante da bacia, indicando que a área possui uma tendência natural para alagamentos frente à densificação construtiva (impermeabilização do solo). Isso demonstra que mesmo não havendo um acréscimo de população na área (habitações), esta deve sofrer com a urbanização referente, por exemplo, ao aumento de construções comerciais, asfaltamento de ruas e áreas de estacionamentos.

A seguir, o mesmo procedimento de alteração de valores das áreas será realizado para ambos os valores de densidade populacional e impermeabilização do solo. A figura 4.68 mostra o produto da alteração entre a densidade e a impermeabilização. A figura 4.69 apresenta o produto das quatro variáveis (densidade, impermeabilização, topografia e coseno da declividade). A figura 4.70 apresenta o resultado do índice ambiental urbano para essa simulação com a faixa de acumulação da maioria dos pixels entre 1-50 pixels de contribuição para o conjunto de 97,89% dos pixels. A figura 4.71 é o resultado do percentual de mudança entre a situação inicial e a alterada para a densidade juntamente com a impermeabilização.

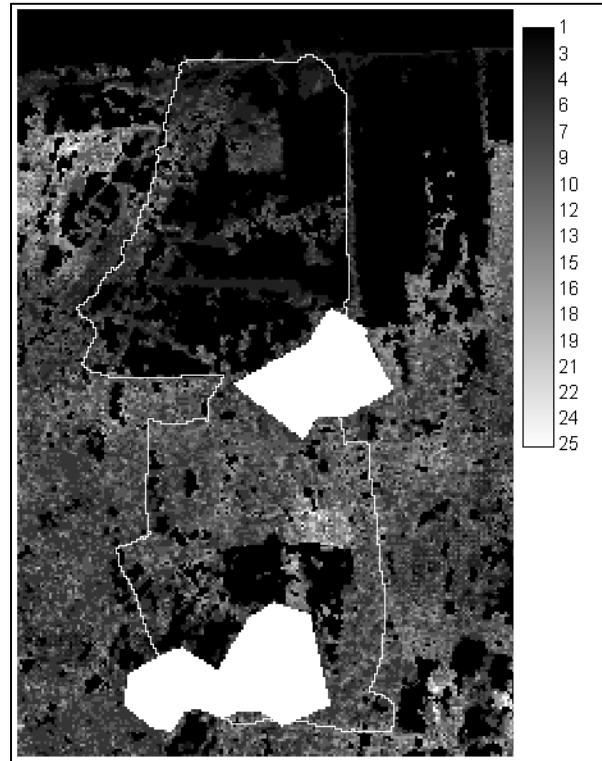


Figura 4.68: Alteração de áreas dentro da bacia com aumento dos valores de densidade populacional e impermeabilização do solo.

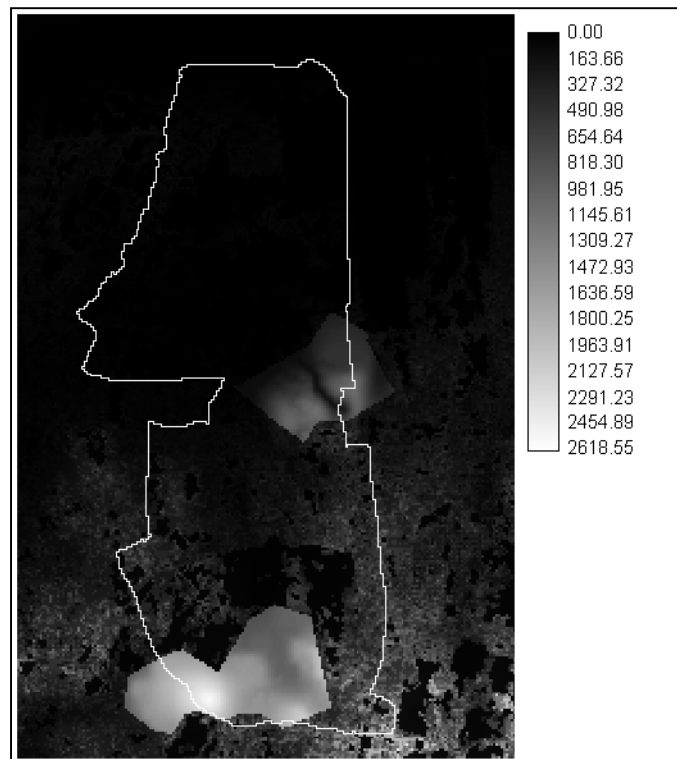


Figura 4.69: Produto da densidade populacional (alterada), impermeabilização do solo (alterada) e da topografia e o coseno da declividade.

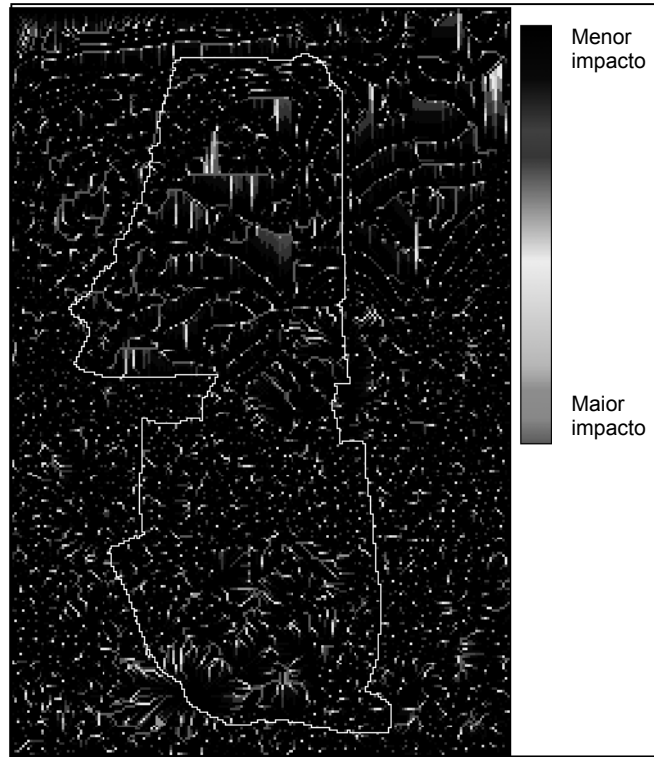


Figura 4.70: Índice ambiental urbano dos valores da figura 4.69.

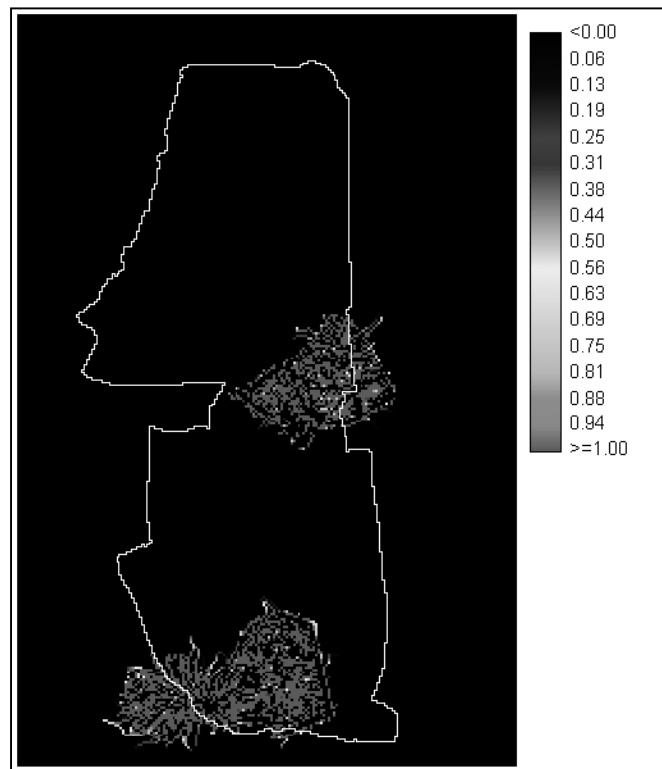


Figura 4.71: Percentual de mudança entre o índice inicial da figura 4.59 e o alterado da figura 4.70.

Como esperado pelas alterações anteriores, o efeito do aumento dos valores de densidade populacional e impermeabilização do solo é percebido mais intensamente na região alterada. Algum efeito é percebido fora dessa região, mas ainda bastante próximo. A intensidade dos valores do índice (figura 4.70) é o que nos leva a concluir que existem áreas na bacia que sofrem mais com o aumento da urbanização. É interessante notar a contribuição do IAU (figuras 4.59, 4.62, 4.66 e 4.70) nas análises urbanas se compararmos os resultados gerados apenas pela topografia da região (figura 4.53). A inserção das variáveis densidade populacional e impermeabilização do solo são fundamentais nessa diferença de resultados e para que a análise também seja reconhecida dentro do planejamento urbano.

Frente aos resultados apresentados, algumas considerações podem ser feitas quanto à aplicabilidade do índice ambiental urbano. Pode-se citar inicialmente o projeto Pró-Guaíba que trabalha com as bacias que possuem influência sobre o lago Guaíba. A figura 4.72 mostra um dos mapas disponíveis na página eletrônica do projeto (www.proquaiba.rs.gov.br) referente à criticidade quanto às cheias das bacias do projeto.

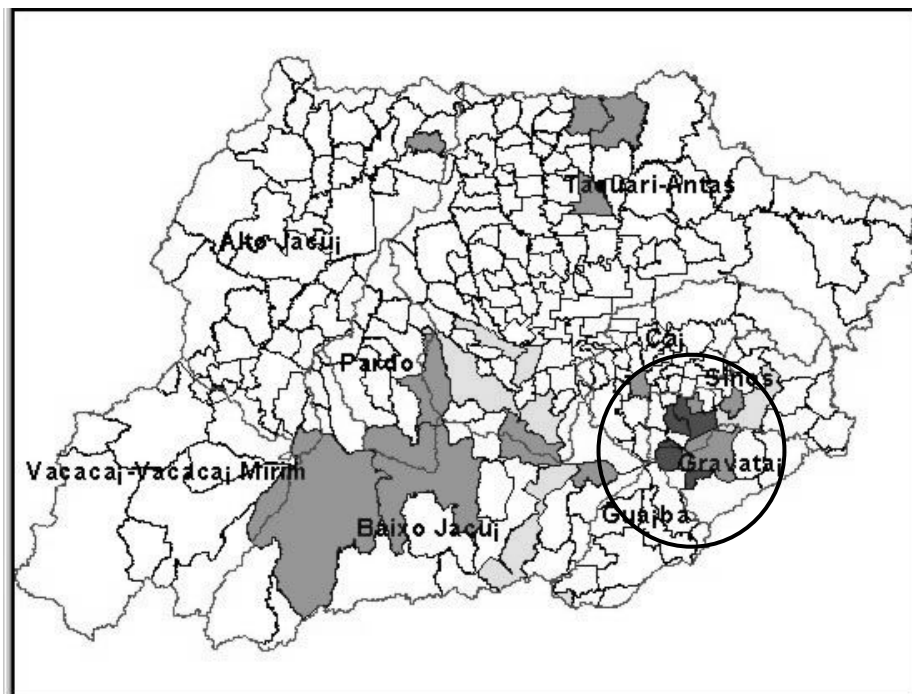


Figura 4.72: Mapa com a criticidade das enchentes nas bacias do projeto Pró-Guaíba, com destaque a bacia do Gravataí que foi classificada como alto grau de criticidade quanto às enchentes.

Na figura 4.72 é possível observar que a bacia do Gravataí é uma das bacias com alto grau de criticidade quanto às cheias (quanto mais intenso a tonalidade, mais crítico é o estado da bacia). Essa informação é importante, pois a bacia do Passo da Areia é integrante da bacia do Gravataí, sendo assim uma sub-bacia do Gravataí. A integração com índice ambiental urbano, neste caso, pode gerar informações mais detalhadas sobre o potencial de impermeabilização desta sub-bacia, que certamente deve afetar as condições críticas de enchentes da bacia do Gravataí. Isso, pode ampliar as possibilidades de levantamento do projeto Pró-Guaíba, pois até o momento não houve interesse ainda de anexar os dados urbanos quanto à impermeabilização do solo, por exemplo, nas análises de criticidade do projeto.

A segunda aplicabilidade que o índice ambiental urbano pode ser útil é na análise de planos diretores. Com o crescimento das cidades e a necessidade de ampliar habitações, normalmente novos planos diretores sugerem taxas de densificação para a cidade, baseando-se em estudos feitos sobre a tendência de crescimento do município, características do antigo plano e novas regras que instituem, por exemplo, o Solo Criado como é o caso do 2º PDDUA para Porto Alegre (Porto Alegre, 2000a). O solo criado é um incentivo negociado entre a prefeitura e as incorporadoras para aumentar o índice construtivo de um terreno, aumentando não apenas a edificação como a arrecadação municipal. Pode-se dizer que o solo criado é um banco de terras negociado entre os interessados no mercado de terras. Para o 2º PDDUA, foi compreendido que é necessário otimizar as infra-estruturas existentes na cidade, baseando-se no conceito de cidade sustentável, e com isso aumentar a densidade urbana. A justificativa é apresentada na tabela 4.12 a seguir.

Tabela 4.12: Tabela comparativa de custos em infra-estrutura com relação à densidade das unidades territoriais de planejamento (UTP) para Porto Alegre (Fonte: Porto Alegre, 1998, p.44).

Densidade da UTP (econ/ha)	Custo em infra-estrutura (US\$)
30 econ/ha	4.250,00
150 econ/ha	800,00

Com base na tabela 4.12 se percebe que há um ganho de 120 econ/ha por UTP (unidade territorial de planejamento) com uma redução no custo de infra-estrutura de US\$ 3.450,00. Sendo que a informação levantada é que 80% das UTPs em Porto Alegre possuem apenas 30 econ/ha, ou seja, 80% das UTPs possuem uma baixa otimização das infra-estruturas disponíveis pelo município.

Entretanto, pelos resultados apresentados nesta pesquisa (gerados a partir de dados censitários de 1991 e da imagem classificada de 1995), a região que integra a bacia do Arroio da Areia já apresenta problemas na infra-estrutura de drenagem. Pela nova proposta de adensamento sugerida no 2º PDDUA, as infra-estruturas de drenagem terão seus problemas agravados.

A otimização das infra-estruturas através do aumento da densidade urbana (econ/ha) pode ser uma forma de se solucionar os gastos públicos. No entanto, isso pode levar ao limite de soluções de engenharia, tanto para a drenagem quanto para outros serviços básicos urbanos, obrigando o aumento da capacidade desses serviços ou até mesmo a busca de soluções alternativas. Assim, é necessário que haja maior entendimento sobre as propostas de uso do solo e as influências diretas no comportamento das bacias urbanas. No que diz respeito à liberação de densidades urbanas em novos planos diretores, é possível utilizar o IAU para fazer uma análise de como será o cenário futuro da cidade no que se refere aos impactos da densificação urbanas nas bacias hidrográficas. A figura 4.73 mostra o fluxograma dos procedimentos adotados para a análise dos cenários futuros a partir dos novos planos frente ao aumento das densificações.

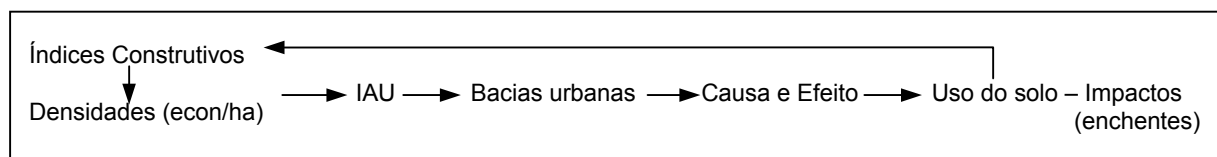


Figura 4.73: Esquema da integração entre as análises de densificação urbana e o IAU.

A figura 4.73 mostra os passos para avaliar as propostas de atualização de densificações de novos planos diretores através do IAU, da seguinte maneira: a) a partir dos índices construtivos sugeridos pelo novo plano diretor do município, calcula-se o valor futuro para densidade populacional resultante para a área; b) a partir dessa informação, utiliza-se o IAU para o cálculo do cenário futuro dos impactos gerados na(s) bacia(s); d) observa-se a situação de causa e efeito a partir da simulação do que o plano diretor prevê de aumento da densidade para a área; e) com a observação dos pontos de maior impacto detectados pelo IAU, procede-se com análises de novas propostas de controle do uso do solo para esses pontos e, finalmente, f) são revistos os índices construtivos para as áreas impactadas ou anexados novos índices que diminuam a taxa de impermeabilização do solo para as bacias afetadas. Dessa forma o planejamento urbano pode ser ainda determinado através de índices construtivos, sem que haja o desconhecimento das influências ambientais ou apenas a fundamentação econômica e social para as decisões de crescimento da cidade.

A figura 4.74 mostra o mapa do 2º PDDUA (Porto Alegre, 1997) com os níveis de densificação para as áreas de ocupação intensiva que também inclui a área da bacia estudada nessa pesquisa.

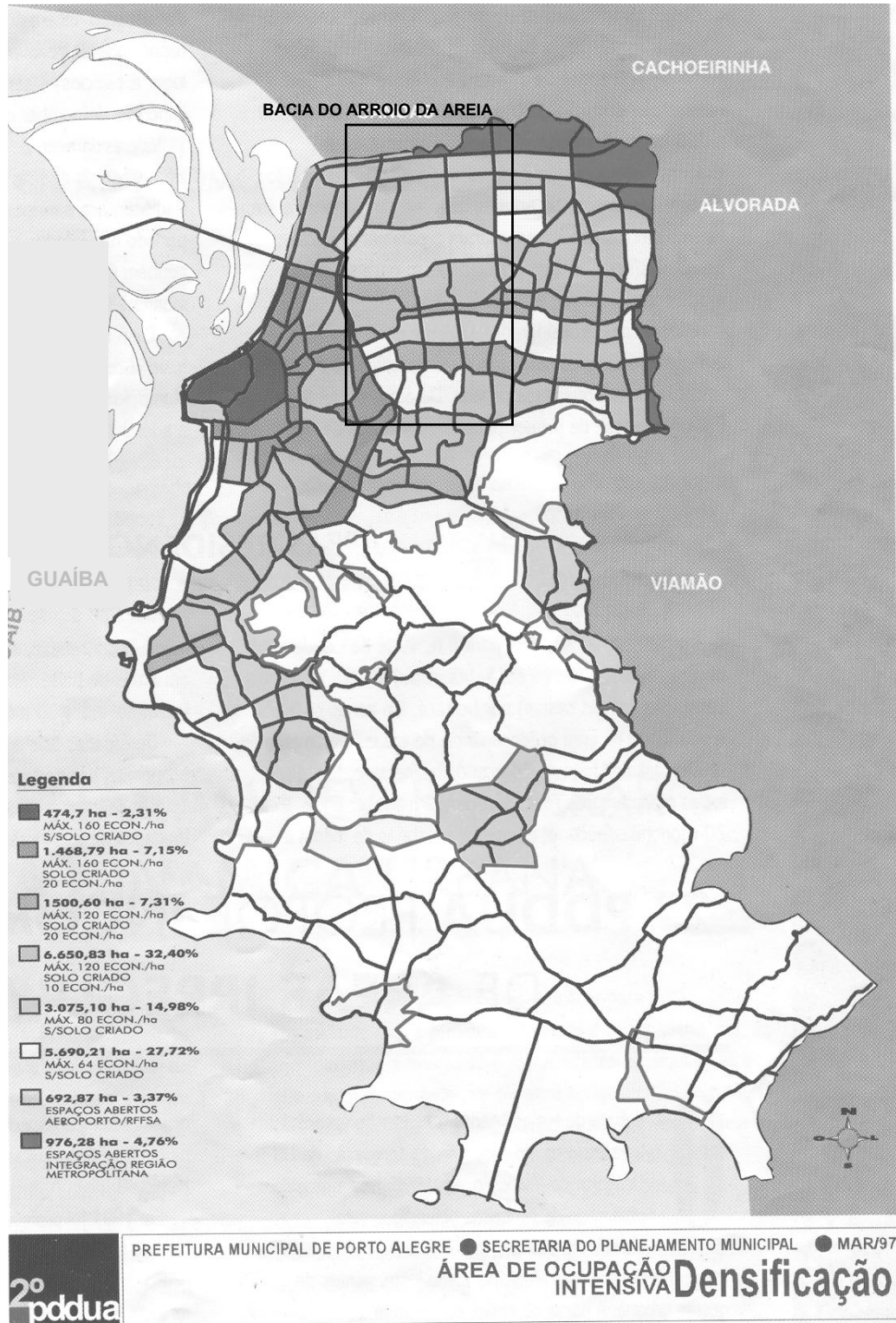


Figura 4.74: Mapa com os níveis de densificação para áreas de ocupação intensiva do 2º PDDUA e localização aproximada da bacia do Arroio da Areia (Fonte: Porto Alegre, 1997).

Na figura 4.74 observa-se que, dentro do retângulo que localiza a bacia em estudo, uma pequena parcela ao sul e à esquerda prevê a maior densificação (faixa próxima à 3ª Perimetral), onde é previsto uma densidade de 160 economias por hectare, mais solo criado com 20 economias por hectare, sendo que o valor de 160 econ/ha é correspondente à 512 hab/ha. O restante da área da bacia recebe valores de 64 até 120 econ/ha ou 205 até 384 hab/ha, respectivamente. Observado o comportamento atual de tais áreas podemos visualizar as implicações do novo plano diretor. A figura 4.5, apresentada no início desse capítulo, é um exemplo da tipologia atual com densidade em torno de 50 hab/ha e está próximo à área que receberá maior densificação pelo novo plano. As figuras 4.8 e 4.9 ilustram outra área que hoje apresenta uma densidade de 100 hab/ha e que também receberá incentivos à densificação (205-384 hab/ha), bem como, a figura 4.15 que já possui uma densidade maior, entorno dos 250 hab/ha. A figura 4.19 mostra o assentamento irregular da vila Dique que possui uma densidade de 75 hab/ha e não representa área diferenciada dentro do mapa de densificação, estando incluída em dois tipos de área: uma de incentivo à densificação de 256 hab/ha e outra como espaço aberto (Aeroporto).

Contudo, pelos valores apresentados nesta pesquisa, existem setores censitários com valores superiores à 650 hab/ha (densidade bruta), que com a sobreposição da imagem classificada esses valores sobem acima de 1.000 hab/ha (densidade líquida), pois a área construída dentro do setor censitário é menor do que a área do polígono que representa o setor, aumentando assim o valor da densidade populacional. Conclui-se que ao analisar as variáveis densidade populacional e impermeabilização do solo dentro de polígonos delimitados apenas pelas áreas construídas, pode-se perceber melhor as implicações desses valores no ambiente urbano (no caso, na bacia hidrográfica). Sem uma análise intra-urbana, alguns equívocos podem ser cometidos dentro do planejamento urbano, como por exemplo, a densificação urbanística proposta para Porto Alegre que pode piorar as situações de alagamentos, pois a relação de causa-efeito (urbanização-impactos em bacias) não é observada. Pelo que a pesquisa demonstrou a área próxima ao Aeroporto ou a área ao Norte da bacia é altamente inundável, mesmo assim, há a densificação da área pelo novo plano. Este seria um exemplo de área que seria fortemente descartada como habitável ou de densificação se o IAU fosse incluído como instrumento de planejamento.

No entanto, tanto para áreas como a citada anteriormente ou áreas que podem contribuir para o melhor funcionamento da bacia, existem propostas de desenho urbano que melhorem as condições de permeabilidade. Ou seja, a cidade pode ser adensada sem que haja prejuízos ao meio ambiente se juntamente for observada as condições de densidade populacional, impermeabilização do solo e topografia. A figura 4.75 (figura 2.5 no capítulo 2) é um bom exemplo do que pode ser proposto como solução no aumento da permeabilidade do solo em loteamentos residenciais.

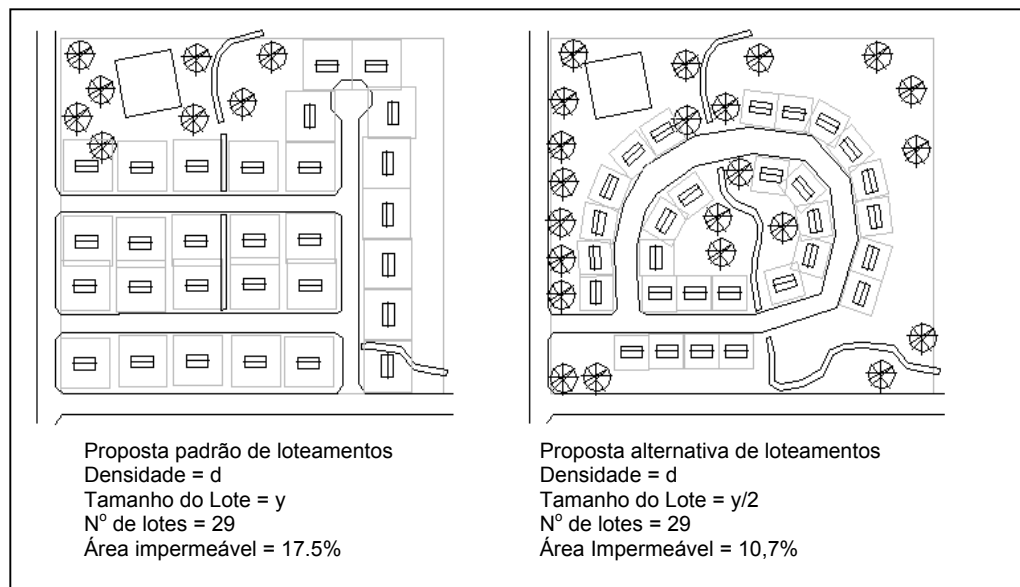


Figura 4.75: Exemplo de propostas de loteamentos residenciais para aumento de permeabilidade do solo.

Pela figura 4.75, há uma redução de 50% no tamanho dos lotes (terreno individualizado), mas a área aberta, destinada ao lazer do condomínio residencial, é ampliada e isso possibilita que haja maior área de infiltração da água da chuva. Este tipo de proposta possibilita inclusive que o canal natural da água seja mantido, sem que haja canalização fechada e, com isso, aumento de custo na infra-estrutura que, também, pode ser revertido na instalação de uma estação de tratamento do esgoto doméstico, por exemplo. A figura 4.76 é outro tipo de exemplo de melhora nas condições de drenagem de áreas de comércio com grandes estacionamentos (McPherson, 2001).

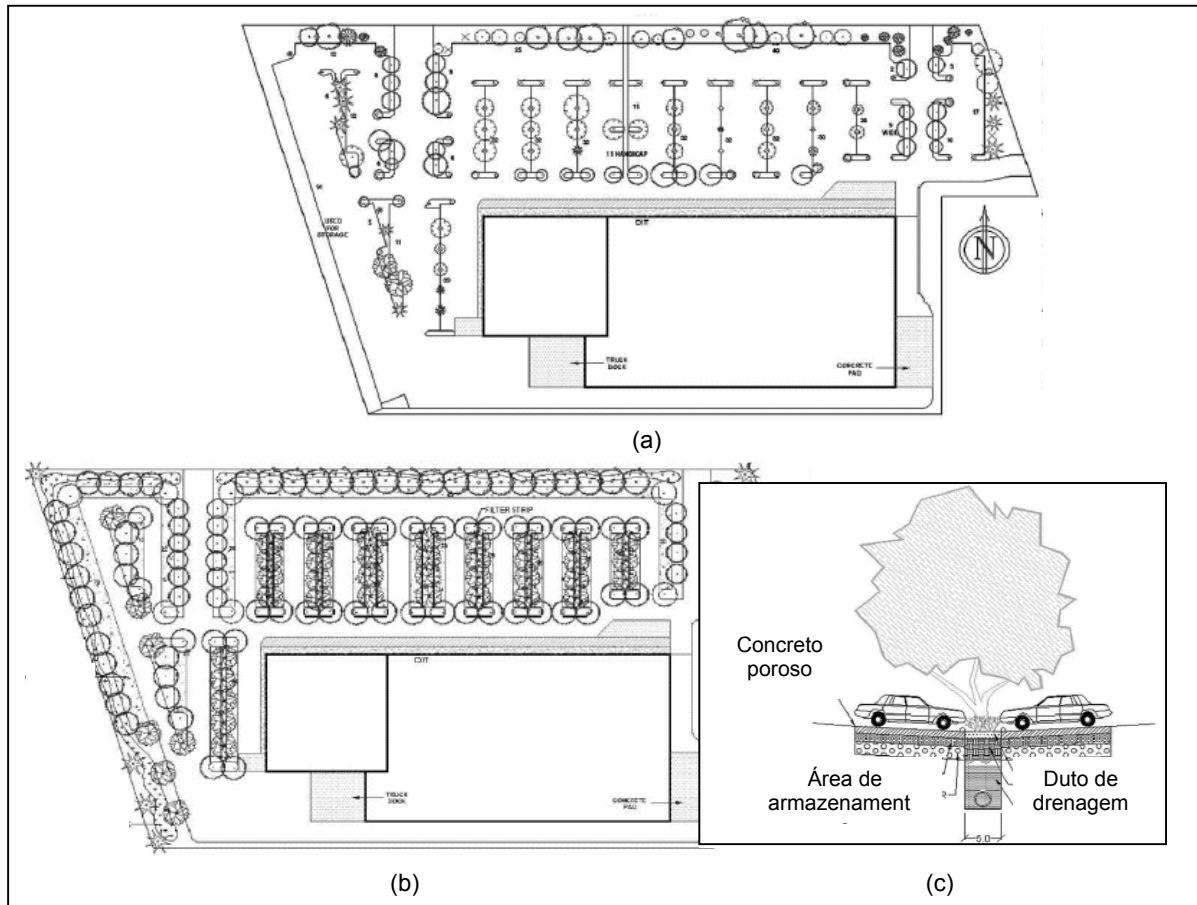


Figura 4.76: Exemplo de projetos comerciais, onde (a) é a proposta original, (b) a nova proposta e (c) mostra o novo sistema de drenagem (Fonte: McPherson, 2001).

A proposta da figura 4.76b há aumento da vegetação possibilitando maior absorção da água, bem como, melhora as condições de habitabilidade como a diminuição na temperatura do próprio pavimento do estacionamento. A diferenciação de pavimentação (figura 4.76c) com áreas impermeáveis (vias) e permeáveis (vagas e canteiros), faz com que a água das chuvas seja direcionada e armazenada no próprio lote durante um determinado período. Nesse sentido, mesmo havendo diminuição de vagas, o benefício gerado para a infra-estrutura de drenagem e para o próprio ambiente minimizam essa perda. Os dois exemplos demonstram a possibilidade de viabilizar o crescimento urbano com minimização de impactos ao meio ambiente, neste caso, auxiliando as condições de drenagem do solo, diminuindo a transferência do volume de água à jusante.

O uso de soluções alternativas como as apresentadas pelas figuras 4.75 e 4.76 contribuem para uma melhora significativa das condições ambientais urbanas. Aliado ao levantamento de situações ambientais problemáticas, como as de drenagem urbana, é possível avançar para o desenvolvimento sustentável das cidades. Sendo que esse desenvolvimento inclui não apenas o melhor desempenho das infra-estruturas urbanas, mas o melhor desenvolvimento econômico da cidade, diminuindo os gastos que alagamentos ou enchentes podem causar à população e aos estabelecimentos localizados em locais de maior impacto; também melhora o desenvolvimento social se for considerado a proibição de habitações irregulares em locais de grande impacto como a relocação dessas populações para locais mais seguros, ou mesmo de populações regulares, mas que encontram-se em situações de risco; enfim, considerando os melhores locais para que cada tipo de uso urbano tenha melhores chances de contribuir para o desenvolvimento da cidade, com mais equilíbrio e com o corte de gastos desnecessários.

Assim, como sugestão para adequação do uso do solo urbano, cada projeto aprovado pela prefeitura, além de contar com a avaliação das condições do mesmo frente ao código de obras e do plano diretor, pode ainda ser anexado uma avaliação do projeto no que diz respeito às condições ambientais que esse lote vai contribuir para a cidade, como é a situação hoje dos projetos aprovados pela prefeitura de Belo Horizonte que possuem uma taxa de impermeabilização mínima nos lotes (Ramos *et al.*, 1999). No entanto, é necessário lembrar que de nada vale o controle dos projetos construtivos em apenas um município se, às vezes, a bacia hidrográfica recebe contribuições de usos do solo urbano de outros municípios. Logo, as restrições e os controles urbanísticos devem se ater ao tratamento feito no lote (intra-urbano), mas também deve abranger uma legislação de vizinhança, ou seja, regional para que as condições ambientais da bacia possam ser controladas ou amenizadas.

No capítulo seguinte, serão feitas as considerações finais da pesquisa.

5.1. Síntese do trabalho

A Bacia do Arroio da Areia é uma sub-bacia do Gravataí que, por sua vez, deságua no Guaíba que, freqüentemente, transborda em situação de chuvas intensas, desabrigando, destruindo e causando muitos problemas para o desenvolvimento das cidades por ele afetadas. O que pode ser observado é o efeito cumulativo causado por problemas urbanos e que, muitas vezes, só é percebido como fenômeno hidrológico quando ocorrem os alagamentos, desconhecendo-se que existem também causas urbanas que corroboram para a má adequação da transferência das águas pluviais. Essa hipótese pôde ser comprovada pelos estudos desenvolvidos nessa pesquisa através da análise feita com o uso das variáveis densidade populacional e impermeabilização do solo urbano que alteram as condições de acúmulo das águas da bacia hidrográfica, apresentada na forma do índice ambiental urbano (IAU).

Alguns comentários devem ser feitos sobre o desenvolvimento e conclusão da pesquisa como a adequação dos dados originais (dados censitários, imagem de satélite e modelo numérico do terreno) em dados que pudessem ser manipulados dentro do ambiente de geoprocessamento, possibilitando assim a análise de comportamentos urbanos dentro da bacia hidrográfica. Foi possível observar fluxos de causa e efeito dentro da bacia quando da alteração das variáveis utilizadas, sendo esse fluxo representado pelo índice ambiental urbano que, por sua vez, é uma alteração do cálculo de áreas acumuladas utilizados pelos estudos hidrológicos. Foram percebidos os efeitos ambientais de três variáveis: densidade populacional, impermeabilização do solo urbano e topografia da bacia hidrográfica, onde se viu que apenas o acréscimo de duas variáveis no cálculo das áreas acumuladas já modificou o comportamento da drenagem (figuras 4.49 e 4.50). Ao invés de apresentar linhas contínuas de forma a distribuir os fluxos hídricos, as variáveis representaram uma modificação local em áreas da bacia de forma mais descontínua do que o esperado em situações normais de chuva, indicando assim que esses locais apresentam condições de alagamentos que não são computadas na forma convencional de medição dos acúmulos. A figura 4.49 mostra essas situações locais que podem ser explicadas primeiramente pela própria condição local de impermeabilização e densidade populacional ou por uma condição à montante dessas duas variáveis. Por esse motivo, foram realizadas as simulações, para que se pudesse determinar qual a condição que influía no local e se viu que a influência é maior do próprio local, mas ele também altera

as condições à jusante, apenas com uma intensidade menor e essa intensidade vai diminuindo à medida que se distancia desse local, assumindo assim as condições dessas áreas.

A inclusão de variáveis ambientais como a impermeabilização do solo urbano pôde cumprir seu papel como indicador de comportamento urbano sustentável, pois mostra que com a alteração dessa variável há também alterações dentro da bacia referentes às condições de drenagem, pois a localização de áreas de alagamentos, ou seja, com problemas de drenagem, é uma informação importante dentro do planejamento urbano e para que o desenvolvimento urbano se encaminhe para condições mais sustentáveis. A utilização de simulações intra-urbanas (internas à cidade e também à bacia) demonstra que alterações locais geram efeitos globais, percebidos através do comportamento da drenagem que se acumula mais próxima aos locais que já indicam problemas de alagamentos e que são transferidos aos vizinhos à jusante. Assim, a bacia hidrográfica também foi considerada uma boa unidade de planejamento por demonstrar esses efeitos, pois é possível conhecer as condições iniciais da bacia (topografia local e condição do acúmulo) e, então, prever e analisar as causas (inclusão de variáveis) e os efeitos encontrados nessas áreas.

Assumindo-se que a impermeabilização do solo urbano é um dos principais fatores de modificação do acúmulo pluvial, passa-se a constatar a importância das imagens de satélite como informações atualizadas das modificações desses padrões urbanos. A inserção da imagem de satélite na determinação de áreas não construídas se mostrou viável, pois inclui novas informações sobre as áreas onde ainda é possível se trabalhar com medidas estruturais na melhoria da drenagem urbana. Áreas não construídas são áreas potenciais para se construir lagoas de contenção, por exemplo, diminuindo o volume de água gerado pelo escoamento superficial das áreas impermeáveis nos canais de drenagem (arrosios naturais, condutos internos, valas abertas etc.). Portanto, a localização dessas áreas *não construídas* servem para melhorar o trabalho de planejamento da drenagem urbana. A imagem permite também que a interpolação dos dados gere uma estimativa próxima de realidade dos dados (como o valor da população total estimada pela simulação Gaussiana dos dados alterados se aproximando em 94.84% da original). Através da classificação de imagens, pode-se dispor de diversas informações, sendo uma delas a impermeabilização do solo urbano que se viu ser uma informação pertinente à pesquisa e não apenas um dado ilustrativo. Todos os dados informativos sobre a área da pesquisa formaram vínculos que puderam ser interpretados

como resultados, principalmente por terem sido georreferenciados e, por isso, possíveis de se combinarem dentro do sistema de informações geográficas. Finalmente, os dados originais foram transformados em superfícies contínuas e puderam ser tratados através das técnicas geoestatísticas. Essas técnicas foram introduzidas pelos estudos mineiros e se mostraram aplicáveis nos estudos urbanos, produzindo o que inicialmente seriam dados pontuais e não relacionados no espaço em dados conectados que produzem as relações entre atributos locais influenciando toda uma superfície de estudo. A metodologia desenvolvida pela pesquisa acumulou erros durante o processo de adequação dos dados originais que, a princípio, foram anulados durante o cálculo de percentual de mudança entre o resultado inicial para o índice ambiental urbano sobre a bacia (figura 4.56) e os resultados com as simulações (figuras 4.59, 4.63 e 4.67). As figuras 4.60, 4.64 e 4.68 apresentam o resultado do percentual de mudança entre o inicial e as simulações, demonstrando o efeito das alterações que foram mais percebidas no local da mudança e vão diminuindo a medida que se direcionam à jusante dessas áreas.

Resumindo, o procedimento metodológico conseguiu incluir variáveis sociais (densidade populacional) e ambientais (impermeabilização e topografia), demonstrando que o exercício de análises urbanas pode incluir diferentes tipos de variáveis, métodos e técnicas cientificamente comprovados por outras disciplinas. O Sistema de Informações Geográficas demonstrou ser um ambiente propício de produção e análise de dados, e não apenas um meio de ilustração dos resultados. Mesmo com a utilização de um programa computacional fora do ambiente SIG para gerar o resultado final, foi possível utilizar os resultados gerados como mais um mapa de valores dentro do SIG. A inovação de um sistema como esse é a possibilidade de modelagem de situações levantadas e de simulações, pois este tipo de ambiente recebe e altera qualquer tipo de informação que se queira testar. O modelo numérico do terreno (topografia) surge nesta pesquisa como elemento de análise para as situações de causa e efeito da impermeabilização do solo urbano e da densidade populacional dentro da bacia hidrográfica, mesmo não havendo a comprovação desse comportamento, compreendido que a bacia hidrográfica possui um papel importante para ser incluído nas análises urbanas. A imagem de satélite (dado existente) e a geoestatística aplicada aos dados censitários (gerando dados interpolados), foram duas ferramentas que acrescentaram informações importantes para a produção do índice ambiental urbano retratando para toda a

superfície de estudo a situação de relação entre os três elementos (densidade populacional, impermeabilização do solo urbano e topografia do terreno).

5.2. Conclusões finais

Sendo o índice ambiental urbano um produto de dados acumulados, o resultado não possui um significado quantitativo, mas qualitativo dessa relação, representado mais pelas manchas com graduações de valores na superfície estudada (menor e maior impacto). As superfícies geradas para a densidade populacional e o modelo numérico do terreno foram as mais fáceis para a localização das manchas de valores, pois ambas foram calculadas por interpolações geoestatísticas que possuem essa característica de suavizar a diferença de valores. Já a superfície de impermeabilização do solo foi a que demonstrou um comportamento mais disperso das manchas de valores, por ter sido obtida através da classificação *fuzzy* de uma imagem de satélite. Assim, quando da sobreposição dos três elementos componentes do índice ambiental urbano (valor acumulado das variáveis), houve uma resposta compatível as três situações de superfícies. O IAU apresentou respostas aos impactos percebidos de forma intra-urbana, ou seja, são influências próximas ao local problemático, e o somatório de inúmeros pontos problemáticos é que acabam contribuindo para o descontrole da drenagem no total da superfície da bacia. Sendo diferente de uma influência onde apenas um ponto problemático pudesse influenciar em toda a superfície, caracterizando um impacto ao longo da bacia. Pelo observado na pesquisa, os meios urbanos possuem uma característica no que se refere à drenagem desses meios: a concentração de diferentes pontos de saturação na drenagem é o que acaba gerando o impacto na bacia urbana, causando os conhecidos problemas de alagamentos ou enchentes durante períodos de fortes chuvas.

Soluções estruturais pontuais como piscinas de contenção, ou aumento da calha dos rios não são as melhores opções para os problemas de drenagem urbana, pois aliviam apenas o volume de água drenado para os rios, no entanto, a população continua sofrendo com os alagamentos de ruas ou, muitas vezes, nas próprias habitações. A solução deve ser mais distribuída por toda a superfície de contribuição à bacia, ou seja, assim como os índices construtivos, cada lote urbano também deve prever sua capacidade de permeabilidade ou contenção das suas superfícies impermeáveis que, até então, simplesmente jogam seus problemas para o vizinho mais próximo e

que, às vezes, é a calha da própria rua que inunda. Assim, o problema da drenagem urbana está mais próximo de nós do que se imagina, bem como, para que a solução possa ser efetiva, ela deve ser compartilhada por todos. Afinal, a cidade não se resume apenas ao lote, nem a população transita apenas na sua rua, mas a cidade é o local onde o desenvolvimento sustentável deve ser exercido, com liberdade de utilização de todos, respeitando os limites ambientais e otimizando os limites econômicos.

Nesse sentido, a pesquisa conseguiu obter o resultado esperado que é a possibilidade de determinar impactos na drenagem urbana. A pesquisa do IAU demonstra uma boa aplicabilidade para o planejamento urbano, pois é possível trabalhar com o levantamento da realidade da cidade e posteriormente testar os novos valores previstos pelos planos diretores para os índices construtivos ou para as densidades populacionais, por exemplo.

5.3. Sugestões de pesquisas futuras

Algumas sugestões podem ser feitas em relação à pesquisa. Por exemplo, os resultados gerados a partir da metodologia são atribuídos apenas às construções presentes na região a partir dos dados fornecidos como o censo de 1991 e a imagem de satélite de 1995. Hoje, se for observado os efeitos existentes na bacia, talvez se observe uma carga muito maior de impermeabilização do solo ou de densidade populacional que não mais as levantadas durante a pesquisa. Outra sugestão a ser feita, é sobre o uso dado às construções urbanas. Na pesquisa, a população foi distribuída para toda a superfície construída do mapa binário, mas esta pode ser distribuída de forma diferenciada entre os diferentes usos do solo permitidos na região, por exemplo, residencial há população de moradores e nos usos comerciais e industriais exclusivos não há presença de moradores, por exemplo. Esse tipo de tratamento pode influenciar de maneira mais intensa os resultados obtidos. Assim, alguma especificação maior para os diferentes tipos de uso do solo urbano pode ser um acréscimo importante quando se avaliar os efeitos ambientais da cidade.

Este trabalho, como muitos outros citados no decorrer, abrem a possibilidade de se trabalhar com a construção de diferentes metodologias de análise intra-urbana, utilizando-se ferramentas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento. O espaço urbano e as relações internas da cidade necessitam ser melhor exploradas e, no campo das informações existentes, muito

ainda se pode construir. O índice ambiental urbano é apenas um exemplo aplicativo do que é possível desenvolver. Indicadores ambientais, sociais e, até mesmo, econômicos podem ser incluídos, dependendo apenas do interesse e das necessidades existentes. O resultado gerado pode ser específico para cada cidade ou, ainda, ser um resultado genérico para cidades com características similares, dependendo da análise local ou regional feita.

Foi utilizado uma sub-bacia urbana, tornando a análise especificamente intra-urbana. Um estudo mais amplo para a bacia hidrográfica como um todo, demonstrando, assim, o comportamento completo dos diferentes sub-sistemas urbanos que compõem a bacia também é uma possibilidade de complementação desse estudo. Além de se trabalhar com diferentes informações (variáveis), há a possibilidade de se trabalhar com o conjunto completo da bacia e perceber como ela se comporta nesse espaço ambiental.

Finalmente, outras simulações com modificações e alterações futuras reais ou possíveis como a inserção de adensamentos em áreas de interesse imobiliários, ou a impermeabilização de vazios urbanos etc. simulando diferentes cenários é outra possibilidade a ser testada, demonstrando dos efeitos gerados por variáveis econômicas, sociais e ambientais, melhorando a avaliação das decisões de alterações e crescimento do sistema urbano.

Portanto, a pesquisa amplia e estimula a possibilidade do desenvolvimento dos estudos das inter-relações urbanas. Compreendendo-se melhor as relações internas existentes, pode-se melhor localizar as causas dos problemas urbanos enfrentados hoje pelas grandes cidades. Cada cidade possui variáveis similares, mas cada uma se comporta de maneira diferenciada em relação ao meio em que se inter-relaciona. Cada particularidade das cidades deve ser identificada para que as soluções sejam direcionadas e específicas a cada problema, assim, será melhor o engajamento e o redirecionamento das cidades para um desenvolvimento urbano mais sustentável.

1. ALMEIDA, Alberto Carlos M. de. *A qualidade de vida no estado do Rio de Janeiro*. In: Anais do 7º Encontro Nacional da ANPUR, UFPE: Recife, 1997, p. 1352-74.
2. ARNOLD Jr, C.L. & GIBBONS, C.J. *Impervious Surface Coverage: The Emergence of a Key Environmental Indicator*. In: Journal of the American Planning Association, vol. 62, N°2, 1996, p.243-57.
3. BELLIA, Vitor. Introdução à Economia do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal/Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis: Brasília, 1996.
4. BERTUGLIA, C. S.; CLARKE, G. P. & WILSON, A. G. Modeling the City: Performance, policy and planning. Routledge: London, 1994, 191 p.
5. BONHAM-CARTER, Graeme F. Geographic Information Systems for Geoscientists: modeling with GIS. Computer Methods in the Geosciences. Vol.13: Ontario, Canada, 1994, 398 p.
6. BRACKEN, I. & MARTIN, D. *The generation of spatial population distributions from census centroid data*. In: Environment and Planning A, vol. 21, 1989, p. 537-43.
7. BUCKINGHAM-HATFIELD, S. & EVANS, B. *Achieving Sustainability through Environmental Planning*. In: BUCKINGHAM-HATFIELD, S. & EVANS, B. Environmental Planning and Sustainability. John Wiley & Sons Ltd.: Chichester, 1996, p. 1-18.
8. BURROUGH, P. A. Principals of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. Clarendon Press: Oxford, 1986, p. 13-38 e 147-66.
9. BURROUGH, P. A. *Fuzzy mathematical methods for soil survey and land evaluation*. In: Journal of Soil Science, vol. 40, 1989, p.477-492.
10. CARRION, Otilia B. K. *Economia Urbana*. In: SOUZA, Nali de. Introdução à economia. Atlas: São Paulo, 1996, p. 395-413.
11. CAMPANA, Néstor A. Estimativa de Parâmetros Físicos de Bacias Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto e o Sistema de Informações Geográficas. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas: Porto Alegre, fevereiro de 1992, 88 p.
12. CAMPANA, Néstor A. & TUCCI, Carlos E. M. *Estimativa de áreas impermeáveis de macro-bacias urbanas*. In: RBE – Caderno de Recursos Hídricos, vol.13, n°1, 1995, p. 79-94.
13. CAMPBELL, Scott. *Green cities, growing cities, just cities?* Urban planning and the contradictions of sustainable development. In: Journal of the American Planning Association, vol. 63, n° 3, 1996, p. 296-312.

14. Centro de Estudos e Pesquisa de Administração Municipal - CEPAN. Índice Urbanístico. Governo do Estado/Secretaria dos Negócios do Interior: São Paulo, 1971, p.4-32.
15. CLARK, C. *Urban Population Densities*. In: Journal of the Royal Statistical Society. vol.114, 1951, p.490-6.
16. COLLISCHONN, W.; MENDIONDO, E. M. & MENDES, C. A. B. *Modelos numéricos do terreno e suas aplicações à recursos hídricos*. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos 13: Belo Horizonte, MG, 1999.
17. CONZEN, M. R. G. *Morphogenesis, morphological regions and secular human agency in the historic townscape, as exemplified by Ludlow*. In: DENECKE, D. & SHAW, G. Urban historical geography. Cambridge University Press: Cambridge, 1988, p.253-72.
18. COSTA, João Felipe C.L. Developments in recoverable reserves estimation and ore body modelling. Thesis (Ph.D.). University of Queensland: Australia, July 1997. www.earthscience.uq.edu.au
19. CUNHA, C. da; MENDES, C.A.B.; SANTOS, N. dos & LEÃO, S.Z. *Alteração da base espacial de dados demográficos usando geoprocessamento*. In: Anais do 7º Encontro Nacional da ANPUR, UFPE: Recife, 1997, p.1299-313.
20. EASTMAN, J. R. IDRISI Guide of GIS and Image Processing (Vol.1 & 2). Clark Labs. Clark University: Worcester, U.S.A., August, 1999 www.clarklabs.org.
21. ELY, Aloísio. Economia do Meio Ambiente: uma apreciação introdutória interdisciplinar da poluição, ecologia e qualidade ambiental. Secretaria de Coordenação e Planejamento/Fundação de Economia e Estatística: Porto Alegre, 1986, 146 p.
22. FISHER, P. F. & PATHIRANA. *The evaluation of fuzzy membership of land cover classes in the suburban zone*. In: Remote Sensing & Environment, vol.34, 1990, p.121-32.
23. FREITAS, Marcos Alexandre de. Avaliação do Potencial Hidrológico de Terrenos Cristalinos através de Técnicas de Geoprocessamento. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, novembro de 1998, 127 p.
24. GENZ, Fernando & TUCCI, Carlos E. M. *Infiltração em superfícies urbanas*. In: RBE – Caderno de Recursos Hídricos, vol.13, nº.1, 1995, p. 77-103.
25. HARBOR, Jonathan M. *A practical method for estimating the impact of land-use change on surface runoff, groundwater recharge and wetland hydrology*. In: Journal of the American Planning Association, vol.60, nº.1, 1994, p. 95-108.

26. HARVEY, F. & CHRISMAN, N. *Boundary objects and the social construction of GIS technology*. In: *Environment and Planning A*, vol.30, 1998, p.1083-94.
27. HAUGHTON, Grahann & HUNTER, Colin. *Sustainable Cities*. Regional Policy and Development Series 7: London, 1994.
28. HILLIER, B. & HANSON, J. *The social logic of space*. Cambridge University Press: Cambridge, 1984.
29. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Tutorial do Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas – SPRING 3.4: São José dos Campos, São Paulo, junho de 2000, <http://www.dpi.inpe.br/spring>
30. ISAAKS, E.H. & SRIVASTAVA, R.M. *Applied Geostatistics*. Oxford University Press: Oxford, 1989, 561p.
31. KRAFTA, R. *Modelling intraurban configurational development*. In: *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 21, 1994, p. 67-82.
32. LEÃO, Simone Z. *O Planejamento Locacional Urbano em um Contexto de Disputa pelo uso do Solo: seleção de áreas para aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos em Porto Alegre/RS*. Programa de Pós-graduação em Planejamento Urbano e Regional/UFRGS: Porto Alegre, 1997.
33. LEE, R.G., FLAMM, R., TURNER, M.G., BLEDSOE, C., CHANDLER, P., DEFERRARI, C., GOTTFRIED, R., NAIMAN, R. J., SCHUMAKER, N. & WEAR, D. *Integrating Sustainable Development and Environmental Vitality: A Landscape Ecology Approach*. In: NAIMAN, R. J. *Watershed Management*. Springer-Verlag: New York, 1992. p. 499-521.
34. LEOPOLD, Luna B. *Hydrology for Urban Land Planning: a guidebook on the hydrologic effects of urban land use*. Geological Survey Circular 554/US Department of the Interior: Washington, 1969, p. 1-18.
35. LOGAN, J. & MOLOTCH, H. *The city as a growth machine*. In: *Readings in Urban Theory*, 1993, p. 291-330.
36. MACLAREN, V.W. *Urban Sustainability Reporting*. In: *Journal of the American Planning Association*, vol. 62, nº2, 1996, p. 184-201.
37. MARTIN, Leslie & MARCH, Lionel. *Urban Space and Structures*. Cambridge Urban & Architectural Studies. Cambridge University Press: London, 1972, 272p.
38. MCPHERSON, E. G. *Sacramento's parking lot shading ordinance: environmental and economic costs of compliance*. In: *Landscape and Urban Planning*, 57, 2001, p. 105-23.

39. MENDIONDO, E. M.; COLLISCHONN, W. & MENDES, C. A. B. *Obtenção de parâmetros a partir do modelo numérico do terreno e suas aplicações em bacia hidrográfica*. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos 13: Belo Horizonte, MG, 1999.
40. MOORE, I. D.; TURNER, A. K.; WILSON, J. P.; JENSON, S. K. & BAND, L. E. *GIS and Land-Surface-Subsurface Process Modeling*. In: GOODCHILD, M. F.; PARKS, B. O. & STEYAERT, L. T. (eds.) Environment Modeling with GIS. Oxford University Press: London, 1993, p. 196-230.
41. MORRIS, Peter & BIGGS, Jeremy. *Water*. In: MORRIS, Peter & THERIVEL, Riki (eds.). Methods of Environment Impact Assessment. GB/UCL Press: London, 1996, p. 161-95.
42. NEWLING, B. E. *The Spatial Variation of Urban Population Densities*. In: Geographical Review, 1969, Vol.59, p.242-52.
43. NIEMCZYNOWICZ, J. *Environmental Impact of Urban Areas – the Need for Paradigm Change*. In: Water International, 16, 1991, p.83-95.
44. PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental – 2º PDDUA: pddua comentado. Porto Alegre: PMPA, 2000. 186 p.: il., mapas, plantas, fots.
45. PORTO ALEGRE. Plano Diretor de Drenagem Urbana – Bacia do Arroio da Areia. Vol.3, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, maio de 2000 (não editado), 115 p.
46. PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. A necessária reeleitura da cidade: 2º Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental – PDDUA. Porto Alegre: PMPA, 1998, 82 p.
47. PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental – 2º PDDUA: [Principais Conceitos], Porto Alegre: PMPA, 1997, 19 p.: il.
48. RADBERG, Johan. *Towards a Theory of Sustainability and Urban Quality: a new method for typological urban classification*. In: GRAY, Madi (ed.). Evolving Environmental Ideals: change ways of life, values and design practices – Book of Proceedings. Department of Architecture and Townplanning/Royal Institute of Technology: Stockholm, 1997, p. 384-92.
49. RAMOS, M. H. D.; BAPTISTA, M. B. & NASCIMENTO, N. O. *Impacto das alterações da lei de uso e ocupação do solo em Belo Horizonte no cálculo de hidrogramas de projeto*. In: XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1999.
50. RICHARDSON, Harry W. Economia Regional: teoria da localização, estrutura urbana e crescimento regional. Zahar: Rio de Janeiro, 1975, p.15-23 e 161-87.

51. RIDD, Merrill K. & LIU, Jiajun. *A comparison of four algorithms for change detection in an urban environment*. In: Remote Sensing & Environment, vol. 63, 1998, p. 95-100.
52. SILVA, Ricardo S. & Magalhães, Horus. *Ecotécnicas Urbanas*. In: Ciência & Ambiente, IV (7) Jul./Dez., 1993, p.33-42.
53. SMITH, Michael B. & VIDMAR, Andrej. *Data set derivation for GIS-based urban hydrological modeling*. In: Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Vol. 60, nº 1, January 1994, p.67-76.
54. SPINELLI, Juçara; BORGES, Luciane A.; MENDES, Carlos André B. & CAMPANA, Néstor A. *Inclusão de variáveis hidrológicas no planejamento urbano*. In: IV Encontro Nacional de Arquitetura: Brasília, 1995.
55. TUCCI, C. E. M. & GENZ, F. *Controle do impacto da urbanização*. In: TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L .P. & BARROS, M. T. de. Drenagem Urbana. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, nº 5, 1995, p. 277-347.
56. WANG, F. *Improving remote sensing image analysis through fuzzy information representation*. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, vol.56, nº 8, 1990, p.1163-9.
57. WHITEHAND, J. *Recent developments in urban morphology*. In: DENECKE, D. & SHAW, G. Urban historical geography. Cambridge University Press: Cambridge, 1988, p. 285-96.
58. VAN RANST, E.; TANG, H.; GROENEMANS, R. & SINTHURAHAT, S. *Application of fuzzy logic to land suitability for rubber production in peninsular Thailand*. In: Geoderma, nº 70, 1996, p. 1-19.
59. XIANG, W-N. *A GIS/MMP-based coordination model and its application to distributed environmental planning*. In: Environment and Planning B, Planning and Design, Vol.20, 1993, p.195-220.
60. ZIELINSKI, K. *Experimental analysis of eleven models of urban population density*. In: Environment and Planning A, Vol.11, 1979, p. 629-41.

Bibliografias consultadas

1. AGENDA 21: The Earth Summit Strategy to Save Our Planet. Rio de Janeiro, 1993.
2. AMSON, J. C. *The dependence of population distribution on location cost*. In: Environment and Planning, vol. 4, 1972, p. 163-81.
3. ANSELIN, Luc. Spatial data analysis with GIS: an introduction to application in the social sciences. National Center for Geographic Information and Analysis/University of California - Technical Report 92-10: Santa Barbara, 1992.
4. BAYLISS, Duncan & WALKER, Gordon. *Environmental monitoring and planning for sustainability*. In: BUCKINGHAM-HATFIELD, S. & EVANS, B. Environmental Planning and Sustainability. John Wiley & Sons Ltd.: Chichester, 1996, p. 87-103.
5. BRACKEN, I. *An extensive surface model database for population-related information: concept and application*. In: Environment and Planning B: Planning and Design, vol. 20, 1993, p. 13-27.
6. BRASE, C. H. & BRASE, C.P. Understandable Statistics: concepts and methods. 3th ed. D. C. Heath and Company: Massachusetts, 1987, 519p.
7. CÁNEPA, Eugenio M. *Economia do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais*. In: SOUZA, Nali de. Introdução à economia. Atlas: São Paulo, 1996.
8. CLEMENTE, A. Economia Regional e Urbana. Atlas: São Paulo, 1994, 170p.
9. COSTANZA, Robert. Ecological Economics: the science and management of sustainability. Columbia University Press: New York, 1991, 525p.
10. DENDRINOS, D. The Dynamics of Cities. Ecological determinism, dualism and chaos. Routledge: London, 1992.
11. DUNCAN, Otis D. & DUNCAN, Beverly. *A methodological analysis of segregation indexes*. In: American Sociological Review, vol. 20, 1955, p. 210-7.
12. FOSTER, Bruce. *Some urban measurements from Landsat data*. In: Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 49, n^o 12, December 1983, p. 1693-707.
13. FOSTER, B. C. *Principle and rotated component analysis of urban surface reflectances*. In: Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 51, no 4, April 1985, p. 475-7.
14. GIRARDET, H. The GAIA Atlas of Cities: new directions for sustainable urban living. GAIA: United Kingdom, 1996, 191p.

15. GOODCHILD, Michael F.; STEYAERT, Louis T.; PARKS, Bradley O.; JOHNSTON, Carol; MAIDMENT, David; CRANE, Michael & GLENDINNING, Sardi (ed.). GIS and Environmental Modeling: progress and research issues - GIS World Books: Fort Collins, 1996.
16. HALL, P. *Sustainable Cities for Europe*. In: MEGA, Voula P. & PETRELLA, Riccardo (eds.). Utopias and realities of Urban Sustainable Development: new alliances between economy, environment and democracy for small and medium-sized cities - Conference Proceedings. European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions: Ireland, 1996. p. 22-9.
17. HOFFER, Roger M. *Biological and physical considerations in applying computer-aided analysis techniques to remote sensor data*. In: SWAIN, P. H. & DAVIS, S. M. Remote Sensing: the quantitative approach. Mcgraw Hill Co.: New York, 1978, p.227-87.
18. HUANG, Shu-Li. *Ecological energetics, hierarchy, and urban form: a system modelling approach to the evolution of urban zonation*. In: Environment and Planning B: Planning and Design, vol.25, 1998, p. 391-410.
19. JACKSON, M.J.; CARTER, P.; SMITH, T.F. & GARDNER, W.G. *Urban land mapping from remotely sensed data*. In: Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Vol. 46, n° 8, August 1980, p. 1041-1050.
20. KUNSTLER, J.H. The Geography of Nowhere: the rise and decline of America's man-made landscape. Touchstone: New York, 1993, 303p.
21. MARGULIS, S.(ed) Meio ambiente: aspectos técnicos e econômicos. Rio de Janeiro, IPEA: Brasília, IPEA/PNUD, 1990.
22. MASELLI, F.; CONESE, C.; ZIPOLI, G. & PITTAU, M. A. *Use of error probabilities to improve area estimates based on maximum likelihood classifications*. In: Remote Sensing & Environment, vol. 31, 1990, p.155-60.
23. MARTIN, D. & BRACKEN, I. *Techniques for modelling population-related raster databases*. In: Environment and Planning A, vol. 23, 1991, p. 1069-75.
24. PORTO ALEGRE. PDDUA: Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental de Porto Alegre – Prefeitura Municipal/Secretaria de Planejamento Municipal: Porto Alegre, 1999. www.portoalegre.rs.gov.br
25. PORTO ALEGRE. 1º PDDU: Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Porto Alegre. 4ª ed., Prefeitura Municipal/Secretaria de Planejamento Municipal: Porto Alegre, 1994.
26. RYBCZYNSKI, W. City life: urban expectations in a New World. Scribner: New York, 1995, 256p.

27. SCHOWENGERDT, R. Techniques for image processing and classification in remote sensing. 1983.
28. SILVA, Leroy F. *Radiation and instrumentation in remote sensing*. In: SWAIN, P. H. & DAVIS, S. M. Remote Sensing: the quantitative approach. McGraw Hill Co.: New York, 1978, p. 21-134.
29. SMOUKA, M.O. *Meio Ambiente e Estrutura Intra-Urbana*. In: População, meio ambiente e desenvolvimento: verdades e contradições. UNICAMP: Campinas, 1993.
30. TOBLER, W. R. *Smooth pycnophylactic interpolation for geographical regions*. In: Journal of the American Statistical Association, vol. 74, n°. 367, 1979, p. 519-530.
31. TRANMER, M. & STEEL, D. G. *Using census data to investigate the causes of the ecological fallacy*. In: Environment and Planning A, vol.30, 1998, p. 817-31.
32. TUCCI, Carlos E. M. *Aumento das enchentes urbanas: coeficiente de escoamento e vazão máxima*. In: Submetido à Revista Brasileira de Recursos Hídricos em 1999.

Anexo A: Informações sobre os Setores Censitários retiradas do Censo de 1991 para Porto Alegre, do mapa digitalizado dos setores e de cálculos obtidos sobre estas informações, onde as coordenadas x e y localizam o centróide dos setores originais (1) e alterados (2) e a coordenada z representa os valores de densidade populacional de cada setor censitário original (1) e alterado (2).

# Setor	População (hab.)	Área ₁ (ha)	Área ₂ (ha)	Coordenada X ₁	Coordenada X ₂	Coordenada Y ₁	Coordenada Y ₂	Coordenada Z ₁	Coordenada Z ₂
141	382	2.07	2.07	181046.27	181046.2668	1677987.73	1677987.726	184.541063	184.5410628
142	455	4.23	4.23	181314.21	181314.2069	1678005.49	1678005.494	107.565012	107.5650118
143	713	6.84	6.66	181331.71	181331.7112	1678210.37	1678210.367	104.239766	107.0570571
144	586	3.87	3.87	181132.76	181132.7562	1678151.66	1678151.661	151.421189	151.4211886
145	375	0.72	0.72	181039.53	181039.5262	1678207.58	1678207.583	520.833333	520.8333333
155	790	5.31	5.04	181082.39	181082.3932	1678512.86	1678512.865	148.775895	156.7460317
156	411	5.76	5.76	181328.3	181328.2965	1678428.25	1678428.251	71.3541667	71.35416667
157	569	5.31	4.95	181441.91	181441.9109	1678602.23	1678602.225	107.156309	114.9494949
158	491	6.57	6.57	181065.06	181065.0583	1678756.84	1678756.838	74.7336377	74.73363775
168	733	11.25	10.89	181250.65	181250.6535	1678963.63	1678963.628	65.1555556	67.30945822
169	0	0.54	0.54	181154.21	181154.2112	1678837.96	1678837.961	0	0
170	324	2.61	2.52	181512.21	181512.2139	1678895.13	1678895.134	124.137931	128.5714286
171	719	3.6	3.6	181539.57	181539.5674	1678568.11	1678568.109	199.722222	199.7222222
172	757	3.78	3.78	181632.68	181632.6787	1678609.25	1678609.246	200.26455	200.2645503
173	740	7.92	7.56	181676.06	181676.0578	1678787.66	1678787.682	93.4343434	97.88359788
174	511	16.56	10.35	181913	181961.664	1678814.5	1678816.999	30.8574879	49.37198068
175	752	6.57	6.39	182211.44	182211.4428	1678829.14	1678829.136	114.459665	117.683865
176	970	2.43	2.43	182102.9	182102.9046	1678844.82	1678844.817	399.176955	399.1769541
177	493	5.85	5.85	182380.09	182380.0883	1678806.48	1678806.477	84.2735043	84.27350427
178	690	2.25	0.9	182216.2	182205.294	1679058.52	1679048.656	306.666667	766.6666667
179	309	15.48	11.43	182221.32	182264.264	1679319.43	1679282.508	19.9612403	27.03412073
180	587	7.74	7.65	181971.28	181971.2823	1679354.33	1679354.331	75.8397933	76.73202614
181	865	10.08	8.73	181786.87	181786.8657	1679332.98	1679332.981	85.8134921	99.0836197
182	666	3.15	2.88	181760.45	181760.4492	1679058.94	1679058.936	211.428571	231.25
183	247	3.06	2.7	181567.51	181567.5056	1679218.55	1679218.549	80.7189542	91.48148148
184	414	7.11	7.02	181430.13	181430.1271	1679266.55	1679266.552	58.2278481	58.97435897
185	538	6.12	6.12	181133.02	181133.0182	1679376.4	1679376.401	87.9084967	87.90849673
186	634	3.06	3.06	181035.24	181035.2353	1679233.96	1679233.956	207.189542	207.1895425
193	481	13.77	12.15	181218.95	181218.9482	1679653.23	1679653.233	34.9310094	39.58847737
194	726	7.2	6.75	181569.06	181405.973	1679611.86	1679249.056	100.833333	107.5555556
195	430	4.86	4.86	181697.99	181697.9927	1679515	1679514.996	88.4773663	88.47736626
203	251	8.37	7.02	181427.81	181527.54	1680155.29	1680177.532	29.9880526	35.75498575
204	322	25.2	21.24	181278.95	181278.9487	1680422.39	1680422.394	12.7777778	15.1600753
207	180	7.2	6.66	181688.64	181688.6438	1680087.18	1680087.178	25	27.02702703
208	925	77.22	61.11	182076.22	182076.2207	1681212.94	1681212.938	11.978762	15.13663885
209	935	23.31	16.47	181368.21	181310.791	1680960.26	1681007.295	40.1115401	56.76988464
210	206	13.05	10.26	181027.39	181148.163	1681218.68	1681253.352	15.7854406	20.07797271
211	1048	30.6	16.11	181776.24	181776.2393	1681809.92	1681809.925	34.248366	65.05276226
212	959	1.89	1.89	181887.43	181887.4309	1682274.97	1682274.968	507.407407	507.4074074
213	670	2.34	2.34	181967.49	181967.4931	1682269.27	1682269.27	286.324786	286.3247863
214	2320	6.21	5.85	182106.46	182106.461	1682276.53	1682276.527	373.590982	396.5811966
215	789	4.68	2.7	181364.65	181386.495	1681381.57	1681454.06	168.589744	292.2222222
216	736	1.08	1.08	181474	181474.0028	1681374.15	1681374.153	681.481481	681.4814815
217	961	17.82	13.32	181519.78	181519.7794	1681897.32	1681897.316	53.9281706	72.14714715
218	891	1.35	0.81	181693.35	181687.216	1682203.2	1682168.568	660	1100
219	254	162.54	74.25	182092.66	182092.6628	1682556.93	1682556.932	1.56269226	3.420875421
222	1295	3.6	3.6	181028.77	181028.772	1681551.43	1681551.434	359.722222	359.7222222
223	1014	4.68	4.68	181134.41	181134.4112	1681694.48	1681694.476	216.666667	216.6666667
224	970	6.84	5.58	181221.78	181221.7783	1681853.18	1681853.185	141.812865	173.8351254
225	1325	4.5	4.14	181116.86	181116.8561	1681961.86	1681961.863	294.444444	320.0483092
226	726	9.9	8.82	181242.45	181242.453	1682137.15	1682137.151	73.3333333	82.31292517
227	832	6.57	4.14	181420.86	181420.8571	1682394	1682394.002	126.636225	200.9661836
228	1698	8.19	7.38	181199.66	181199.6563	1682385.81	1682385.809	207.326007	230.0813008
232	11	9	4.68	181072.83	181072.8256	1682818.57	1682818.568	1.22222222	2.35042735
234	16	37.44	18.99	181502.97	181502.9654	1683157.93	1683157.931	0.42735043	0.84254871
235	194	52.38	42.93	183076.07	183076.0729	1682752.45	1682752.446	3.7037037	4.518984393
236	358	363.69	147.15	183818.17	183818.1723	1682225.81	1682225.807	0.98435481	2.432891607
237	545	309.6	115.65	183828.53	184575.278	1680720.2	1681067.605	1.76033592	4.712494596
238	507	6.12	1.26	182883.62	182724.725	1679591.51	1679582.456	82.8431373	402.3809524
239	88	183.06	74.52	182666.51	182666.5123	1680070.33	1680070.333	0.4807167	1.180891036
240	905	40.32	15.03	184916.64	184979.815	1682017.97	1682068.441	22.4454365	60.21290752
241	639	12.6	12.33	182482.2	182482.2008	1679259.53	1679259.534	50.7142857	51.82481752
242	1161	9.45	8.64	182667.6	182667.5954	1679255.44	1679255.442	122.857143	134.375
243	411	6.57	6.57	182801.24	182801.2403	1679255.75	1679255.752	62.5570776	62.55707763

# Setor	População (hab.)	Area ₁ (ha)	Area ₂ (ha)	Coordenada X ₁	Coordenada X ₂	Coordenada Y ₁	Coordenada Y ₂	Coordenada Z ₁	Coordenada Z ₂
244	530	6.84	6.84	182910.46	182910.4589	1679267.61	1679267.609	77.4853801	77.48538012
245	705	10.71	10.53	183069.5	183069.5042	1679321.03	1679321.025	65.8263305	66.95156695
246	853	15.21	13.41	183316.54	183316.5428	1679316.69	1679316.693	56.0815253	63.60924683
247	638	16.92	15.21	183596.17	183596.1732	1679241	1679240.997	37.7068558	41.9460881
248	537	2.79	2.79	183536	183535.9968	1679001.47	1679001.472	192.473118	192.4731183
249	455	2.25	2.25	183550.51	183550.5125	1678895.21	1678895.213	202.222222	202.2222222
250	349	3.33	3.24	183667.61	183667.6127	1678704.65	1678704.647	104.804805	107.7160494
251	0	0.63	0.54	183584.56	183584.5563	1678798.96	1678798.965	0	0
252	504	4.41	4.41	183747.95	183747.9487	1678816.41	1678816.414	114.285714	114.2857143
253	270	2.7	2.7	183909.65	183909.6454	1678693.7	1678693.704	100	100
254	543	6.12	6.12	183849.7	183849.695	1678954.5	1678954.504	88.7254902	88.7254902
255	864	4.95	4.95	184115.35	184115.3504	1678805.88	1678805.885	174.545455	174.5454545
256	552	3.15	3.15	184207.85	184207.8513	1678730.52	1678730.524	175.238095	175.2380952
257	602	6.48	6.39	184363.11	184363.107	1678978.09	1678978.094	92.9012346	94.20970266
258	942	9	9	184103.16	184103.1576	1679023.08	1679023.084	104.666667	104.6666667
259	463	4.5	4.5	183872.68	183872.6815	1679318.24	1679318.239	102.888889	102.8888889
260	747	7.65	7.65	184006.43	184006.4289	1679347.75	1679347.754	97.6470588	97.64705882
261	801	10.08	10.08	184173.42	184173.4174	1679464.69	1679464.688	79.4642857	79.46428571
262	999	10.26	10.26	184481.2	184481.2003	1679713.28	1679713.281	97.3684211	97.36842105
263	782	10.71	9.9	184657.23	184657.2312	1679566.31	1679566.312	73.015873	78.98989899
264	789	10.98	10.89	184503.94	184503.9417	1679334.31	1679334.307	71.8579235	72.45179063
265	401	5.4	5.04	184529.72	184529.7227	1679076.84	1679076.843	74.2592593	79.56349206
266	860	7.29	6.39	184593.33	184593.33	1678866.24	1678866.237	117.969822	134.5852895
267	0	0.54	0.27	184627.64	184627.64	1678791.7	1678844.674	0	0
268	305	3.6	3.42	184954.44	184954.4369	1678828.05	1678828.052	84.7222222	89.18128655
269	629	4.86	4.32	184914.91	184914.9079	1678947.43	1678947.434	129.423866	145.6018519
270	770	5.67	5.67	184717.42	184717.4225	1679206.08	1679206.08	135.802469	135.8024691
271	943	8.73	8.55	184911.23	184911.227	1679212.28	1679212.279	108.018328	110.2923977
272	924	11.88	11.88	184926.64	184926.6431	1679723.18	1679723.181	77.7777778	77.77777778
273	561	7.74	7.74	184796.36	184796.3555	1679993.67	1679993.666	72.4806202	72.48062016
274	688	9.81	8.64	184766.08	184766.0776	1680293.57	1680293.572	70.1325178	79.62962963
275	207	4.32	4.32	184876.57	184876.573	1680176.12	1680176.122	47.9166667	47.91666667
276	423	3.06	2.97	185055.14	185055.1375	1679203.83	1679203.832	138.235294	142.4242424
277	739	8.82	8.28	185106.72	185106.7181	1679760.64	1679760.636	83.7868481	89.25120773
278	579	1.62	1.35	185373.65	185373.6541	1678840.83	1678840.826	357.407407	428.8888889
279	930	14.04	10.89	185243.82	185243.822	1679029.52	1679029.519	66.2393162	85.39944904
280	404	5.31	5.31	185526.2	185526.2011	1678869.8	1678869.796	76.0828625	76.08286252
281	797	10.17	9.81	185538.12	185538.1201	1679200.87	1679200.871	78.3677483	81.24362895
282	580	11.61	10.35	185270.98	185270.9754	1679473.21	1679473.207	49.9569337	56.03864734
283	1260	15.93	14.13	185455.38	185455.3793	1679697.94	1679697.938	79.0960452	89.17197452
284	830	8.64	4.86	185693.48	185693.48	1679698.12	1679698.125	96.0648148	170.781893
285	1093	9.99	9.99	185859.46	185859.439	1679251.76	1679251.76	109.409409	109.4094094
286	614	3.33	3.33	185874.88	185874.8807	1679346.99	1679346.986	184.384384	184.3843844
287	375	1.08	1.08	185823.72	185823.7181	1679539.16	1679539.158	347.2222222	347.2222222
288	602	1.89	1.89	185806.2	185806.1959	1679752.41	1679752.405	318.518519	318.5185185
289	725	3.87	3.51	185824.32	185824.3221	1680017.12	1680017.118	187.338501	206.5527066
290	395	2.16	2.16	185878.53	185878.5285	1679760.78	1679760.778	182.87037	182.8703704
291	1118	16.11	15.48	186039.54	186039.5389	1679886.56	1679886.559	69.3978895	72.22222222
292	1051	14.04	13.68	186138.52	186138.523	1679523.02	1679523.016	74.8575499	76.82748538
293	831	20.61	16.29	185928.16	185928.1615	1678947.78	1678947.778	40.3202329	51.01289134
294	590	48.15	35.19	186474.52	186532.743	1679647.4	1679591.995	12.2533749	16.76612674
295	719	15.3	13.86	186493.35	186493.3504	1679006.1	1679006.101	46.9934641	51.87590188
296	907	22.05	21.24	186866.01	186866.0099	1679143.89	1679143.889	41.1337868	42.70244821
297	769	5.58	5.58	186983.65	186983.6451	1679762.02	1679762.023	137.81362	137.8136201
298	780	9.81	9.81	186836.06	186836.0626	1679912.71	1679912.709	79.5107034	79.51070336
299	924	9.18	8.73	186858.69	186841.03	1680297.78	1680383.527	100.653595	105.8419244
305	944	5.67	5.67	186941.86	186941.8618	1680628.66	1680628.656	166.4903	166.4902998
306	1134	5.76	5.76	186841.93	186841.9343	1681033.95	1681033.949	196.875	196.875
318	598	4.05	4.05	186895.36	186895.3608	1681312.26	1681312.263	147.654321	147.654321
319	797	3.6	3.6	186882.9	186882.9017	1681500.1	1681500.099	221.388889	221.3888889
320	883	3.69	3.69	186869.93	186869.933	1681688.04	1681688.039	239.295393	239.295393
321	754	4.32	4.14	186893.94	186893.9373	1681874.27	1681874.266	174.537037	182.1256039
332	1138	7.74	3.42	186896.56	186896.5574	1682208.92	1682208.925	116.925065	332.748538
333	905	3.42	7.29	186809.5	186809.5011	1682075.71	1682075.71	332.748538	124.1426612
335	713	3.87	3.42	186745.56	186745.5584	1681791.28	1681791.276	184.237726	208.4795322
336	787	5.04	4.59	185811.49	185811.4881	1680317.32	1680317.323	156.150794	171.459695
337	1447	5.94	5.49	185797.77	185797.7733	1680652.05	1680652.05	243.602694	263.5701275
338	316	528.12	72.63	186493.65	186018.018	1682219.92	1681267.535	0.59834886	4.350819221
339	747	12.51	9.63	185432.79	185358.103	1680037.17	1680060.283	59.7122302	77.57009346
340	851	37.53	15.48	185047.21	185030.904	1681923.97	1681867.66	22.6751932	54.97416021
341	3484	33.48	17.82	186668.11	186668.1122	1681423.21	1681423.21	104.062127	195.5106622
498	1069	67.05	34.47	186570	186570.0029	1675782.08	1675782.076	15.9433259	31.01247462
499	923	2.34	2.34	186841.52	186841.5157	1675661.32	1675661.319	394.4444444	394.4444444

# Setor	População (hab.)	Area ₁ (ha)	Area ₂ (ha)	Coordenada X ₁	Coordenada X ₂	Coordenada Y ₁	Coordenada Y ₂	Coordenada Z ₁	Coordenada Z ₂
500	892	1.98	1.17	186849.35	186849.3549	1675786.79	1675786.786	450.505051	762.3931624
501	268	6.39	1.44	186497.88	186426.47	1675495.12	1675628.272	41.9405321	186.1111111
502	946	14.4	10.26	186727.96	186727.9594	1676345.47	1676345.467	65.8333333	92.3976082
503	1155	12.6	12.33	186533.19	186533.1864	1676660.07	1676660.066	91.6666667	93.67396594
504	1322	55.08	33.84	186811.89	186811.8862	1677037.67	1677037.674	24.0014524	39.06619385
511	1627	12.69	10.44	186975.88	186975.8808	1678244.15	1678244.147	128.21119	155.8429119
512	445	35.73	32.4	186730.86	186730.8586	1678149.63	1678149.631	12.45452	13.7345679
513	866	13.05	12.87	186436.68	186436.6785	1678682.3	1678682.304	66.51341	67.44366744
514	671	2.25	1.89	186140.06	186140.0591	1678670.7	1678670.696	298.222222	355.026455
515	664	1.35	1.35	186127.4	186127.4035	1678515.42	1678515.424	491.851852	491.8518519
516	729	7.56	7.11	186001.64	186001.6431	1678586.54	1678586.537	96.4285714	102.5316456
517	673	11.25	10.89	186392.41	186392.4103	1678435.78	1678435.778	59.8222222	61.79981635
518	362	4.86	4.86	186432.1	186432.104	1678275.92	1678275.925	74.4855967	74.4855967
519	729	6.75	6.75	185946.85	185946.8546	1678330.77	1678330.768	108	108
520	529	5.76	5.4	185797.18	185797.1812	1678607.3	1678607.303	91.8402778	97.96296296
521	473	1.8	1.8	185602.17	185602.1683	1678684.87	1678684.873	262.777778	262.7777778
522	532	2.34	2.34	185636.44	185636.4431	1678562.12	1678562.118	227.350427	227.3504274
523	366	3.33	3.33	185478.79	185478.7853	1678288.37	1678288.371	109.90991	109.9099099
524	634	5.94	5.31	185380.19	185372.516	1678260.26	1678194.335	106.734007	119.3973635
525	620	3.78	3.78	185295.49	185295.4883	1678527.38	1678527.382	164.021164	164.021164
526	457	5.04	5.04	185428.19	185428.1885	1678639.27	1678639.273	90.6746032	90.67460317
527	615	15.12	15.12	185648.67	185648.6732	1678173.22	1678173.221	40.6746032	40.67460317
528	1155	7.47	7.47	185963.24	185963.2394	1678163.68	1678163.676	154.618474	154.6184739
529	160	3.51	3.51	186365.15	186365.1488	1678171.74	1678171.739	45.5840456	45.58404558
530	404	4.77	4.68	186419.02	186419.0243	1677979.6	1677979.599	84.6960168	86.32478632
531	402	6.93	6.48	186262.24	186262.2361	1677878.93	1677878.925	58.006856	62.0370374
532	542	9.27	7.56	186136.73	186136.7338	1677466.8	1677466.798	58.4681769	71.69312169
533	165	1.89	1.89	186466.53	186466.5349	1677754.5	1677754.501	87.3015873	87.3015873
534	665	7.02	7.02	186415.62	186415.6241	1677499.45	1677499.447	94.7293447	94.72934473
535	658	10.26	8.1	186207.09	186207.0883	1677268.1	1677268.096	64.1325536	81.2345679
536	640	14.04	13.77	185940.24	185940.2419	1677332.36	1677332.361	45.5840456	46.4778504
537	1029	16.56	12.24	185970.17	185970.1709	1677872.71	1677872.714	62.1376812	84.06862745
538	662	10.08	9.81	185621.83	185621.8269	1677728.87	1677728.871	65.6746032	67.48216106
539	777	1.8	1.62	185381.77	185381.7734	1677706.58	1677706.578	431.666667	479.6296296
540	483	6.48	6.3	185432.86	185432.8569	1677836.91	1677836.915	74.537037	76.66666667
541	764	10.8	9.54	185501.82	185460.687	1677240.46	1677222.06	70.7407407	80.08388744
542	1098	11.43	11.43	185676.83	185676.8333	1677181.88	1677181.881	96.0629921	96.06299213
543	327	5.22	4.95	185801.86	185801.8611	1677227.51	1677227.509	62.6436782	66.06060606
544	1062	10.96	10.98	186043.29	186043.2855	1676880.53	1676880.532	96.7213115	96.72131148
545	620	9.81	7.83	186110.97	186110.9706	1676706.34	1676706.338	63.2008155	79.18263091
546	797	8.55	8.55	186028.57	186028.5669	1676514.17	1676514.166	93.2163743	93.21637427
547	1187	11.7	11.25	186009.44	186113.636	1676294.3	1676324.3	101.452991	105.5111111
548	978	22.32	14.76	185947.85	186073.529	1675999.91	1675940.284	43.8172043	66.2601626
549	722	1.71	1.44	186058.54	186058.5427	1675607.59	1675607.587	422.222222	501.3888689
550	541	1.44	1.35	186053.49	186053.4908	1675427.38	1675427.378	375.694444	400.7407407
551	589	1.35	1.26	186050.71	186050.7059	1675247.93	1675247.934	436.296296	467.4603175
552	1040	10.08	7.38	186172.94	186169.786	1675520.39	1675428.264	103.174603	140.9214092
553	467	7.38	6.93	186274.35	186274.3481	1675306.92	1675306.925	63.2791328	67.38816739
554	825	1.17	0.81	185994.73	185994.7293	1675728.9	1675728.9	705.128205	1018.518519
555	1095	22.95	7.2	185800.99	185945.187	1675524.2	1675548.269	47.7124183	152.0833333
556	425	1.35	1.08	185575.51	185575.5076	1675481.38	1675481.383	314.814815	393.5185185
557	645	10.71	9	185414.02	185414.0188	1675504.33	1675504.33	60.2240896	71.66666667
558	723	6.39	6.3	185453.49	185453.4889	1675789.71	1675789.711	113.14554	114.7619048
559	1120	9	9	185548.06	185548.0582	1676040.05	1676040.051	124.444444	124.4444444
560	819	5.58	5.4	185544.74	185544.7448	1676280.77	1676280.767	146.774194	151.6666667
561	1062	12.24	11.34	185591.68	185591.6786	1676565.89	1676565.892	86.7647059	93.65079365
562	354	4.32	4.32	185654.41	185654.4097	1676817	1676816.997	81.9444444	81.94444444
563	1043	9.36	9.36	185342.84	185342.8408	1676699.7	1676699.702	111.431624	111.4316239
564	858	5.4	5.4	185307.48	185307.4768	1676410.44	1676410.437	158.888889	158.8888889
565	612	6.57	6.57	185202.67	185202.6715	1676420.2	1676420.199	93.1506849	93.15068493
566	536	2.07	2.07	185101.64	185101.6419	1676665.56	1676665.561	258.937198	258.9371981
567	617	5.49	5.49	185251.15	185251.1525	1676116.22	1676116.224	112.386157	112.3861566
568	754	5.04	5.04	185195.77	185195.7677	1675965.26	1675965.261	149.603175	149.6031746
569	754	6.3	5.4	185220.22	185220.2236	1675530.47	1675530.471	119.68254	139.6296296
570	870	4.05	4.05	185107.82	185107.823	1675733.34	1675733.341	214.814815	214.8148148
571	507	3.69	3.69	185071.38	185071.3785	1675457.04	1675457.041	137.398374	137.398374
572	1031	6.03	6.03	184964.65	184964.6455	1675706.58	1675706.577	170.978441	170.9784411
573	446	5.4	5.4	184824.29	184824.2878	1675445.62	1675445.625	82.5925926	82.59259259
574	733	9.81	9.81	184500.76	184500.7632	1675628.11	1675628.109	74.7196738	74.7196738
575	869	14.04	13.95	184181.44	184181.4438	1675639.78	1675639.784	61.8945869	62.29390681
576	878	15.66	14.67	184370.59	184370.5914	1676114.84	1676114.837	56.0664112	59.85003408
577	563	8.1	8.01	184625.62	184625.6161	1675809.96	1675809.956	69.5061726	70.28714107
578	1119	9.27	9.27	184794.3	184794.3024	1675859.86	1675859.855	120.711974	120.7119741

# Setor	População (hab.)	Area ₁ (ha)	Area ₂ (ha)	Coordenada X ₁	Coordenada X ₂	Coordenada Y ₁	Coordenada Y ₂	Coordenada Z ₁	Coordenada Z ₂
579	571	10.35	8.82	184928.4	184928.3985	1676092.13	1676092.134	55.1690821	64.73922902
580	283	7.02	5.94	184883.32	184883.3158	1676334.73	1676334.73	40.3133903	47.64309764
581	212	2.07	1.71	184932.3	184932.2989	1676319.63	1676319.626	102.415459	123.9766082
582	304	27.81	17.1	184617.4	184613.636	1676539.63	1676476.306	10.9313197	17.77777778
583	504	1.98	1.89	184954.54	184954.5376	1676451.18	1676451.183	254.545455	266.6666667
584	988	67.23	29.16	184682.5	184468.91	1677158.89	1677083.46	14.6958203	33.88203018
585	414	2.61	2.16	185008.43	185008.427	1676719.91	1676719.907	158.62069	191.6666667
586	549	7.29	4.5	185224.97	185224.9685	1677156.04	1677156.039	75.308642	122
587	445	4.5	7.29	185370.58	185370.5787	1677125.08	1677125.085	98.8888889	61.04252401
588	180	3.69	3.69	185302.73	185302.7298	1677413.92	1677413.923	48.7804878	48.7804878
589	688	5.76	5.76	185249.19	185249.194	1677625.4	1677625.4	119.4444444	119.4444444
590	496	2.97	2.97	185086.75	185089.043	1677574.33	1677633.282	167.003367	167.003367
591	765	3.33	2.79	184741.17	184741.1745	1677571.73	1677571.734	229.72973	274.1935484
592	745	2.88	2.43	184969.68	184969.6754	1677536.51	1677536.51	258.680556	306.5843621
593	16	0.45	0.45	185131.85	185131.852	1677446.87	1677446.869	35.5555556	35.5555556
594	380	1.08	1.08	184947.9	184947.8974	1677668.13	1677668.13	351.851852	351.8518519
595	564	0.9	0.9	184919.45	184919.4511	1677697.81	1677697.813	626.666667	626.6666667
596	820	2.34	2.34	184911.43	184911.4345	1677756.65	1677756.654	350.42735	350.4273504
597	588	3.96	3.96	184651.42	184651.4227	1677705.62	1677705.619	148.484848	148.4848485
598	489	1.17	0.63	184570.64	184570.6411	1677601.22	1677601.221	417.948718	776.1904762
599	525	2.16	1.26	184459.17	184459.1677	1677592.82	1677592.818	243.055556	416.6666667
600	833	4.86	4.5	184375.86	184375.8646	1677795.33	1677795.332	171.399177	185.1111111
601	792	1.71	1.71	184581.59	184581.5945	1677805.55	1677805.555	463.157895	463.1578947
602	326	0.54	0.54	184575.14	184575.1364	1677862.51	1677862.509	603.703704	603.7037037
603	518	0.9	0.9	184569.02	184569.0207	1677898.98	1677898.98	575.555556	575.5555556
604	1123	12.87	12.42	185035.75	185096.592	1677875.14	1677913.639	87.2571873	90.41867955
605	771	3.42	2.61	185205.98	185205.9828	1678086.8	1678086.802	225.438596	295.4022989
606	334	11.43	10.08	185158.93	185158.9347	1678467.28	1678467.282	29.2213473	33.13492063
607	871	6.75	6.75	185012.22	185012.2197	1678460.57	1678460.574	129.037037	129.037037
608	540	3.33	3.33	184903.11	184903.1051	1678581.01	1678581.01	162.162162	162.1621622
609	400	2.97	2.97	184819.37	184819.3697	1678573.09	1678573.091	134.680135	134.6801347
610	1004	4.68	4.68	184951.93	184951.9341	1678178.81	1678178.807	214.529915	214.5299145
611	177	1.98	1.98	184852.78	184852.7814	1678270.32	1678270.318	89.3939394	89.39393939
612	743	1.44	1.44	184855.68	184855.681	1677982.52	1677982.525	515.972222	515.9722222
613	694	7.56	7.47	184795.54	184795.5362	1678227.35	1678227.354	91.7989418	92.90495315
614	907	7.38	5.4	184675.76	184675.7556	1678462.27	1678462.272	122.899729	167.962963
615	23	1.08	0.72	184702.57	184702.5666	1678187.59	1678187.592	21.2962963	31.94444444
616	678	15.48	11.7	184519.29	184695.116	1678321.25	1678367.241	43.7984496	57.94871795
617	423	7.47	7.47	184314.05	184314.0521	1678478.17	1678478.169	56.626506	56.62650602
618	562	1.71	1.71	184250.03	184250.0333	1678351.09	1678351.09	328.654971	328.6549708
619	218	2.07	2.07	184162.55	184162.5505	1678330.17	1678330.171	105.31401	105.3140097
620	205	2.61	2.61	184134.09	184134.0865	1678536.15	1678536.153	78.5440613	78.5440613
621	129	1.89	1.89	184037.48	184037.4781	1678525.02	1678525.016	68.2539683	68.25396825
622	294	3.51	3.51	183910.53	183910.5289	1678508.18	1678508.178	83.7606838	83.76068376
623	148	1.8	1.62	183770.86	183770.859	1678498.01	1678498.011	82.2222222	91.35802469
624	263	2.34	1.98	183681.01	183681.0105	1678470.62	1678470.619	112.393162	132.8282828
625	452	2.88	2.79	183780.14	183780.1362	1678299.64	1678299.639	156.944444	162.0071685
626	862	13.32	11.61	183571.62	183571.6246	1678292.03	1678292.029	64.7147147	74.24633936
627	582	0.99	0.72	183454.43	183454.4339	1678128.83	1678128.834	587.878788	808.3333333
628	1086	11.25	11.25	183580.05	183580.0496	1677796.93	1677796.932	96.53333333	96.53333333
629	939	15.03	14.49	183846.15	183846.1531	1678043.29	1678043.289	62.4750499	64.80331263
630	821	9	8.82	184015.59	184015.5893	1677974	1677974.003	91.2222222	93.08390023
631	455	4.86	4.77	184139.49	184139.4899	1678127.13	1678127.133	93.6213992	95.38784067
632	647	3.06	3.06	184404.83	184404.8323	1678075.87	1678075.874	211.437908	211.4379085
633	870	3.42	3.24	184303.04	184303.0421	1678066.95	1678066.952	254.385965	268.5185185
634	480	3.42	3.42	184226.14	184226.138	1677785.31	1677785.314	140.350877	140.3508772
635	341	4.68	4.41	184029	184028.9989	1677725.7	1677725.697	72.8632479	77.32426304
636	821	70.38	17.46	183783.9	183451	1677183.8	1677094.02	11.6652458	47.02176403
637	352	3.6	2.16	183480.92	183417.47	1676919.94	1676893.02	97.7777778	162.962963
638	652	11.52	10.98	184185.46	184185.4552	1676205.51	1676205.507	56.5972222	59.38069217
639	696	11.97	11.88	184137.68	184137.6801	1676592.57	1676592.567	58.1453634	58.58585859
640	959	17.28	13.5	183776.47	183776.466	1676599.8	1676599.8	55.4976852	71.03703704
641	1027	46.44	25.02	183439.28	183642.941	1676314.97	1676273.214	22.1145564	41.04716227
642	594	18.45	16.83	183699.36	183699.3608	1675876.65	1675876.654	32.195122	35.29411765
643	572	8.91	8.73	183980.52	183980.5237	1676083.03	1676083.034	64.1975309	65.52119129
644	528	9.63	9.45	183864.99	183864.9866	1675590.4	1675590.397	54.8286604	55.87301587
645	669	11.7	10.53	183456.83	183456.8307	1675632.63	1675632.634	57.1794872	63.53276353
646	793	41.49	22.68	182959.41	183055.964	1676402.16	1676344.223	19.1130393	34.96472663
647	826	13.05	12.87	182872.57	182872.5677	1675889.43	1675889.433	63.2950192	64.18026418
648	163	2.52	2.52	183012.91	183012.9061	1675641.42	1675641.425	64.6825397	64.68253968
649	890	11.79	11.7	182725.74	182725.7446	1675677.64	1675677.64	75.4877014	76.06837607
650	834	4.86	4.86	182684.01	182702.98	1675479.63	1675440.738	171.604938	171.6049383
651	423	3.42	3.33	182817.4	182817.3958	1675401.71	1675401.713	123.684211	127.027027

# Setor	População (hab.)	Area ₁ (ha)	Area ₂ (ha)	Coordenada X ₁	Coordenada X ₂	Coordenada Y ₁	Coordenada Y ₂	Coordenada Z ₁	Coordenada Z ₂
652	430	2.79	2.7	182542.98	182542.9764	1675203.71	1675203.713	154.121864	159.2592593
653	444	4.14	2.61	182430.04	182430.0432	1675294.64	1675294.644	107.246377	170.1149425
654	808	6.66	6.66	182442.55	182442.5458	1675468.07	1675468.071	121.321321	121.3213213
655	942	14.94	14.4	182519.18	182519.1759	1675953.48	1675953.477	63.0522088	65.41666667
656	634	6.12	5.85	182225.51	182225.5123	1675869.4	1675869.402	103.594771	108.3760684
657	0	0.9	0.9	182208.34	182208.343	1675751.97	1675751.968	0	0
658	626	21.15	13.41	182406.77	182440.933	1676282.64	1676396.003	29.5981087	46.68158091
659	1497	14.15	12.6	182111.3	182111.299	1676427.72	1676427.718	105.52017	118.3333333
660	752	9.27	6.21	182331.82	182400.698	1676659.61	1676700.932	81.1218986	121.0950081
661	571	2.88	2.16	182314.74	182400.698	1676897.56	1676931.068	198.263889	264.3518519
662	565	6.03	4.59	182164.68	182164.6791	1676891.75	1676891.745	93.6981758	123.0936819
663	742	9.09	7.92	182464.89	182464.8887	1677501.1	1677501.101	81.6281628	93.68686869
664	834	19.08	13.5	182535.76	182561.64	1677169.64	1677385.585	43.7106918	61.77777778
665	1067	24.66	18.54	182842.86	182791.558	1677002.76	1676959.834	43.2684509	57.55124056
666	1252	9.81	9.72	182828.76	182828.7594	1677421.03	1677421.028	127.624873	128.8065844
667	492	5.49	4.77	183406.35	183406.3482	1677381.69	1677381.69	89.6174863	103.1446541
668	907	9.81	6.48	183143.33	183143.3304	1677340.7	1677340.7	92.4566769	139.9691358
669	646	11.25	7.38	183075.51	183058.924	1677659.36	1677747.891	57.4222222	87.53387534
670	320	2.88	2.79	183380.81	183380.8085	1677594.33	1677594.33	111.111111	114.6953405
671	412	4.68	3.96	183327.4	183327.4037	1677752.23	1677752.232	88.034188	104.040404
672	277	3.96	3.96	183312.36	183312.358	1677910.13	1677910.134	69.9494949	69.94949495
673	609	3.69	3.69	183330.84	183330.837	1678080.97	1678080.974	165.04065	165.0406504
674	816	5.04	5.04	183271.94	183271.9438	1678352.29	1678352.287	161.904762	161.9047619
675	618	4.95	4.86	183372.05	183372.0478	1678490.42	1678490.418	124.848485	127.1604938
676	266	2.16	2.07	183514.67	183514.6671	1678695.07	1678695.07	123.148148	128.5024155
677	794	6.03	5.94	183365.27	183365.2732	1678837.09	1678837.089	131.674959	133.6700337
678	752	7.47	7.47	183197.45	183197.4455	1678826.68	1678826.683	100.669344	100.669344
679	461	4.59	4.59	182945.1	182945.0979	1678894.47	1678894.471	100.43573	100.4357298
680	443	4.41	4.41	182810.86	182810.8649	1678741.41	1678741.405	100.453515	100.4535147
681	370	1.26	1.26	183072.53	183072.5268	1678732.23	1678732.228	293.650794	293.6507937
682	428	2.16	2.16	183126.7	183126.695	1678599.88	1678599.883	198.148148	198.1481481
683	828	14.85	11.34	183071.85	183129.048	1678377.12	1678483.875	55.7575758	73.01587302
684	985	9.09	9	183012.66	183012.6606	1678124.15	1678124.146	108.360836	109.4444444
685	939	11.43	11.34	182867.99	182867.9937	1678152.86	1678152.86	82.152231	82.8042328
686	809	26.64	18.99	182641.98	182717.068	1678216.22	1678238.547	30.3678679	42.60136914
687	286	4.86	4.86	182653.68	182653.6796	1678826.47	1678826.468	58.8477366	58.84773663
688	482	2.97	2.79	182512.83	182512.8331	1678801.37	1678801.368	162.289562	172.7598566
689	796	4.95	4.95	182388.55	182388.5512	1678462.02	1678462.024	160.808081	160.8080808
690	437	4.05	4.05	182395.17	182395.1726	1678158.42	1678158.417	107.901235	107.9012346
691	866	6.75	6.39	182503.03	182503.0337	1677784.05	1677784.055	128.296296	135.5242567
692	570	4.05	4.05	182400.81	182400.8125	1677890.19	1677890.187	140.740741	140.7407407
693	584	4.59	4.59	182304.98	182304.9847	1677736.04	1677736.04	127.231115	127.2311155
694	534	5.4	5.4	182273.32	182273.3153	1678328.7	1678328.7	98.8888889	98.88888889
695	522	3.42	3.42	182177.87	182177.8673	1678157.82	1678157.816	152.631579	152.6315789
696	476	13.32	13.23	182067.88	182067.8782	1678357.77	1678357.772	35.7357357	35.97883598
697	863	10.17	7.65	182144.91	182144.9062	1677780.21	1677780.21	84.8574238	112.8104575
698	64	1.89	1.8	182084.58	182084.5767	1677564.52	1677564.519	33.8624339	35.55555556
699	645	5.31	5.31	181966.95	181966.9471	1677728.79	1677728.786	121.468927	121.4689266
700	610	7.74	7.65	181885.17	181885.1732	1678200.57	1678200.569	78.8113695	79.73856209
701	615	3.33	3.33	181768.44	181768.435	1678293.91	1678293.908	184.684685	184.6846847
702	652	3.15	3.15	181674.06	181674.056	1678256.74	1678256.741	206.984127	206.984127
703	669	8.37	7.11	181604.32	181604.3232	1678113.72	1678113.715	79.9283154	94.092827
704	541	4.95	4.95	181866.29	181866.286	1677718.88	1677718.879	109.292929	109.2929293
705	496	3.6	3.6	181761.85	181761.8463	1677789.52	1677789.524	137.777778	137.7777778
706	588	6.03	6.03	181723.16	181722.44	1677620.17	1677569.693	97.5124378	97.51243781
707	609	8.19	6.84	181533.66	181566.387	1677772.1	1677845.546	74.3589744	89.03508772
708	0	1.26	0.54	181321.34	181297.435	1677827.6	1677816.237	0	0
709	808	7.2	7.02	181417.06	181417.0613	1677629.53	1677629.532	112.222222	115.0997151
710	211	1.8	1.8	181244.05	181244.0489	1677530.89	1677530.89	117.222222	117.2222222
711	487	4.86	4.86	181161.24	181204.524	1677807.82	1677845.546	100.205761	100.2057613
712	598	1.8	1.8	181052.15	181052.1508	1677786.7	1677786.697	332.222222	332.2222222
713	911	6.12	4.59	181078.56	181078.5642	1677566.79	1677566.785	148.856209	198.4749455
716	697	6.48	5.94	181137.18	181137.1811	1676938.88	1676938.883	107.561728	117.3400673
717	570	3.42	3.42	181096.27	181096.2705	1677280.74	1677280.741	166.666667	166.6666667
718	186	1.8	1.71	181236.02	181236.0181	1677390.83	1677390.833	103.333333	108.7719298
719	402	1.98	1.98	181395.92	181395.921	1677277.3	1677277.296	203.030303	203.030303
720	621	2.34	2.34	181248.97	181248.9687	1677260.77	1677260.767	265.384615	265.3846154
721	578	4.59	4.59	181273.86	181273.8552	1677038.82	1677038.816	125.925926	125.9259259
722	636	3.6	3.6	181305.12	181305.1174	1676768.16	1676768.159	176.666667	176.6666667
723	882	5.94	5.94	181456.29	181456.2886	1676708.3	1676708.296	148.484848	148.4848485
724	746	4.77	4.77	181571.12	181571.1245	1677070.67	1677070.667	156.39413	156.39413
725	787	4.32	4.32	181420.58	181420.5751	1677052.98	1677052.984	182.175926	182.1759259
726	757	9.45	9.27	181558.62	181558.6156	1677362.02	1677362.019	80.1058201	81.66127292

# Setor	População (hab.)	Area ₁ (ha)	Area ₂ (ha)	Coordenada X ₁	Coordenada X ₂	Coordenada Y ₁	Coordenada Y ₂	Coordenada Z ₁	Coordenada Z ₂
727	304	2.25	2.25	181851.89	181851.8936	1677340.84	1677340.844	135.111111	135.111111
728	423	1.71	1.71	181953.95	181953.9455	1677369.87	1677369.867	247.368421	247.368421
729	694	6.03	4.41	182122.57	182067.317	1677355.87	1677408.598	115.091211	157.3696145
730	585	5.13	2.61	182215.77	182274.243	1677126.15	1677207.23	114.035088	224.137931
731	376	2.52	2.52	182057.18	182057.1805	1677124.27	1677124.273	149.206349	149.2063492
732	363	2.7	2.7	181971.97	181971.9739	1677113.51	1677113.507	134.444444	134.4444444
733	548	3.69	3.69	181867.65	181867.6478	1677105.12	1677105.121	148.509485	148.5094851
734	524	4.77	4.77	181729.1	181729.0999	1677087.6	1677087.602	109.853249	109.8532495
735	541	7.2	7.2	181933.94	181933.9361	1676765.37	1676765.368	75.1388889	75.13888889
736	247	2.34	2.34	181753.73	181753.7292	1676865.49	1676865.495	105.555556	105.5555556
737	670	2.52	2.52	181596.7	181596.7	1676848.32	1676848.323	265.873016	265.8730159
738	609	9.27	9.27	181704.74	181704.7357	1676636.78	1676636.778	65.6957929	65.69579288
739	679	7.29	7.29	181561.46	181561.4574	1675847.79	1675847.791	93.1412894	93.14128944
740	862	11.07	7.83	181831.58	181711.93	1675862.01	1675779.422	77.868112	110.0893997
741	717	12.87	11.97	181686.23	181686.227	1676095.75	1676095.75	55.7109557	59.89974937
742	694	18.81	16.56	181659.42	181659.4192	1676349.2	1676349.203	36.8952685	41.90821256
743	1076	9.18	8.46	181889.05	181889.0514	1675722.05	1675722.046	117.211329	127.1867612
744	472	2.7	2.7	182063.19	182063.1869	1675646.83	1675646.831	174.814815	174.8148148
745	637	3.87	3.87	181754.57	181754.5712	1675537.52	1675537.519	164.599483	164.5994832
746	819	4.5	4.41	182005.88	182005.8771	1675522.38	1675522.375	182	185.7142857
747	754	4.32	4.32	182034.51	182034.5092	1675431.25	1675431.248	174.537037	174.537037
748	291	2.7	2.7	182156.43	182156.4322	1675372.99	1675372.991	107.777778	107.7777778
749	547	2.97	2.97	182182.6	182182.5991	1675272.02	1675272.017	184.175084	184.1750842
750	495	4.14	3.96	182240.3	182240.2957	1675157.87	1675157.875	119.565217	125
751	550	3.78	3.78	181989.42	181989.4222	1675161.33	1675161.331	145.502646	145.5026455
752	215	0.99	0.99	181819.89	181819.8871	1675159.31	1675159.312	217.171717	217.1717172
753	380	1.8	1.8	181937.51	181937.5084	1675296.78	1675296.783	211.111111	211.1111111
754	527	3.87	3.87	181760.61	181760.6138	1675316.33	1675316.327	136.175711	136.1757106
755	508	2.25	2.16	181650.26	181650.2643	1675306.13	1675306.132	225.777778	235.1851852
756	521	3.6	3.51	181547.67	181547.6701	1675397.2	1675397.202	144.722222	148.4330484
757	741	7.74	5.94	181371.12	181371.1187	1675571.79	1675571.787	95.7364341	124.7474747
758	897	4.32	4.32	181325.46	181325.4618	1675891.62	1675891.621	207.638889	207.6388889
759	419	7.74	6.48	181315.36	181315.3642	1676296.26	1676296.26	54.1343669	64.66049383
760	42	0.9	0.9	181282.95	181282.9475	1676593.32	1676593.316	46.6666667	46.66666667
761	272	5.85	5.13	181175.93	181175.9279	1676465.74	1676465.744	46.4957265	53.0214425
762	466	6.21	6.03	181053.39	181053.3918	1676511.42	1676511.418	75.3623186	77.6119403
764	133	4.68	2.7	181052.82	181052.8244	1676138.56	1676138.558	28.4188034	49.25925926
765	969	3.24	3.24	181179.5	181179.5008	1675884.75	1675884.749	299.074074	299.0740741
766	873	3.6	3.6	181175.75	181175.7531	1675590.25	1675590.254	242.5	242.5
767	765	5.04	4.86	181043.95	181043.9459	1675659.1	1675659.096	151.785714	157.4074074
1047	575	1.35	1.35	181011.71	181011.7097	1675376.83	1675376.826	425.925926	425.9259259
1048	234	2.61	2.43	181157.84	181157.8405	1675353.84	1675353.839	89.6551724	96.2962963
1049	584	2.34	2.34	181123.99	181123.9944	1675185.43	1675185.427	249.57265	249.5726496
1050	659	3.69	3.51	181270.92	181270.9168	1675238.57	1675238.57	178.590786	187.7492877
1051	0	0.45	0.09	181266.42	181266.4163	1675393.14	1675393.139	0	0
1052	587	5.85	5.67	181407.87	181407.8683	1675214.81	1675214.815	100.34188	103.5273369
1246	466	3.78	3.78	182859.25	182859.2462	1675296.48	1675296.485	123.280423	123.2804233
1247	570	20.61	7.02	183024.57	183070.291	1675223.73	1675159.253	27.6564774	81.1965812
1631	460	2.61	2.61	183485.5	183485.4956	1675347.01	1675347.007	176.245211	176.2452107
1632	535	5.13	4.95	183562.08	183562.0797	1675215.81	1675215.812	104.288499	108.0808081
1633	994	8.55	8.55	183765.11	183765.1084	1675162.47	1675162.474	116.25731	116.2573099
1635	752	4.68	3.51	183971.35	183971.3547	1675103.85	1675103.85	160.683761	214.2450142
1636	649	5.04	3.69	184055.7	184055.6986	1675257.49	1675257.491	128.769841	175.8807588
1637	271	4.23	4.23	184192.64	184192.6414	1675319.85	1675319.85	64.0661939	64.06619385
1638	234	3.69	3.69	184347.27	184347.2735	1675368.39	1675368.387	63.4146341	63.41463415
1639	853	6.66	6.66	184335.99	184335.9903	1675144.45	1675144.449	128.078078	128.0780781
1642	1052	7.02	7.02	184621.09	184621.0887	1675065.69	1675065.687	149.85755	149.8575499
1643	712	9.9	9.81	184717.06	184717.06	1675281.92	1675281.921	71.9191919	72.57900102
1644	706	9.45	6.84	185041.59	185041.5921	1675158.13	1675158.128	74.7089947	103.2163743
1645	283	5.49	5.85	185396.08	185396.0816	1675197.78	1675197.777	51.5482696	48.37606838
1646	861	5.85	5.22	185615.74	185615.7398	1675113.2	1675113.202	147.179487	164.9425287
1647	478	5.49	3.33	185378.26	185378.2602	1675007.36	1675007.359	87.0673953	143.5435435
1856	130	40.59	11.61	184026.37	184268.457	1683491.51	1683555.1	3.2027593	11.19724376

Obs.: Os setores marcados (cinza) pertencem à Baía do Arroio da Areia e os demais compõem o retângulo envolvente sobre a baía.

Anexo B: Dados estimados para duas situações: a) simulação Gaussiana dos dados originais e b) simulação Gaussiana dos dados alterados pela imagem classificada.

a) Dados Originais			b) Dados Alterados		
Densidade (hab/ha)	Área (ha)	População (hab)	Densidade (hab/ha)	Área (ha)	População (hab)
0	316.35	0	0	2040.66	0
1	1.53	1.53	4	1.08	4.32
2	8.64	17.28	5	4.05	20.25
3	23.49	70.47	6	12.24	73.44
4	41.4	165.6	7	12.96	90.72
5	46.62	233.1	8	12.6	100.8
6	45.18	271.08	9	13.5	121.5
7	37.89	265.23	10	12.87	128.7
8	32.94	263.52	11	11.7	128.7
9	30.42	273.78	12	12.24	146.88
10	34.2	342	13	11.07	143.91
11	40.77	448.47	14	10.35	144.9
12	46.53	558.36	15	11.43	171.45
13	44.55	579.15	16	10.17	162.72
14	45.45	636.3	17	8.91	151.47
15	43.92	658.8	18	10.44	187.92
16	42.21	675.36	19	10.08	191.52
17	41.49	705.33	20	10.17	203.4
18	43.11	775.98	21	9	189
19	47.52	902.88	22	11.43	251.46
20	45.9	918	23	11.43	262.89
21	43.29	909.09	24	12.78	306.72
22	42.66	938.52	25	12.96	324
23	41.85	962.55	26	13.59	353.34
24	38.52	924.48	27	12.78	345.06
25	38.16	954	28	14.76	413.28
26	37.98	987.48	29	19.26	558.54
27	39.42	1064.34	30	18.36	550.8
28	37.35	1045.8	31	23.58	730.98
29	38.97	1130.13	32	21.87	699.84
30	38.52	1155.6	33	24.93	822.69
31	39.87	1235.97	34	27.09	921.06
32	40.41	1293.12	35	27.27	954.45
33	44.91	1482.03	36	30.06	1082.16
34	49.77	1692.18	37	30.42	1125.54
35	51.48	1801.8	38	31.41	1193.58
36	59.04	2125.44	39	32.4	1263.6
37	53.01	1961.37	40	35.1	1404
38	51.66	1963.08	41	36.9	1512.9
39	55.98	2183.22	42	36	1512
40	54.27	2170.8	43	38.34	1648.62
41	55.89	2291.49	44	40.14	1766.16
42	54.45	2286.9	45	39.51	1777.95
43	56.16	2414.88	46	42.12	1937.52
44	54.27	2387.88	47	39.06	1835.82
45	53.28	2397.6	48	41.13	1974.24
46	56.52	2599.92	49	38.16	1869.84
47	54.81	2576.07	50	43.2	2160
48	53.55	2570.4	51	38.88	1982.88
49	55.08	2698.92	52	42.12	2190.24
50	52.56	2628	53	39.6	2098.8
51	52.65	2685.15	54	42.93	2318.22
52	53.01	2756.52	55	43.74	2405.7
53	50.22	2661.66	56	41.13	2303.28
54	50.31	2716.74	57	39.15	2231.55
55	51.48	2831.4	58	38.61	2239.38
56	54.36	3044.16	59	37.08	2187.72
57	51.57	2939.49	60	43.02	2581.2
58	52.56	3048.48	61	41.4	2525.4
59	49.77	2936.43	62	37.08	2298.96
60	52.56	3153.6	63	40.68	2562.84
61	51.03	3112.83	64	41.94	2684.16
62	53.46	3314.52	65	37.8	2457
63	48.06	3027.78	66	40.32	2661.12
64	48.69	3116.16	67	41.76	2797.92
65	47.25	3071.25	68	39.06	2656.08
66	48.69	3213.54	69	42.57	2937.33
67	46.26	3099.42	70	40.95	2866.5

a) Dados Originais			b) Dados Alterados		
Densidade (hab/ha)	Área (ha)	População (hab)	Densidade (hab/ha)	Área (ha)	População (hab)
68	51.39	3494.52	71	39.87	2830.77
69	49.68	3427.92	72	36.63	2637.36
70	48.15	3370.5	73	38.7	2825.1
71	45.54	3233.34	74	37.26	2757.24
72	44.91	3233.52	75	36.81	2760.75
73	42.39	3094.47	76	34.65	2633.4
74	47.07	3463.18	77	35.73	2751.21
75	45.27	3395.25	78	37.98	2962.44
76	43.11	3276.36	79	32.31	2552.49
77	40.23	3097.71	80	32.58	2606.4
78	43.2	3369.6	81	31.59	2558.79
79	41.22	3256.38	82	32.94	2701.08
80	40.41	3232.8	83	31.86	2644.38
81	39.51	3200.31	84	31.5	2646
82	41.67	3416.94	85	29.34	2493.9
83	38.7	3212.1	86	28.71	2469.06
84	38.61	3243.24	87	26.73	2325.51
85	39.06	3320.1	88	27.18	2391.84
86	39.33	3382.38	89	26.46	2354.94
87	36.54	3178.98	90	23.22	2089.8
88	36.63	3223.44	91	24.39	2219.49
89	33.93	3019.77	92	25.11	2310.12
90	34.56	3110.4	93	21.87	2033.91
91	35.1	3194.1	94	22.05	2072.7
92	35.1	3229.2	95	19.8	1881
93	31.86	2962.98	96	19.98	1918.08
94	28.53	2681.82	97	17.91	1737.27
95	30.69	2915.55	98	20.7	2028.6
96	29.61	2842.56	99	20.52	2031.48
97	30.78	2985.66	100	15.84	1584
98	28.53	2795.94	101	18.45	1863.45
99	27.27	2699.73	102	16.2	1652.4
100	24.84	2484	103	17.19	1770.57
101	24.39	2463.39	104	17.73	1843.92
102	23.58	2405.16	105	13.14	1379.7
103	23.31	2400.93	106	15.93	1688.58
104	22.5	2340	107	15.48	1656.36
105	20.25	2126.25	108	15.75	1701
106	21.69	2299.14	109	14.31	1559.79
107	18.63	1993.41	110	14.49	1593.9
108	18.36	1982.88	111	11.88	1318.68
109	18.18	1981.62	112	12.78	1431.36
110	19.53	2148.3	113	10.98	1240.74
111	18.36	2037.96	114	11.34	1292.76
112	17.82	1995.84	115	11.43	1314.45
113	15.48	1749.24	116	10.08	1169.28
114	16.74	1908.36	117	12.69	1484.73
115	16.74	1925.1	118	10.17	1200.06
116	14.31	1659.96	119	9.45	1124.55
117	14.13	1653.21	120	10.44	1252.8
118	16.29	1922.22	121	12.15	1470.15
119	13.14	1563.66	122	9.81	1196.82
120	13.59	1630.8	123	10.35	1273.05
121	15.39	1862.19	124	9.81	1216.44
122	12.87	1570.14	125	9.99	1248.75
123	10.8	1328.4	126	7.56	952.56
124	10.98	1361.52	127	10.8	1371.6
125	10.71	1338.75	128	8.55	1094.4
126	8.64	1088.64	129	8.1	1044.9
127	11.34	1440.18	130	7.29	947.7
128	10.89	1393.92	131	8.37	1096.47
129	8.1	1044.9	132	9.27	1223.64
130	10.17	1322.1	133	7.02	933.66
131	9.63	1261.53	134	7.56	1013.04
132	8.46	1116.72	135	7.2	972
133	7.38	981.54	136	6.39	869.04
134	8.19	1097.46	137	6.75	924.75
135	8.01	1081.35	138	5.31	732.78
136	9.36	1272.96	139	6.84	950.76
137	6.84	937.08	140	5.4	756
138	7.47	1030.86	141	5.04	710.64
139	6.66	925.74	142	4.5	639

a) Dados Originais			b) Dados Alterados		
Densidade (hab/ha)	Área (ha)	População (hab)	Densidade (hab/ha)	Área (ha)	População (hab)
140	5.76	806.4	143	5.22	746.46
141	5.31	748.71	144	5.49	790.56
142	4.77	677.34	145	4.68	678.6
143	4.59	656.37	146	5.04	735.84
144	4.59	660.96	147	5.22	767.34
145	4.5	652.5	148	6.66	985.68
146	4.68	683.28	149	4.68	697.32
147	3.78	555.66	150	4.5	675
148	4.86	719.28	151	5.94	896.94
149	3.15	469.35	152	4.5	684
150	3.78	567	153	4.41	674.73
151	4.05	611.55	154	4.32	665.28
152	4.32	656.64	155	3.78	585.9
153	4.68	716.04	156	3.42	533.52
154	3.24	498.96	157	3.6	565.2
155	3.15	488.25	158	3.6	568.8
156	3.96	617.76	159	3.15	500.85
157	3.69	579.33	160	3.96	633.6
158	3.24	511.92	161	3.6	579.6
159	3.51	558.09	162	3.6	583.2
160	3.24	518.4	163	4.05	660.15
161	2.52	405.72	164	3.78	619.92
162	3.15	510.3	165	2.88	475.2
163	2.88	469.44	166	3.33	552.78
164	2.88	472.32	167	2.7	450.9
165	2.61	430.65	168	3.24	544.32
166	2.52	418.32	169	2.25	380.25
167	2.7	450.9	170	2.7	459
168	2.43	408.24	171	1.71	292.41
169	2.16	365.04	172	2.88	495.36
170	2.52	428.4	173	2.43	420.39
171	2.16	369.36	174	1.98	344.52
172	2.79	479.88	175	2.07	362.25
173	2.61	451.53	176	1.62	285.12
174	2.16	375.84	177	2.25	398.25
175	1.8	315	178	1.44	256.32
176	2.25	396	179	2.07	370.53
177	1.35	238.95	180	2.43	437.4
178	1.8	320.4	181	1.35	244.35
179	1.17	209.43	182	2.07	376.74
180	1.35	243	183	1.71	312.93
181	1.71	309.51	184	1.8	331.2
182	2.16	393.12	185	1.53	283.05
183	1.35	247.05	186	1.44	267.84
184	1.53	281.52	187	1.17	218.79
185	1.53	283.05	188	0.81	152.28
186	1.62	301.32	189	1.35	255.15
187	1.44	269.28	190	1.08	205.2
188	1.62	304.56	191	1.53	292.23
189	0.9	170.1	192	1.98	380.16
190	1.71	324.9	193	1.35	260.55
191	1.71	326.61	194	1.26	244.44
192	1.17	224.64	195	1.17	228.15
193	1.44	277.92	196	1.44	282.24
194	1.35	261.9	197	1.08	212.76
195	1.71	333.45	198	1.17	231.66
196	0.72	141.12	199	0.45	89.55
197	0.99	195.03	200	0.72	144
198	1.17	231.66	201	1.35	271.35
199	0.81	161.19	202	1.17	236.34
200	1.44	288	203	0.81	164.43
201	1.44	289.44	204	1.08	220.32
202	0.99	199.98	205	1.44	295.2
203	1.17	237.51	206	1.26	259.56
204	1.35	275.4	207	1.17	242.19
205	1.08	221.4	208	0.9	187.2
206	0.9	185.4	209	0.99	206.91
207	1.35	279.45	210	1.17	245.7
208	0.9	187.2	211	0.81	170.91
209	0.99	206.91	212	1.53	324.36
210	1.17	245.7	213	1.08	230.04
211	1.26	265.86	214	0.9	192.6

a) Dados Originais			b) Dados Alterados		
Densidade (hab/ha)	Área (ha)	População (hab)	Densidade (hab/ha)	Área (ha)	População (hab)
212	1.26	267.12	215	0.9	193.5
213	0.9	191.7	216	1.71	369.36
214	0.81	173.34	217	1.62	351.54
215	0.63	135.45	218	0.9	196.2
216	1.53	330.48	219	1.53	335.07
217	0.99	214.83	220	1.53	336.6
218	0.54	117.72	221	1.17	258.57
219	1.08	236.52	222	0.99	219.78
220	0.99	217.8	223	0.9	200.7
221	1.08	238.68	224	1.08	241.92
222	0.72	159.84	225	0.99	222.75
223	0.63	140.49	226	1.08	244.08
224	0.72	161.28	227	1.44	326.88
225	0.54	121.5	228	1.53	348.84
226	0.99	223.74	229	1.89	432.81
227	0.81	183.87	230	1.44	331.2
228	0.72	164.16	231	0.63	145.53
229	0.99	226.71	232	0.81	187.92
230	0.99	227.7	233	0.99	230.67
231	0.45	103.95	234	0.81	189.54
232	0.9	208.8	235	1.08	253.8
233	0.72	167.76	236	0.72	169.92
234	0.36	84.24	237	0.81	191.97
235	0.9	211.5	238	0.72	171.36
236	0.72	169.92	239	1.17	279.63
237	0.72	170.64	240	1.08	259.2
238	0.9	214.2	241	0.18	43.38
239	0.45	107.55	242	0.72	174.24
240	0.99	237.6	243	0.99	240.57
241	0.72	173.52	244	0.63	153.72
242	0.72	174.24	245	1.53	374.85
243	0.36	87.48	246	0.54	132.84
244	0.54	131.76	247	0.99	244.53
245	0.72	176.4	248	0.81	200.88
246	0.36	88.56	249	0.99	246.51
247	0.54	133.38	250	0.63	157.5
248	0.9	223.2	251	0.81	203.31
249	0.54	134.46	252	1.35	340.2
250	0.54	135	253	0.72	182.16
251	0.36	90.36	254	0.81	205.74
252	0.45	113.4	255	1.17	298.35
253	0.45	113.85	256	0.63	161.28
254	0.27	68.58	257	0.63	161.91
255	0.27	68.85	258	0.81	208.98
256	0.63	161.28	259	0.9	233.1
257	0.27	69.39	260	0.45	117
258	0.09	23.22	261	0.36	93.96
259	0.27	69.93	262	0.9	235.8
260	0.36	93.6	263	0.36	94.68
261	0.27	70.47	264	1.08	285.12
262	0.36	94.32	265	0.72	190.8
263	0.36	94.68	266	0.63	167.58
264	0.36	95.04	267	0.54	144.18
265	0.81	214.65	268	0.18	48.24
266	0.54	143.64	269	0.36	96.84
267	0.72	192.24	270	0.63	170.1
268	0.45	120.6	271	0.45	121.95
269	0.18	48.42	272	0.36	97.92
270	0.45	121.5	273	0.27	73.71
271	0.27	73.17	274	0.36	98.64
272	0.09	24.48	275	0.36	99
273	0.36	98.28	276	0.27	74.52
274	0.45	123.3	277	0.54	149.58
275	0.27	74.25	278	0.63	175.14
276	0.18	49.68	279	0.63	175.77
277	0.18	49.86	280	0.45	126
278	0.18	50.04	281	0.63	177.03
279	0.27	75.33	282	0.27	76.14
280	0.18	50.4	283	0.36	101.88
281	0.18	50.58	284	0.27	76.68
282	0.27	76.14	285	0.18	51.3
284	0.18	51.12	286	0.18	51.48

a) Dados Originais			b) Dados Alterados		
Densidade (hab/ha)	Área (ha)	População (hab)	Densidade (hab/ha)	Área (ha)	População (hab)
285	0.27	76.95	287	0.27	77.49
286	0.36	102.96	288	0.36	103.68
287	0.45	129.15	289	0.45	130.05
288	0.09	25.92	290	0.45	130.5
289	0.45	130.05	291	0.27	78.57
290	0.18	52.2	292	0.45	131.4
291	0.09	26.19	293	0.63	184.59
292	0.27	78.84	294	0.36	105.84
294	0.36	105.84	295	0.09	26.55
295	0.45	132.75	296	0.18	53.28
296	0.18	53.28	297	0.54	160.38
297	0.18	53.46	298	0.54	160.92
298	0.09	26.82	299	0.81	242.19
299	0.18	53.82	301	0.72	216.72
300	0.09	27	302	0.18	54.36
301	0.09	27.09	303	0.27	81.81
302	0.18	54.36	304	0.18	54.72
303	0.09	27.27	305	0.27	82.35
305	0.09	27.45	306	0.54	165.24
307	0.09	27.63	307	0.18	55.26
308	0.09	27.72	308	0.36	110.88
309	0.09	27.81	309	0.18	55.62
310	0.18	55.8	310	0.36	111.6
311	0.09	27.99	311	0.27	83.97
312	0.09	28.08	312	0.27	84.24
313	0.09	28.17	313	0.27	84.51
314	0.27	84.78	315	0.09	28.35
315	0.18	56.7	316	0.09	28.44
316	0.18	56.88	317	0.09	28.53
318	0.09	28.62	318	0.36	114.48
319	0.09	28.71	319	0.18	57.42
321	0.18	57.78	322	0.18	57.96
322	0.09	28.98	323	0.54	174.42
323	0.18	58.14	324	0.18	58.32
325	0.18	58.5	325	0.18	58.5
328	0.09	29.52	326	0.36	117.36
329	0.09	29.61	327	0.27	88.29
330	0.09	29.7	328	0.18	59.04
331	0.09	29.79	329	0.27	88.83
333	0.09	29.97	330	0.09	29.7
337	0.09	30.33	331	0.09	29.79
338	0.18	60.84	332	0.18	59.76
342	0.09	30.78	333	0.18	59.94
343	0.09	30.87	334	0.09	30.06
344	0.09	30.96	335	0.36	120.6
345	0.09	31.05	337	0.27	90.99
352	0.18	63.36	338	0.18	60.84
361	0.09	32.49	341	0.18	61.38
		320799.96	342	0.27	92.34
			344	0.27	92.88
			345	0.09	31.05
			346	0.45	155.7
			348	0.09	31.32
			349	0.09	31.41
			350	0.09	31.5
			351	0.09	31.59
			352	0.09	31.68
			354	0.09	31.86
			355	0.18	63.9
			357	0.09	32.13
			358	0.18	64.44
			359	0.09	32.31
			360	0.09	32.4
			361	0.09	32.49
			362	0.18	65.16
			363	0.09	32.67
			367	0.09	33.03
			368	0.18	66.24
			369	0.09	33.21
			370	0.09	33.3
			375	0.09	33.75
			376	0.27	101.52

b) Dados Alterados		
Densidade (hab/ha)	Área (ha)	População (hab)
377	0.09	33.93
378	0.18	68.04
379	0.18	68.22
383	0.09	34.47
387	0.09	34.83
388	0.09	34.92
390	0.09	35.1
393	0.09	35.37
394	0.09	35.46
395	0.09	35.55
399	0.09	35.91
400	0.09	36
402	0.09	36.18
404	0.09	36.36
406	0.09	36.54
414	0.09	37.26
419	0.09	37.71
421	0.09	37.89
422	0.09	37.98
		256826.88

Obs.: As células em cinza representam o somatório da população daquela coluna.