

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO E METEOROLOGIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

**EXPANSÃO DA OCUPAÇÃO URBANA DE GRAMADO.  
ESTUDO DE CASO DA APLICAÇÃO DE FOTOGRAFIAS  
AÉREAS DE PEQUENO FORMATO E SIG**

**Cláudio Wilson Mendes Júnior**

Geógrafo

Orientador: Dr. Ricardo Norberto Ayup-Zouain

Dissertação apresentada como requisito para a  
obtenção do grau de Mestre em Sensoriamento  
Remoto com ênfase em Geoprocessamento,  
área de concentração em Geografia

Porto Alegre, RS  
Dezembro de 2002

Para o vô Luís Barnartt e para a  
vó Hermínia Pretto Barnartt,  
dedico o presente trabalho.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e avós, cuja educação e valores tenho como exemplo.

Ao Prof. Dr. Ricardo Norberto Ayup-Zouain, pela amizade e por ter supervisionado mais uma vez um trabalho acadêmico de minha autoria.

Aos membros da banca examinadora: Prof. Dr. Francisco H. S. Magro, Prof. Dr. Nelson A. Lisboa e Prof. Dr. Ronaldo dos Santos da Rocha.

Ao CNPq, pela bolsa de estudo em nível de pós-graduação.

Aos colegas da equipe técnica que participaram do projeto de atualização cadastral de Gramado: Andrea Iescheck (resp.téc. cartografia), Jorge Barboza (resp. téc. topografia), Ricardo Baitelli (topografia), Eduardo Barboza (topografia), Rejane Valdameri (cartografia) e Sidnei Zomer (vôo aerofotográfico).

Ao piloto Feijó, em reconhecimento ao excelente trabalho de navegação aérea.

Aos professores Atílio Antônio Disperati e Mary A. de Azevedo Olivas, pelos artigos sobre as FAPEF's, enviados via correio e por *e-mail*.

Aos funcionários da Prefeitura Municipal de Gramado, especialmente para Cirlei, a dupla “vivi” (Viviane e Vilce) e os topógrafos Adão e João Luís, que foram grandes companheiros durante o estágio na prefeitura.

Ao companheirismo dos professores e funcionários do CEPSRM, bem dos colegas da turma de 1998 do pós-graduação: Jorge geólogo, Jorge Arigony, “Floresta”, Ricardo, Rejane Valdameri, Claudete, Glaucus, “Flavião” Wiegand, Gastão e Nelson.

Aos colegas consultores e de apoio técnico do Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA): Fioravante Santos, Egon Klant, Paulo Schneider, Arlete Pasqualetto, Ronaldo “Sorriso” Aquino, Cláudia Russo, Robson Santos, Joise Jukoski, João Manuel, Thales, Themis, Evandro, Daniel e Márcio Kern.

# **EXPANSÃO DA OCUPAÇÃO URBANA DE GRAMADO. ESTUDO DE CASO DA APLICAÇÃO DE FOTOGRAFIAS AÉREAS DE PEQUENO FORMATO E SIG <sup>1</sup>**

Autor: Cláudio Wilson Mendes Júnior

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Norberto Ayup-Zouain

## **SINOPSE**

Fotografias aéreas verticais de pequeno formato foram obtidas através de câmera fotográfica não-métrica a bordo de aeronave de pequeno porte, no ano de 1999, com o objetivo de se atualizar um conjunto de seis plantas cadastrais digitais de 1984, na escala 1:5.000, cobrindo a área urbana do município de Gramado, situado na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. As fotografias foram digitalizadas, armazenadas e georreferenciadas em um Sistema de Informações Geográficas. Posteriormente, foram digitalizados os perímetros das edificações e os limites dos bairros da área urbana nas plantas cadastrais digitais. Os dados atualizados das plantas cadastrais foram elaborados para a geração de análises temáticas e, portanto, não podem ser utilizados para a medição precisa das edificações mapeadas. Após sua digitalização, os polígonos das edificações foram estruturados topologicamente por meio do SIG utilizado, permitindo a geração automática de um centróide para cada edificação mapeada. A consulta ao banco de dados tornou possível o cálculo do número total e a localização dos centróides das edificações, para as duas datas estudadas. Os dados tabulados foram representados por um mapa temático da expansão da ocupação urbana, na escala de 1:25.000. Outros produtos obtidos no presente estudo foram cartas-imagem da área urbana (1:50.000), elaboradas a partir de imagens do satélite LANDSAT 7 ETM+, bem como mapas temáticos dos aspectos físicos e antrópicos dos bairros da área urbana (escalas 1:15.000 a 1:25.000). Com base nos dados obtidos, verificou-se um crescimento de 164, 6 % do número total de edificações e uma expansão da ocupação orientada para a região SE da área urbana, em função do maior crescimento do setor secundário e do número de loteamentos na região meridional da área urbana durante o período de 15 anos. Através da interpretação dos dados geográficos, foram elaboradas recomendações para o planejamento urbano de Gramado.

---

<sup>1</sup> Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Curso de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre/RS, (173 p.), Dezembro de 2002.

# **GRAMADO COUNTY URBAN OCCUPATION EXPANSION. A CASE STUDY OF THE SMALL FORMAT AERIAL PHOTOGRAPHS AND GIS APPLICATION <sup>1</sup>**

Author: Cláudio Wilson Mendes Júnior

Advisor: Prof. Dr. Ricardo Norberto Ayup-Zouain

## **ABSTRACT**

Small format vertical aerial photographs were obtained from non metric cameras on small size airplanes, in 1999, and aimed to update a set of six digital cadastral maps from 1984, in the scale of 1:5,000, covering the urban area of Gramado county, located at the northeast region of the Rio Grande do Sul state, Brazil. The photographs were digitized, stored and georeferenced in a Geographic Information System. Afterwards, the perimeters of the new buildings and the boundaries of the urban area districts were digitized on the digital cadastral maps. The updated data of the cadastral maps were elaborated with the purpose to generate thematic analysis and can't be used for the accurated measure of the mapped buildings. The poligons of the buildings were topologically structured by application of GIS, allowing the automatic generation of a centroid to each mapped building. The database query allowed the evaluation of the total number and the localization of the centroids of the buildings, for both date studied. The recorded data were represented by thematic maps of urban occupation expansion, in the scale of 1:25,000. Other products obtained in this study were urban area image maps (scale 1:50,000), elaborated from LANDSAT 7 ETM+ satellite images, and thematic maps of the physical and antropic features of the urban area districts (scales from 1:15,000 to 1:25,000). Based on the data obtained, a 164.6 % increase of the total number of buildings was observed, as well as the occupation expansion towards the SE region of the urban area, caused by the major growth of the secondary sector and the major number of new developments in the meridional urban area, that occurred during the past 15 years. Through the interpretation of geographical data, recommendations were proposed for the urban planning of Gramado.

---

<sup>1</sup> Master of Science Thesis, Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Graduate Course in Remote Sensing, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre/RS, (173 p.) – December, 2002.

## SUMÁRIO

LISTAS DE TABELAS .....	x
LISTAS DE FIGURAS .....	xi
LISTAS DE ABREVIATURAS .....	xiv
LISTAS DE SÍMBOLOS .....	xvi
1 – INTRODUÇÃO .....	01
1.1 – Considerações iniciais .....	01
1.2 – Objetivos .....	02
1.2.1 – Objetivo geral .....	02
1.2.2 – Objetivos específicos .....	03
1.3 - Área de estudo .....	03
2 – METODOLOGIA .....	06
2.1 – Obtenção das FAPEF's .....	06
2.1.1 – Levantamento das informações e planejamento das ações .....	06
2.1.2 – Equipamentos utilizados no aerolevanteamento .....	07
2.1.3 – Planejamento e execução do plano de vôo .....	09
2.1.4 – Ampliação dos negativos .....	20
2.1.5 – Digitalização das FAPEF's .....	20
2.2 – Georreferenciamento das FAPEF's .....	23
2.3 – Digitalização dos dados vetoriais .....	28
2.3.1 - Digitalização dos perímetros das edificações .....	28
2.3.2 – Digitalização dos limites dos bairros da área urbana .....	30
2.4 – Elaboração das cartas-imagem da área de estudo .....	31
2.5 – Topologia e consulta ao banco de dados .....	35

2.6 – Estudo da evolução da ocupação urbana de Gramado .....	36
2.6.1 – Elaboração dos mapas temáticos .....	36
2.6.2 – Interpretação dos resultados obtidos .....	38
3 – LEVANTAMENTOS AEROFOTOGRAFÍCOS E AEROFOTOGRAFIMÉTRICOS .....	40
3.1 – Câmeras fotográficas e aerofotogramétricas .....	41
3.1.1 – Componentes das câmeras métricas e não-métricas .....	42
3.1.2 – Sistema de lentes e suas distorções .....	44
3.1.3 – Filmes fotográficos e revelação dos negativos .....	47
3.1.4 – Correção dos erros sistemáticos das câmeras .....	48
3.1.5 – O magazine .....	50
3.1.6 – Portabilidade das câmeras.....	51
3.1.7 – Escala das fotografias aéreas .....	52
3.2 – Variáveis envolvidas na execução do plano de vôo .....	53
3.2.1 – Derivas da aeronave na execução do plano de vôo .....	53
3.2.2 – Arrastamento da imagem .....	55
3.2.3 – Deslocamentos da imagem devido à inclinação do eixo óptico e à variação do relevo .....	56
3.2.4 – Deslocamento da imagem devido à refração atmosférica e à curvatura terrestre .....	58
3.3 – Digitalização de fotografias aéreas .....	58
3.4 – Georreferenciamento e utilização de fotografias aéreas para o mapeamento ..	60
3.4.1 – Restituição fotogramétrica .....	61
3.4.1.1 – Restituições analógica e analítica .....	62
3.4.1.2 – Restituição digital .....	65
3.5 – Vantagens das FAPEF's .....	68
3.6 – Aplicações das fotografias aéreas no cadastro técnico municipal .....	70

4 – SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS .....	73
4.1 – Definição de um SIG .....	73
4.2 – Breve histórico dos SIG's .....	74
4.3 – Conceitos-chave de um SIG .....	76
4.4 – Componentes de um SIG .....	76
4.4.1 – Sistema de digitalização de mapas .....	77
4.4.2 – Sistema de processamento de imagens .....	78
4.4.3 – Banco de dados espacial e de atributos .....	78
4.4.4 – Sistema de análise estatística .....	79
4.4.5 – Sistema de análise geográfica .....	79
4.4.6 – Sistema de visualização cartográfica .....	79
4.5 – Estrutura de dados em um SIG .....	80
4.6 – Características e funções de um SIG .....	81
4.7 – Importância do SIG no cadastro técnico municipal .....	83
4.8 – Aplicações do SIG e da cartografia temática no presente estudo .....	84
4.8.1 – Análise topológica, estatística e consulta ao banco de dados .....	84
4.8.2 – Cartografia temática de dados multitemporais .....	85
5 – EXPANSÃO DA OCUPAÇÃO URBANA DE GRAMADO .....	86
5.1 – Justificativas para o estudo .....	86
5.2 – Área urbana de Gramado .....	87
5.3 – Evolução da ocupação urbana de Gramado .....	91
5.3.1 – Período 1920-1980 .....	91
5.3.2 – Período 1984-1999 .....	95
5.3.3 – Expansão da ocupação nos bairros da área urbana .....	105
5.3.3.1 – Setor central .....	105
5.3.3.1.1 – Bairro Centro .....	105
5.3.3.1.2 – Bairro Avenida Central .....	109
5.3.3.1.3 – Bairro Planalto .....	112

5.3.3.2 – Setor oeste .....	117
5.3.3.2.1 – Bairro Floresta .....	117
5.3.3.2.2 – Bairro Piratini .....	120
5.3.3.2.3 – Bairro Vila Prinstrop .....	124
5.3.3.3 – Setor norte .....	127
5.3.3.3.1 – Bairro Carniel .....	127
5.3.3.3.2 – Bairro Dutra .....	130
5.3.3.3.3 – Bairro Vila Moura .....	133
5.3.3.3.4 – Bairro Mato Queimado .....	136
5.3.3.4 – Setor sul .....	139
5.3.3.4.1 – Bairro Jardim .....	139
5.3.3.4.2 – Bairro Três Pinheiros .....	142
5.3.3.4.3 – Bairro Várzea Grande .....	145
5.4 – O papel do Estado no controle do processo de urbanização .....	148
6 – CONCLUSÕES .....	152
7 – RECOMENDAÇÕES .....	161
8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	167
ANEXOS .....	173

## **LISTA DE TABELAS**

- 5.1 - Quantificação, crescimento percentual, magnitude e orientação da expansão da ocupação dos bairros da área urbana de Gramado (1984-1999) ..... 97
- 5.2 - Quantificação e crescimento percentual das edificações dos setores da área urbana de Gramado (1984-1999) ..... 101

## LISTA DE FIGURAS

1.1 - Localização da área de estudo .....	05
2.1 - Suporte de Meyer, fixado na fuselagem lateral da aeronave .....	10
2.2 - Aeronave modelo Maule MXT – 180 .....	10
2.3 - Mapa do plano de vôo .....	14
2.4 - Detalhes do sistema aerofotográfico Accuphoto: 1) Laptop e 2) Unidade de controle de vôo (FCU) .....	17
2.5 - Detalhes do sistema aerofotográfico Accuphoto: 3) Monitor de informação de desvio de curso (CDI) e 4) Antena do GPS Magellan .....	17
2.6 - Área útil da FAPEF para a digitalização e georreferenciamento .....	21
2.7 – Mapeamento temático das edificações sobre uma FAPEF georreferenciada .....	29
3.1 - Movimentos da câmera aérea no espaço, modificado de Loch (1994) .....	55
4.1 - Componentes de um SIG, modificado de Eastman (1998) .....	77
5.1 - Carta-imagem dos bairros da área urbana do município de Gramado .....	89
5.2 - Planialtimetria da área urbana do município de Gramado .....	90
5.3 - Expansão da ocupação urbana de Gramado durante o período de 1920 a 1984....	92
5.4 - Edificações dos bairros da área urbana de Gramado nos anos de 1984 e 1999 ....	96
5.5 - Número total de edificações dos bairros da área urbana de Gramado nos anos de 1984 e 1999 .....	98
5.6 - Crescimento percentual do número de edificações dos bairros da área urbana de Gramado entre os anos de 1984 e 1999 .....	98

5.7 - Crescimento do número de edificações dos bairros de Gramado (1984-1999) ..	100
5.8 - Subdivisão da área urbana do município de Gramado em setores .....	102
5.9 - Número total de edificações dos setores da área urbana de Gramado nos anos de 1984 e 1999 .....	103
5.10 - Crescimento percentual do número de edificações dos setores da área urbana de Gramado entre os anos de 1984 e 1999 .....	103
5.11 - Planialtimetria do bairro Centro .....	106
5.12 - Edificações e loteamentos do bairro Centro (maio/1999) .....	107
5.13 - Planialtimetria do bairro Avenida Central .....	110
5.14 - Edificações e loteamentos do bairro Avenida Central (maio/1999) .....	111
5.15 - Planialtimetria do bairro Planalto .....	114
5.16 - Edificações e loteamentos do bairro Planalto (maio/1999) .....	115
5.17 - Planialtimetria do bairro Floresta .....	118
5.18 - Edificações e loteamentos do bairro Floresta (maio/1999) .....	119
5.19 - Planialtimetria do bairro Piratini .....	121
5.20 - Edificações e loteamentos do bairro Piratini (maio/1999) .....	122
5.21 - Planialtimetria do bairro Vila Prinstrop .....	125
5.22 - Edificações e loteamentos do bairro Vila Prinstrop (maio/1999) .....	126
5.23 - Planialtimetria do bairro Carniel .....	128
5.24 - Edificações e loteamentos do bairro Carniel (maio/1999) .....	129
5.25 - Planialtimetria do bairro Dutra .....	131
5.26 - Edificações e loteamentos do bairro Dutra (maio/1999) .....	132

5.27 - Planialtimetria do bairro Vila Moura .....	134
5.28 - Edificações e loteamentos do bairro Vila Moura (maio/1999) .....	135
5.29 - Planialtimetria do bairro Mato Queimado .....	137
5.30 - Edificações e loteamentos do bairro Mato Queimado (maio/1999) .....	138
5.31 - Planialtimetria do bairro Jardim .....	140
5.32 - Edificações e loteamentos do bairro Jardim (maio/1999) .....	141
5.33 - Planialtimetria do bairro Três Pinheiros .....	143
5.34 - Edificações e loteamentos do bairro Três Pinheiros (maio/1999) .....	144
5.35 - Planialtimetria do bairro Várzea Grande .....	146
5.36 - Edificações e loteamentos do bairro Várzea Grande (maio/1999) .....	147

## LISTA DE ABREVIATURAS

a.m.	ante meridiem
AMC	Angular Motion Compensation
ASA	American Standards Association
BIT	Binary Digit
BMP	Microsoft Windows Bitmapped Image Format
CAD	Computer Aided Design
CCD	Charge Coupled Device
CDI	Course Deviation Information
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DPI	Dot per inch
DSG	Diretoria de Serviço Geográfico do Exército
DXF	Drawing Exchange File
EP	Erro-padrão
ETM+	Enhanced Thematic Mapper Plus
FAPEF	Fotografia Aérea de Pequeno Formato
FAURGS	Fundação de Apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul
FCU	Flight Control Unit
FMC	Forward Motion Compensation
GPS	Global Positioning System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IHS	Intensity, Hue and Saturation
IPTU	Imposto Predial Territorial Urbano
JPEG	Joint Photographic Exports Group
L	Leste
LIS	Land Information System
MNT	Modelo Numérico do Terreno
N	Norte
NE	Nordeste
NNE	Norte-nordeste
NNO	Norte-noroeste

NO	Noroeste
O	Oeste
OSO	Oeste-sudoeste
p.m.	post meridiem
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
PC	Personal Computer
RAF	Royal Aerial Force
RGB	Red, Green Blue
RMS	Root Mean Square
RS	Rio Grande do Sul
S	Sul
SAD-69	South American Datum 1969
SE	Sudeste
SGBD	Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SQL	Structured Query Language
SLR	Single Lens Reflex
SO	Sudoeste
SSE	Sul-sudeste
SSO	Sul-sudoeste
SSO	Sul-sudoeste
TIFF	Tagged Image File Format
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UTM	Universal Transversa de Mercator

## LISTA DE SÍMBOLOS

$(\chi, \psi)$	Média aritmética da posição dos centróides
$(x, y)$	Coordenadas da Imagem
$(X, Y)$	Coordenadas de referência
$(X, Y, Z)$	Coordenadas e valor de atributo de uma entidade armazenada em um SIG
$\varphi, \omega, \kappa$	Rotações da câmera aérea no espaço
$v$	Graus de liberdade
$a, b, c, d$	Parâmetros de escala, cisalho, rotação e obliquidade
$A_p$	Área do pixel
$arr$	Coefficiente de arrastamento da imagem
$A_t$	Área do terreno
$B$	Aerobase
$b_x, b_y, b_z$	Deslocamentos da câmera aérea no espaço
$cf$	Distância percorrida na linha de vôo
$c_x, c_y$	Parâmetros de Translação
$CM$	Coordenadas do modelo
$D$	Declividade de uma inclinação
$dh$	Distância horizontal entre dois pontos
$dn$	Diferença de nível entre dois pontos
$E$	Escala do negativo
$e(r)$	Erro resultante para cada ponto no georreferenciamento
$f$	Distância focal da câmera
$g$	Lado do negativo
$gp$	Grau de um polinômio
$H$	Altura de vôo
$I$	Intervalo entre duas linhas de vôo
$la$	Superposição lateral
$lo$	Superposição longitudinal
$lp$	Lado do pixel
$M$	Matriz
$mem$	Memória, em bytes
$nc$	Número de canais de uma imagem

ne	Número de edificações
nl	Número de linhas de vôo
nl	Número total de linhas de vôo
npc	Número de pontos de controle
Nr	Número de fotografias necessárias para o recobrimento
p	Número de parâmetros para uma estimativa
res	Resíduos ou erros
Res	Resolução da Imagem em <i>dpi</i>
S	Denominador da escala central da fotografia
$S^2$	Variância amostral da população
t	Tempo de exposição do filme fotográfico
T	Intervalo de tempo entre duas exposições consecutivas
tf	Tempo de retorno da área fotografada para a base
ti	Tempo de deslocamento entre a base e a área a ser fotografada
tl	Tempo para o recobrimento de uma linha de vôo
tp	Tempo para o posicionamento nas linhas de vôo
tr	Tempo para a realização do recobrimento
V	Velocidade da aeronave em relação ao terreno

# **1 – INTRODUÇÃO**

## **1.1 – Considerações iniciais**

É tarefa fundamental da administração municipal garantir o bem-estar de seus habitantes. Para tanto, há a necessidade de se administrar os recursos humanos e naturais, prevendo e direcionando o crescimento físico e sócio-econômico da cidade e dos bairros. Entretanto, esses serviços estão aquém das reais necessidades dos municípios e tendem a se agravar durante as próximas décadas, uma vez que o processo de urbanização marcha a um ritmo muito mais acelerado do que as possibilidades de planejar e controlar esse crescimento. Tal condição propicia uma ocupação irracional do espaço e, conseqüentemente, gera a anarquia na localização das atividades urbanas que altera e afasta cada dia mais o desenvolvimento dessas possibilidades.

Para enfrentar e responder a esses problemas, o planejador urbano comum necessita de uma ferramenta rápida, econômica, simples e de fácil implementação, que possibilite incrementar procedimentos capazes de registrar, medir e contabilizar a informação, bem como de tratar grande volume de dados que reflitam a atual realidade urbana, bem como sua interpretação, subsidiando na proposta de alternativas e no auxílio da tomada de decisões de uma forma rápida, precisa, eficiente e contínua.

A ferramenta computacional, capaz de armazenar, visualizar, recuperar, editar, consultar, manipular, analisar, simular e plotar um grande volume de dados georreferenciados é denominada de Sistema de Informações Geográficas (SIG). Sua aplicação tem um caráter interdisciplinar, e, por esta razão, pode ser perfeitamente adequada a todos os dados geocodificados existentes em uma gestão administrativa, como por exemplo na atualização e no gerenciamento de bases cadastrais municipais.

Devido as suas competências constitucionais e responsabilidades sociais, as prefeituras devem organizar e manter atualizadas diversas bases de dados. Dentre os inúmeros produtos do Sensoriamento Remoto, as fotografias aéreas de pequeno formato (FAPEF's) têm apresentado muito destaque na sua aplicação. Estes produtos fotográficos podem ser obtidos com um planejamento baseado nas variáveis envolvidas em um levantamento aerofotogramétrico convencional, caracterizando-se pelo seu baixo custo e pela possibilidade de se obter informações com grande resolução temporal, espacial e radiométrica. Dentre suas inúmeras aplicações, estes produtos podem ser aplicados como fontes de dados para o reconhecimento expedito de alvos e para o mapeamento temático. Posteriormente, os dados digitalizados podem ser armazenados, manipulados e analisados em um sistema computacional, por meio de um SIG.

Neste trabalho aplicaram-se técnicas de obtenção e georreferenciamento de FAPEF's, utilizadas para a atualização de plantas cadastrais cobrindo a área urbana do município de Gramado, RS. Os dados atualizados das plantas cadastrais foram elaborados com a finalidade da geração de análises temáticas e, portanto, não podem ser utilizados para a medição precisa das edificações mapeadas. Além das referidas técnicas aplicadas, foi utilizado um SIG para a análise topológica das edificações do município estudado. A partir da consulta ao banco de dados, foi elaborado um mapa temático de vetores representando o crescimento da ocupação urbana. A etapa final consistiu na interpretação geográfica do fenômeno estudado, com recomendações para o planejamento urbano local.

## **1.2 - Objetivos**

### **1.2.1 – Objetivo geral**

Aplicação de fotografias aéreas de pequeno formato e do Sistema de Informações Geográficas no estudo da expansão da ocupação urbana municipal, com a elaboração de subsídios para o planejamento urbano.

### **1.2.2 – Objetivos específicos**

- 1) Obtenção de FAPEF's cobrindo a área urbana do município de Gramado;
- 2) Atualização das plantas cadastrais digitais do município estudado (escala 1:5.000), a partir do georreferenciamento e interpretação das FAPEF's, para a geração de análises temáticas;
- 3) Delimitação dos bairros da área urbana de Gramado nas plantas cadastrais digitais;
- 4) Elaboração de cartas-imagem da área urbana (escala 1:50.000), a partir de imagens do satélite Landsat 7 ETM+, para a localização e caracterização dos aspectos físicos e antrópicos da área de estudo;
- 5) Aplicação de um SIG para a análise topológica e consulta ao banco de dados, para a determinação de vetores de crescimento da expansão da ocupação dos bairros da área urbana e da área urbana total de Gramado (1984-1999);
- 6) Elaboração de um mapa temático (escala 1:25.000) da expansão da ocupação dos bairros da área urbana e da área urbana total;
- 7) Elaboração de mapas temáticos (escalas 1:15.000 a 1:25.000) da planialtimetria (1984), bem como da localização das edificações e dos loteamentos dos bairros da área urbana, referente aos anos de 1984 e 1999;
- 8) Interpretação geográfica dos dados mapeados e recomendações para o planejamento urbano municipal.

### **1.3 - Área de estudo**

O município de Gramado, situado na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul, localiza-se entre as latitudes 29°18' S e 29°31' S e as longitudes 50°48' O e 51°00' O (figura 1.1), abrangendo uma área de aproximadamente 245,3 km<sup>2</sup>. Limita-se ao norte com Caxias do Sul, ao sul com Três Coroas, à leste com Canela e a oeste com os municípios de Nova Petrópolis e Santa Maria do Herval.

Conforme o Projeto Radam Brasil (IBGE, 1986), a área de estudo situa-se na Encosta Inferior do Nordeste, no Planalto Sul-rio-grandense, na região das Hortênsias, a

850 metros acima do nível do mar. Localiza-se em terrenos originados pela decomposição de rochas vulcânicas ácidas (rochas riolíticas) e pertencentes à Formação Serra Geral, caracterizados por um relevo fortemente festonado e dissecado.

É servido por uma densa rede hidrográfica, formada pelo rio Caí e seus tributários a oeste, onde o mais importante é o arroio Forqueta. A área do município é delimitada a nordeste pelo arroio Caracol, localizado na bacia do rio Caí, e à leste, pelo arroio Amoreira, fazendo divisa com o município de Canela. Outros importantes arroios são o Caboclo e o Irapuru, ao sul, e o arroio da Tapera, a noroeste, pertencentes à bacia do rio dos Sinos.

O clima predominante, segundo a classificação de Köppen, é o Cfb, denominado de clima temperado úmido, com uma temperatura média anual em torno dos 16° C e precipitação anual de aproximadamente 2000 mm, bem distribuída ao longo do ano, com concentração nos meses de julho, agosto e setembro.

A vegetação original da região pode ser caracterizada como Floresta Ombrófila Mista, sendo o elemento principal deste tipo de floresta a *Araucaria augustifolia* (pinheiro), de relevante importância fitogeográfica e comercial. Outros elementos florísticos da região são a canela, cedro, angico, guajuvira, além de reflorestamentos de *Pinus eliotti*, acácia negra, eucalipto e inúmeras áreas com plantações de hortênsias.

O município apresenta como principal atividade econômica a promoção turística, exercendo influência decisiva na renda gerada pelos setores de serviços, comércio e indústria. Integrante de um área de colonização européia, por alemães e italianos, possui as características próprias à área coloniais congêneres, isto é, preponderância da pequena propriedade e da policultura de subsistência.

O presente trabalho tem como objetivo o estudo da expansão da ocupação da área urbana de Gramado, a qual perfaz uma área de aproximadamente 29,5 km<sup>2</sup>, representando 12 % da área total do município. Apesar de suas reduzidas dimensões em relação à área total do município, é a região onde ocorre maior dinâmica de crescimento, caracterizada tanto pela expansão dos seus limites físicos, quanto pela sua alta concentração demográfica, que representa o valor de 83% de toda a população gramadense (IBGE, 1996).

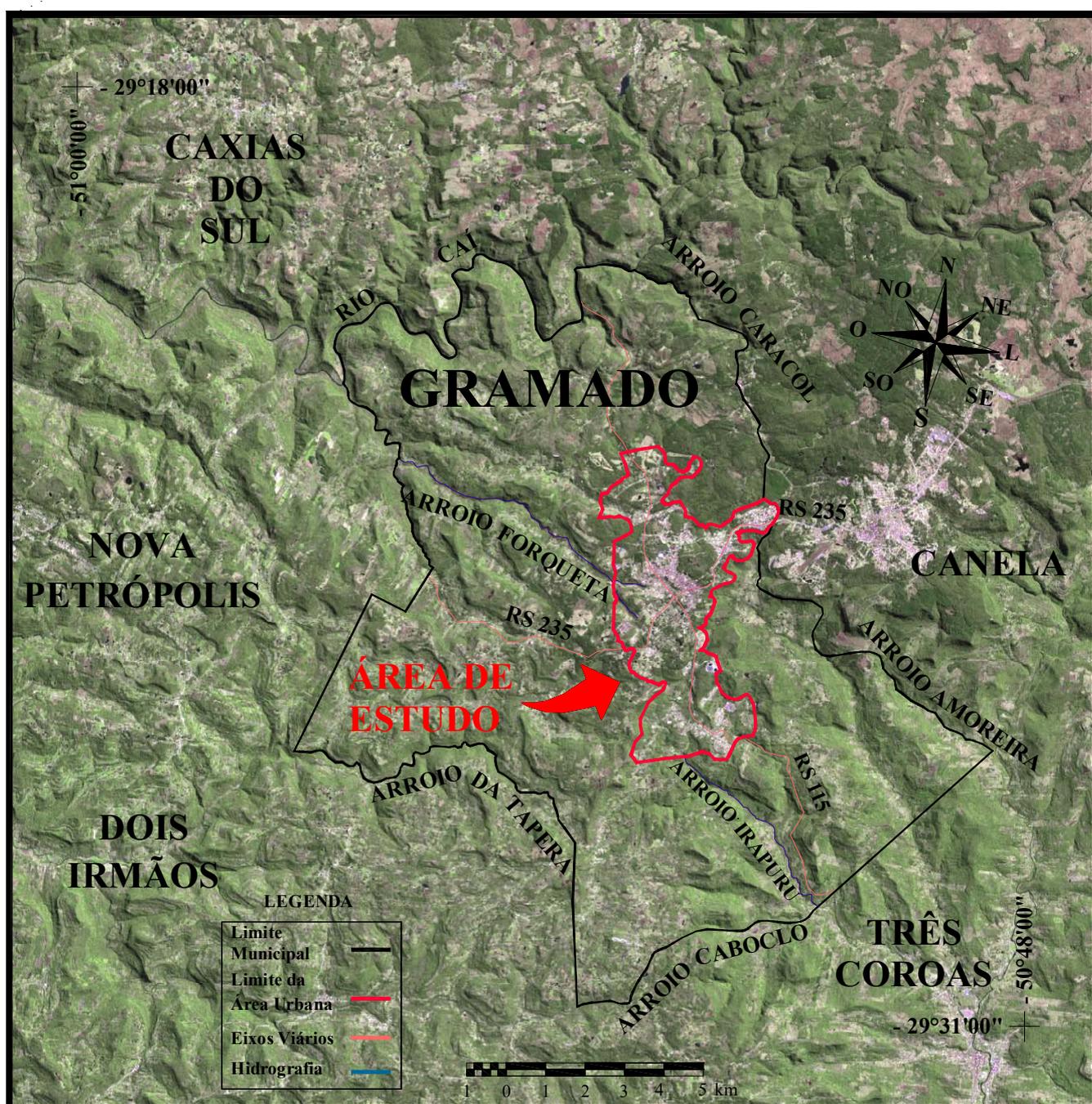
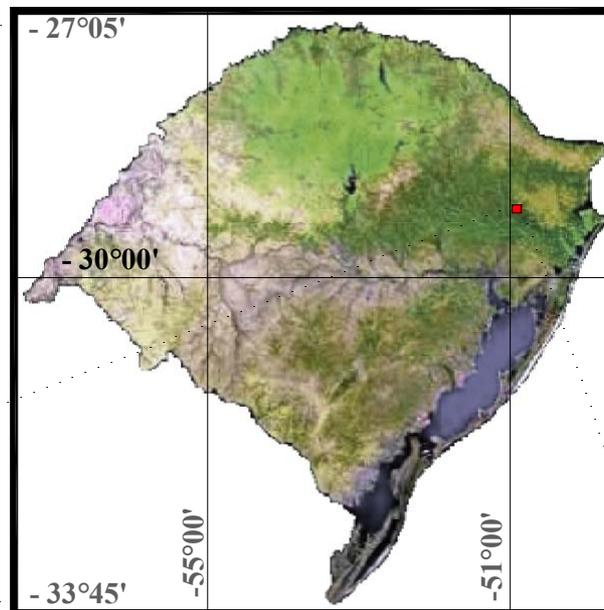


Figura 1.1 - Localização da Área de Estudo

## **2 – METODOLOGIA**

A metodologia aplicada no presente trabalho pode ser dividida basicamente em sete etapas fundamentais: levantamento aerofotográfico e obtenção das FAPEF's, georreferenciamento, atualização das plantas cadastrais digitais, elaboração de cartas-imagem da área de estudo, aplicação de análise topológica e de consultas ao banco de dados para a definição de vetores de crescimento, elaboração de mapas temáticos e, finalmente, a interpretação geográfica dos resultados obtidos.

### **2.1 – Obtenção das FAPEF's**

Para a obtenção das FAPEF's, foram necessários o levantamento das informações cartográficas, a determinação dos equipamentos utilizados, o planejamento e execução do recobrimento aerofotográfico.

#### **2.1.1 - Levantamento das informações e planejamento das ações**

Esta etapa consistiu no levantamento das informações cartográficas relativas à área urbana de Gramado. A área de estudo pôde ser localizada em um conjunto de seis plantas cadastrais digitais, na escala de 1:5.000, armazenadas no formato *.dwg* (*AutoCAD*), com informações referentes ao cadastro de 1984.

### 2.1.2 – Equipamentos utilizados no aerolevamento

O equipamento utilizado foi criteriosamente selecionado em função dos objetivos propostos no presente trabalho, no que se refere ao modelo de câmera fotográfica e acessórios, filmes fotográficos, tipo de plataforma desenvolvida, aeronave para o vôo e sistema de posicionamento global por satélite (GPS).

As câmeras mais adequadas para a obtenção das fotografias de pequeno formato são as do tipo *monoreflex SLR (Single Lens Reflex)*, pois apresentam a possibilidade da troca de lentes e outros acessórios. Segundo Curran (1981), nos últimos anos, para efeito de obtenção de FAPEF's, a popularidade das câmeras de 35 mm tem aumentado por razões como a dificuldade na obtenção de filmes 70 mm, principalmente o infravermelho, e o elevado preço das câmeras de 70 mm.

A câmera fotográfica utilizada foi uma *Canon EOS-5000*, com uma lente de distância focal regulável acoplada, que possui *motor-drive, auto-focus e shutter-priority* (abertura de diafragma automático). Esta câmera apresenta a importante particularidade de passar o filme no sentido do rebobinamento, permitindo a retirada imediata deste a qualquer momento, sem risco de exposição à luz para o que já foi fotografado.

A lente foi escolhida em função da distância focal e abertura. Para o caso das FAPEF's, têm sido utilizadas lentes apenas do tipo grande-angular e normal. As deformações perspectivas devidas ao relevo são menos danosas nas fotos aéreas tomadas com uma objetiva de ângulo normal, motivo pelo qual as fotos obtidas com essa objetiva se prestam particularmente para levantamentos que requerem grandes escalas. A escolha da distância focal da câmera fotográfica é de vital importância para a obtenção das FAPEF's, pois o seu valor definirá a altura do vôo da aeronave durante o recobrimento aerofotográfico, considerando-se a obtenção de uma determinada escala da fotografia. As principais distâncias focais das lentes usadas nas câmeras 35 mm são propriamente a de 35 mm, para grandes angulares, e a de 50 mm, para as normais. A câmera utilizada no presente trabalho apresentou uma objetiva de ângulo normal e regulada para 50 mm de distância focal.

Com relação à escolha do filme fotográfico, optou-se pelos negativos coloridos, de média sensibilidade (100 ASA), armazenados em rolo, com um número de 36 exposições, facilmente encontrados em qualquer loja de equipamentos fotográficos.

Outro importante equipamento utilizado foi o filtro fotográfico, acoplado na objetiva da câmera fotográfica. Os filtros protegem a lente, impedem que determinados comprimentos de onda atinjam o filme e corrigem a cor nos filmes coloridos. Neste estudo, foi acoplado um filtro do tipo *Skylight*, o qual impede a entrada dos raios ultravioleta na lente, de maneira a eliminar o indesejado efeito da névoa, comum nas fotografias aéreas.

Para a execução dos levantamentos aerofotográficos foi utilizado um suporte de câmera fotográfica que permitiu obter fotos verticais a partir da fuselagem lateral da aeronave, havendo, portanto, a necessidade de se remover uma de suas portas laterais. Este suporte é baseado no modelo criado por Meyer (Meyer & Grunstrup, 1978; *apud* Disperati, 1991), desenvolvido e testado por Zomer (1997).

O suporte de Meyer (figura 2.1) é composto por uma unidade de fixação, e uma mesa niveladora para manter horizontal o trilho sobre o qual desloca-se a unidade móvel. Nesta última é fixada a câmera, que pode ser afastada do avião e recolhida, através do movimento da unidade móvel sobre o trilho, para troca do filme. Na tomada das fotografias, uma vez que não se dispunha de um intervalômetro para se acoplar ao disparador da câmera fotográfica, foi utilizado um disparador manual. As principais vantagens da instalação externa do suporte são a possibilidade de uso de avião convencional e não modificado para a tarefa (sem abertura de orifício no piso), resultando em um menor custo na etapa de execução do vôo.

Quanto ao tipo de aeronave, acoplou-se o suporte de Meyer na fuselagem lateral de uma aeronave convencional: monomotor e asa alta. De acordo com Disperati (1991), “alguns tipos e modelos de aviões monomotor asa alta, por voarem à velocidade relativamente baixa quando comparados aos aviões mais potentes, permitem o vôo com a janela aberta ou mesmo sem uma ou ambas as portas laterais”. Devido a isso, inúmeros tipos de suportes têm sido desenvolvidos para instalação externa na aeronave, como o aplicado no presente trabalho. Além destas vantagens, o avião monomotor de

asa alta proporciona ao piloto e ao fotógrafo a melhor visibilidade lateral do terreno, facilitando a tarefa de supervisão do recobrimento aerofotográfico.

A escolha do modelo de aeronave levou em consideração a posição do tirante da asa, que não poderia interferir na área das fotografias, e a carga humana máxima transportada, devendo ser possível o transporte de no mínimo duas pessoas. Outro importante critério adotado para a execução do plano de vôo foi a presença do controle de navegação aérea por GPS, em função de que a navegação elementar por bússola, mais comumente encontrada em aviões de pequeno porte, apresenta maiores riscos de insucesso na operação de recobrimento aerofotográfico.

A aeronave utilizada foi um modelo *Maule MXT-180* (figura 2.2), com navegação por GPS e capacidade para três passageiros e um piloto. Sua velocidade de estol é de 45 mph (72,4 km/h), chegando a atingir uma velocidade de cruzeiro em torno de 130 mph (209,2 km/h).

O aeroclube localiza-se no município de Novo Hamburgo, cuja distância representa um tempo de deslocamento da aeronave até a área de estudo na ordem de quinze minutos, e, portanto, considerado aceitável para a efetivação do traslado.

### **2.1.3 – Planejamento e execução do plano de vôo**

Para efeito do planejamento do plano de vôo, foram indispensáveis informações tais como o objetivo do recobrimento e o tipo de informação desejada para ser extraída das FAPEF's, a escala dos produtos fotográficos e do mapa de vôo, a localização, topografia, tamanho e formato do local fotografado.

O planejamento é função do equipamento utilizado, altura de vôo da aeronave disponível, distância focal, abertura do diafragma, velocidade de exposição, posição da câmera fotográfica, hora do dia, condições meteorológicas do local a ser fotografado, tempo de vôo, tempo de intervalo entre os disparos, troca de filme, orientação visual da faixa de vôo durante sua execução, além dos recursos financeiros disponíveis para efetuar o recobrimento.



Figura 2.1 – Suporte de *Meyer*, fixado na fuselagem lateral da aeronave



Figura 2.1 – Suporte de *Meyer*, fixado na fuselagem lateral da aeronave

No presente estudo, foram obtidas FAPEF's do tipo vertical. Neste tipo de fotografia, a câmera fotográfica instalada na aeronave deve manter o eixo ótico da câmera com um ângulo de inclinação de no máximo 3° com o ponto nadir, no momento da execução do voo.

As FAPEF's foram tomadas em linhas de voo paralelas e com sobreposição longitudinal de 60% e com um valor de 30% para a sobreposição lateral. Esse procedimento proporciona a observação estereoscópica das fotografias aéreas, que facilita o trabalho do fotointérprete na discriminação dos alvos sensorizados.

A câmera fotográfica, com lentes do tipo grande-angular 35 mm ou normal 50 mm, fornece um negativo em formato retangular (24 x 36 mm) e a sua maior dimensão pode ser colocada em posição longitudinal ou transversal à linha de voo. A posição transversal resulta num menor número de linhas de voo em relação à posição longitudinal, mas possibilita uma maior margem de erro na navegação, para manter o recobrimento lateral. Considerando esta vantagem, optou-se pela navegação com a maior dimensão do negativo transversal à direção da linha de voo, uma vez que uma possibilidade de erro no recobrimento por deriva da aeronave poderia acarretar na necessidade de um novo voo.

Para a execução do recobrimento aerofotográfico, consideraram-se elementos como o tipo de câmera, a altura de voo, o valor da aerobase, o intervalo entre as linhas de voo e do tempo entre duas exposições consecutivas, o tempo de exposição de cada fotografia, o número de linhas de voo e a quantidade de filmes utilizados.

A relação entre a altura de voo (H), a distância focal da câmera (f) e a escala do negativo (E) pode ser expressa pela equação 2.1:

$$H = f / E \quad (2:1)$$

Considerando-se que a área de estudo apresenta altitudes médias de 650 m na região meridional e 850 m na região setentrional, para a obtenção de negativos com escala central aproximada de 1:16.000, com uma câmera de distância focal de 50 mm, foram mantidas respectivamente as altitudes de voo de 1.450 m (4.756 pés) e de 1.650 m (5.412 pés).

A aerobase é a distância real entre duas exposições consecutivas na mesma linha de vôo, admitindo-se uma determinada superposição longitudinal entre elas. A aerobase (B) pode ser calculada através da seguinte relação matemática:

$$B = lo * (g / E) \quad (2:2)$$

onde:

lo = superposição longitudinal (= 0,4, para 60% de recobrimento longitudinal)

g = lado do negativo, em metros (= 0,024 m, para posição transversal do negativo, em câmara 35 mm)

Por outro lado, o intervalo entre duas linhas de vôo (I), considera a superposição lateral:

$$I = la * (g / E) \quad (2:3)$$

onde:

la = superposição lateral (= 0,7, para 30% de recobrimento longitudinal)

g = lado do negativo, em metros (= 0,036 m, para posição transversal do negativo, em câmara 35 mm)

A velocidade da aeronave em relação ao terreno (V) pode ser calculada pela razão entre o valor da aerobase (B) e o intervalo de tempo estipulado entre duas exposições consecutivas (T). Portanto, a expressão resultante é calculada por:

$$V = B / T \quad (2:4)$$

O recobrimento longitudinal de 60%, a maior dimensão do negativo colocada em posição transversal à linha de vôo e a escala do negativo determinaram uma aerobase com 153,6 m. O intervalo entre duas linhas de vôo, para um recobrimento lateral de 30%, resultou 403,2 m. Por sua vez, a velocidade da aeronave em relação ao terreno foi de aproximadamente 111 km/h (69 mph), tendo em vista um intervalo de tempo entre duas exposições consecutivas representado por um valor inteiro, de 5 segundos.

Outro importante elemento considerado na execução do vôo foi a exposição correta do filme fotográfico. A exposição correta, isto é, a quantidade de luz que atinge

o filme na câmera fotográfica é obtida da combinação adequada da velocidade do obturador com a abertura do diafragma da câmera. Ambos os valores determinam a nitidez da imagem fotográfica e a profundidade do campo, servindo para evitar possíveis arrastamentos da imagem.

Existe um tempo máximo admissível da abertura do obturador, que depende da velocidade da aeronave, da escala do negativo e do coeficiente de arrastamento da imagem ( $arr = 1/20$  mm). De acordo com Disperati (1991), uma imagem é considerada arrastada quando “o arrastamento é maior que o poder de resolução normal do olho humano, que é de 10 linhas por mm, ou seja,  $1/20$  mm, uma vez que cada linha teria  $1/20$  mm de largura”.

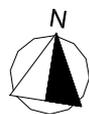
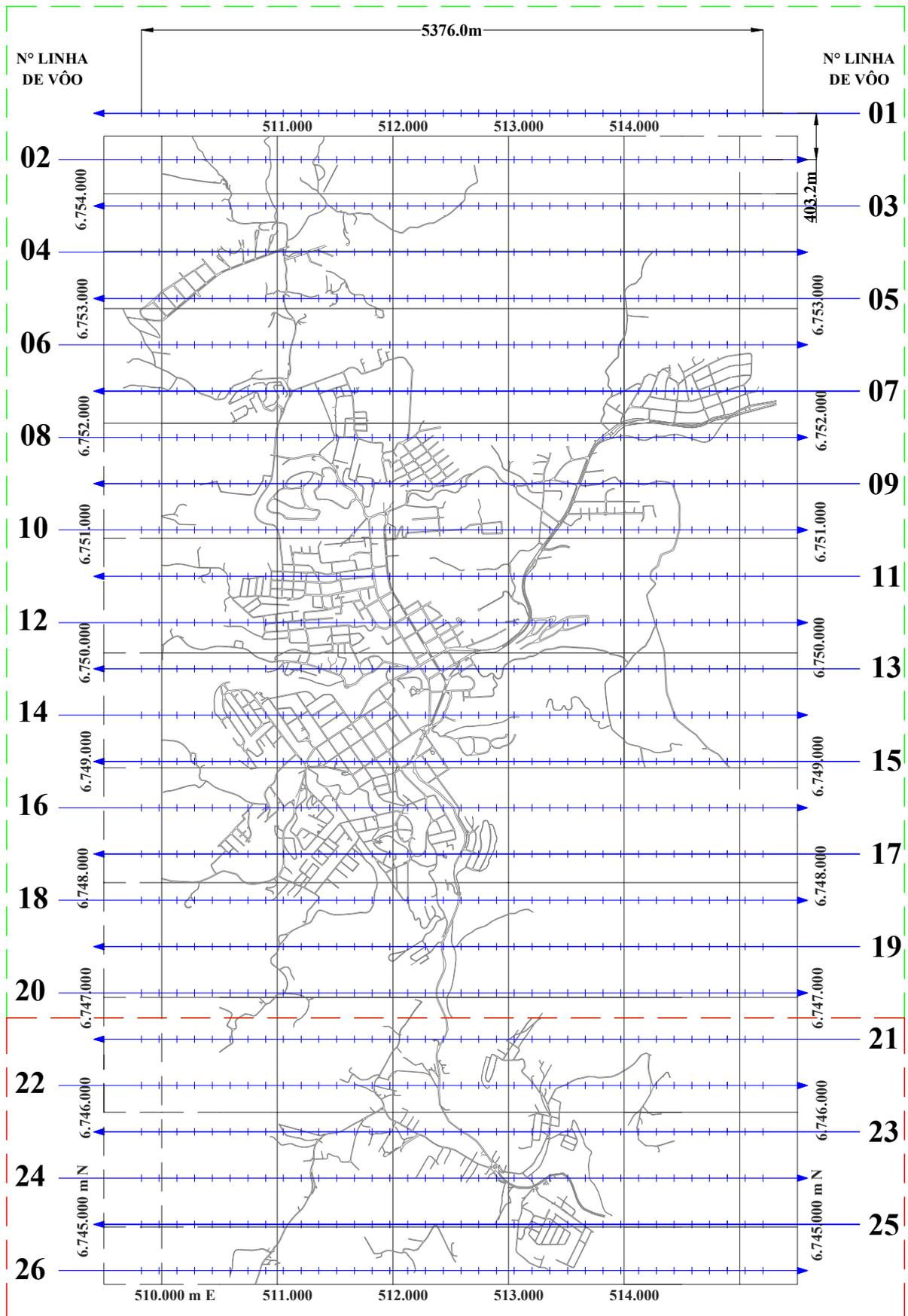
A expressão para o cálculo do tempo de exposição ( $t$ ) é dada pela equação 2.5:

$$t = arr / (V * E) \quad (2:5)$$

Para o nosso caso, o cálculo do tempo de exposição indicou-nos um valor de  $1/38,4$  s. Assim, para a tomada das fotografias de pequeno formato, podia-se utilizar qualquer tempo inferior a  $1/38,4$ , e optou-se pela regulagem do disparador para um tempo de exposição ainda menor, de  $1/250$  s.

Após o cálculo de todas as principais variáveis referentes ao planejamento aerofotográfico, procedeu-se na elaboração do plano de vôo para a missão fotográfica. A tarefa executada implicou a elaboração de um mapa de vôo, mostrando os limites do local fotografado, os locais em que cada fotografia deveria ser tomada e as linhas de vôo que o piloto deveria executar para efetivar o recobrimento.

A navegação foi determinada em um conjunto de seis plantas cadastrais digitais, na escala de 1:5.000, componente do levantamento sistemático regional. As características da planta permitem a eleição de pontos de referência no terreno necessários à navegação visual e facilmente identificáveis em vôo. A representação gráfica do plano de vôo, com as regiões setentrional e meridional, as faixas de vôo, pontos de tomada das fotografias, sentido do recobrimento, comprimento da linha de vôo, coordenadas e representação da área urbana em questão, estão esquematizados na figura 2.3.



0 1 2 km

- ++ LINHA DE VÔO E CENTROS DAS FAPEF'S
- = ESTRADAS E RUAS
- REGIÃO SETENTRIONAL = ALTITUDE DE VÔO DE 1.650 m
- REGIÃO MERIDIONAL = ALTITUDE DE VÔO DE 1.450 m

**Figura 2.3 - Mapa do Plano de Vôo**

O recobrimento do terreno foi efetivado basicamente em duas etapas. Tanto na primeira quanto na segunda etapa, a aeronave deslocou-se do aeroclube de Novo Hamburgo, e o recobrimento ao longo da primeira linha de vôo foi no sentido leste para oeste, com as faixas de vôo sendo executadas sucessivamente do norte para o sul.

Usualmente, a tomada das coordenadas de entrada e saída das faixas de vôo planejadas é controlada visualmente, através da observação das feições naturais e antrópicas do terreno, ou ainda com apoio da navegação por GPS. À bordo da aeronave, foi instalado um receptor GPS com 10 canais (marca *Magellan*), programado para fornecer dados de coordenadas no sistema UTM (Universal Transversa de Mercator), com relação ao *South American Datum 1969 (SAD-69)*, que corresponde ao datum horizontal das plantas cadastrais.

Uma das maneiras de se efetivar o recobrimento seria realizar a tomada da primeira FAPEF no momento em que as coordenadas UTM calculadas pelo receptor GPS coincidissem com as coordenadas indicadas no mapa de vôo. Posteriormente, deveria manter-se constante a altitude de vôo calculada para cada região da área estudada (figura 2.3), bem como a velocidade de deslocamento da aeronave em relação ao solo, acionando o disparador acoplado na câmera no intervalo de tempo de exposição de 5 segundos, medido em um cronômetro digital. Além disso, outra importante função do piloto é evitar a deriva da aeronave em relação à linha de vôo correta (*drift*), cabendo aos tripulantes o monitoramento dos movimentos da câmera fotográfica no momento da exposição.

Através da referida metodologia, feito o recobrimento da primeira faixa, seria reinicializado todo este processo, na segunda faixa e assim por diante, até completarem-se todas as faixas de vôo planejadas. Sua aplicação é muito difundida na execução do recobrimento aerofotográfico, mas existem também alternativas mais precisas, com o auxílio de equipamentos acessórios para o controle do recobrimento, através da utilização de navegação por GPS e de programas computacionais que permitem o gerenciamento da execução do plano de vôo.

Para o apoio do levantamento, foi utilizado o sistema aerofotográfico *Accuphoto* v.1.923 (*Genisys Systems*, 1997), composto de um computador portátil (*laptop*), um monitor de informação de desvio de curso, denominado de CDI (*Course Deviation Information*), e um receptor GPS *Magellan* (10 canais), ambos conectados a uma unidade de controle de vôo (FCU – *Flight Control Unit*), como pode ser observado nas figuras 2.4 e 2.5. O sistema *Accuphoto* é composto por três programas computacionais: *Estimator*, *Conversions* e *Mission Editor and Flight Control*.

O programa *Estimator*, instalado em um computador pessoal (PC), possibilitou o cálculo da posição de todos os centros das fotografias que foram tomadas no vôo, estimando o tempo e o número de fotografias necessárias para todo o recobrimento, além de fornecer o custo total do levantamento. Para tanto, o usuário deve informar as coordenadas (geográficas ou UTM) da base de decolagem e dos limites da área a ser fotografada, a distância focal da câmera, o número de fotos por rolo, a velocidade da aeronave em relação ao terreno, a altura e a direção de vôo, as dimensões e posição do negativo (longitudinal ou lateral), as sobreposições longitudinal e lateral, o custo da hora de vôo e da manutenção de equipamentos. Os valores calculados para os centros das fotografias podem ser visualizados na forma de um mapa, que pode ser exportado para qualquer programa que permita visualizar os dados no formato *.dxf* (*Drawing Exchange File*). Se a necessidade for a alteração de datums do plano de vôo, pode-se utilizar o aplicativo denominado de *Conversions*.

Os dados gerados pelo *Estimator* foram exportados do PC para o *laptop*, no programa *Mission Editor and Flight Control*, que armazena os dados e permite a comparação das coordenadas obtidas pelo GPS com as coordenadas do plano de vôo, informando ao piloto as distâncias da aeronave em relação aos centros das fotografias e às faixas de vôo previamente calculadas. Por sua vez, estes dados de distâncias e da deriva da aeronave foram visualizados no monitor do CDI, facilitando a tarefa do navegador no momento do acionamento manual do disparador acoplado na câmera. Após a finalização de cada faixa de vôo, a câmera foi recolhida puxando-se a unidade móvel da plataforma e assim foram substituídos os rolos de filme durante o traslado entre as sucessivas faixas.



Figura 2.4 – Detalhes do sistema aerofotográfico *Accuphoto*: 1) *Laptop* e 2) Unidade de controle de voo (FCU)



Figura 2.5 – Detalhes do sistema aerofotográfico *Accuphoto*: 3) Monitor de informação de desvio de curso (CDI) e 4) Antena do GPS *Magellan*

Para efeito do custo do recobrimento aerofotográfico, diversos aspectos foram considerados, destacando-se as horas de vôo necessárias, a depreciação do equipamento, tipo de material utilizado e o custo da tripulação envolvida.

Através do conhecimento das distâncias percorridas em cada linha de vôo (cf), calculadas nas plantas cadastrais, do valor da aerobase (B) e do número de linhas de vôo (nl), pôde-se estimar o valor encontrado para o número de fotografias necessárias para o recobrimento (Nr), como demonstrado na seguinte equação:

$$Nr = [(cf / B) + 1] * nl \quad (2:6)$$

dado que:

$$cf = 5376 \text{ m}$$

$$B = 153,6 \text{ m}$$

$$nl = 26$$

então:

$$Nr = [(5376 \text{ m} / 153,6 \text{ m}) + 1] * 26 = [(35 + 1) * 26] = 936 \text{ fotografias}$$

Portanto, o número de fotografias necessárias para o recobrimento foi de 936, dado que o número de faixas de vôo foi de 26, com 36 fotografias sobre cada linha de vôo, aproveitando-se todas as poses de um filme fotográfico comum por faixa recoberta.

A próxima etapa foi a determinação do tempo de vôo necessário para alcançar os pontos de referência previamente determinados nas plantas, assim como para a chegada ao objetivo. Devem ser considerados neste cálculo o tempo de vôo entre o aeroclube e o local a ser fotografado (ti) e o retorno à base (tf), o tempo para o recobrimento de uma linha de vôo (tl), o número total de linhas de vôo (nl) e o tempo necessário para o posicionamento do avião nas mesmas (tp). Como o vôo foi realizado em duas etapas, consideramos o tempo de traslado para a área de estudo e o retorno ao aeroclube com o dobro do valor. Matematicamente, podemos expressar o tempo para a realização do recobrimento (tr) pela expressão:

$$tr = ti + (tl * nl) + (tp * nl) + tf \quad (2:7)$$

sendo:

$$tl = cf / V \quad (2:8)$$

dado que:

$$t_i = t_f = 15 \text{ min} = 0,25 \text{ h} \quad (\text{para duas etapas, } 2 * t_i + 2 * t_f = 1 \text{ h})$$

$$c_f = 5,376 \text{ km}$$

$$V = 110,592 \text{ km/h}$$

$$n_l = 26$$

$$t_p = 6 \text{ min} = 0,1 \text{ h}$$

então:

$$t_l = 5,376 \text{ km} / 110,592 \text{ km/h} = 0,04861 \text{ h}$$

$$T_r = 1 \text{ h} + (0,04861 \text{ h} * 26) + (0,1 \text{ h} * 26) = 4,8639 \text{ h} = 4 \text{ h } 51 \text{ min } 50 \text{ s}$$

Assim, foram necessárias aproximadamente 3 horas e 52 minutos para a realização do recobrimento total da área de estudo, considerando um tempo de seis minutos (0,1 h) de tempo médio para efetuar a saída, volta e entrada da aeronave em uma nova linha de vôo – tempo de translado entre as faixas de vôo avaliado por Combs (1980), no *Manual of Photogrammetry*. Portanto, o tempo aproximado de vôo totalizou 4 h 52 min (3 h 52 min + 60 min de translado).

Cabe ressaltar que optou-se pela execução do recobrimento aerofotográfico em duas etapas, com a segunda etapa iniciando a partir da 13<sup>a</sup> faixa de vôo, em função do tempo de quase quatro horas para a execução do aerolevanteamento. Dentre as razões para esta definição do plano vôo em duas etapas, podemos citar o problema do tempo de vôo total para a comodidade do piloto e dos navegadores, e as mudanças do ângulo de iluminação solar neste intervalo de tempo. Outra razão importante foi a necessidade de se avaliar os resultados obtidos com os equipamentos utilizados na execução do vôo, bem como a qualidade dos produtos fotográficos obtidos, quanto ao recobrimento, nitidez, escala, distorções, etc.

A execução do plano de vôo correspondeu ao próximo passo, e dependeu de uma série de variáveis para a sua realização. Uma destas variáveis relaciona-se à própria ocorrência de falhas humanas ou técnicas durante o vôo, e outra às condições atmosféricas não adequadas. Causas externas, como ventos e diferenças de pressão atmosférica podem fazer a aeronave sair da rota e da altitude previstas, provocando desvios e rotações da câmera fotográfica com relação à situação ideal prevista. Além destes aspectos, devemos considerar como fator importante para a tomada das aerofotos a escolha do horário de vôo em função da luz solar. Costuma-se considerar o intervalo

de tempo situado entre 10:00 e 14:00 horas como padrão para a obtenção de boas aerofotos.

Os horários de vôo devem ser calculados de modo que o Sol se mostre com distância zenital superior à metade do campo de abertura da objetiva da câmera utilizada. Fotografias obtidas nas primeiras horas da manhã ou em horas mais avançadas da tarde apresentarão sombras mais alongadas e poderão causar dificuldades para a interpretação. A presença de sombras extensas podem obscurecer feições muito pequenas. No entanto, pequenas sombras podem até ser desejáveis para aumentar a quantidade de informações na imagem.

As condições meteorológicas para a execução do plano de vôo foram favoráveis, com baixa cobertura de nuvens e ventos calmos. As duas etapas de aerolevanteamento iniciaram no período da manhã, com a aeronave decolando às 11:00 a.m., chegando à área de recobrimento em 15 min, e assim executando a tomada das fotografias até aproximadamente 1:10 p.m. (1 h 56 min para o recobrimento), e retornando ao aeroclube próximo da 1:25 p.m., conforme o planejado.

#### **2.1.4 –Ampliação dos Negativos**

Os negativos coloridos em formato retangular (24 x 36 mm), na escala 1:16.000, foram ampliados para o formato 12 x 18 cm, cuja escala é de 1:3.200 (centro da fotografia aérea). Segundo Zomer (1997), as ampliações coloridas automáticas nos tamanhos 15 x 21 e 20 x 25 cm, oferecidas pelos laboratórios comerciais, “não são recomendáveis para os recobrimentos aerofotográficos, pois o lado maior do negativo tem suas extremidades não aproveitadas, o que compromete as superposições longitudinais”.

#### **2.1.5 –Digitalização das FAPEF’s**

Com a finalidade de se armazenar os dados das FAPEF’s em um meio computacional, foi necessária a digitalização dos dados. Para a sua digitalização, foi utilizado um *scanner* de mesa e um programa de editoração gráfica (*Photoshop v.5.5* –

*Adobe Systems*) para o armazenamento e processamento digital das FAPEF's. Neste programa, os produtos fotográficos foram armazenados no formato .jpeg e no modelo de cores primárias RGB (*red, green, blue*), com uma resolução de saída equivalente a 0,5 m no terreno. As fotografias aéreas, no modo RGB (24 bits), apresentam uma resolução radiométrica de 256 tons de cinza por canal (8 bits), totalizando até 16,7 milhões de cores.

Quanto aos limites digitalizados, foram consideradas as áreas úteis das fotografias aéreas, nas dimensões de 7 x 14 cm, com o ponto principal equivalente ao das fotografias originais (12 x 18 cm), conforme pode ser observado na figura 2.6. Esta área útil foi delimitada em função da menor distorção da imagem dos objetos fotografados, considerando áreas de sobreposições laterais e longitudinais entre as sucessivas fotografias, em razão das derivas da aeronave e da inclinação da câmera fotográfica no momento da exposição.

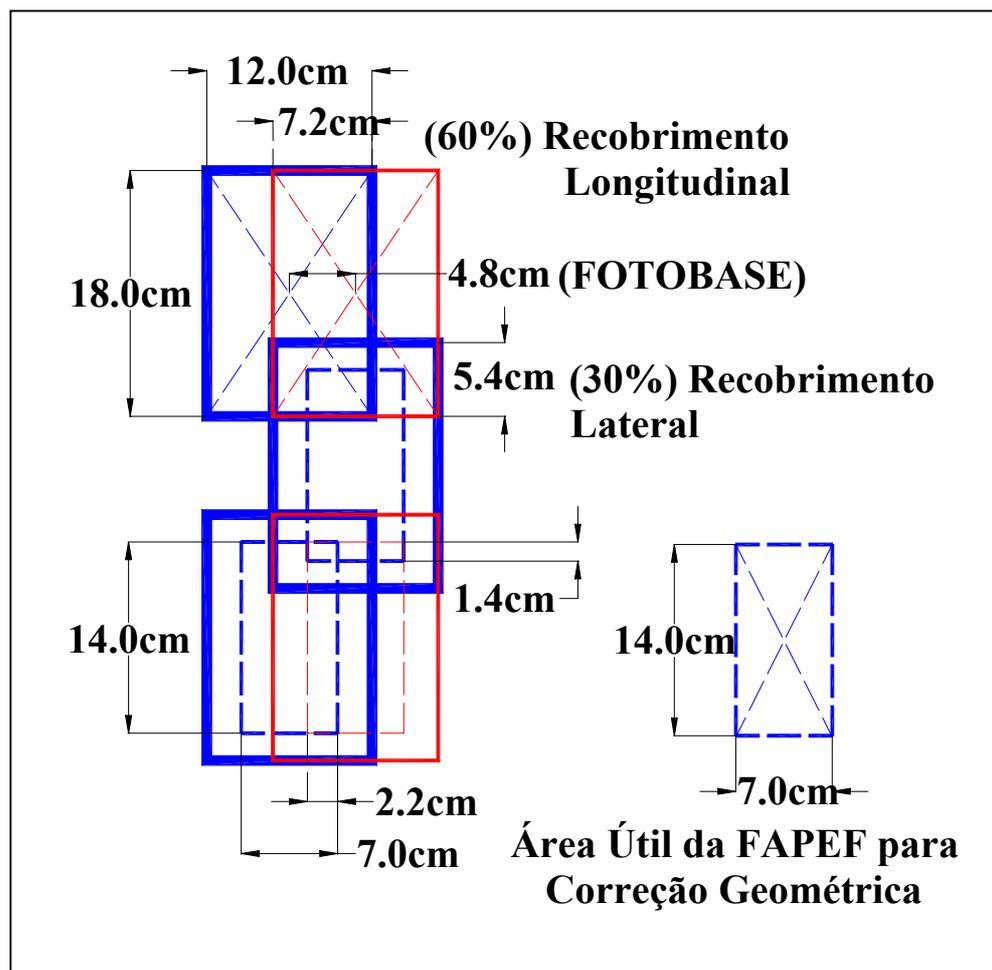


Figura 2.6 – Área útil da FAPEF para a digitalização e georreferenciamento

Para um pixel com área de  $0,25 \text{ m}^2$ , a resolução necessária foi de 163 dpi (pontos por polegada), calculada pela equação 2:9:

$$\text{Res (dpi)} = [(S * 0,0254)] / lp \quad (2:9)$$

sendo:

Res (dpi)  $\equiv$  resolução em dpi  
 S  $\equiv$  denominador da escala central da fotografia  
 1 metro = 0,0254 pol  
 lp  $\equiv$  lado do pixel (m)

então:

$$\text{Res (dpi)} = [(3200 * 0,0254)] / (0,5) = 162,56 \text{ dpi}$$

A resolução de 0,5 m foi considerada suficiente para se reconhecer pontos de controle para o georreferenciamento, tais como a intersecção de estradas principais e vicinais, caminhos, e os vértices de algumas edificações do cadastro de 1984. Nesta resolução, a escala das fotografias pôde ser aumentada em até quatro vezes, de 1:3.200 para 1:800, no sistema de visualização do SIG posteriormente utilizado.

Para o nosso estudo, uma resolução maior do que 0,5 m ocasionaria um aumento desnecessário no tamanho dos arquivos das FAPEF's digitais. Rocha (2000) afirma que é importante para o usuário observar a relação existente entre o valor da resolução espacial, o tamanho do arquivo e do produto final. Uma resolução elevada produz feições refinadas, porém o resultado obtido pode conter dados supérfluos, dificultando o acesso e o processamento dos dados.

Além da resolução espacial da imagem, foi considerada a relação entre a resolução espacial e a memória (*bytes*) necessária para o armazenamento dos arquivos, que cresce exponencialmente com o aumento desta resolução. Se para armazenar um pixel é necessário 1 byte de memória, então esta relação pode ser expressa da seguinte forma:

$$\text{mem} = nc * (At / Ap) \quad (2:10)$$

dado que:

mem  $\equiv$  memória (*bytes*)  
 nc  $\equiv$  número de canais (monocromático = 1; RGB = 3)  
 At  $\equiv$  área do terreno ( $\text{m}^2$ )  
 Ap  $\equiv$  área do pixel ( $\text{m}^2$ )

Como a área útil digitalizada das fotografias foi de 7 x 14 cm, e a escala do centro da foto é de 1:3.200, então a área do terreno é de 100.352 m<sup>2</sup>. Portanto, pela equação 2:10, seria necessária uma memória de 1.176 Kb (1,148 Mb) para o armazenamento dos dados no formato *bitmap* (.bmp) e modo RGB. Por exemplo, se duplicássemos o valor desta resolução para 0,25 m, seria necessária uma quantidade de memória quatro vezes maior, e assim por diante, aumentando com o quadrado da resolução espacial desejada.

No entanto, as fotografias aéreas foram armazenadas no formato .jpeg, cuja compressão dos dados pode chegar até a 50%. Portanto, a quantidade de memória necessária para armazenar digitalmente as 936 fotografias no formato .bmp, de 1,05 Gb, foi reduzida aproximadamente para 540 Mb no formato .jpeg, na opção de qualidade máxima de conversão, adotada para a preservação das características radiométricas originais das imagens.

Os ajustes de brilho, contraste, matiz e saturação das fotografias foram processados no programa de editoração gráfica utilizado, tendo em vista um melhor reconhecimento dos alvos estudados e dos pontos de controle necessários para o georreferenciamento das áreas úteis das FAPEF's.

## 2.2 - Georreferenciamento das FAPEF's

Uma vez que as informações digitalizadas devem ser geocodificadas às coordenadas das plantas cadastrais digitais, foi utilizado um SIG para o armazenamento e georreferenciamento das FAPEF's. Para tanto, foram utilizados programas da *Autodesk Inc.*, como o *AutoCAD MAP v.2000*, que opera com funções de SIG em modelos vetoriais, e o *AutoCAD Overlay v.2000*, para o processamento digital de imagens. É importante ressaltar que o *AutoCAD Overlay* consiste em um novo menu (ou módulo) acrescentado ao programa *AutoCAD MAP* e, portanto, o acesso a estes dois aplicativos ocorre dentro da mesma interface, facilitando o trabalho do usuário.

Regra geral, todos os SIG's apresentam implantada pelo menos uma rotina de georreferenciamento, que é essencial para a integração das informações em uma mesma base de dados.

A correção geométrica corresponde ao processo de integração da imagem com as propriedades de escala e de projeção de um sistema cartográfico adequado. Este processo de integração, denominado de georreferenciamento, é realizado com a definição de pontos de controle, cujas coordenadas sejam correspondentes a pontos reconhecidos na imagem a ser referenciada.

Para o georreferenciamento de uma imagem faz-se necessário primeiramente a coleta de pontos de controle nas plantas cadastrais e de um número de pontos homólogos na fotografia aérea. Para o registro entre estas duas imagens, considerando-se um número de pontos de controle (npc), obtém-se um número de 2 equações para cada npc. Um polinômio de 1<sup>o</sup> grau, por exemplo, define as seguintes equações:

$$X_i = a.x_i + b.y_i + cx_i \quad (2:11)$$

$$Y_i = c.x_i + d.y_i + cy_i \quad (2:12)$$

sendo:

$X_i$  e  $Y_i \equiv i^{\text{ma}}$  Coordenada de referência da planta cadastral (UTM);

$x_i$  e  $y_i \equiv i^{\text{ma}}$  Coordenada da fotografia aérea;

$a, b, c, d \equiv$  Parâmetros de Escala, Cisalho, Rotação e Obliquidade;

$cx_i$  e  $cy_i \equiv$  Parâmetros de Translação;

Este sistema de equações pode ser representado na forma matricial:

$$\begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} cx_i \\ cy_i \end{bmatrix} \quad (2:13)$$

O modelo linear utilizado servirá para se estimar os valores dos parâmetros envolvidos, através de uma regressão linear múltipla, para que se reconheçam os erros envolvidos no processo de correção espacial da fotografia aérea.

O processo normal em estatística consiste em minimizar a soma dos quadrados dos erros, o que pode ser obtido pela reta de mínimos quadrados. Em outra palavras, a própria função que relaciona a posição do ponto  $x_i, y_i$  com sua respectiva posição geográfica  $X_i, Y_i$  é determinada por este método. Calculam-se os valores dos parâmetros, pois, que minimizem a soma dos quadrados dos erros entre os valores preditos pela equação e os valores efetivos.

De acordo com Richards (1993), os parâmetros (a, b, c, d,  $x_i$  e  $y_i$ ) podem ser calculados através da seguinte equação matricial:

$$P = [(M^T * M)^{-1} * (M^T * R_i)] \quad (2:14)$$

sendo:

$P \equiv$  Matriz (6 x 1) com parâmetros a, b, c, d,  $cx_i$  e  $cy_i$ ;

$M \equiv$  Matriz (2n x 6) com valores de  $x_i, y_i$ ;

$M^T \equiv$  Matriz Transposta de M (2n x 6);

$R_i \equiv$  Matriz (2n x 1) com valores de  $X_i, Y_i$ ;

A partir dos valores calculados para os parâmetros, podemos facilmente estimar as coordenadas previstas pelo modelo. O erro verificado entre as coordenadas de referência e as do modelo é denominado de resíduo (res = matriz 2n x 1). Considerando as mesmas variáveis expressas na equação (2:14), temos:

$$\text{res} + (M * P) = R_i \quad (2:15)$$

Por sua vez, os resíduos (ou erros) em x, res (x), e em y, res (y), são os seguintes:

$$\text{res} (x) = X_i - (a.x_i + b.y_i + cx_i) = [X_i - CM(x)] \quad (2:16)$$

$$\text{res} (y) = Y_i - (c.x_i + d.y_i + cy_i) = [Y_i - CM(y)] \quad (2:17)$$

onde:

$X_i$  e  $Y_i$  = respectivamente, coordenadas X e Y da carta;

$CM(x)$  e  $CM(y)$  = respectivamente, coordenadas x e y do modelo;

Assim, o erro resultante, e(r), para cada ponto determinado por  $x_i, y_i$ , será:

$$e(r) = [\text{res} (x)^2 + \text{res} (y)^2]^{1/2} \quad (2:18)$$

O erro médio quadrático (*root mean square* - RMS) é calculado a partir da estimativa da variância amostral ( $S^2$ ) da população, para x e para y:

$$S^2(x) = \frac{\sum [X_i - CM(x)]^2}{v} \Rightarrow (S^2(x))^{1/2} = \text{RMS}(x) \quad (2:19)$$

$$S^2(y) = \frac{\sum [Y_i - CM(y)]^2}{v} \Rightarrow (S^2(y))^{1/2} = \text{RMS}(y) \quad (2:20)$$

$$\text{RMS} = [\text{RMS}(x)^2 + \text{RMS}(y)^2]^{1/2} \quad (2:21)$$

sendo:

$p$   $\equiv$  número de parâmetros;

$npc$   $\equiv$  número de pontos de controle

$v = (npc - p)$   $\equiv$  graus de liberdade

O RMS indica quanto uniforme ou extrema é a transformação requerida; quanto mais baixo o valor, melhor a calibração. O número RMS é a raiz quadrada média da distância dos pontos da calibração dos pontos mapeados finais para as coordenadas registradas. O desvio padrão é fornecido para todos os pontos da calibração. O erro residual é a diferença entre o atual ponto de calibração e a transformação computada do mesmo ponto, isto é, informa quanto o ponto calibrado está de sua suposta localização.

A reamostragem é um procedimento para georreferenciar espacialmente uma imagem a sua posição conhecida no terreno. Esta é uma transformação também conhecida como retificação polinomial (Novak, 1992) ou transformação “*rubber sheet*” (Eastman, 1998), que estende e deforma uma imagem para adequá-la a um sistema particular de referência. Este procedimento é usado frequentemente para registrar uma imagem a um sistema de coordenadas de referência, como, por exemplo, a projeção UTM.

Na definição do sistema de equações, é necessário escolher que função matemática fará a reamostragem dos pixels, normalmente por uma função de primeiro ou segundo grau. O número de pontos de controle mínimo para a reamostragem dos pontos, para uma equação de primeiro grau, é de três pontos.

Matematicamente, o número de pontos de controle ( $npc$ ) mínimo é definido de acordo com o grau de um polinômio ( $gp$ ):

$$npc = [(gp + 1)(gp + 2)] / 2 \quad (2:22)$$

Cumpra observar que a correção de 1º grau é adequada para distorções de translação, rotação e de escala, enquanto que as transformações com o polinômio de 2º grau ou superiores podem ser usadas para corrigir tipos mais complexos de distorção, como nas fotografias aéreas.

O programa *AutoCAD MAP v.2000* apresenta apenas uma opção de georreferenciamento limitada a equações lineares. Em função da necessidade de tornar mais precisa a correção geométrica das FAPEF's digitalizadas, a solução encontrada foi a utilização da rotina *rubbersheet*, presente no aplicativo *AutoCAD Overlay v.2000*, onde pôde-se aplicar também sistemas de equações de 2º grau, para os casos em que a quantidade (mínimo de seis pontos), precisão e distribuição dos pontos de controle mostrou-se adequada.

Valores de RMS dos pontos de controle amostrados em uma FAPEF menores do que 2,5 m foram considerados satisfatórios para a reamostragem dos dados, uma vez que o presente estudo não objetiva-se ao cadastro técnico preciso das edificações mapeadas. De acordo com a Comissão de Cartografia (1985), as cartas quanto à exatidão devem obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) - decreto nº 89.817, de 20/06/84. As cartas devem apresentar 90 % dos pontos representados com erro inferior ao PEC planimétrico estabelecido, bem como um Erro-padrão (EP) isolado inferior a 60,8 % do valor do PEC.

Com relação às cartas com um padrão de exatidão referente à classe A, o PEC (planimétrico) é de 0,5 mm na escala da carta, sendo de 0,3 mm na escala da carta o EP correspondente. Portanto, as plantas cadastrais digitais utilizadas no presente estudo (classe A), na escala de 1:5.000, apresentam um PEC (planimétrico) equivalente a 2,5 m no terreno, enquanto que o EP é de 1,5 m no terreno.

No presente estudo, foram encontrados pontos com erro residual maior do que o PEC planimétrico (2,5 m), chegando ao valor de 3 m. Todavia, estes pontos não representaram mais do que 10 % do número total dos pontos de controles utilizados para georreferenciamento das FAPEF's.

Os coeficientes de transformação foram processados, envolvendo a transferência do valor de intensidade dos pixels da imagem original (fotografia aérea) para a imagem corrigida (georreferenciada). Em função do novo rearranjo da posição dos pixels,

usualmente são realizadas técnicas de reamostragem, como a do vizinho mais próximo, interpolação bilinear e convolução cúbica.

O método de reamostragem pelo vizinho mais próximo adota o nível de cinza (imagem de ajuste) mais próximo do novo centro, enquanto que a interpolação bilinear e convolução cúbica adotam o valor médio dos quatro ou dos dezesseis pixels mais próximos do novo centro, respectivamente. Apesar destes dois últimos métodos distribuírem melhor o erro, exigem maior tempo de computação e produzem imagens mais suavizadas.

O método de reamostragem disponível no *AutoCAD Overlay v.2000* é o do vizinho mais próximo. Como afirmado anteriormente, na realocação dos pixels, o valor do nível de cinza de um pixel será definido com base na interpolação dos valores dos pixels mais próximos da imagem original. Em outras palavras, este método caracteriza-se pela preservação dos níveis de cinza originais da imagem, necessitando de um tempo de computação menor do que os demais tipos de reamostragem.

## **2.3 – Digitalização dos dados vetoriais**

### **2.3.1 – Digitalização dos perímetros das edificações**

Após o georreferenciamento das fotografias, foram criados novos planos de informação (*layers*) nos arquivos das plantas cadastrais, para a digitalização das novas edificações, no ambiente AutoCAD. Antes da digitalização, é selecionado o plano de informação ou *layer* corrente, para que as informações sejam vinculadas somente ao mesmo. A vantagem de se trabalhar com *layers* está no fato de que através desta estrutura organizada dos dados, pode-se visualizar, editar, processar ou plotar somente os dados de interesse do operador. Por exemplo, objetos podem ser associados a um único atributo ou identificador e suas entidades gráficas representadas por uma determinada cor, tipo e espessura de traço, etc., quando associados a um determinado *layer*.

Além da digitalização das novas edificações (existentes em 1999), foi atualizado o perímetro de muitas edificações cadastradas em 1984, em função de suas modificações ao longo do período de 15 anos. Os contornos de algumas edificações da área urbana sobre uma das FAPEF's georreferenciadas estão ilustrados na figura 2.7:

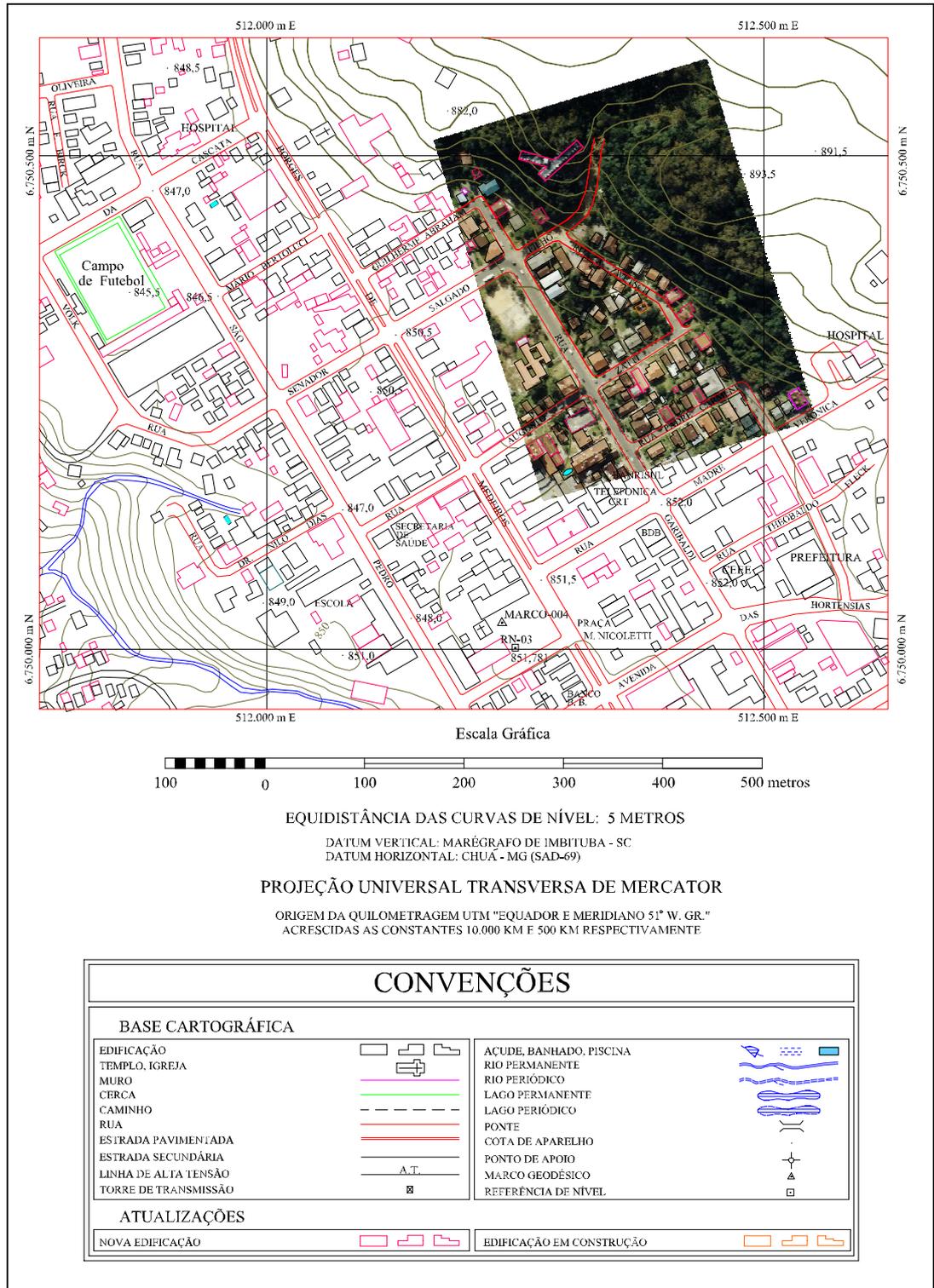


Figura 2.7 – Mapeamento temático das edificações sobre uma FAPEF georreferenciada

Como instrumento auxiliar para a identificação dos alvos estudados, foi utilizado um estereoscópio de bolso para a observação dos estereomodelos. A visão estereoscópica ou tridimensional está intimamente ligada ao campo da fotointerpretação, sendo amplamente utilizada para auxiliar na obtenção de informações e medidas sobre os objetos fotografados.

No processo de fotointerpretação, foram considerados elementos como o tamanho, forma, tonalidade, cor, textura, posição, adjacências, padrão e sombra dos objetos, associado ao conhecimento das características físicas e antrópicas da área de estudo pelo fotointérprete.

Os contornos das edificações foram digitalizados nas FAPEF's georreferenciadas, considerando-se os perímetros dos telhados das edificações. A delimitação dos contornos das edificações de menor porte (até 200 m<sup>2</sup>, por exemplo) foi realizada a partir do perímetro dos telhados, enquanto que para as edificações de maior porte, como as destinadas à rede hoteleira, comercial e de serviços, os contornos foram digitalizados a aproximadamente um ou dois metros do perímetro dos telhados, uma vez que grande parte destas edificações foram construídas imitando o padrão arquitetônico europeu, com telhados caracteristicamente alongados.

### **2.3.2 – Digitalização dos limites dos bairros da área urbana**

Após a digitalização das edificações, foi necessário delimitar a área de estudo nas plantas cadastrais, para a posterior consulta ao banco de dados. Cumpre observar que além do estudo da área urbana total, foram analisadas unidades territoriais menores, como os bairros do município, em função da complexidade do processo de evolução da ocupação urbana de Gramado.

Uma vez que os limites dos bairros não estavam representados nas plantas cadastrais, estes foram digitalizados e armazenados em um plano de informação do SIG utilizado, com base na consulta de documentos produzidos pela Secretaria do Planejamento do Município de Gramado, como uma planta de zoneamento, na escala de 1:10.000 (anexo I), e um relatório onde constam todos os nomes das ruas e avenidas da área urbana (por bairros e loteamentos). Além das principais vias de acesso, foram

considerados a localização das edificações, o relevo da superfície, representado pelas curvas de nível, bem como a rede de drenagem e os corpos d'água, delimitados nas plantas cadastrais digitais.

A partir da digitalização dos polígonos dos bairros, pôde-se traçar os limites da área urbana de Gramado, referentes ao ano de 1999. Embora fosse possível representar estes limites para o ano de 1984, foi considerado o limite mais atual, uma vez que a temática do trabalho consiste no estudo da ocupação urbana e não na análise da evolução da malha urbana municipal. Através de sua delimitação, foram possíveis a determinação dos valores do perímetro (40,32 km) e da área urbana total (29,49 km<sup>2</sup>), que ainda não constavam em dados oficiais.

#### **2.4 – Elaboração das cartas-imagem da área de estudo**

Após a delimitação dos bairros da área urbana, foram elaboradas duas cartas-imagem, com o objetivo de caracterizar os aspectos físicos e antrópicos da região.

Uma das alternativas para a elaboração das cartas-imagem seria a utilização de um fotoíndice digital das FAPEF's, produzido a partir da mosaicagem dos positivos dos filmes fotográficos utilizados na cobertura aerofotográfica.

É importante ressaltar que o referido fotoíndice, disponível também no formato analógico (anexo II), não consistiu em um dos resultados do presente estudo; este foi apenas um dos produtos obtidos a partir de um convênio da prefeitura de Gramado com a Fundação de Apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (FAURGS), firmado no ano de 1999, que financiou etapas essenciais do presente estudo, como o levantamento aerofotográfico e o mapeamento temático das edificações para a atualização das plantas cadastrais de Gramado.

Com relação ao fotoíndice, constatou-se que o mesmo não seria adequado para a elaboração das cartas-imagem, em função da presença dos selos com os números das FAPEF's e da imprecisão do processo de mosaicagem, que provocou descontinuidades nas informações em algumas áreas. Além destes aspectos, seria necessário um grande

número de pontos de controle para o georreferenciamento do mosaico não-controlado, que provocaria uma grande investimento de tempo para se atingir este objetivo.

Como alternativa mais rápida e precisa para a produção das cartas-imagem, foi utilizada uma cena do satélite Landsat 7 (órbita-ponto 221/80, 17/09/99). Uma cena é composta por um conjunto de oito imagens, cada uma referente a uma determinada faixa do espectro eletromagnético (bandas espectrais), obtidas a partir do sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*). A data da aquisição da cena utilizada foi de aproximadamente meio ano posterior à execução do levantamento aerofotográfico e, portanto, considerada adequada para a representação das feições naturais e artificiais que foram descritas no presente estudo.

As bandas espectrais do satélite Landsat 7 ETM+ podem ser combinadas na forma de composições coloridas e suas características geométricas e radiométricas podem ser processadas digitalmente. Uma cena imageada é composta de 6 bandas multiespectrais, nas faixas do visível e infravermelho, com resolução espacial de 30 m, 1 banda na faixa do infravermelho termal (canais 6L e 6H), com resolução de 60 m, e 1 banda pancromática, que tem 15 metros de resolução espacial.

No presente estudo, as bandas multiespectrais escolhidas foram a 3 (0,63-0,69  $\mu\text{m}$ ; vermelho), 4 (0,78-0,90  $\mu\text{m}$ ; infravermelho próximo) e 5 (1,55-1,75  $\mu\text{m}$ ; infravermelho médio), com resolução espacial de 30 m, em função de seu potencial para a discriminação dos elementos de cobertura e uso do solo, que mostraram-se adequados para a caracterização dos elementos naturais e antrópicos da área urbana estudada. Além das bandas multiespectrais, foi utilizada a banda 8 (0,52-0,90  $\mu\text{m}$ ; pancromática), em razão de sua maior resolução espacial.

As respectivas imagens apresentavam um nível de correção sistemática das suas características radiométricas e geométricas, corrigidas por pontos de controle obtidos por GPS (imagens no formato .geotiff), com erro de posicionamento de até meio pixel. As coordenadas das imagens registradas estão associadas ao sistema de projeção cartográfica UTM, datum SAD 69, que é o mesmo utilizado nas plantas cadastrais de Gramado.

Para a confecção das cartas-imagem, na escala 1:50.000, verificou-se que a resolução espacial mais adequada para a realização de uma composição colorida de imagens do Landsat 7 ETM+ seria de 15 m, correspondente a da banda pancromática. Considerando-se a escala proposta, a composição colorida das imagens multiespectrais, com resolução de 30 m, geraria uma imagem desfocada, e optou-se assim pela técnica de fusão de dados digitais, denominada de transformação IHS, tendo em vista a obtenção de uma composição colorida com resolução espacial de 15 metros.

O espaço de cores conhecido por IHS utiliza os conceitos de intensidade (*intensity*; I), matiz (*hue*; H) e saturação (*saturation*; S) para explicar a idéia de cor. Este modelo é uma forma alternativa ao modelo RGB, como solução para a produção de composições de imagens com grande variação de tonalidades e com o aumento das informações espaciais.

No espaço IHS, as cores são definidas por três atributos (intensidade, matiz e saturação), ao invés de três quantidades de cores primárias. Esses atributos podem ser analisados e manipulados individualmente, ao contrário do sistema RGB, onde eles são intrinsecamente interligados. Eles descrevem a formação de cores de uma maneira muito mais próxima àquela pela qual o sistema visual humano as percebe e, devido a esta razão, o sistema IHS apresenta vantagens nítidas em relação ao sistema RGB.

Para a fusão de imagens do satélite Landsat 7, foram aplicadas rotinas computacionais do programa *Idrisi for Windows v.32 (Clark University)*. Primeiramente, as imagens foram importadas para o referido programa e as três bandas multiespectrais foram utilizadas para a geração de uma composição colorida RGB 543, com aumento linear de contraste. Após esta etapa, aplicaram-se os algoritmos de transformação IHS para a separação das componentes das cores, na forma de três imagens, com as informações de intensidade, matiz e saturação da composição colorida RGB 543 original. Em seguida, a resolução espacial das componentes matiz e saturação foi reamostrada para 15 m, cujo valor é igual ao da banda pancromática. Após a aplicação do aumento linear de contraste na banda pancromática, esta foi utilizada para substituir a componente intensidade da composição RGB original, que apresenta uma natureza espectral semelhante. Através da operação inversa da transformação IHS, que consiste na operação de fusão das componentes matiz e saturação, oriundas das bandas multiespectrais 3, 4 e 5, com a banda pancromática, obteve-se uma composição colorida

no novo espaço RGB, com resolução espacial de 15 m, cobrindo toda a área do município de Gramado e adjacências. Esta nova composição colorida apresenta informações temáticas idênticas a da composição colorida RGB original; porém, os dados estão representados com a maior resolução espacial da banda pancromática, tornando possível a definição dos elementos mapeados na escala de 1:50.000, aplicada na produção das cartas-imagem do presente trabalho.

A nova composição colorida RGB foi exportada para o formato .tiff, e assim pôde ser importada para o programa *AutoCAD MAP 2000*. Neste programa, a nova composição colorida foi utilizada para a produção do mapa de localização da área urbana e do município de Gramado (figura 1.1) e da carta-imagem da localização dos limites dos bairros da área urbana (figura 5.1).

Para a representação do limite do município de Gramado no mapa da localização da área de estudo, foi utilizada uma carta da DSG (Diretoria de Serviço Geográfico do Exército), na escala de 1:250.000 - (folha SH.22-X-C e D). A referida carta foi rasterizada por *scanner* de mesa e georreferenciada através do aplicativo *AutoCAD Overlay 2000*. Posteriormente, foi digitalizado o referido limite municipal, além da rede de drenagem e os principais eixos viários da área urbana (figura 1.1).

Quanto à carta-imagem da localização dos bairros da área urbana de Gramado, esta foi elaborada na escala de 1:50.000, através da nova composição colorida. Para a representação da planialtimetria da área urbana (figura 5.2), optou-se por utilizar somente a banda pancromática nesta carta-imagem, como forma de se destacar a representação das curvas de nível, que seria obscurecida pela imagem da nova composição colorida. É importante observar que a aplicação da banda 4 do satélite Landsat 7 seria adequada para a elaboração da carta-imagem planialtimétrica com relação a suas características espectrais, pois esta faixa do espectro permite uma boa representação da rede de drenagem, dos corpos d'água e da morfologia do relevo da área estudada; no entanto, sua limitação foi a resolução espacial de apenas 30 m, insuficiente para a sua aplicação na escala desejada.

## 2.5 – Topologia e consulta ao banco de dados

Com o mapeamento temático das edificações e a delimitação dos bairros da área urbana, a próxima etapa consistiu na criação de uma topologia para as entidades representadas (edificações), utilizando-se recursos de um SIG, no *AutoCAD MAP 2000*. Neste programa, estão disponíveis ferramentas para se detectar e corrigir automaticamente erros nos polígonos digitalizados, como requisito para se preparar os dados para a geração de uma topologia de polígono.

Após a correção da estrutura arco-nó de todas as edificações, foram criadas duas topologias para os polígonos digitalizados: uma para as edificações do cadastro de 1984, e outra para as edificações mapeadas na atualização cadastral de 1999.

A aplicação de uma topologia de polígono para as edificações cria e armazena um banco de dados vinculado aos objetos, além de gerar um ponto localizado na posição central do polígono, denominado de centróide, com valores de área e perímetro relacionados às dimensões da edificação. É importante observar, todavia, que estas medidas são apenas aproximações dos valores que seriam obtidos em um cadastro técnico preciso das edificações, uma vez que o presente estudo consistiu no mapeamento temático das edificações para a atualização das plantas cadastrais de Gramado.

Com a topologia de polígono estruturada, pôde-se realizar uma consulta à localização dos centróides, no que diz respeito ao valor de seus atributos (X, Y, Z), sendo X e Y as coordenadas UTM, e Z, o atributo qualitativo, com valores representando as diferentes modalidades de edificações digitalizadas (por exemplo, para edificação do cadastro de 1984 foi arbitrado um valor de atributo igual a 0, enquanto que para a nova edificação, um valor igual a 1).

Primeiramente, foi selecionado o polígono envolvente de um determinado bairro, como filtragem somente para os dados da área de interesse. Posteriormente, foram consultados os valores das coordenadas dos centróides das edificações do cadastro de 1984 e depois para todas as edificações existentes em 1999, representadas nesta mesma área selecionada. Feita a consulta para cada bairro, foi repetido o mesmo

procedimento para a consulta aos centróides presentes em toda a extensão da área urbana.

As consultas ao banco de dados foram exportadas na forma de um relatório, no padrão mais utilizado para codificar dados alfanuméricos: o formato *ASCII (American Standard Code for Information Interchange)*. Posteriormente, este formato foi importado para uma planilha eletrônica (*Excel 97 – Microsoft Corporation*), onde foram calculados separadamente os valores médios das posições dos centróides existentes nas duas datas estudadas, por bairros e para toda a área urbana.

Dado que os pontos apresentam duas dimensões, representadas pelas coordenadas X e Y, a média aritmética da posição dos centróides  $(\chi, \psi)$  é dada pelo quociente entre a soma das coordenadas em X ( $\sum x_i$ ) e o número de edificações (ne) e pelo quociente entre a soma das coordenadas em Y ( $\sum y_i$ ) e a variável ne, conforme expressa a seguinte equação:

$$(\chi, \psi) = (\sum x_i / ne, \sum y_i / ne) \quad (2:23)$$

O cálculo dos valores médios das posições dos centróides permitiu localizar o centro de gravidade destas entidades para duas situações temporais: das edificações do cadastro de 1984 e do número total de edificações existentes em 1999, por bairros e para toda a área urbana. A mudança dos centros de gravidade dos centróides foi representada por um segmento de reta orientado (vetor), demonstrando para qual direção ocorreu a expansão da ocupação urbana. Com relação ao tamanho do vetor, este representa a magnitude do deslocamento do eixo de ocupação urbana ao longo do período estudado.

## **2.6 – Estudo da evolução da ocupação urbana de Gramado**

### **2.6.1 – Elaboração dos mapas temáticos**

O estudo da evolução da ocupação urbana do município de Gramado teve como ponto de partida uma breve análise da dinâmica territorial, para o período compreendido entre os anos de 1921 e 1980, baseado em estudos desenvolvidos por Ferraro (1982). Os produtos finais obtidos pela referida autora foram seis mapas temáticos, na escala de

1:10.000, cada um representando a localização e uso das edificações da área urbana para o período de uma década, do início da década de 20 até a década de 80. As formas de uso das edificações foram discriminadas em residências de moradores e de veraneio, estabelecimentos comerciais e indústrias. Estas informações, de caráter qualitativo, foram importantes para o reconhecimento das influências que as diferentes modalidades de edificação desempenharam no surgimento de novas áreas ocupadas na área urbana do município estudado.

Os dados mapeados e analisados por Ferraro (1982) foram simplificados na forma de um mapa temático na escala de 1:50.000, representando a expansão da ocupação urbana da década de 20 até os anos 80. É importante ressaltar que a análise destas informações multitemporais não constituem-se no propósito deste trabalho, que refere-se ao estudo da expansão da ocupação urbana de um período posterior, com base em dados de plantas cadastrais digitais de 1984 e 1999. No entanto, consideramos como elemento favorável para o entendimento da ocupação atual uma breve análise dos fatores que historicamente consolidaram os padrões de ocupação até a década de 1980.

Com relação aos dados produzidos no presente estudo, um dos produtos consistiu em um mapa temático da evolução da ocupação dos bairros e de toda a área urbana do município de Gramado, com vetores representando as direções e magnitudes da expansão da ocupação urbana.

Neste mapa temático está traçado um vetor com um segmento de reta e cor diferenciado dos demais, representando o crescimento da área urbana como um todo, podendo ser interpretado como um vetor resultante da direção e magnitude de todos os demais vetores de crescimento dos bairros do município estudado.

Os valores de crescimento percentual do número de edificações por bairros estão representados coropleticamente, com escala de cores variando do azul (menor crescimento), para tons amarelados, até chegar ao vermelho (maior crescimento). Além dos valores de crescimento, foram representados o número total das edificações para as duas datas estudadas, através de gráficos de barras.

Outros produtos elaborados no presente estudo foram mapas planialtimétricos para todos os bairros da área urbana, com base nos dados das plantas cadastrais de 1984.

A partir da atualização cadastral e de relatórios produzidos pela Secretaria do Planejamento e Urbanismo de Gramado (1999), referentes às vias de acesso (ruas e avenidas, por bairros e loteamentos) e situação dos loteamentos (com os nomes, protocolo, infra-estrutura e zonas de uso abrangidas pelos loteamentos), foi possível a elaboração de mapas temáticos da localização das edificações e dos loteamentos existentes no ano de 1999, para cada bairro estudado.

### **2.6.2 – Interpretação dos resultados obtidos**

A última etapa da metodologia aplicada consistiu na interpretação do mapa temático da evolução da ocupação urbana, além das informações complementares que mostraram-se necessárias para uma melhor compreensão da complexidade do fenômeno estudado.

A interpretação dos vetores da expansão da ocupação urbana teve como apoio os estudos do processo de ocupação da área urbana produzidos por Ferraro (1982), além das informações dos relatórios da Secretaria do Planejamento de Gramado (1999), que tornaram possível a localização dos limites de todos os loteamentos da área urbana, e assim permitiram a verificação das influências do surgimento dos loteamentos para a concentração de edificações em determinadas áreas do espaço urbano gramadense.

Com a finalidade de se examinar qualitativamente as modalidades de edificações presentes nos loteamentos e bairros, foi utilizada a planta de zoneamento (1999), onde estão representadas as zonas de uso residencial, comercial, industrial e para a preservação paisagística.

Com base nos materiais de estudo e a partir de saídas de campo, foram caracterizados e analisados aspectos físicos da área urbana, como relevo, drenagem, corpos d'água e vegetação, além dos fatores antrópicos, como vias de acesso e os loteamentos, partindo-se do entendimento que estes fatores exerceram influência para a mudança dos padrões de ocupação urbana.

A descrição das formas de relevo tornou-se possível a partir da interpretação das curvas de nível cotadas das plantas cadastrais digitais. Por meio das curvas de nível,

foram calculadas as declividades de algumas vertentes, através de medições da diferença de nível e da distância horizontal entre as mesmas.

A declividade de uma inclinação (D) pode ser entendida como a relação entre a diferença de nível (dn) e a distância horizontal (dh) entre dois pontos, podendo ser expressa em graus ou em percentual.

Uma das maneiras de se representar esta relação é aplicar o cálculo da tangente (tg), que expressa o coeficiente angular ( $\alpha$ ) de uma reta em relação ao eixo das abcissas. O resultado encontrado é dado em graus, a partir da seguinte relação:

$$D = \text{tg } \alpha = (\text{dn}/\text{dh}) \quad (2:24)$$

Outra forma de representação da declividade, dada em percentual, pode ser assim calculada :

$$D = (\text{dn} / \text{dh}) * 100 = (\text{tg } \alpha) * 100 \quad (2:25)$$

Portanto, para o valor de  $45^\circ$ , temos uma declividade de 100%.

O conhecimento das declividades das vertentes e dos modelados de relevo é de grande importância para o estudo da ocupação urbana, uma vez que estes fatores podem impedir ou favorecer a evolução da ocupação. Outros fatores importantes para esta análise foram a rede de drenagem, corpos d'água, estradas e caminhos, também representados no conjunto de seis plantas cadastrais digitais atualizadas.

Para a localização e caracterização dos padrões de cobertura vegetal, foi utilizado o fotoíndice do levantamento aerofotográfico, além da composição colorida obtida a partir da fusão de dados do satélite Landsat 7.

As informações a respeito do espaço físico e antrópico da área de estudo foram fundamentais para a interpretação dos resultados obtidos através do SIG, podendo ser utilizadas como subsídios para o planejamento municipal.

### **3 - LEVANTAMENTOS AEROFOTOGRAFÍCOS E AEROFOTOGRAFÍCOS**

No início do século vinte, a Cartografia recebeu uma nova e poderosa ajuda, com o surgimento da aerofotogrametria. Durante sua evolução, surgiram necessidades específicas que levaram à procura de métodos expeditos e comparativamente mais baratos para análises em áreas de menores dimensões, em ângulos, imagens e características distintas daquelas apresentadas pelos levantamentos aerofotogramétricos. Criaram-se, então, métodos de reconhecimento aéreo com o emprego de fotografias simultaneamente verticais e oblíquas, obtidas a partir de câmaras não-métricas, em aeronaves de pequenas dimensões, destinadas ao reconhecimento aerofotográfico.

Segundo Disperati (1991), adotou-se a idéia básica para reconhecimento aerofotográfico desde a Primeira Guerra Mundial, e durante a Segunda Guerra, nos serviços especializados da Real Força Aérea (RAF), na Inglaterra, e pela Força Aérea do Exército dos Estados Unidos da América. Estes métodos incluíam fotografias aéreas verticais e oblíquas ou uma combinação de ambos os processos.

A partir da década de 50, inúmeros estudos foram realizados visando a obtenção de fotografias aéreas através de câmaras convencionais, como por exemplo as de 35 mm e 70 mm. Atualmente, as fotografias aéreas de pequeno formato são amplamente utilizadas em países como os Estados Unidos, Canadá, Austrália e alguns países europeus, principalmente com a finalidade de elaboração de mapas temáticos. A aplicação de câmaras de pequeno formato calibradas e de métodos de correção geométrica das FAPEF's têm permitido ainda sua aplicação no mapeamento topográfico e no cadastro técnico multifinalitário.

Aplicações das fotografias de pequeno formato para o monitoramento de áreas florestais e para o posicionamento de novas estradas foram executadas pelo Ministério dos Recursos Naturais da província de Ontário, no final da década de 60. Este programa foi implantado em razão do relativo baixo custo do equipamento, disponibilidade de avião, possibilidade de efetuar treinamento de técnicos e a dificuldade de contratar empresas particulares para executar vôo aerofotográfico de áreas pequenas e espalhadas, cujos vôos seriam antieconômicos para as empresas.

No Brasil, a aplicação das FAPEF's teve início somente na década de 80, servindo basicamente para o mapeamento temático, como por exemplo os estudos florestais desenvolvidos por Medeiros (1984) e Disperati (1986).

Dentre as inúmeras aplicações das FAPEF's, além dos estudos florestais, destacam-se os estudos agrônômicos e a análise dos espaços urbanos. No entanto, independente do tipo de estudo, devemos considerar as vantagens e limitações do método aplicado, tendo em vista uma análise criteriosa dos parâmetros envolvidos, para que se possa chegar a uma correta interpretação dos resultados.

Considerando-se que a referida metodologia de obtenção dos produtos fotográficos é similar à utilizada nos levantamentos aerofotogramétricos, devemos comparar os materiais e métodos utilizados em ambas as técnicas, desde a obtenção das fotografias até a compilação dos dados em um mapa.

Dentre os assuntos abordados, será traçado um paralelo entre os levantamentos aerofotogramétricos e aerofotográficos, com relação aos materiais utilizados no levantamento, às correções geométricas envolvidas no processo e às vantagens, limitações e aplicações destes métodos na geração de produtos cartográficos.

### **3.1 – Câmeras fotográficas e aerofotogramétricas**

Para podermos compreender as características das FAPEF's, é conveniente antes de tudo ter-se uma idéia, pelo menos sumária, das câmeras com as quais tais fotografias são tiradas. Apesar do funcionamento das câmeras fotogramétricas se basear nos mesmos princípios que regulam o das câmeras comuns, distinguem-se destas pelas muitas adaptações técnicas acrescentadas com a finalidade a que se destinam, achando-

se incorporados muitos outros mecanismos adicionados, com a finalidade de se obter resultados de alta precisão.

### **3.1.1 – Componentes das câmeras métricas e não-métricas**

Os principais tipos de câmeras são as de uma objetiva e um corpo, multi-objetivas (por exemplo, o sistema Trimetrogon e câmeras multi-bandas), de faixas e panorâmicas (Loch, 1994). Com relação ao nosso estudo, foram comparadas as câmeras fotogramétricas e não-métricas de uma objetiva e um corpo, que são as mais utilizadas nos aerolevantamentos.

De acordo com Lillesand & Kiefer (1994), uma câmera fotogramétrica é constituída basicamente por um cone das lentes, o corpo da câmera, o chassi de material sensível (magazine), o mecanismo de suspensão e o intervalômetro ou regulador de recobrimento.

No cone das lentes é montado o obturador, o diafragma e um sistema de lentes que possuem elevada precisão e poder de resolução, construído de modo a reduzir ao mínimo as aberrações óticas.

O corpo da câmera apresenta parte dos dispositivos para regular o tempo de exposição, para o funcionamento do obturador, para o enrolamento do filme e sua distensão perfeita no plano de exposição. Na base do corpo da câmera se encontra o cone das lentes e na parte superior está o filme.

O magazine é o dispositivo para conter o filme fotográfico que está enrolado em uma bobina, sendo composto do porta-filme, placa do plano focal, câmera de vácuo e servo-motor.

O mecanismo de suspensão tem como função amortizar as vibrações do avião e manter a câmera nivelada. Já o intervalômetro permite tirar, automaticamente, fotografias sucessivas a intervalos de tempo programados. Este possui um visor através da qual o operador da câmera pode observar a área do terreno que está sendo fotografada, orientando corretamente a câmera em relação à linha de vôo.

Além destes importantes dispositivos, destacam-se o estatoscópio (altímetro que registra as variações da altura de vôo entre as diferentes estações), filtros (colocados em frente à objetiva para evitar o efeito nocivo dos raios azuis e da névoa presentes na atmosfera), a objetiva (sistema de lentes por onde passam os raios luminosos) e o registrador automático de dados (dispositivo que registra dados no negativo, como altitude de vôo, distância focal da câmera, escala do negativo, inclinação do eixo óptico, hora da tomada, número da foto e da faixa de vôo).

Nas câmeras mais modernas, têm sido utilizados instrumentos de controle e operação, os quais permitem o monitoramento dos elementos envolvidos na tomada das fotografias, como superposição, altitude de vôo, funcionamento dos dispositivos de planificação e avanço do filme, velocidade do obturador, manutenção da linha planejada e inclinação das fotografias. São exemplos de instrumentos auxiliares os telescópios de navegação, sensores de navegação, terminais de operação e monitoramento da câmera e computador de navegação, com interfaces para GPS.

Basicamente, uma máquina aerofotogramétrica é caracterizada pelo formato de seus negativos, pela distância focal de sua objetiva e pelo ângulo de campo desta objetiva. O ângulo de campo da objetiva é definido como “o ângulo com vértice no centro da objetiva, cuja abertura envolve o campo da fotografia (quadrangular ou retangular) ou do correspondente terreno fotografado” (Garcia, 1977).

As dimensões mais comuns dos negativos da câmeras aerofotogramétricas são 23 x 23 cm e 18 x 18 cm, enquanto que os ângulos de campo do sistema de lentes variam até 75°, para as lentes de ângulo normal, de 75° a 100°, para grande angular, e superior a 100°, para as super grande angulares.

As câmeras não-métricas são evidentemente muito mais simples do que as fotogramétricas, sendo constituídas basicamente pelo corpo da câmera, onde está o magazine (nas câmeras 70 mm, o chassis pode ser intercambiável), e por uma objetiva, apresentando acessórios como o motor-drive (passagem automática do filme), intervalômetro, disparador à distância, registrador de dados (*data back*), fotômetro (mede a luz refletida e/ou a luz incidente) e filtros.

O termo câmera 35 mm refere-se a um tipo particular de câmera que utiliza filme fotográfico resultando negativo individual, de cada exposição, de dimensões 24 x 36

mm. Este termo refere-se à largura do negativo que, na realidade, é de 36 mm. Estas câmeras são denominadas de pequeno formato, enquanto que as câmeras que possibilitam o uso de filmes fotográficos que resultam em negativos individuais maiores do que 24 x 36 mm são conhecidas como de formato médio.

Uma das características destas câmeras de pequeno formato é a curta distância focal; conseqüentemente, os ângulos de campo das lentes são maiores do que as câmeras aerofotogramétricas. Além disso, “os tamanhos usuais dos seus negativos são muito menores, como por exemplo os de 6 x 6 cm, 6 x 9 cm, 10 x 13 cm, etc.” (Disperati, 1991).

### **3.1.2 – Sistema de lentes e suas distorções**

Na maioria das vezes, o sistema de lentes e as próprias câmeras 35 mm e 70 mm não são elaboradas para apresentar a qualidade e exatidão exigidas nas câmeras métricas. As câmeras métricas são elaboradas e calibradas especificamente para medidas fotogramétricas, apresentam a orientação interna conhecida e estável, um foco usualmente fixo, contém marcas fiduciais para a recuperação dos elementos de orientação interna da câmera, freqüentemente contém placa de vácuo para manter a planura do filme e sua disponibilidade comercial é limitada. Já, as câmeras não-métricas são de uso manual, não mantêm uma orientação interna constante, não apresentam foco fixo ou construído rigidamente, as marcas fiduciais não são instaladas (podem ser definidas posteriormente), têm disponibilidade comercial muito grande, com vários tamanhos de câmeras e uso de diferentes filmes e lentes, podendo ser calibradas para o uso de fotogrametria a curta distância.

As câmeras não-métricas apresentam lentes que provocam erros na fotografia, relacionados com a forma das imagens e a posição dos pontos, não compatíveis com a técnica fotogramétrica, na qual é fundamental a exatidão das medidas planimétricas e altimétricas. Devido a esse aspecto, as FAPEF's têm sido utilizadas para o mapeamento temático, no qual é mais importante a extração das informações qualitativas do que os aspectos geométricos da imagem fotográfica.

As distorções devidas à óptica imperfeita das lentes das câmeras são desprezíveis na maioria dos procedimentos gráficos realizáveis nas fotos. No entanto, são importantes na realização de medidas de elevações com instrumentos fotogramétricos. São deslocamentos de imagens, radiais a partir do ponto principal, e crescem à medida em que aumenta a distância do referido ponto.

Se considerarmos, por exemplo, um feixe de raios paralelos que incidem na lente paralelamente ao eixo óptico principal, estes, depois de terem atravessado a lente, convergem todos em um mesmo ponto do eixo principal, denominado de foco principal. Por sua vez, o plano perpendicular ao eixo óptico e que passa pelo foco principal é denominado de plano focal. Como as câmeras fotogramétricas são construídas para fotografar objetos que se acham sempre a distâncias relativamente grandes, podemos, portanto, considerar os raios de luz que provêm de cada ponto de um objeto como praticamente paralelos; não existe, por conseguinte, um sistema de focalização como nas máquinas fotográficas comuns e o plano de exposição do filme sensível coincide com o plano focal das lentes da objetiva.

A câmera métrica apresenta foco fixo, o que não ocorre com uma câmera não-métrica. Em termos práticos, isto significa que toda vez que se vai fotografar uma cena ou objeto, com uma câmera não-métrica, é necessário que seja efetuada a correta focalização da cena/objeto, no visor da câmera, através da alteração da distância focal da lente. Caso isso não seja feito, a fotografia resultante poderá não estar nítida, ou melhor, fora de foco. Esta focalização torna-se mais necessária quando a distância entre a lente da câmera e a cena/objeto for pequena. Para distâncias maiores, por exemplo, de 50 metros, apenas ajusta-se a lente da câmera para a posição do infinito, independente de uma observação através do visor. Caso isso não seja feito, durante o levantamento aerofotográfico é possível ocorrer o deslocamento desse ajuste na lente e resultar fotografias fora de foco. De acordo com Disperati (1991), “de maneira geral, para objetos situados a distâncias superiores a 10-15 metros, o ajuste da focalização da lente, da câmera fotográfica, 35 mm ou 70 mm, é para o infinito”.

As lentes das câmeras comuns, e mesmo a das câmeras fotogramétricas, apresentam imperfeições causadas pelo processo de fabricação e, por isso, as imagens do objeto são prejudicadas. Essas imprecisões, que recebem o nome de aberrações, são a

cromática, esférica, coma, astigmatismo, curvatura de campo e as distorções descentrada e tangencial.

A aberração cromática ocorre pelo fato de que toda lente é um prisma, e portanto desvia as cores segundo a variação do índice de refração com o comprimento de onda. Em outras palavras, este fenômeno acontece devido à distância focal e ao tamanho de imagem variar segundo o comprimento de onda, fazendo com que as fotografias em cores tenham listras coloridas, e que as fotos preto e branco fiquem com falta de nitidez e sobreposição de imagem, principalmente nas bordas.

A aberração esférica é causada pela curvatura das superfícies das lentes e afeta as imagens dos objetos situados próximos ao eixo óptico. Neste caso, a imagem projetada pelos raios que atravessam a parte central de uma lente convergente não se encontra na mesma distância em relação aos raios que atravessam as partes externas. Os raios exteriores são desviados e formam um foco perto do elemento óptico, enquanto os raios interiores se cruzam um pouco mais longe. Teremos como resultado uma fotografia em foco em toda a região central e fora de foco em suas extremidades.

Coma é a incapacidade da objetiva para formar uma imagem pontual oblíqua, produzindo-se, em vez dela, uma mancha simétrica que provém de um núcleo. O resultado da referida mancha luminosa lembra a cauda de um cometa, derivando a expressão “coma” (Paredes, 1987).

O Astigmatismo ocorre quando os raios incidentes, paralelos entre si, simétricos em relação ao eixo óptico, são focalizados a diferentes distâncias da lente. A origem deste erro está na curvatura da lente, causando efeitos na nitidez da imagem, que podem ser minimizados com a combinação de lentes convergentes e divergentes.

A curvatura de campo é a incapacidade de uma objetiva para formar a imagem de um objeto sobre um plano focal efetivamente plano, cuja causa está relacionada a imperfeições no polimento da superfície das lentes.

As quatro primeiras aberrações prejudicam a nitidez das imagens fotográficas, enquanto que as distorções das lentes degradam a forma geométrica (posição) dos objetos e, conseqüentemente, todo o processo fotogramétrico. Desta forma, a eliminação

da distorção é um pormenor muito importante na construção de lentes para câmeras aéreas. Ela pode ser radial ou tangencial, segundo a direção do deslocamento.

A distorção tangencial é perpendicular à direção radial da imagem, e a radial surge a partir do centro óptico da lente. O deslocamento da imagem radial a partir do eixo óptico é positivo quando este ocorre para fora, e é negativo quando ocorre para dentro (em direção ao eixo óptico). A distorção radial depende do desenho da lente e é representada de forma gráfica (ou através de uma tabela), e a tangencial deve-se a uma centragem imperfeita dos elementos que compõem a lente durante a sua montagem. O erro de centragem causa diferenças de posicionamento dos diversos eixos que compõem o sistema e produz o deslocamento da imagem na direção perpendicular à direção radial.

### **3.1.3 – Filmes fotográficos e revelação dos negativos**

O tamanho do negativo do filme fotográfico usado na câmera fornece uma outra diferença básica entre os dois tipos de fotografias aéreas. Assim é que os negativos das fotografias aéreas convencionais nunca são ampliados para efeito de elaboração de mapa topográfico para evitar a introdução de erros nas cópias fotográficas, obtidas através de cópias de contato. Em contrapartida, devido ao pequeno tamanho dos negativos das FAPEF's, é comum utilizar-se cópias ampliadas desses negativos e o fator de ampliação dos mesmos é variável dependendo do tamanho original do negativo e da finalidade para o qual se destinam.

A capacidade de um sistema fotográfico em fornecer informações depende não somente do sistema câmera-lente, mas também de outros fatores como as condições atmosféricas, do local a ser fotografado e das características particulares do filme usado. Existem inúmeros tipos de filmes fotográficos que podem ser usados adequadamente para as FAPEF's, porém a escolha deste filme depende da finalidade do trabalho aliado às condições sob as quais as fotografias serão obtidas.

Os filmes usados em câmeras aerofotogramétricas apresentam geralmente mais contraste do que os filmes normais, utilizados nas câmeras 35 mm e 70 mm. Entretanto, estes filmes normais também se prestam para a obtenção de fotografias aéreas,

resultando, na maioria das vezes, “materiais excelentes para a interpretação e mapeamento” (Disperati, 1991).

Uma grande dificuldade para a preparação na transferência de informações das fotografias aéreas para os mapas são as verificadas no processamento original dos negativos (filmes e placas), no trabalho de se obterem cópias positivas a partir de negativos e na operação dos instrumentos fotogramétricos. Todo esforço desenvolvido no trabalho de vôo fotogramétrico será perdido se o processamento fotográfico não for bem feito. O filme deve ser manuseado cuidadosamente a fim de reduzir a expansão, encolhimento, estiramento, deformação, e mesmo rompimento desse material.

Fatores como variação de temperatura, umidade relativa do ar e a tensão do filme, alteram a elasticidade do filme fotográfico, provocando distorções na ampliação da fotografia. A fim de poder controlar o trabalho do filme, é necessário dispor de pontos com coordenadas bem conhecidas, via calibração, e cujas imagens sejam gravadas no filme no instante da tomada da foto. A variação dessas coordenadas mostra de quanto cada ponto deslocou-se em virtude do trabalho do filme, desde a tomada da foto até a medição de coordenadas.

### **3.1.4 – Correção dos erros sistemáticos das câmeras**

As câmeras aéreas podem ser classificadas de acordo com seu uso, sendo basicamente distinguidas em câmeras cartográficas ou métricas, especiais e de reconhecimento (Paredes, 1987).

De acordo com Paredes (1987), as câmeras cartográficas são as que fornecem fotografias destinadas a trabalhos de medição, apresentando seus elementos de orientação interna conhecidos e de alta precisão, enquanto que as câmeras especiais obedecem a propósitos específicos, como tirar fotografias infravermelhas e fotografias noturnas. A modalidade das câmeras de reconhecimento, todavia, tem a finalidade de propiciar imagens para a identificação de objetos e, ao contrário das câmeras fotogramétricas, não apresentam usualmente seus elementos de orientação interna conhecidos com exatidão. Portanto, as câmeras fotogramétricas têm por finalidade prover imagens fotográficas com estabilidade geométrica. Esta característica, que

justifica o nome de câmeras fotogramétricas, é que torna possível o processo de calibração, ou seja, a determinação dos parâmetros geométricos que participam do modelo matemático que relaciona dimensões do objeto fotografado com sua imagem fotográfica.

É de suma importância, para garantir exatidão e confiabilidade nos trabalhos fotogramétricos, o conhecimento do grupo de parâmetros necessários à reconstrução do feixe perspectivo gerador da imagem fotográfica, no instante da exposição do filme à luz refletida no objeto fotografado. A determinação de tais parâmetros se faz por um processo de calibração.

Após a sua produção, as câmeras fotogramétricas são cuidadosamente calibradas antes de seu uso prático, para determinar-se os valores exatos de uma série de elementos geométricos, conhecidos como elementos de orientação interna.

A orientação interna é a reconstituição dos elementos da perspectiva interna de cada fotografia, como se encontravam no instante da exposição. Os elementos de orientação interna que podem ser determinados através da calibração da câmera são a distância focal equivalente, distância focal calibrada, distorção radial e tangencial das lentes, determinação da posição do ponto principal em relação aos eixos fiduciais, distância entre as marcas fiduciais opostas, ângulos de intersecção entre as linhas fiduciais opostas e planura do plano focal.

A distância focal calibrada é o valor ajustado da distância principal escolhida, de modo a distribuir equitativamente os valores positivos e negativos da distorção. O ponto principal da óptica geométrica é um ponto próximo ao ponto de autocolimação. Por sua vez, o ponto de autocolimação é um ponto-imagem produzido sobre o plano de emulsão por um feixe de raios paralelos, que no espaço-objeto é perpendicular ao plano da emulsão. O ponto principal do negativo ou fotografia (ou centro fiducial) é o ponto de intersecção das retas fiduciais determinadas pelas marcas fiduciais.

Toda câmera fotogramétrica possui um certificado de calibração onde estão registrados os referidos elementos. Ressalta-se apenas que uma característica importante na fotografia aérea e necessária em todos os trabalhos de restituição são as marcas fiduciais, que definem a posição do ponto principal da fotografia, fundamental em todos os trabalhos onde se pretenda efetuar medidas precisas e aplicar fórmulas matemáticas.

As marcas fiduciais são marcas com coordenadas determinadas num processo de calibração. As marcas fiduciais definem um sistema de coordenadas ligadas à câmera, denominado de sistema de coordenadas fiduciais. Esse referencial é importantíssimo, pois todos os demais referenciais fotogramétricos estão ligados a ele. Existem câmeras especiais com inúmeras marcas, constituindo uma rede de pontos conhecidos na literatura como “*reseau*” (Andrade, 1998). Por exemplo, uma rede de pontos com 1 cm de distância, geralmente implantadas em placas plano-paralela que passa a fazer parte do sistema óptico da câmera. As marcas fiduciais servem para materializar o referencial fiducial e também para permitir a correção do trabalho do filme.

Apesar das FAPEF's serem utilizadas para o mapeamento temático, no qual é mais importante a extração das informações do que os aspectos geométricos da imagem fotográfica, existem procedimentos que permitem determinar os elementos de orientação interna de câmeras fotográficas do tipo 35 mm e 70 mm. O advento de técnicas analíticas tem permitido o uso de câmeras não-métricas com razoáveis graus de precisão. Algumas câmeras 70 mm podem ser adquiridas com *reseau* e dele se obtém dados para a correção da deformação e da não-planura do filme fotográfico.

### **3.1.5 – O magazine**

Um importante componente de uma câmera fotográfica é o magazine, que é um compartimento bem fechado com o rolo de filme (exposto ou não), com os mecanismos de avanço do filme e o que faz a planura do negativo. Nas câmeras aerofotogramétricas, o magazine pode ser removido da câmera e levado separadamente para o laboratório fotográfico para carregar e rebobinar o filme fotográfico. Com as câmeras de pequeno formato, essa facilidade só é possível com alguns tipos de câmeras 70 mm que possuem chassis intercambiáveis. Nas câmeras 35 mm, o filme fotográfico é colocado dentro do corpo da câmera; a colocação do filme, como o seu rebobinamento, são feitas na própria câmera.

A capacidade de exposições de um rolo de filme fotográfico é dependente do tipo e modelo da câmera aerofotogramétrica. Em geral, esse número pode chegar até a 500 exposições. Nas câmeras 35 mm, o filme fotográfico pode conter 12, 24 ou 36 exposições, enquanto que nas câmeras 70 mm, 12 ou 24 exposições. Entretanto, o

número de exposições pode ser expandido com o uso de filme de maior capacidade e acessório especial, possibilitando até 250 (caso 35 mm) e 70 exposições (caso 70 mm).

Com relação ao magazine das câmeras fotogramétricas, um importante mecanismo existente é o de planificação do filme. A planificação do filme é um item muito importante para a obtenção de imagens geometricamente corretas, pois qualquer ondulação acarreta deslocamentos nas posições das imagens. Nas câmeras mais modernas, o filme é fixado contra o quadro do negativo por meio de um sistema de vácuo.

### **3.1.6– Portabilidade das câmeras**

As câmeras aerofotogramétricas são de grande porte e pesadas. Disperati (1991) afirma que “as câmeras fotogramétricas menos pesadas têm aproximadamente 30 quilos; a conhecida Wild RC 10 pesa 140 kg. Em contrapartida, as câmeras equipadas para a tarefa de obtenção das fotografias aéreas de pequeno formato não ultrapassam o peso de 5 kg”. Essas características de peso e volume fazem com que seja instalada apenas uma câmera aerofotogramétrica, sendo necessário abrir um orifício no piso e na fuselagem para a instalação do suporte para a câmera.

Contrastando com uma câmera aerofotogramétrica, as do tipo 35 mm e 70 mm, devido ao pequeno peso, tamanho e volume, resultam em uma enorme possibilidade quanto ao modo de fixação não só em um avião, mas também em outros tipos de aeronaves, como balão, aeromodelo radiocontrolado, ultraleve e helicóptero.

Segundo Disperati (1991), “qualquer pessoa, dispondo de uma câmera fotográfica convencional, estando dentro de uma aeronave qualquer, pode fotografar através de uma janela e assim obter fotografias aéreas de pequeno formato”. No entanto, tendo em vista a utilização destas informações para a geração de informações cartográficas, como se objetiva o presente trabalho, são necessários uma série de procedimentos para a acoplagem da câmera no avião, sobretudo em relação ao próprio deslocamento da plataforma (velocidade, deriva, altura de vôo), à construção da própria plataforma (quando inexistente) e às características da câmera fotográfica, como requisitos para a obtenção de fotografias com uma escala previamente planejada.

Na execução do levantamento aerofotográfico, considerando-se as vantagens do reduzido tamanho e peso das câmeras não-métricas, torna-se possível a utilização de mais de uma câmera aerotransportada e, desta maneira, a obtenção simultânea de fotografias coloridas e infravermelho coloridas, usualmente utilizadas em estudos ambientais. Para o caso de câmeras fotogramétricas isto não seria possível, pois as aeronaves podem transportar apenas uma tipo de câmera, sendo necessário dois recobrimentos da mesma área.

A utilização simultânea de diversas câmeras fotográficas, conjunto este denominado de câmera multibanda, pode ser considerado como um meio relativamente barato e flexível de obtenção de fotografias multibandas em substituição ao uso de caríssimas câmeras de múltiplas lentes. As fotografias multibandas foram as precursoras das imagens multiespectrais, tão comuns hoje em dia com os satélites de sensoriamento remoto.

### **3.1.7 – Escala das fotografias aéreas**

Uma outra diferença entre as fotografias aéreas convencionais e as de pequeno formato refere-se à escala, apesar de ambas serem obtidas em uma grande variedade de escalas. Quando extensas superfícies do terreno devem ser recobertas por FAPEF's, a escala dessas fotografias deve ser necessariamente pequena e aqui se encontra a principal desvantagem das mesmas em relação às fotografias aéreas convencionais. De acordo com Spencer (1978), “a técnica das fotografias de pequeno formato não é muito adequada a situações onde se deseja discernir muitos detalhes e ainda obter extensa cobertura porque são necessárias muitas linhas de vôo e fotografias para recobrir uma dada área”. O autor complementa, afirmando que “câmeras 35 mm e 70 mm com lentes grande-angulares são as mais práticas para completa cobertura aerofotográfica usando aeronaves simples e com baixo desempenho”, aconselhando o aumento da altura de vôo para as câmeras 35 mm, tendo em vista um maior recobrimento do terreno nas fotografias.

Uma das grandes vantagens das FAPEF's com relação às fotografias convencionais é a obtenção de fotografias com escalas grandes, onde se torna possível reconhecer com um maior grau de detalhamento os objetos fotografados.

A baixa altura de vôo e a reduzida velocidade das aeronaves utilizadas para obter as fotografias de pequeno formato, associada ao pequeno intervalo de tempo entre as exposições consecutivas (podendo chegar a um segundo), tornam-se possíveis com a utilização de câmeras 35 mm e 70 mm, que “possibilitam obter fotografias aéreas em escalas maiores que 1:2.000, que não são costumeiramente obtidas com avião bimotor e câmera aerofotogramétrica” (Disperati, 1991).

### **3.2 – Variáveis envolvidas na execução do plano de vôo**

Com relação à execução do plano de vôo, um detalhe importante deve ser esclarecido. O recobrimento é dito aerofotogramétrico quando se faz o uso de câmeras métricas, que utilizam filmes fotográficos aéreos, específicos para a tarefa, resultando, geralmente, em fotografias de tamanho regular, de 23 x 23 cm. Em nosso trabalho, o recobrimento é dito como aerofotográfico, pois foi utilizada uma câmera não-métrica, usualmente encontrada em qualquer estabelecimento comercial de produtos fotográficos.

Analisados os componentes básicos das câmeras métricas e não-métricas, devemos ainda considerar algumas variáveis envolvidas durante a execução dos levantamentos aerofotográficos e aerofotogramétricos, tais como as derivas da aeronave, arrastamento da imagem, deslocamento devido à inclinação do plano da fotografia e à variação altimétrica, refração atmosférica e a curvatura terrestre.

#### **3.2.1 – Derivas da aeronave na execução do plano de vôo**

Todo trabalho e dedicação dispendidos na fase do planejamento e do plano de vôo não garantem êxito total na missão fotográfica, uma vez que esta depende da correta execução do vôo. Um planejamento adequado facilita e simplifica muito a execução do vôo, e para este ser bem executado exige uma tripulação consciente e adequadamente preparada para a tarefa.

A maior parte das dificuldades do recobrimento são as causas externas, tais como vento e diferenças de pressão atmosférica. Estas causas fazem a aeronave sair da rota e da altitude previstas, provocando desvios e rotações da câmera fotográfica com relação à situação ideal prevista. Portanto, por melhor que seja o projeto de vôo, mesmo sendo resolvidos todos os requisitos de um vôo ideal, isto pode não ocorrer.

Ocorre deslocamento ( $bx$ ) na estação de exposição (ponto P) quando um vento de proa ou popa altera a velocidade do avião, alterando, desta forma, a aerobase, o que acarreta em diferenças no recobrimento longitudinal. Outro deslocamento ( $by$ ) é causado por ventos transversais à aeronave, fazendo com que a mesma saia de sua rota prevista, alterando, com isto, o recobrimento lateral das faixas de vôo. Neste caso, o piloto deve corrigir a rota, através de bússola, mantendo o azimute pré-determinado para a linha de vôo. Pode ocorrer também a mudança de altura da aeronave ( $bz$ ), provocada por mudanças de pressão atmosférica na rota da aeronave, de forma que o piloto tem que controlar o altímetro durante a operação de vôo. Ventos frontais à aeronave ou mesmo falta de estabilidade da aeronave podem gerar mudanças de escala de um lado a outro da foto (rotação  $\varphi$ ), prejudicando a verticalidade das fotos e o recobrimento longitudinal. Por outro lado, ventos transversais e a própria instabilidade da aeronave (rotação  $\omega$ ) prejudicam a verticalidade das fotos e o recobrimento lateral, os quais podem ser observados pelo nível existente na plataforma da câmera. Ainda, pode ocorrer o giro em torno do eixo vertical da câmera, ocasionado por ventos frontais ou transversais à rota da aeronave (rotação  $\kappa$ ). Os referidos deslocamentos e rotações encontram-se ilustrados na figura 3.1:

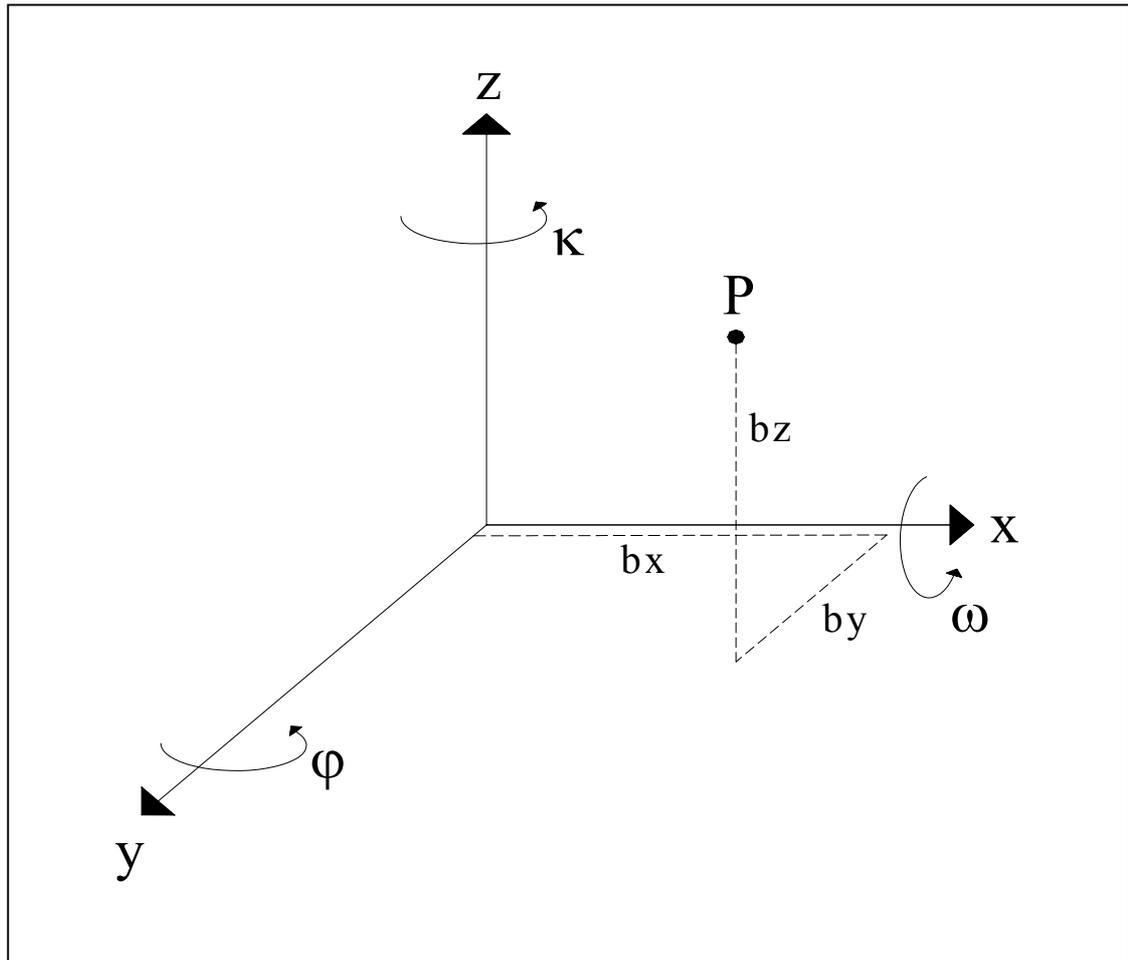


Figura 3.1 - Movimentos da câmera aérea no espaço, modificado de Loch (1994)

### 3.2.2 – Arrastamento da imagem

O movimento da aeronave, durante o tempo em que o obturador da câmera permanece aberto, provoca deslocamento da imagem do terreno fotografado no plano do negativo, causando um registro arrastado. O arrastamento depende da altura da aeronave sobre o ponto considerado e, desta maneira, em terrenos com muita variação de altitude sempre haverá arrastamento da imagem. Em condições de turbulência atmosférica, os movimentos de rotação transmitidos pela câmera também ocasionam arrastamento da imagem. Neste caso, faz-se necessário o uso de uma plataforma estabilizada, com o auxílio de giroscópios e servo-motores, comumente utilizados em câmeras aerofotogramétricas.

De acordo com Andrade (1998), as atuais câmeras aéreas convencionais caracterizam-se por seu alto nível tecnológico, com alta resolução de lentes e recursos de estabilização da plataforma giro-estabilizada, com um sistema de compensação do arrastamento da imagem, denominado de FMC (*Forward Motion Compensation*), e um sistema de compensação angular, AMC (*Angular Motion Compensation*).

O entendimento do sistema aeronave-câmera-filme é indispensável para a obtenção de fotografias com maior nitidez e precisão geométrica. Diferentes tipos de suportes utilizados para câmeras aerofotogramétricas são constituídos por elementos mecânicos que podem ser utilizados para o desenvolvimento de um suporte externo para uma câmera de pequeno formato, como por exemplo amortecedores para absorção de impacto e nível de bolha para o controle da inclinação do eixo óptico da câmera fotográfica no momento da exposição (*tilt*).

### **3.2.3 - Deslocamentos da imagem devido à inclinação do eixo óptico e à variação do relevo**

Fotografias tomadas a partir de câmeras aéreas não apresentam escala homogênea. A perspectiva central gera escalas diferentes, dependendo da distância do objeto à câmera, que se divide basicamente em duas componentes: distância radial e elevação do terreno. Estas deformações, inerentes à fotografia aérea, são principalmente causadas pela projeção central da foto (que faz com que a imagem apareça como se estivesse arrastada do centro para a periferia da foto) e pela deformação da imagem devido às inclinações da câmera e à variação do relevo.

Com relação à inclinação do plano da fotografia, as fotografias aéreas podem ser classificadas em verticais ou inclinadas (obliquas). Uma fotografia aérea é dita vertical quando, no momento de sua tomada, o eixo óptico da câmera fotográfica estava apontado verticalmente, equivalente à linha do fio de prumo, ou tão próximo dela quanto possível. Se o eixo óptico coincidir exatamente com a linha, a fotografia é dita exatamente vertical e tem inclinação zero. Praticamente, é muito difícil a obtenção de fotografias aéreas exatamente verticais. Por isto, sob o ponto de vista prático, aceita-se

como sendo fotografias aéreas verticais as que apresentam um ângulo de inclinação de até 3°, enquanto as demais são consideradas inclinadas.

As fotografias aéreas verticais apresentam vantagens sobre as fotografias oblíquas, tais como a escala relativamente mais constante dos objetos (se tomadas em condições de relevo similares), as formas dos objetos mais aproximadas da perspectiva ortogonal das cartas topográficas, a medição mais fácil dos objetos, através de suas relações geométricas, a visão sinóptica dos objetos fotografados e a ausência de áreas do terreno obscurecidas por objetos maiores situados mais próximos da câmera fotográfica.

Lentes com curta distância focal, sendo o formato fotográfico e a altura de vôo constantes, permitem ampla cobertura do terreno, o que, em outras palavras, significa uma escala menor das fotografias. As distorções óticas das imagens nas margens da foto, ou seja, os deslocamentos das imagens devido ao relevo são, contudo, maiores, sendo tanto mais danosas quanto mais acidentada, topograficamente, for a região fotografada. Desejando-se reduzir os deslocamentos das imagens devido ao relevo, mantendo-se constante a área do terreno coberta por uma única fotografia de um dado formato, podemos usar distâncias focais maiores desde que se voe a cotas mais elevadas.

Para uma única aerofoto, verdadeiramente vertical, observamos que os objetos situados sobre planos com diferentes cotas serão reproduzidos, nas fotos, com escalas fotográficas diferentes. Estas escalas serão maiores quanto maiores forem as elevações relativas dos objetos. Considerando-se uma série de fotos de um mesmo vôo, as escalas, em geral, variarão de uma foto para outra, independente do terreno fotografado possuir topografia plana ou acidentada. Ainda, as imagens de um objeto poderão aparecer com tamanho maior ou menor em duas fotos sucessivas de uma mesma faixa ou de faixas diferentes, em função da impossibilidade de manter o avião em uma cota de vôo perfeitamente constante durante a tomada de fotos sucessivas.

Podemos afirmar que quando um relevo considerável está presente, as direções que se conservam verdadeiras nas fotografias são as medidas a partir do nadir ou entre os pontos que têm o mesmo datum. Por esta razão, “linhas retas no terreno, como por exemplo estradas, quando se situarem em morros e vales, aparecerão, em uma fotografia, encurvadas respectivamente para dentro e para fora, em relação ao nadir.

Esse encurvamento será tanto maior quanto mais tangenciais se encontrarem essas linhas em relação ao nadir, ou quanto mais periféricamente estiverem situadas na fotografia, ou ainda, quanto maior for o desnível do terreno” (Ricci & Petri, 1965).

Os deslocamentos de paralaxe e as variações de escala em uma única fotografia são dois efeitos geométricos concomitantes e que se integram, reciprocamente, tendo como única causa o relevo do terreno.

#### **3.2.4 – Deslocamento da imagem devido à refração atmosférica e à curvatura terrestre**

Estes deslocamentos da imagem são desprezíveis nas FAPEF's obtidas no presente estudo, devendo somente ser considerados em “medições precisas em fotografias aéreas tomadas a grandes altitudes, superiores a 4 km” (Paredes, 1987), onde são necessárias aeronaves mono ou bimotores pressurizadas equipadas com câmeras de grande formato para o mapeamento.

### **3.3 – Digitalização de fotografias aéreas**

Enquanto as FAPEF's são obtidas por câmeras fotográficas comuns, é necessário aplicar as avançadas técnicas de rasterização para converter a imagem analógica (fotografia aérea) em digital (arquivo magnético). Ao fazer referência ao processo de digitalização, foi mencionado o equipamento que realiza esta tarefa e, na falta de um termo em português, adotou-se seu nome original em inglês, *scanner*.

De forma bastante simplista, a imagem digital é uma matriz de células em que cada uma delas tem uma codificação, a partir da qual é atribuído um tom de cinza. Cada uma destas células, denominada de *pixel*, é endereçada por meio de coordenadas (linha, coluna). Portanto, ao se definir uma imagem como uma matriz de pixels, torna-se muito simples processá-la em um computador.

Em um ambiente computacional, pode-se manipular as características radiométricas e geométricas de uma imagem. O ajustamento radiométrico consiste no

processamento da qualidade da imagem fotográfica através da remoção de parte dos efeitos criados pela atmosfera, contraste e ruídos na aquisição das imagens, enquanto que o ajustamento geométrico diz respeito à transformação e retificação de cada pixel da imagem de projeção central em ortogonal.

No entanto, antes de qualquer tipo de processamento ou retificação digital, devemos considerar os procedimentos envolvidos na digitalização, a começar pelos tipos de equipamentos que são utilizados para a digitalização dos dados.

Para a digitalização dos dados, existem diversos tipos de *scanners*, com diferentes formas de varrer qualquer tipo de imagem, como os de mesa, tambor e de rolo. Dentre estes *modelos*, o mais utilizado é o de mesa, onde as fotografias aéreas são fixadas em uma superfície aproximadamente plana, sobre a qual se move um sensor, em ambas as direções. Cada incremento no movimento do sensor corresponde ao tamanho de um pixel.

Além destes periféricos, existem no mercado *scanners* voltados especificamente para a Fotogrametria, com conceitos construtivos e resoluções diferentes. Nos processos de Fotogrametria Digital podem ser usadas imagens geradas diretamente a partir de câmera digital CCD (*Charge Coupled Device*). Atualmente, porém, usa-se como fonte primária fotografias em filme digitalizadas em *scanner*. Isso significa que foi adicionado mais um componente ao sistema fotogramétrico: o *scanner*, que até então era desnecessário. É importante salientar que a qualidade do *scanner* é um ponto decisivo nos resultados da Fotogrametria Digital.

É importante ressaltar que não é qualquer tipo de *scanner* que permite a digitalização de fotografias métricas com as características necessárias às imagens destinadas ao mapeamento. Conforme artigo publicado por Tommaselli (2000), um *scanner* apropriado para este objetivo pode chegar a custar US\$ 15.000,00, enquanto que um *scanner* comum (formato A3) pode ser encontrado por um preço cem vezes menor, em qualquer estabelecimento que comercialize produtos de informática. Embora as partes e o conceito de ambos *scanners* sejam semelhantes, o fotogramétrico é construído para garantir uma exatidão geométrica (de posicionamento) do pixel, bem como a obtenção de imagens com superior reprodução radiométrica.

Em geral, os *scanners* destinados à indústria gráfica são constituídos de cilindros rotativos que recebem a imagem analógica a ser digitalizada e de um sensor fotossensível que lê as cores, ponto a ponto de uma linha enquanto o tambor gira, enquanto que os fotogramétricos são planos e tem a posição sensoriada na imagem analógica por codificadores associados a servo-motores que materializam um referencial.

Na técnica fotogramétrica, as cópias fotográficas em papel são substituídas por imagens digitais dos negativos e diapositivos, que são materiais transparentes, somado à necessidade de se obter imagens digitais que preservem as características geométricas das fotografias, aumentando consideravelmente o custo dos instrumentos utilizados para a digitalização. Portanto, o alto investimento na compra e manutenção de um *scanner* fotogramétrico acaba por encarecer ainda mais (para um curto ou médio prazo de tempo) a obtenção de fotografias métricas em meio digital. Poucas são as instituições e empresas que dispõem de tal equipamento, havendo, na maioria dos casos, a necessidade da conversão digital das cópias fotográficas em papel por meio de *scanners* comuns.

### **3.4 - Georreferenciamento e utilização de fotografias aéreas para o mapeamento**

Para propósitos de mapeamento, é essencial que quaisquer formas de imagens de sensoriamento remoto sejam referenciadas com exatidão ao mapa proposto como base. Com as imagens de satélite, por exemplo, a grande altitude das plataformas resulta num deslocamento mínimo devido ao relevo, sendo o georreferenciamento normalmente feito através do uso de um processo de transformação sistemática dos valores dos níveis de cinza e da posição dos pixels que compõem uma imagem, através de equações polinomiais, com base nas posições conhecidas de um conjunto de pontos de controle dispersos. No entanto, com fotografias aéreas o processo é mais complexo, pois não existem somente distorções sistemáticas relacionadas à inclinação do eixo óptico e à variação de altitude da aeronave. A variação topográfica do relevo, de grande representatividade em nosso caso, leva a distorções muito irregulares que não poderiam ser removidas através de procedimentos de transformação do tipo *rubber sheet* como os

usados nas imagens orbitais. Nestas condições, seria necessário usar restituição fotogramétrica ou métodos de retificação digital para remover tais distorções e propiciar medidas de mapa mais precisas.

Dado que o número de FAPEF's obtidas após o levantamento aerofotográfico foi muito elevado, totalizando 936 fotografias, a transformação *rubber sheet* foi considerada o método mais viável para o mapeamento temático das edificações. Apesar de não ser um método adequado para o georreferenciamento de fotografias aéreas quanto à precisão geométrica dos dados mapeados, a alta velocidade e o baixo custo de georreferenciamento são as principais vantagens frente aos métodos convencionais da restituição fotogramétrica e da retificação diferencial.

Para que possamos compreender como o método da transformação *rubber sheet* não é adequado para o georreferenciamento de fotografias aéreas, devemos ter sumariamente uma concepção dos métodos tradicionais utilizados para o georreferenciamento de fotografias aéreas, que não foram aplicados no presente estudo, como a restituição fotogramétrica e a retificação diferencial.

### **3.4.1 – Restituição fotogramétrica**

As operações necessárias para a confecção de um mapa envolvem uma série de variáveis e, para tanto, são necessários a eliminação dos deslocamentos da imagem devido ao relevo, compensação da escala geral de cada foto em relação à escala do mapa, correção dos deslocamentos das imagens devido à inclinação do eixo óptico, determinação da orientação real das imagens de cada foto em relação às imagens das outras fotos e de todo o conjunto em relação ao norte e ligação da área do mapa a um sistema de coordenadas cartográficas.

O processo de estabelecimento da posição correta, em um mapa, das várias imagens fotográficas, executando as operações com a finalidade de corrigir os itens descritos acima, chama-se restituição.

Ainda que o objetivo do presente trabalho não esteja envolvido com práticas de restituição fotogramétrica, e que a referida temática fuja ao escopo deste trabalho, é importante que entendamos quais variáveis envolvidas participam nos processos de

compilação de mapas a partir de fotografias aéreas convencionais, e que comumente não são consideradas na compilação com produtos aerofotográficos. Portanto, devemos compreender quais são as limitações da transformação matemática *rubber sheet* que foi aplicada no georreferenciamento das FAPEF's frente à técnica da restituição fotogramétrica e dos métodos de retificação digital.

Nos seguintes itens, serão comentadas brevemente as restituições analógica, analítica e digital, sem uma maior preocupação com a exposição dos equipamentos e métodos aplicados, mas com o enfoque nas variáveis envolvidas nestes processos.

#### **3.4.1.1 – Restituições analógica e analítica**

Como as fotografias são caracterizadas por deslocamentos, tanto no sentido horizontal, quanto vertical, e visto, ainda, que a escala não é constante entre uma imagem e outra, torna-se necessário um processo pelo qual as medições de ângulos ou de distâncias, em fotografias estereoscópicas, sejam relacionadas a uma solução espacial, usando-se o princípio da perspectiva das fotografias, a fim de que se consiga um controle horizontal e vertical. Trata-se de uma operação denominada de fototriangulação ou aerotriangulação. A aerotriangulação tem como objetivo densificar os pontos de controle precisos no espaço-objeto, partindo das coordenadas medidas nas fotos e de um número mínimo de informações de campo.

Os pontos de controle terrestres, determinados em campo, assim como os pontos de transferência, obtidos no gabinete, formam a base para a triangulação nas fotografias. A elaboração de um mapa a partir de fotografias aéreas e levantamento de pontos de controle, por meio de aparelhos denominados de restituidores, consiste na restituição ou estereo-restituição.

Restituição, na sua origem, significa a reconstrução do terreno fotografado, a partir de suas fotografias. O resultado da restituição é o modelo óptico tridimensional, também denominado de estereomodelo ou modelo estereoscópico do terreno fotografado. A partir do conhecimento da posição dos pontos no estereomodelo torna-se possível representar feições do terreno num sistema de projeção cartográfica. A

confeção de um mapa a partir de aerofotos contém etapas fotogramétricas como a restituição do modelo, a compilação das feições que se pode extrair do modelo estereoscópico e a edição, incluindo a introdução de informações obtidas de fontes diferentes das fotografias aéreas.

Os instrumentos destinados a realizar a restituição fotogramétrica são denominados de restituidores. Os aparelhos restituidores são classificados em analógicos, analíticos e digitais. De um modo geral, os restituidores analógicos produzem mapas de traço (restituição gráfica) e os analíticos e digitais, restituição numérica, onde a superfície é representada pelas coordenadas dos pontos do modelo, sendo que os dados posteriormente podem ser representados por meio de impressão. Porém, se codificadores forem acoplados aos restituidores analógicos, estes poderão produzir arquivos numéricos.

Os restituidores analógicos são os aparelhos em que a reprodução dos feixes de perspectivas é realizada com projeção óptica ou mecânica. Para a formação do estereomodelo, são necessárias a realização de processos denominados de orientação interna e externa do par de aerofotos.

A orientação interna é a operação de recuperação da posição da fotografia em relação à câmera. Em outras palavras, a orientação permite a reconstrução do feixe perspectivo que gerou as perspectivas – as fotografias.

Nos aparelhos analógicos faz-se a orientação interna forçando a coincidência das marcas no restituidor e ajustando a distância principal do restituidor para coincidir com a da câmera fotogramétrica. Já, nos aparelhos analíticos, a orientação interna consiste de um arquivo com os parâmetros necessários, ou seja, as coordenadas calibradas das marcas fiduciais, o valor das coordenadas do ponto principal, a distância focal calibrada e os parâmetros das distorções radiais simétrica e descentrada. Com esses dados, todas as coordenadas lidas de cada imagem fotogramétrica podem ser transformadas para o sistema fiducial ou o fotogramétrico, com uma transformação que absorva o trabalho do filme e com a correção de outros erros sistemáticos, como os provocados pelas distorções da objetiva da câmera. A recuperação do feixe perspectivo deve ainda

considerar a refração fotogramétrica total, provocada pela atmosfera e pelo deslocamento da aeronave.

Além da determinação dos elementos de orientação interna, é necessário determinar a posição da câmera fotogramétrica e da distância ou altura dessa câmera no instante da exposição, que consiste na orientação externa da câmera fotogramétrica, que compreende duas etapas, denominadas de orientações relativa e absoluta.

A orientação relativa tem por objetivo orientar em posição e atitude o par de fotografias entre si, sem tomar em consideração o referencial terrestre, podendo ser entendida como a determinação do sistema fotogramétrico de uma fotografia em relação à outra. Após concluir a orientação relativa, estará formado o modelo estereoscópico, o qual abrange toda a área de recobrimento das fotografias.

A orientação absoluta é o conjunto de operações necessárias para colocar o modelo estereoscópico em posição, escala e atitude corretos em relação ao referencial cartográfico. Para tanto, é necessário o conhecimento e identificação nas fotografias de uma rede de pontos de apoio, a qual pode ser estabelecida por métodos de campo ou por aerotriangulação.

Para traçar os detalhes planimétricos e altimétricos existentes na fotografia, usando o restituidor, é necessário a conclusão das orientações interna, relativa e absoluta. As características planimétricas são delineadas, segundo o limite do corpo, ajustando a altura da marca flutuante do restituidor de tal forma que ela esteja sempre em contato com a superfície do terreno no modelo. Ao percorrer-se todos os pontos de mesma cota ou altitude, fixando uma altura para a marca flutuante, coincidindo a mesma com a superfície do modelo estereoscópico, podemos traçar curvas de nível, com o movimento da marca flutuante.

Com relação aos restituidores analíticos, estes fundamentam-se em relações matemáticas para transformações de coordenadas-imagem para coordenadas-objeto e vice-versa. O princípio de funcionamento é a medida de coordenadas dos pontos homólogos no plano das fotografias e o tratamento numérico destas coordenadas, de modo a obter as coordenadas espaciais dos pontos de intersecção dos raios homólogos

correspondentes. É comandado por um computador e permite realizar a orientação semi-automática dos modelos.

Os restituidores analíticos não formam modelos ópticos ou mecânicos como os restituidores analógicos. Ao invés disto, eles formam modelos matemáticos, usando as equações de colinearidade, que estabelecem condições para a existência de uma reta unindo ponto imagem, estação de exposição e ponto objeto. Através destas equações, é possível para cada terno de coordenadas do terreno, calcular as coordenadas fotográficas. Os dados necessários para a solução das equações de colinearidade consistem nos elementos de orientação interna da câmera, coordenadas de terreno de pontos de controle e os dados obtidos pelo próprio sistema são as coordenadas fotográficas, sendo que os elementos de orientação externa são obtidos por processos de orientação do modelo. A partir destes dados, o computador calcula coordenadas de modelo e/ou outras formas usuais da saída e transmite essas informações para o armazenamento em meios magnéticos ou mesmo para a plotagem.

Em comparação com os restituidores analógicos, os analíticos podem fornecer resultados de precisão superior, em função da formação matemática do modelo (a qual não sofre influências de erros oriundos de causas mecânicas ou ópticas), por erros sistemáticos causados por distorções das lentes, trabalho do filme, refração atmosférica e curvatura da Terra que podem ser efetivamente corrigidos, e pela possibilidade de aquisição de informações e utilização do método de mínimos quadrados na solução de equações.

#### **3.4.1.2- Restituição digital**

Com a transição dos sistemas fotogramétricos para soluções digitais, os restituidores digitais passaram a ser denominados estações de trabalho fotogramétrico. Nestas estações, o único elemento remanescente dos equipamentos fotogramétricos analógicos é o sistema de visualização em terceira dimensão. Desta maneira, um restituidor digital é constituído de um computador com sistema de observação tridimensional adaptado a um vídeo, programas para processamento de imagens, medidas de coordenadas e formação de modelos, e uma conexão CAD (*Computer Aided*

*Design*) para possibilitar a extração de informações do modelo. Considerando-se a geometria e algoritmos nos quais a restituição digital se fundamenta, o conhecimento fotogramétrico necessário para as suas aplicações continuam válidos (Olivas, 1999).

Para se expressar a relação entre o sistema de coordenadas do terreno e da imagem digital são necessários o conhecimento de elementos tais como a imagem propriamente dita (com marcas fiduciais), um modelo numérico do terreno (MNT) e a malha de coordenadas tridimensionais ( $x, y, z$ ) dos pontos do terreno, pontos de controle da aerotriangulação identificados e coordenadas rigorosamente conhecidas, além dos parâmetros de calibração da câmera (correção da distorção do sistema de lentes), orientação exterior obtida da aerotriangulação e, por fim, a aplicação da transformação para cada pixel da imagem.

Na restituição digital, o operador de restituição acompanha as feições do terreno que interessam ao mapeamento. As feições são transferidas para o meio digital, compondo assim o mapa. São usadas convenções cartográficas apropriadas e os elementos podem ser armazenados em diferentes níveis de informação, conforme as necessidades do usuário.

Através do MNT é realizada a correção da imagem plana da fotografia deformada pelas variações do relevo. O MNT é um conjunto de coordenadas  $X, Y, Z$  de uma malha de pontos, em número suficiente para, associado a um modelo matemático adequado, representar o modelo da superfície do objeto fotografado. Pode ser obtido por meio da medida dos nós de uma malha sobre um modelo estereoscópico, utilizando-se um instrumento restituidor ou geradas a partir da interpolação de medidas de pontos esparsos sobre o modelo, obtidos por levantamento topográfico ou em cartas topográficas. Este modelo matemático funciona como um molde onde são vinculados os *pixels* da imagem. Após este vínculo, a imagem é projetada ortogonalmente a um plano, e com os elementos de orientação interna e externa da câmera, além do MNT, podemos finalmente obter uma ortofoto.

As ortofotos são fotografias produzidas por métodos de retificação diferencial, os quais eliminam os deslocamentos das imagens tanto devido às inclinações da câmera quanto devidos ao relevo. No processo de eliminação dos deslocamentos devidos ao

relevo, as variações de escala podem ser eliminadas, tornando a fotografia com escala inteiramente constante.

A retificação diferencial é a obtenção do pixel (valor de cinza) correspondente na ortofoto para todos os pontos do MNT utilizando a imagem original do vôo. Suas posições na imagem digital são encontradas de acordo com as equações de projeção fotogramétrica, sendo os parâmetros das orientações interior e exterior fundamentais nesta etapa, enquanto que os níveis de cinza da nova imagem podem ser reamostrados por diferentes métodos de interpolação. Para reduzir o tempo de processamento esta análise rigorosa não é usada para cada pixel. Por conta disso, uma transformação linear é usada para a maioria dos pixels.

Os atuais recursos da Fotogrametria Digital permitem realizar uma série de funções impossíveis na Fotogrametria Analítica, como por exemplo processamentos de imagens, triangulação aérea automática, geração automática de MNT's e de ortofotos digitais, produção de mosaicos ou ortofotocartas, vistas em perspectivas da imagem e sensoriamento remoto.

A crescente busca pela ortofoto deve-se ainda às características exclusivas deste tipo de produto, que além de equivar a um mapa de traço, permite ver exatamente os objetos e não símbolos representativos, como os mapas restituídos. Outras vantagens são o menor custo para a restituição e a possibilidade de se utilizar esses produtos georreferenciados diretamente em um SIG de base *raster*, ou como um “*background*” de SIG's vetoriais. Granemann (2000) afirma que a “substituição da técnica analógica pela digital torna as ortofotos mais baratas que a restituição, chegando a 50% do valor obtido para o processo analítico convencional”.

### 3.5 – Vantagens das FAPEF's

Como afirmado nos capítulos anteriores, vantagens das FAPEF's são o preço do equipamento, revelação do negativo, peso da câmera, possibilidade de acoplagem em variados tipos de plataformas, ajuste focal da lente e tempo de aquisição dos produtos fotográficos. A disponibilidade comercial é muito grande, com vários tamanhos de câmeras e uso de diferentes filmes e lentes.

Os custos de aquisição de fotografias aéreas obtidas a partir de câmeras aerofotogramétricas são particularmente elevados, mais ainda quando desejamos fotografar áreas relativamente reduzidas, como por exemplo propriedades agrícolas, pequenos centros urbanos ou bacias hidrográficas com baixa hierarquia fluvial. Os custos de aquisição e manutenção desses equipamentos são bastante elevados, justificando a existência de um número reduzido de empresas particulares e instituições governamentais que executam vôos aerofotogramétricos em nosso país.

A manutenção de grandes estruturas nas empresas privadas, em boa parte do tempo ociosas, custa caro ao usuário. De acordo com Granemann & Laskowski (1995), “só a manutenção da estrutura de cobertura aerofotogramétrica, por exemplo, inclui dois ou três aviões, duas ou três equipes (pilotos e navegadores), hangar, mecânico, operador de câmera”. Pode-se ainda considerar que a câmera aérea muitas vezes pode custar ainda mais caro do que a própria aeronave que a transporta, motivo pelo qual o alto preço da aquisição e manutenção de tal equipamento é revertido no orçamento final de um levantamento aerofotogramétrico.

Através da utilização de câmeras 35 e 70 mm, filmes convencionais, um leve e simples suporte e uma aeronave minimamente modificada, pode-se obter FAPEF's com um baixo custo de investimento. Clegg (1975) afirma que câmeras de pequeno formato podem obter fotos coloridas e coloridas-infravermelhas mais baratas e adequadas para o mapeamento do meio ambiente do que o padrão fornecido pelas câmeras aerofotogramétricas. Em outro artigo, publicado por Woodcock (1976), considerou-se que os procedimentos de montagem dos equipamentos utilizados “não são apenas simples, mas quase infalíveis”, onde o referido autor reconhece como uma tendência a obtenção pessoal de fotografias aéreas, por fatores como custo e tempo de aquisição.

Ainda considerando a análise do custo-benefício com a obtenção de fotografias aéreas de pequeno formato, citamos outro artigo, publicado por Spencer (1978). A teoria, as técnicas e os custos dos métodos foram avaliados no mapeamento de áreas com Pinus no estado de Victoria, na Austrália. O autor afirma que, ao contrário dos grandes avanços na teoria e instrumentação de aeronaves, fotografias e plotagem, “existem situações onde simples equipamentos como câmeras 35 e 70 mm podem ser utilizados para se obter fotografias aéreas e intensificar o mapeamento detalhado, de forma mais rápida, simples e com método de baixo custo, que pode ser utilizado para múltiplas aplicações”. Todavia, considera os estudos de mapeamento com FAPEF’s como complementares, e não como substitutivos das fotografias convencionais, principalmente quando se tem em vista a precisão de medições.

Como pudemos observar, portanto, muitos pesquisadores e profissionais têm decidido pela obtenção de suas próprias FAPEF’s, em vez de contratarem uma empresa de aerolevanteamento para executar o serviço, por razões relacionadas a custos e ao tempo de aquisição das fotografias. Em muitos casos, o prazo de entrega das fotografias é muito demorado, não suprimindo, desta forma, a necessidade da entrega de um relatório ou trabalho dentro de um prazo de tempo limitado, ou mesmo quando o orçamento para determinado projeto é reduzido.

Apesar dos problemas de precisão geométrica das FAPEF’s, estes produtos têm sido utilizados com finalidades de interpretação, classificação e mapeamento temático. Por exemplo, no que diz respeito à interpretação, podemos reconhecer nas fotografias aéreas terras de uso agrícola, culturas danificadas, limites de propriedades, características dos rios, condições de terras arrendadas, invasão de propriedade, sítios históricos e áreas reflorestadas. Com relação à classificação e ao mapeamento, podem ser aplicadas em estudos de uso, cobertura, aptidão e potencial erosivo dos solos, no reconhecimento de padrões de cobertura vegetal e na delimitação de bacias hidrográficas. Através de FAPEF’s com escala e resolução espacial maiores, podemos mapear pontes, sistema de estradas e caminhos, além de quantificar o número de estabelecimentos comerciais e residenciais de um determinado município, etc. No entanto, cumpre observar que este mapeamento não se objetiva a produzir dados que possam ser aferidos por medições planimétricas ou altimétricas, caracterizando-se pelo caráter qualitativo das informações representadas.

### **3.6 – Aplicações das fotografias aéreas no cadastro técnico municipal**

As fotografias aéreas revelam informações estáticas de um conjunto de objetos ou fenômenos mas, como sabemos, as informações sofrem contínua desatualização pela dinâmica do homem e do próprio ambiente em que vive. O crescimento da população mundial, a exigência de melhor qualidade de vida, a complexidade dos sistemas de comunicação, de transportes e administração contribuem para uma demanda de dados georreferenciados cada vez mais completos, atuais, exatos, abrangentes. Em geral, a administração pública deve responder pela criação e manutenção de sistemas de cadastros técnicos. Portanto, o intenso ritmo de crescimento das cidades mostrou a necessidade de usar informações cadastrais para fins de planejamento.

De acordo com Assumpção (2001), “o primeiro passo para se organizar a administração pública é iniciar um cadastro técnico, que atua no planejamento, coordenação e controle das atividades de coleta, armazenamento, atualização e disseminação da informação, contribuindo para o planejamento, a tomada de decisões e atuação das unidades organizacionais da prefeitura”.

Um sistema cadastral deve ter apoio na legislação, conter arquivos alfanuméricos e gráficos, ser completo e atual. Além disso, deve funcionar juridicamente, integrando-se aos processos públicos e civis, aceito e observado igualmente pelo cidadão e pelo governo.

O cadastro constitui-se em uma excelente ferramenta ou base sobre a qual podem-se aplicar estudos para a implantação de novas obras, sejam elas edificações, arruamentos, saneamento, drenagem, eletrificação, uso da terra, obras de contenção à erosão, previsão de safras, implantações de barragens, e tantas outras. Além disso, o cadastro fornece importantes dados para a cobrança de impostos para os municípios, fundamental para um melhor controle da arrecadação dos tributos, uma vez que através das informações mapeadas podem ser detectados diferentes tipos de construções, inclusive ocupações clandestinas. O cadastro técnico permite, portanto, a efetivação de uma diretriz geral, através da criação de uma base de dados para o planejamento de uso do espaço físico-territorial, infra-estrutura urbana ou rural e gestão tributária e de serviços comunitários.

As fotografias obtidas com o vôo programado, além de permitirem a geração de mapas temáticos para o planejamento urbano do município estudado, poderão ser utilizadas para inúmeras outras finalidades, como em estudos nas áreas da Geografia, Cartografia, Geologia, Hidrologia, Arqueologia, Ecologia, Urbanismo, Turismo, Agronomia, etc.

Uma importante aplicação das FAPEF's está no mapeamento temático de áreas urbanas. Gouveia (1994) afirma que "o alto custo para a aquisição das fotografias aéreas tem levado à busca de processos mais simples e menos onerosos, considerando o uso das FAPEF's como de grande sucesso, desde que aplicado a pequenas áreas". O autor utilizou a técnica para a atualização da planta básica da cidade do Recife (escala 1:1.000), através de recobrimento aerofotográfico ortogonal com uma aeronave monomotor e uma câmera do tipo 35 mm. A área selecionada foi uma favela local que sofreu significativas modificações físicas em um período de 10 anos, e a interpretação das FAPEF's retificadas permitiu o mapeamento temático das edificações, imóveis em construção e dos muros.

Oliveira (1996) utilizou uma câmera 35 mm acoplada a um ultraleve para fotografar o município de Nova Odessa, no interior de São Paulo, e aplicou as FAPEF's na detecção de alterações das bases cadastrais municipais, na escala de 1:5.000. Este município apresenta pequena área rural e urbana (apenas 85 km<sup>2</sup>), e caracteriza-se, entre tantas outras prefeituras, pela sua reduzida receita. De acordo com o autor, todos os imóveis já mapeados e os detectados são medidos por topografia convencional em campo e as alterações complementadas nas bases digitais, cujas representações estão vinculadas a um banco de dados. Através de um banco de dados relacional, foram acrescentadas informações como a cobrança de IPTU, matrículas de escolas, acompanhamento dos problemas nas redes de água e cadastros dos pacientes do hospital municipal. O autor afirma ainda que outras prefeituras adotaram a mesma idéia, como por exemplo a de Americana (São Paulo), que aplicou a técnica para o monitoramento dos problemas de uma favela. A principal vantagem do trabalho está na solução barata e eficaz para o mapeamento temático das informações cadastrais municipais e, segundo Oliveira, "servirá para gerenciar melhor o município e implementar ações que revertam em mais recursos".

Muitas outras aplicações das FAPEF's nas áreas urbanas poderiam ser citadas, advindas da necessidade das prefeituras detectarem alterações dos dados cadastrais para o aumento da arrecadação tributária e para o planejamento municipal. No entanto, em função da reduzida receita de muitos municípios, as peculiaridades de cada realidade devem ser analisadas para alcançar a solução mais econômica e eficiente, garantindo mapas atualizados e informações confiáveis. A rasterização e vetorização de mapas existentes, atualizações, “mapeamentos simplificados” (Davis Jr, 2000) e convênios são as alternativas para diminuir os custos e acelerar a produção de mapas.

Seguindo esta linha de raciocínio, a prefeitura municipal de Santo Antônio da Patrulha (RS) investiu na atualização de suas plantas cadastrais através da FAURGS, no ano de 1998, com os recursos financiados pelo governo federal. Para a identificação de feições e o mapeamento temático das edificações de um conjunto de 12 plantas cadastrais, na escala 1:2.000, foram utilizadas FAPEF's.

No ano de 1999, através deste mesmo convênio e metodologia, a prefeitura do município de Gramado também investiu na atualização das seis plantas cadastrais utilizadas no presente estudo, tendo como finalidade o reconhecimento expedito do conjunto de edificações mapeadas, que podem ser utilizadas como base de dados para a geração de análises temáticas, como por exemplo o estudo da expansão da ocupação urbana de Gramado.

Portanto, a realização de convênios entre as prefeituras municipais e as instituições de ensino superior muitas vezes são a solução para a redução dos custos de um projeto de mapeamento temático cadastral. Assim, o gerenciamento dos recursos públicos torna-se mais racional, na medida em que tais investimentos nas instituições de ensino superior podem ser revertidos diretamente para o planejamento municipal, além de inúmeros outros serviços.

## 4 - SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Antes de definirmos um Sistema de Informações Geográficas (SIG), é importante analisarmos o conceito de Geoprocessamento, uma vez que este conceito é correntemente confundido com o de SIG.

O Geoprocessamento consiste em “um conjunto de tecnologias de coleta e tratamento de informações espaciais e de desenvolvimento, e uso de sistemas que as utilizam” (Rodrigues *apud* Teixeira *et alli*, 1995). Essa definição coloca o Geoprocessamento como um conjunto de tecnologias, ou seja, um ambiente ou área tecnológica que insere uma variedade de aplicações, inclusive os SIG’s.

### 4.1 - Definição de um SIG

Os instrumentos computacionais do Geoprocessamento, chamados de Sistemas de Informações Geográficas (SIG’s), permitem a realização de análises complexas ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados. Os SIG’s tornam possível ainda a automatização da produção de documentos cartográficos.

No meio acadêmico, muitos debates que se preocupam em definir o SIG divergem em argumentações orientadas por duas abordagens. Em uma delas, o SIG visto como um *software*, é relacionado a questões como modelo de dados, facilidade de uso, ambientes operacionais, módulos e comandos existentes. Outra abordagem, mais abrangente, considera o SIG como um sistema que integra diversos elementos, como o *hardware*, o *software* e os usuários do referido sistema, também denominados de “*peopleware*” (Teixeira *et alli*, 1995).

Na primeira abordagem, enquadra-se a definição elaborada por Burrough (1985): “o SIG é um conjunto de instrumentos para coleta, armazenamento, recuperação e posterior transformação e exibição dos dados espaciais a partir do mundo real para um conjunto particular de objetivos”. Dentro deste mesmo ponto de vista, Aronoff (1989) considera o SIG como “um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados georreferenciados”.

Na segunda abordagem, um SIG pode ser definido como uma entidade institucional, refletindo uma estrutura organizacional que integra tecnologia e base de dados, experiência e suporte financeiro ao longo do tempo. Dentro deste enfoque, podemos enquadrar a definição de SIG como “um conjunto de programas, equipamentos, metodologias, dados e pessoas (usuário), perfeitamente integrados, de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, o processamento e a análise de dados georreferenciados, bem como a produção de informação derivada de sua aplicação” (Teixeira *et alli*, 1995).

Além destas abordagens, muitos autores discutem a importância do SIG como sistema de apoio à tomada de decisões e como um sistema de gerenciamento de informações.

#### **4.2 – Breve histórico dos SIG’s**

As tecnologias computacionais relacionadas aos SIG’s são bastante dinâmicas, pois novas demandas sociais por informações são geradas em um mundo cada vez mais complexo. O desenvolvimento de *hardware* é acompanhado pelo de *software*, surgindo, dessa forma, novas concepções de SIG’s, com a possibilidade de gerenciar grandes volumes de dados em um menor tempo de processamento.

Para entendermos como os SIG’s surgiram, devemos remontar ao século XVIII, onde a Cartografia apresentou grande desenvolvimento. Este século é marcado pelo início dos mapeamentos sistemáticos que evoluíram de um trabalho essencialmente artístico para uma técnica sofisticada de representação da superfície da Terra e dos eventos que nela ocorrem. A Topografia, a Geodésia e a Aerofotogrametria, entre outras, contribuíram de forma significativa para o aprimoramento de modelos

matemáticos precisos, de sistemas de projeção com rigor geométrico, e os avanços conseguidos com as fotografias aéreas e a restituição fotogramétrica, permitiram a representação da superfície do globo com uma precisão antes inimaginável.

Com a evolução da informática, começa imediatamente a aplicação na Cartografia. A partir da década de 60, o aperfeiçoamento dos equipamentos computacionais, aliado à queda dos preços e o significativo aumento da capacidade de armazenamento e processamento, tornou possível o desenvolvimento de programas especiais e de sistemas complexos de análise e manejo de dados cartográficos.

A crescente necessidade de resolução de problemas ambientais, resultante da intensa exploração econômica, estimulou o interesse no planejamento do uso dos recursos naturais. Cresce, portanto, a necessidade de aprimoramento do SIG para serviços governamentais para a administração de recursos.

O primeiro e natural uso dos SIGs na maioria das organizações é como ferramenta para produção de material básico. Em uma primeira instância, os SIGs foram utilizados como meros sistemas CAD, que possuem capacidade de representar projeções cartográficas e de associar atributos a objetos espaciais.

A próxima geração de sistemas opera normalmente em conjunto com um gerenciador de banco de dados relacional, que armazena as informações descritivas sobre os objetos geográficos. Apresentam ainda linguagens de consulta, manipulação e representação de objetos espaciais de grande poder expressivo. As linguagens de consulta são baseadas em SQL (*Structured Query Language*) e a manipulação de dados geográficos é baseada em álgebra de mapas.

A mais nova geração dos SIGs é herdeira das aplicações em redes locais e remotas de computadores, e tem seu estímulo no crescimento dos bancos de dados espaciais e da necessidade de compartilhamento de informações, inclusive com o acesso de informações espaciais de SIGs distintos. Vários países têm estabelecido padrões cartográficos de transferência de dados que almejam preservar a riqueza da informação geográfica (topologia e atributos), na busca de uma relativa “neutralidade” entre os padrões (Câmara & Medeiros, 1998).

### **4.3 – Conceitos-chave de um SIG**

Compreendidos os conceitos que abarcam os SIG's, precisamos entender quais são os conceitos básicos utilizados nestes sistemas. Os conceitos-chave para a compreensão exata dos objetos cartográficos e da estruturação de um SIG são o de entidade, atributo e valor de atributo.

Entende-se entidade como um fenômeno do mundo real que não é subdividido em fenômenos da mesma classe, possuindo um significado bem definido, direcionado. Consideremos, para fins de exemplificação de uma entidade, a classe edificação, que é estudada no presente trabalho.

O atributo é uma característica definida de uma entidade, isto é, uma determinada propriedade descritiva que é associada a uma entidade, como por exemplo, o tipo de edificação. O valor do atributo consiste em uma específica qualidade ou quantidade dada a um atributo (por exemplo, edificação do cadastro de 1984, com valor de atributo igual a 0, e edificação do cadastro de 1999, com valor igual a 1).

### **4.4 – Componentes de um SIG**

Atualmente, existe um grande número de SIG's com as mais variadas características em termos de tipos de estrutura de dados, modelos de banco de dados, sistemas de análise, etc. Apesar de sua grande variedade no mercado, os módulos presentes na maioria destes programas consistem basicamente de um conjunto de módulos integrados. De acordo com Eastman (1998), os componentes essenciais de um SIG (figura 4.1) são o sistema de digitalização de mapas, banco de dados espacial e de atributos, sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD), sistema de processamento de imagens, sistema de análises estatísticas, sistema de análise geográfica e sistema de visualização cartográfica. De acordo com Rocha (2000), outros importantes componentes seriam o sistema de aquisição e conversão dos dados, constituído de programas que possuem a finalidade de importar e exportar os formatos de dados disponíveis para o banco de dados espacial e de atributos, e o sistema de modelagem digital do terreno, que representa matematicamente a distribuição de um fenômeno espacial, que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre.

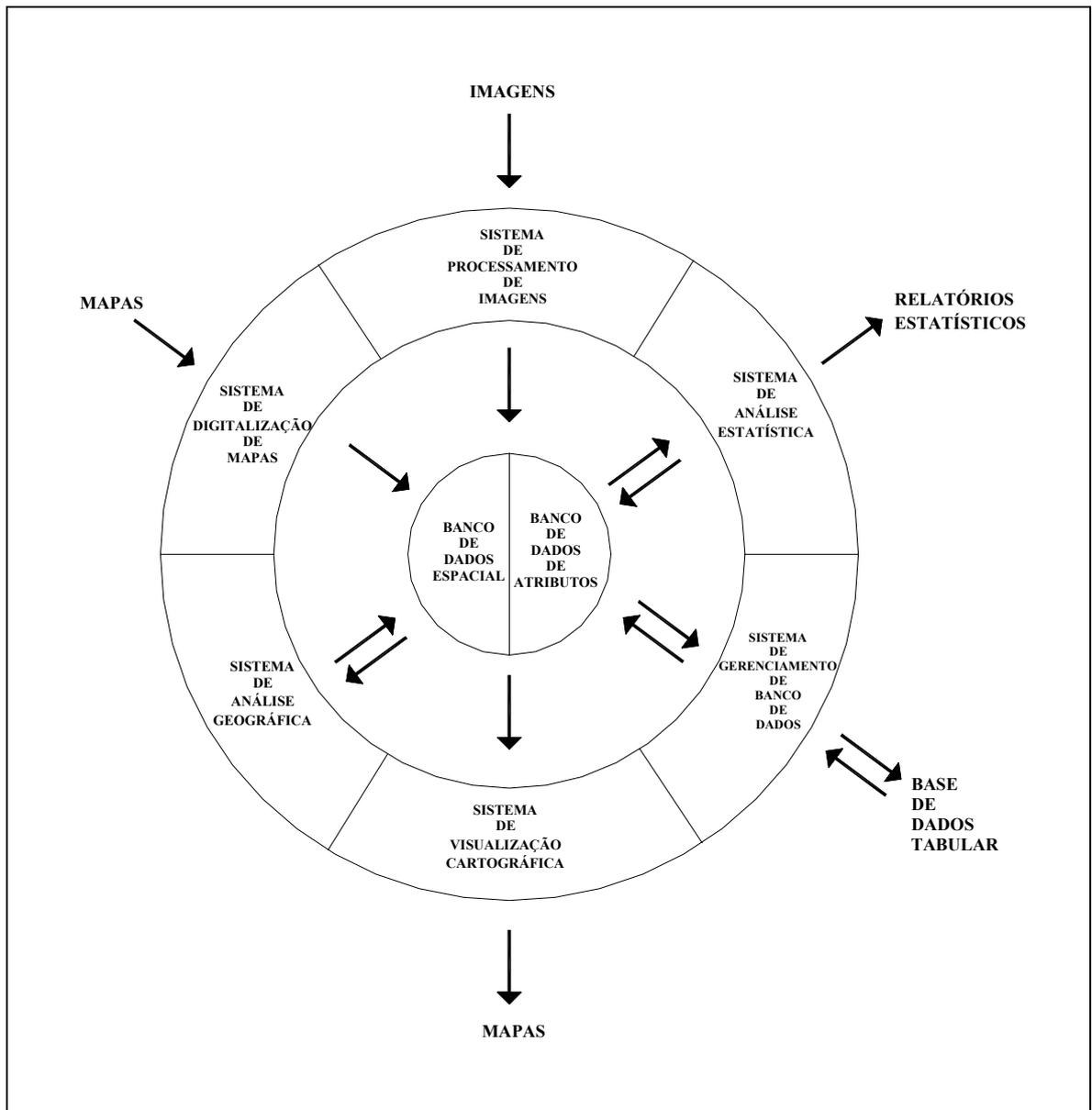


Figura 4.1 – Componentes de um SIG, modificado de Eastman (1998)

#### 4.4.1 – Sistema de digitalização de mapas

O sistema de digitalização de mapas é utilizado para se converter mapas existentes em papel para a forma digital, desenvolvendo mais o banco de dados. No método de digitalização mais comum, o mapa em papel é fixado em uma mesa digitalizadora, traçando-se depois as feições de interesse com um cursor, de acordo com os procedimentos exigidos pelo programa. Outra possibilidade é a rasterização de imagens analógicas de variados tipos de sensores ou documentos cartográficos através

de *scanner*, com a posterior importação, georreferenciamento e digitalização manual dos dados, via tela, dos limites dos temas de interesse.

#### **4.4.2 – Sistema de processamento de imagens**

O sistema de processamento de imagens faz o processamento digital radiométrico e geométrico de qualquer tipo de imagem, principalmente as obtidas pelo sensoriamento remoto, tais como imagens de satélite e fotografias aéreas, além de conter um conjunto de rotinas para a classificação digital, utilizadas para o reconhecimento de padrões e a criação de mapas temáticos.

#### **4.4.3 – Banco de dados espacial e de atributos**

No centro do sistema está o banco de dados, constituído pelo banco de dados espacial, descrevendo a forma e a posição das características da superfície do terreno, e o banco de dados de atributos, descrevendo os atributos ou qualidades destas características. Em alguns sistemas, os bancos de dados e de atributos são rigidamente separados um do outro, enquanto em outros estão integrados em uma única entidade.

Os primeiros SIGs armazenavam dados geográficos e atributos em arquivos internos. Isto foi substituído pelo uso de um Sistema de Gerenciamento de Banco de dados (SGBD), para atender com eficácia bases de dados espaciais cada vez maiores.

Um SGBD apresenta dados numa visão independente dos sistemas aplicativos, além de garantir eficiência (acessos e modificações de grandes volumes de dados), integridade (controle de acesso por múltiplos usuários) e persistência (manutenção de dados por longo tempo, independente dos aplicativos que acessem o dado). Com um SGDB, é possível introduzir dados de atributo como informação tabular e estatística e subseqüentemente extrair informações, tabulações especializadas e sumários estatísticos para gerar novos relatórios tabulares. Entretanto, mais importante é o fato de que o SGDB nos permite analisar dados de atributo.

#### **4.4.4 – Sistema de análise estatística**

Este sistema oferece procedimentos estatísticos e rotinas especializadas para a análise geoestatística, onde a continuidade e variabilidade espacial dos fenômenos naturais e artificiais podem ser estudados.

#### **4.4.5 – Sistema de análise geográfica**

O que distingue um SIG de outros sistemas de informações são as funções que realizam as análises espaciais. Tais funções utilizam os atributos espaciais e não-espaciais das entidades gráficas armazenadas na base de dados espaciais e buscam fazer simulações (modelos) sobre os fenômenos do mundo real, seus aspectos e parâmetros.

Com um sistema de análise geográfica, são ampliadas as possibilidades de consulta a bancos de dados tradicionais, incluindo a análise de dados baseados em sua posição geográfica. A possibilidade de comparar feições diferentes baseadas em sua localização espacial comum é a “marca registrada do SIG” (Eastman, 1998).

Os SIG's dispõem de um conjunto de ferramentas e operações que permitem a integração e análise dos dados, de maneira a transformá-los em informações úteis para a tomada de decisões. Dentre estas funções, estão a consulta ao banco de dados, álgebra com mapas (operações matemáticas com os valores dos atributos), operadores de distância (áreas de influência em torno de um determinado alvo), operadores de contexto (novos mapas baseados em informações de um mapa existente e no contexto – local e vizinhança – em que cada característica é encontrada) e modelagem de processo ou simulação (ferramentas analíticas do SIG para a criação, manipulação e simulação de variáveis em um ambiente artificial).

#### **4.4.6 – Sistema de visualização cartográfica**

Em um sistema computacional, o mais básico componente de um SIG é o de visualização cartográfica. O sistema de visualização cartográfica permite a extração de

elementos selecionados do banco de dados e a produção de mapas, gráficos, relatórios e tabelas no monitor de vídeo, ou cópia impressa, utilizando impressora ou *plotter*.

#### 4.5 – Estrutura de dados em um SIG

Como afirmado anteriormente, um SIG possui como característica básica, a integração de dois tipos distintos de dados: gráficos e não-gráficos. Os dados não-gráficos, também conhecidos por descritivos ou atributos, caracterizam quantitativamente e qualitativamente as entidades contidas na base cartográfica digital. Os dados gráficos correspondem à base cartográfica, que pode apresentar-se estruturada através de duas formas: no modelo vetorial ou no modelo *raster*.

Com a representação vetorial, os limites são definidos por uma série de pontos que, quando unidos com linhas retas, formam a representação gráfica de cada feição. Os próprios pontos são codificados com coordenadas geográficas em sistemas latitude/longitude ou com algum sistema de referência cartográfica. Os atributos das feições são então armazenados num SGDB.

A outra forma de representação é conhecida como *raster*. O modelo de dados *raster* consiste de uma grade regular, composta por linhas e colunas, onde cada posição, definida por uma linha e por uma coluna, representa uma célula, denominada de *pixel*, termo derivado da contração das palavras “*picture element*”. A cada célula é dado um valor numérico que pode representar tanto um identificador da feição quanto um código de atributo qualitativo ou um valor de atributo quantitativo.

Embora existam boas técnicas de compactação de dados, os modelos *raster* necessitam de maior quantidade de memória para armazenamento do que o modelo vetorial, uma vez que eles precisam registrar dados em cada posição de célula independentemente da célula ter ou não informação de interesse. Entretanto, a vantagem é que a estruturação dos dados é mais simples e, como resultado, sistemas *raster* têm substancialmente maior poder analítico do que os sistemas vetoriais na análise do espaço contínuo e são mais aptos para o estudo de dados que variam continuamente no espaço, como, por exemplo, o relevo, a biomassa vegetal e a pluviosidade. A segunda vantagem dos sistemas *raster* é que sua estrutura se aproxima muito da arquitetura dos

computadores digitais. Como resultado, estes sistemas tendem a ser muito rápidos na avaliação de problemas que envolvem várias combinações matemáticas de dados em múltiplos planos.

Enquanto sistemas *raster* são predominantemente orientados para análise, os sistemas vetoriais tendem a ser mais orientados para o gerenciamento de banco de dados. Sistemas vetoriais são muito eficientes no armazenamento de dados de mapas porque armazenam apenas os limites das feições e não o que está dentro destes limites. Em função da representação gráfica das feições estar diretamente ligada ao banco de dados de atributos, os sistemas vetoriais geralmente permitem a consulta dos atributos associados à feição visualizada, tais como a distância entre os pontos ou ao longo de linhas, as áreas de regiões definidas na tela e assim por diante.

Comparado com seus similares *raster*, os sistemas vetoriais não têm uma ampla gama de funções para análise sobre um espaço contínuo. Eles levam vantagem, entretanto, por apresentarem uma estrutura de dados mais compacta, ocupando menor espaço de memória, maior eficiência na codificação das relações topológicas (principalmente na análise de redes), na função de gerenciamento de banco de dados, no melhor modelamento geométrico e descrição de entidades espaciais, sendo o formato de dados mais adequado para representação gráfica.

#### **4.6 – Características e funções de um SIG**

Resumidamente, as funções de um SIG são a integração de informações espaciais de dados cartográficos, censitários e de cadastramento, imagens de satélite, fotografias aéreas, redes e modelos numéricos de terreno, numa única base de dados, bem como o cruzamento de informações através de algoritmos de manipulação para gerar mapas derivados, a consulta, recuperação, visualização e plotagem do conteúdo da base de dados geocodificados.

Com relação à informação geográfica, podemos afirmar que esta apresenta uma natureza dual: um dado geográfico possui uma localização geográfica, expressa com coordenadas em um espaço geográfico, e atributos descritivos, que podem ser representados em um banco de dados convencional. A noção de informação espacial

está relacionada à existência de objetos com propriedades, as quais incluem a sua localização no espaço e sua relação com outros objetos. Estas relações incluem conceitos topológicos, métricos e direcionais.

Uma das funções mais importantes em um SIG é a possibilidade de se fazer a análise espacial baseada na estrutura topológica do banco de dados. Esta análise permite combinar múltiplos temas e efetuar relações, sintetizando e mostrando resultados sob a forma de dados gráficos ou por relatórios.

Define-se por topologia a estrutura de relacionamentos espaciais (vizinhança, proximidade, pertinência) que se pode estabelecer entre objetos geográficos. A estrutura de dados topológicos provê uma inteligência adicional às informações armazenadas na base de dados cartográficos. A topologia instrui o computador, dizendo quais dos objetos cartográficos estão conectados uns aos outros logicamente. Assim, a estrutura de dados topológicos define como os pontos, linhas e polígonos se relacionam entre si em um mapa. Armazenar a topologia de um mapa é o que difere um SIG de um sistema CAD (*Computer Aided Design*).

Os sistemas CAD são um conjunto de *software* e *hardware* para automação do processo de construção de desenhos geométricos e projetos de engenharia. O desenho digital construído em um sistema CAD é composto por um conjunto de entidades gráficas armazenadas em camadas, denominadas de *layers*. Cada camada normalmente corresponde a um determinado tema ou categoria de informação, podendo ser manipulada, editada, visualizada ou reproduzida de forma integral ou individual.

Em grande parte das aplicações CAD, os desenhos não possuem atributos descritivos, mas apenas propriedades gráficas, tais como cor e espessura. Já, em Geoprocessamento, os dados geográficos possuem atributos, o que torna necessário prover meios de consultar, atualizar e manusear um banco de dados espaciais. Portanto, um SIG não é simplesmente um sistema computacional para fazer mapas, embora ele possa criar mapas em diferentes escalas, projeções e cores. Um SIG é, em sua essência, uma ferramenta de análise.

Outra importante diferença entre um SIG e um CAD está que o primeiro sistema pode tratar diversas projeções cartográficas. Num SIG, os dados estão sempre

georreferenciados, isto é, referenciados a um determinado tipo de projeção cartográfica, o que impõe uma distorção relativa às coordenadas geográficas.

Como visto anteriormente, um SIG é formado por interface com o usuário, entrada e integração de dados, bancos de dados geográfico, funções de processamento gráfico e de imagens, visualização e plotagem. Num conceito mais amplo, o SIG, além de *software*, compreende todo um conjunto de dados gráficos e não-gráficos adequadamente armazenados em um ou mais bancos de dados, organizados e estruturados com lógica para responder a questões pré-determinadas. De acordo com Rosa (1995), o SIG é implantado numa região para atender a objetivos específicos, baseados em necessidades locais, sendo “falsa a idéia da existência de um modelo-padrão”.

#### **4.7 – Importância do SIG no cadastro técnico municipal**

A cartografia municipal deve conter dados sobre a organização do território e do espaço urbano, informações de caráter social, atividades econômicas, serviços públicos, informações fiscais, entre outros. Por isto, mantêm um grande acervo de informações, nem sempre organizado ou tratado de forma conveniente e eficiente.

Os cadastros técnicos multifinalitários são o caminho para a compatibilização e integração da informação municipal. Baseados em SIGs, podem organizar e manter atualizadas a cartografia e base de dados a ela associadas. Esta ferramenta assegura a compatibilização de informações cartográficas com os diversos bancos de dados necessários para os diferentes órgãos da administração municipal. Além disso, facilitando a integração entre as informações, amplia o acesso a estas para outros agentes públicos e privados, notadamente para as concessionárias de serviços públicos. Com o uso adequado de aplicações SIG, a administração municipal passa a dispor de um conjunto mais amplo de informações para o planejamento e controle urbanístico e fiscal.

De maneira genérica, o SIG e o LIS (*Land Information System* – Sistema de Informações Territoriais) têm sido adotados pelas prefeituras principalmente para aumentar a arrecadação de IPTU, pois permitem corrigir irregularidades do cadastro

técnico municipal, constituindo-se em uma “aplicação de retorno financeiro e concreto” (Roza & Galindo, 1999).

#### **4.8 –Aplicações do SIG e da cartografia temática no presente estudo**

##### **4.8.1 – Análise topológica, estatística e consulta ao banco de dados**

A dimensão espacial, comumente utilizada apenas para efeito de representação e cálculo dos dados obtidos em um sistema CAD, tem importância fundamental na análise dos dados em um SIG, na elaboração de novas informações a serem incorporadas à base de dados. Para análises, a estatística é muito útil quando se procura definir de forma objetiva o conteúdo mapeado através de medidas de conceitos como densidades, dispersão, concentração, vizinhança, potencial, acessibilidade, etc.

Se observarmos um conjunto de dados, percebemos que em quase todos os casos, os valores tendem a se agrupar em torno de um valor central. Esse valor central é comum para um conjunto de dados e se localiza no centro da distribuição. As medidas espaciais de tendência central demonstram não mais onde a distribuição se localiza a um par de coordenadas, mas onde se localiza o centro da distribuição de pontos em relação a um eixo de coordenadas cartesianas. Para dados geográficos, três tipos de medidas de tendência central são importantes: a média aritmética, mediana e moda.

Com relação ao sistema de análise de um SIG, uma de suas funções é a determinação de centróides, através da estruturação topológica das entidades cartograficamente representadas. Ao se gerar uma topologia, as informações que definem a relação entre as entidades existentes ficam armazenadas em tabelas vinculadas aos objetos, com atributos tais como um valor numérico único, representando um identificador, e um ponto no centro geométrico do polígono, com valores de área e perímetro vinculados ao polígono, denominado de centróide. Após ser determinado o centróide para um dado objeto, sua localização pode ser armazenada na base de dados como uma chave de pesquisa.

No presente trabalho concentrou-se a aplicação do SIG na análise topológica de um conjunto de polígonos representando as edificações existentes na área urbana do

município de Gramado. Através da análise topológica deste conjunto de dados multitemporais, foram determinados centróides para cada edificação. O cálculo da média aritmética da posição dos centróides das edificações do cadastro de 1984 e do número total de edificações existentes em 1999, por bairros e para toda a área urbana de Gramado, indicou mudanças nas posições dos centros de gravidade ao longo do período estudado. Para representar cartograficamente esta mudança, foram traçados vetores que simbolizam o sentido da expansão da ocupação urbana, durante o período estudado.

Para tanto, foi utilizado o programa *AutoCAD MAP 2000*, com funções típicas de um SIG, tais como a de visualização e plotagem de mapas, processamento digital de imagens, banco de dados relacional, rotinas para a consulta e o gerenciamento do banco de dados, ferramentas de análise espacial e geográfica.

#### **4.8.2 – Cartografia temática de dados multitemporais**

Uma das grandes dificuldades da Cartografia consiste em representar num plano imóvel, os deslocamentos que se fazem no espaço ou as transformações que se sucedem no tempo, já que a superfície terrestre sofre contínuas transformações. A Cartografia deve sugerir estas transformações, seja qual for a escala temporal na qual elas se produzem.

Para exprimir uma verdadeira evolução, uma seqüência de transformações num mesmo sentido, o melhor meio é cartografar as situações sucessivas realizadas no decorrer do tempo, através de mapas de fluxos, que podem simbolizar o movimento por vetores traçados sobre a rota percorrida ou percursos tomados.

No presente estudo, foram mapeados os vetores de crescimento das edificações por bairros e para toda a área urbana de Gramado, com a finalidade de se estudar os sentidos e magnitudes de crescimento e assim apontar os fatores que promoveram e que podem ainda influenciar o crescimento preferencial ou desordenado em determinadas orientações.

## **5 – EXPANSÃO DA OCUPAÇÃO URBANA DE GRAMADO**

### **5.1 – Justificativas para o estudo**

A crescente urbanização e a necessidade de preservação dos ambientes naturais conduzem a inúmeros conflitos em relação à ocupação do meio físico. Esta situação vigora invariavelmente em todos os municípios da região nordeste do Rio Grande do Sul, dentre os quais enquadra-se o município de Gramado.

A fragilidade do ambiente, cujos terrenos foram originados pela decomposição de rochas do derramamento de lavas riolíticas, fortemente dissecados e friáveis, com solos rasos e pedregosos, aliada à crescente utilização da Encosta Inferior do Nordeste como área receptiva de população e de atividades econômicas, tornam tais áreas suscetíveis aos problemas ambientais. A atualização cadastral, através do mapeamento temático, permitirá não só o reconhecimento de construções irregulares, mas também poderá ser utilizada para evitar que estas possam se expandir ou se concentrar em áreas onde o ecossistema encontra-se mais suscetível a possíveis impactos.

Além dos problemas de ordem do espaço físico, no que tange às limitações para a ocupação humana, ocorrem também problemas com a dinâmica populacional. Dados divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) indicam que a população de Gramado cresceu 27% em um período de 11 anos, de 1980 a 1991, e dados preliminares indicam um aumento de 13,55% nos seis anos seguintes (1991-1996). Os dados do censo preliminar de 1996 indicam que a população urbana aumentou cerca de 2 % em apenas seis anos (de 81 % para 83 % do total da população), enquanto que a população rural diminuiu 3 % neste mesmo período (de 18,9 % para 16,9 %), ao passo que migrações oriundas de outro municípios e estados têm representado um crescimento populacional de 3% ao ano.

Considerando-se o grande crescimento populacional na área urbana, e seus possíveis impactos sobre o meio ambiente, que é o principal motivo de atração turística, e gerador de riquezas para o município, é de extrema importância investigar para onde e em qual dimensão está ocorrendo a expansão da ocupação urbana, e assim limitar ou fornecer subsídios a este crescimento, através do planejamento urbano, por um zoneamento de uso do solo e pela locação de infra-estrutura adequada.

Somado à necessidade de estudos de problemas ambientais e sociais, muitos outros fatores mostraram-se decisivos para a efetivação concreta de um estudo do crescimento da área urbana de Gramado, dentre os quais o incentivo financeiro dado para a atualização das plantas cadastrais pelo convênio firmado entre a prefeitura de Gramado e a FAURGS (1999). Sem as verbas públicas para a realização de todo o processo de planejamento e execução do voo aerofotográfico, digitalização e mapeamento temático, não existiriam os dados-base para o estudo da expansão da ocupação urbana. Cumpre observar que anteriormente ao referido convênio, existiam somente bases cartográficas no formato analógico, em um número de cinco plantas cadastrais, referentes ao ano de 1984, elaboradas a partir de levantamento topográfico e restituição aerofotogramétrica. A partir deste convênio, foi elaborada uma planta cadastral cobrindo a região nordeste da área urbana, através de levantamento topográfico e da compilação dos dados das FAPEF's georreferenciadas.

Outros aspectos mostraram-se favoráveis para a realização do estudo, tais como a relativa proximidade do município estudado com o de Porto Alegre, representando menores custos para o deslocamento; a área urbana com dimensões relativamente reduzidas, implicando uma quantidade menor de FAPEF's a serem obtidas, além do menor tempo necessário para a digitalização e para as correções radiométrica e geométrica dos dados digitais.

## **5.2 – Área urbana de Gramado**

A divisão do município em áreas urbana e rural foi decretada a partir do plano diretor - lei municipal nº 1.033/91, art. 12º: “a área urbana é definida como a área proposta pelo plano diretor, destinada a funções caracteristicamente urbanas e definidas por Lei, enquanto que a área rural é a área do município, excluídas as áreas urbanas,

caracterizadas por atividades rurais (agricultura, pecuária, indústria rural, reservas florestais e núcleos rurais)”.

Quanto aos limites da área urbana de Gramado, os mesmos foram definidos na planta de zoneamento do plano diretor municipal (anexo I), na escala 1:10.000, onde consta a divisão político-administrativa da cidade em bairros. Nesta planta cadastral, a área urbana do município está dividida em um número de 13 bairros: Mato Queimado, Vila Moura, Dutra, Carniel, Avenida Central, Floresta, Centro, Piratini, Vila Prinstrop, Planalto, Jardim, Três Pinheiros e Várzea Grande.

De acordo com Ferraro (1982), a área urbana de Gramado pode ainda ser dividida em um núcleo urbano, onde iniciou a expansão da ocupação, e estão os prédios da gestão administrativa municipal, e por zonas periféricas a este centro, limítrofes à área rural. A localização do referido núcleo urbano, bem como a delimitação dos bairros da área urbana do município de Gramado estão representados na figura 5.1.

Com relação às características físicas, a área urbana do município de Gramado apresenta altitudes de 650 a 900 m (figura 5.2), podendo ser caracterizada como uma região de montanhas médias, de acordo com classificação proposta por Guerra (1997). O relevo é caracterizado por um modelado convexo-côncavo com forte inclinação das vertentes e por morros altos com topos planos ou levemente convexos, com patamares escalonados das vertentes, geralmente cobertos por mata nativa.

O relevo fortemente dissecado é resultante, principalmente, do trabalho dos rios e dos movimentos de massa. Os rios, encaixados em paredões altos e abruptos, tornam característicos os vales encaixados, cujo aprofundamento do talvegue é muito grande. Em outras palavras, quanto à forma das vertentes, ocorrem vales de fundo em v, com margens pouco largas e vertentes de fortes declives.

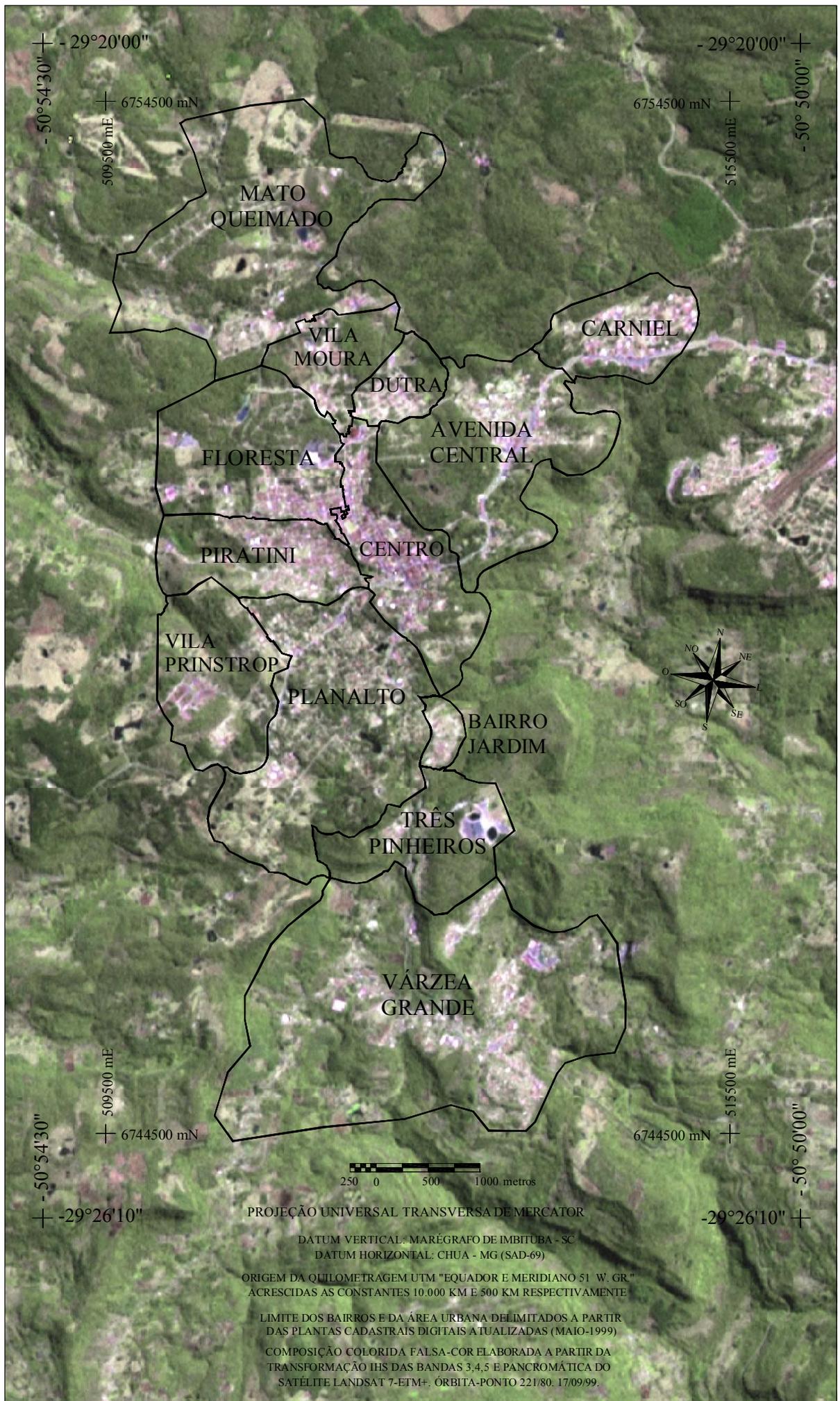
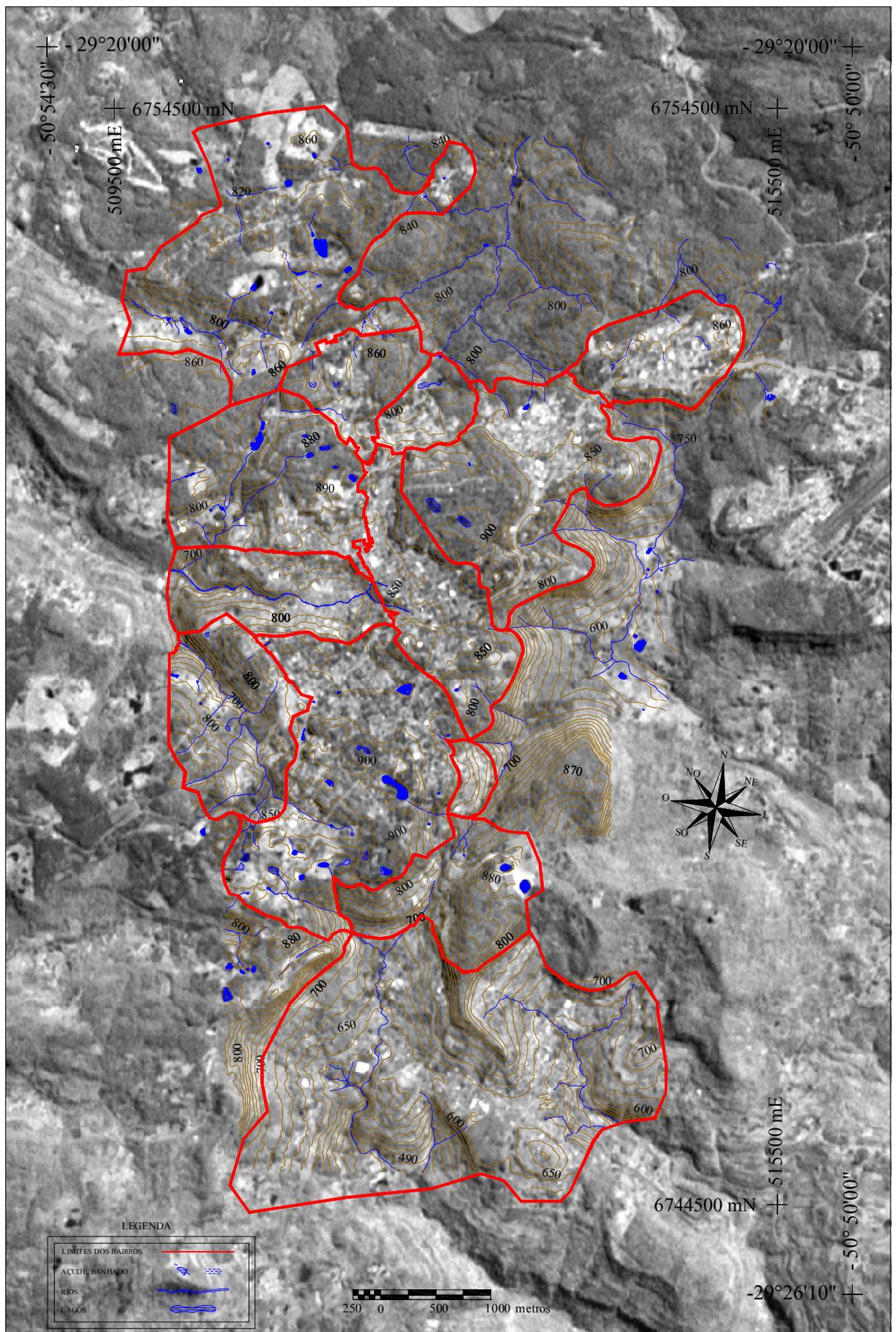


Figura 5.1 - Carta-imagem dos Bairros da Área Urbana do Município de Gramado



BASE CARTOGRÁFICA DIGITALIZADA A PARTIR DAS PLANTAS  
 CADASTRAIS NA ESCALA DE 1:5.000, ELABORADAS ATRAVÉS DE  
 LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO EM 1984.

CARTA-IMAGEM ELABORADA COM A BANDA 8 (PANCROMÁTICA) DO  
 SATÉLITE LANDSAT 7-ETM+. ÓRBITA-PONTO 221/80. 17/09/99.

EQÜIDISTÂNCIA DAS CURVAS DE NÍVEL : 20 METROS  
 PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

DATUM VERTICAL: MARÉGRAFO DE IMBITUBA - SC  
 DATUM HORIZONTAL: CHUA - MG (SAD-69)

ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 51 ° W 'GR"  
 ACRESCIDAS AS CONSTANTES 10.000 KM E 500 KM RESPECTIVAMENTE

Figura 5.2 - Planialtimetria da Área Urbana do Município de Gramado

### **5.3 – Evolução da ocupação urbana de Gramado**

Para o estudo da evolução da ocupação urbana optou-se primeiramente pela análise da área urbana como um todo, para fornecer subsídios para uma posterior análise das particularidades do fenômeno estudado, no que diz respeito aos bairros da área urbana de Gramado.

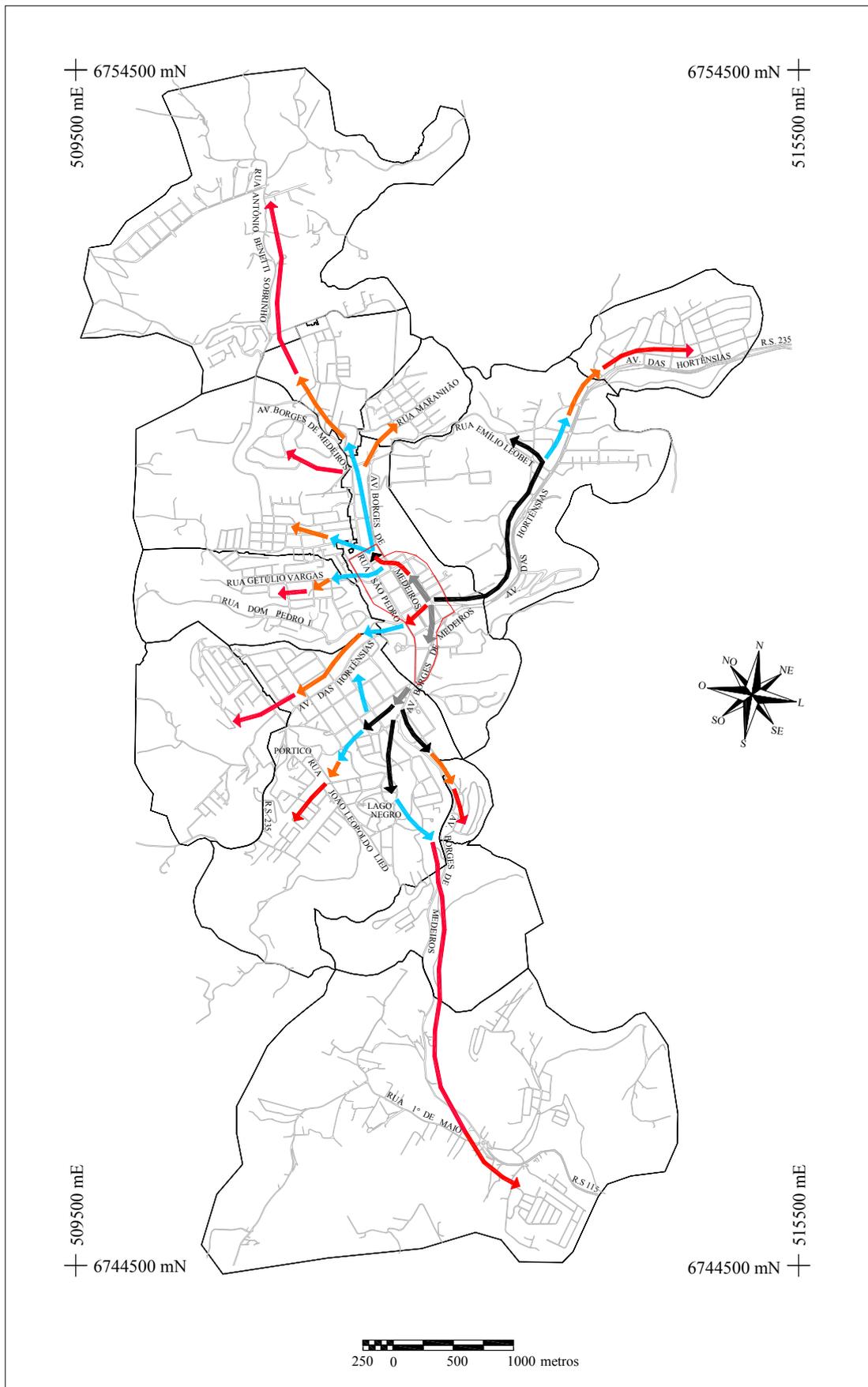
O estudo da evolução da ocupação urbana de Gramado inicia com uma breve análise do fenômeno até a década de 80, em função de sua importância para o entendimento da atual localização das edificações na área de estudo. Posteriormente, a temática proposta no presente estudo foi retomada, avaliando-se o crescimento do número de edificações para o período de 1984 a 1999.

#### **5.3.1 – Período 1920-1980**

A análise da expansão da ocupação urbana baseou-se na consulta a mapas temáticos da localização e do uso das edificações produzidos por Ferraro (1982). A referida autora utilizou como base de dados o cadastro técnico disponível na Secretaria do Planejamento da Prefeitura Municipal de Gramado, realizado em 1979, onde constam todas as modalidades de edificações da área urbana, tais como as residências de moradia e residências de veraneio (utilizadas sazonalmente), os estabelecimentos destinados à atividade comercial e de serviços, bem como as indústrias manufatureiras.

Como forma de se sintetizar os estudos e dados cartográficos produzidos por Ferraro (1982), foi elaborado uma mapa temático (figura 5.3), com vetores representando a expansão da ocupação urbana durante as décadas do período em questão.

De acordo com Ferraro (1982), até a década de 40 existiam residências de moradores e edificações destinadas ao comércio e à hotelaria, localizadas no núcleo urbano, em torno da Praça Major Nicoletti, e no bairro Planalto, próximas ao Lago Joaquina Rita Bier.



LEGENDA		
DÉCADAS DE 20 E 30		
DÉCADA DE 40		
DÉCADA DE 50		
DÉCADA DE 60		
DÉCADA DE 70		

**PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR**  
 DATUM VERTICAL: MARÉGRAFO DE IMBITUBA - SC  
 DATUM HORIZONTAL: CHUA - MG (SAD-69)  
 ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 51° W. GR."  
 ACRESCIDAS AS CONSTANTES 10.000 KM E 500 KM RESPECTIVAMENTE  
 Dados de evolução da ocupação urbana compilados a partir de seis mapas temáticos, na escala de 1:10.000, produzidos por Ferraro (1982).

Figura 5.3 - Expansão da Ocupação Urbana de Gramado durante o Período de 1920 a 1980

Na década de 40, as edificações comerciais estão localizadas em torno das avenidas Borges de Medeiros e das Hortênsias, enquanto que a concentração de residências de moradores e de veraneio começa lentamente a se deslocar para as periferias do núcleo urbano.

No decorrer da década de 50, observou-se o crescimento da concentração de edificações no bairro Planalto, bem como em ruas transversais à rua São Pedro (paralela à Borges de Medeiros), permitindo a expansão para oeste (bairros Floresta e Piratini). Além da importância da avenida Borges de Medeiros, cumpre observar o incremento de edificações que começa a se tornar ainda mais representativo ao longo da avenida das Hortênsias (antiga avenida Coronel Diniz). Esta importante avenida possui a maior extensão dentre as demais vias de acesso do município de Gramado, cruzando os bairros Centro, Avenida Central e Carniel, comunicando-se com a RS 235, em direção aos municípios de Nova Petrópolis (oeste) e Canela (leste). Seu percurso permite o acesso à região nordeste da área urbana, assumindo grande importância para a ocupação do bairro Avenida Central, por casas de veraneio e indústrias manufatureiras, ocorrido na metade da década de 40.

Em síntese, o processo de urbanização a partir da década de 50 tornou-se não mais nuclear e sim linear, ao longo das avenidas Borges de Medeiros e das Hortênsias, com alguma tendência à interiorização, caracterizando a ocupação de forma mais intensa no sentido longitudinal, mas evidenciando também características laterais.

Em virtude da importância econômica assumida pelo então distrito de Gramado na década de 50, foi proposta a criação do município de Gramado, constituído pelo seu antigo distrito e parte do distrito de Nova Petrópolis, cuja proposta foi decretada e sancionada pela Assembléia Legislativa do Estado, no ano de 1954 (Lei 2.522).

Conforme Ferraro (1982), desde a sua fundação até 1960, Gramado sofreu um processo de urbanização condicionado apenas aos fatores internos, tais como as próprias condições naturais do município, o que caracterizava sua economia como produto das atividades agrícolas. Após esta década, o desenvolvimento do espaço urbano foi determinado por uma variável externa a sua própria dinâmica: o turismo.

A expansão da ocupação urbana foi muito significativa durante a década de 60; além do comércio, das casas de moradores e de veranistas, surgiram muitos hotéis e prédios de serviços no núcleo urbano, mas a maior expressão deste crescimento está no deslocamento da ocupação urbana a noroeste, nordeste e oeste do núcleo urbano.

Além da região setentrional, verificou-se uma forte tendência de ocupação para a região sudoeste do bairro Planalto, entre a avenida das Hortênsias e a Borges de Medeiros, e para a região norte do bairro Jardim.

A década de 60 é marcada como um período importante para a economia do município de Gramado. De acordo com dados fornecidos pelo IBGE (censo demográfico de 1960), o município foi predominantemente rural até a década de 60, com poucos moradores urbanos. A partir deste ano, teve um aumento da população urbana, sendo que a rural começou a estabilizar-se. Na década de 70 é que a população urbana provou um maior crescimento numérico, superando a população rural (IBGE, 1970). Neste mesmo período, foram maiores os investimentos no setor turístico, que provocou mudanças no processo de ocupação do espaço urbano, com a expansão do setor comercial e industrial, o advento de casas de veraneio e de uma grande rede hoteleira e de serviços.

Com relação à evolução da ocupação urbana durante a década de 60, surgem muitas residências de moradores e de veraneio nos bairros Floresta, Piratini, Dutra, Vila Moura e Planalto. Foram construídos muitos hotéis nos lotes próximos à Borges de Medeiros e da avenida das Hortênsias (principalmente no bairro Planalto) e um número expressivo de prédios comerciais e de indústrias no bairro Avenida Central.

Na década de 70, as maiores modificações no espaço urbano são resultado de um forte crescimento em direção aos limites da área urbana de Gramado, sobretudo em áreas que não haviam sido ainda ocupadas, e no que diz respeito ao aumento da importância dos setores secundário e terciário para a economia do município, que pode ser comprovado pelo incremento significativo do número de estabelecimentos comerciais, de serviços e de indústrias de pequeno porte neste período.

Dentre as áreas que começaram a ser ocupadas no início desta década, temos os limites sudoeste da área urbana, onde localiza-se o bairro Vila Prinstrop, com

edificações residenciais, o extremo norte, no bairro Mato Queimado, e a região nordeste da área urbana, no bairro Carniel. Além destas áreas, destaca-se a ocupação dos limites meridionais da área urbana, nos bairros Três Pinheiros e Várzea Grande, cujo processo foi favorecido pelos eixos viários da avenida Borges de Medeiros e da RS 115.

### **5.3.2 – Período 1984-1999**

Após o estudo da evolução da ocupação urbana até a década de 1980, foi retomado o objetivo proposto. Por ser de natureza complexa, o estudo exigiu primeiramente o exame de particularidades do fenômeno, partindo do estudo dos bairros da área urbana, que são as unidades sócio-econômicas definidas para o planejamento.

As plantas cadastrais digitais atualizadas foram utilizadas para o estudo da expansão da ocupação urbana do período em questão. Os dados do cadastro de 1984 e das novas edificações existentes no ano de 1999 (figura 5.4) foram armazenados e estruturados topologicamente em um SIG e, através deste procedimento, puderam ser quantificados por meio da consulta ao banco de dados.

Os dados produzidos no SIG utilizado, pela consulta ao banco de dados, geraram vetores de crescimento, com orientações e magnitudes capazes de serem interpretadas pelo exame da realidade local, com base em saídas de campo. Além das atividades de campo, destacam-se a análise do fotoíndice das FAPEF's e da imagem de satélite, bem como os relatórios produzidos pela Secretaria do Planejamento da Prefeitura de Gramado.

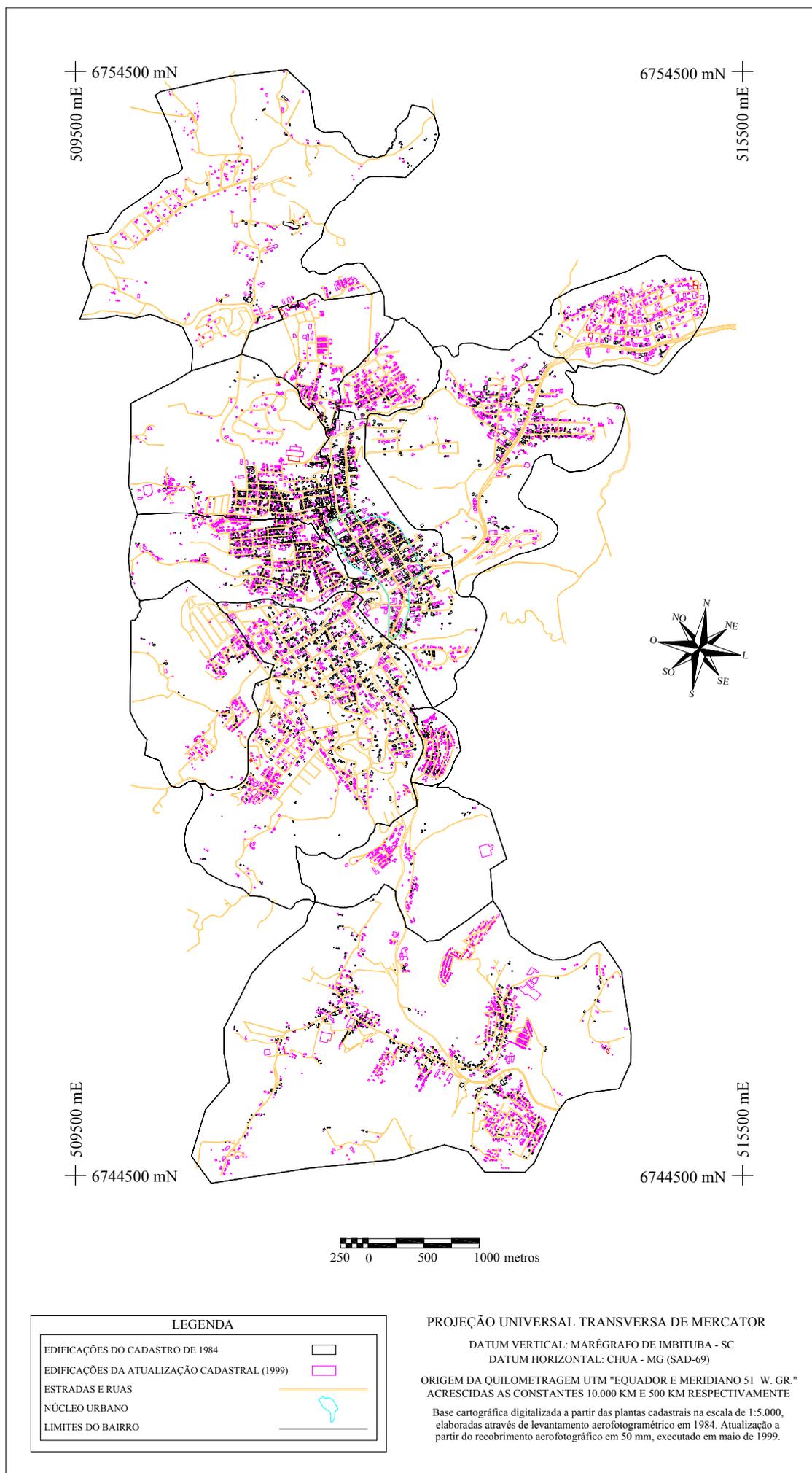


Figura 5.4 - Edificações dos bairros da Área Urbana de Gramado nos anos de 1984 e 1999

Os resultados obtidos a partir da consulta ao banco de dados são o número de edificações existentes por bairro e para a área urbana total de Gramado, para os anos de 1984 e 1999. Com base neste dados, pôde-se calcular o crescimento percentual e a posição dos centróides para as duas datas estudadas, permitindo a determinação da magnitude e do sentido da expansão da ocupação urbana (tabela 5.1).

Tabela 5.1 – Quantificação, crescimento percentual, magnitude e orientação da expansão da ocupação dos bairros da área urbana de Gramado (1984-1999)

BAIRRO	Área (ha)	Nº de Edificações		Crescimento Percentual (%)	Vetores de Crescimento	
		1984	1999		Módulo (m)	Sentido
<b>Três Pinheiros</b>	145,335	23	192	734,78	262	SO
<b>Dutra</b>	52,488	57	429	652,63	99	NE
<b>Vila Prinstrop</b>	171,900	65	308	373,85	112,7	SSO
<b>Vila Moura</b>	86,347	69	362	424,64	99	NNE
<b>Bairro Jardim</b>	21,963	77	351	355,84	27	O
<b>Mato Queimado</b>	437,811	83	436	425,30	323	OSO
<b>Carniel</b>	112,485	83	561	575,90	123	NE
<b>Avenida Central</b>	289,191	267	752	181,65	21	NE
<b>Várzea Grande</b>	722,442	543	1.844	239,59	173	L
<b>Floresta</b>	221,403	555	1.002	80,54	120	NO
<b>Piratini</b>	136,888	628	1.306	107,96	87	O
<b>Planalto</b>	377,621	634	1.442	127,44	170	SO
<b>Centro</b>	172,957	772	1.216	57,51	51	SSE
<b>TOTAL</b>	<b>2.948,831</b>	<b>3.856</b>	<b>10.201</b>	<b>164,55</b>	<b>154</b>	<b>SE</b>

Os dados do número total e do crescimento percentual de edificações por bairros, para as duas datas estudadas, podem ainda ser representados por gráficos de barras, como nas figuras 5.5 e 5.6:

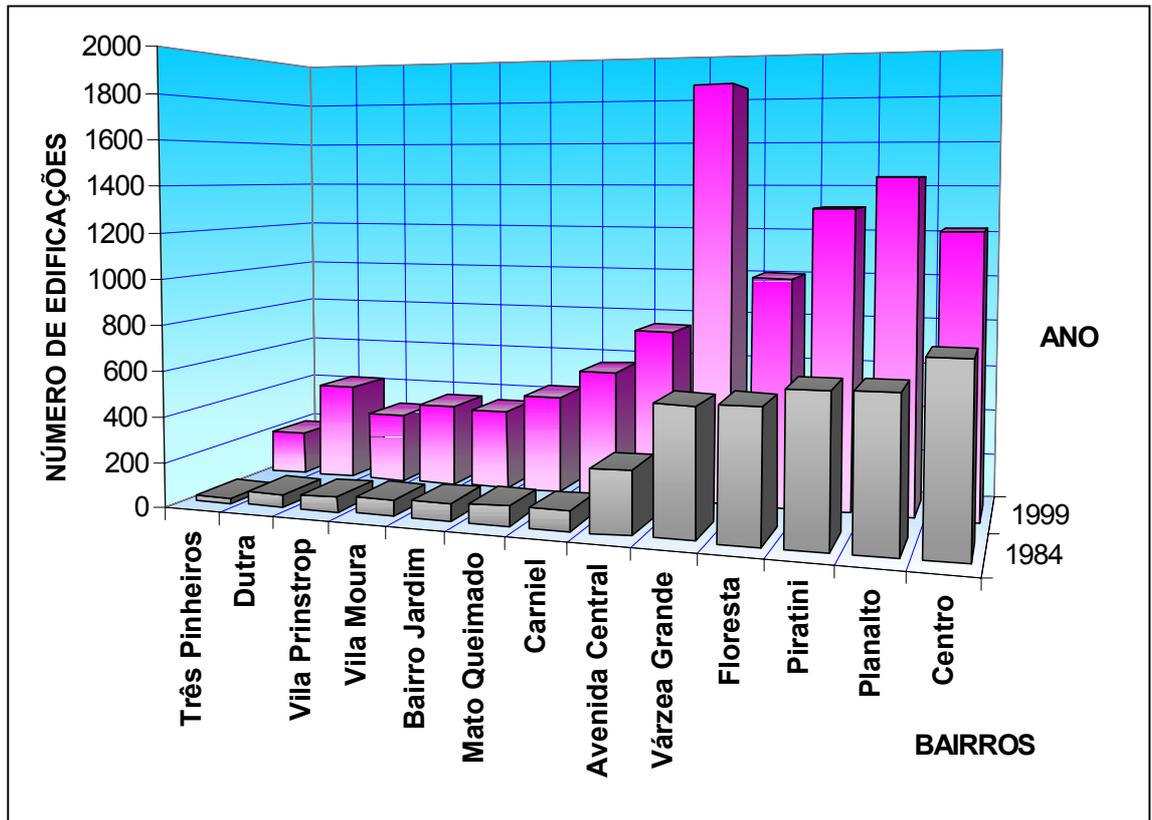


Figura 5.5 – Número total de edificações do bairros da área urbana de Gramado nos anos de 1984 e 1999

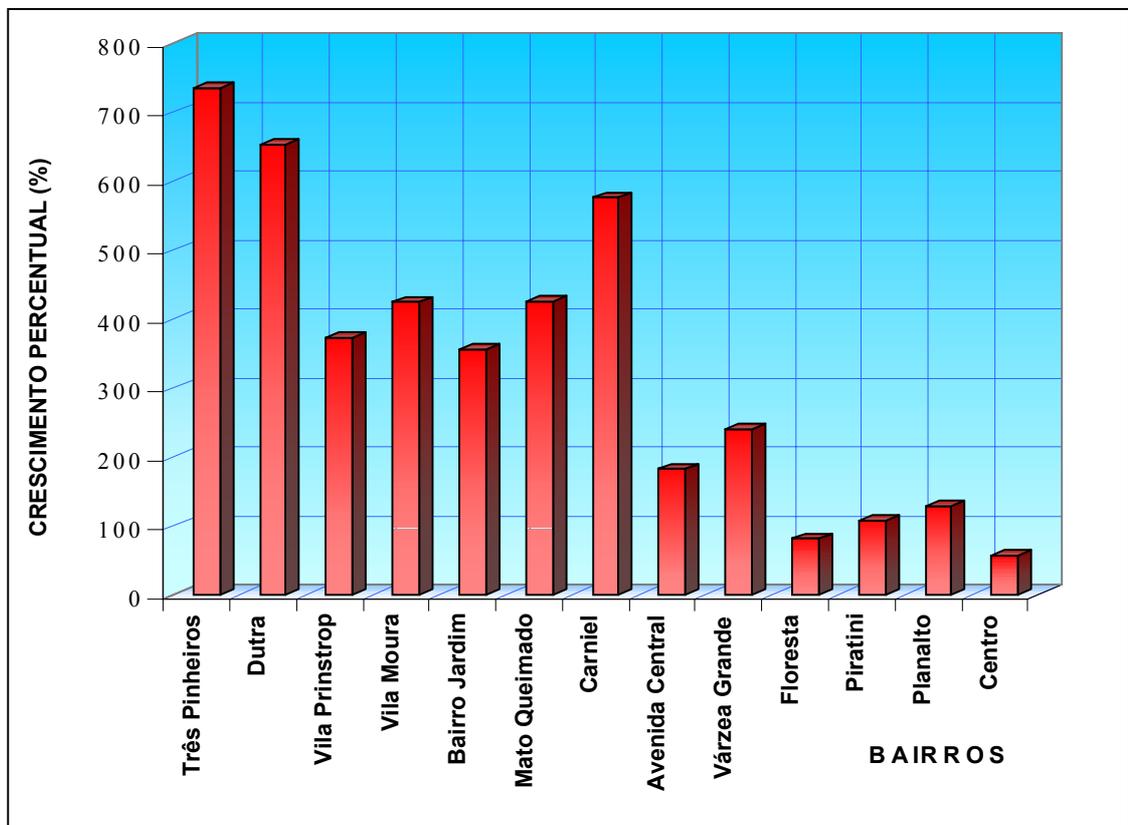


Figura 5.6 – Crescimento percentual do número de edificações do bairros da área urbana de Gramado entre os anos de 1984 e 1999

Além da representação dos dados tabulares por meio de gráficos de barras, outra forma de representação para a evolução da ocupação urbana foi através de um mapa temático. No mapa temático elaborado (figura 5.7) foram representados o número total e o crescimento percentual das edificações, além dos vetores de crescimento, por bairros, durante o período estudado. Neste mapa, o número de edificações pode ser medido a partir da altura de dois gráficos de barras, um para cada data estudada, enquanto que o crescimento percentual de cada bairro está relacionado a uma escala de cores. Somado a estas informações, podemos visualizar a localização espacial dos centróides nos anos de 1984 e 1999, além de vetores que informam a magnitude e a orientação do crescimento de cada bairro e de toda a área urbana durante este período.

Através da análise dos mapa temáticos, verificamos que ao longo das décadas de 80 e 90 a expansão urbana mostrou uma forte tendência de ocupação das áreas periféricas. Durante este período, ocorreu um surpreendente crescimento do número de edificações para os bairros Centro (57% de crescimento), Floresta (81%), Piratini (108%), Planalto (128%) e Avenida Central (182%), que, todavia, não correspondeu aos maiores percentuais de crescimento para a área urbana. Como visto anteriormente, estes foram os primeiros bairros a serem ocupados, representando uma forte concentração de 75,7% do número total de edificações presentes no ano de 1984.

Todavia, ocorreu uma tendência de queda da concentração do número total de edificações presentes na área urbana durante o decorrer do período de 15 anos estudado, chegando ao valor de 59% para os bairros mais antigos. Esta tendência de interiorização da ocupação urbana, em função do crescimento centrífugo ou radial (partindo do núcleo urbano), não significou necessariamente uma diminuição da densidade de edificações dos bairros mais antigos; pelo contrário, o crescimento foi de aproximadamente 100%, em média, no período de 15 anos. Por sua vez, apesar do número total de edificações ter dobrado, a explicação para a tendência do decréscimo desta concentração está relacionada com a expansão da ocupação para as periferias da área urbana.

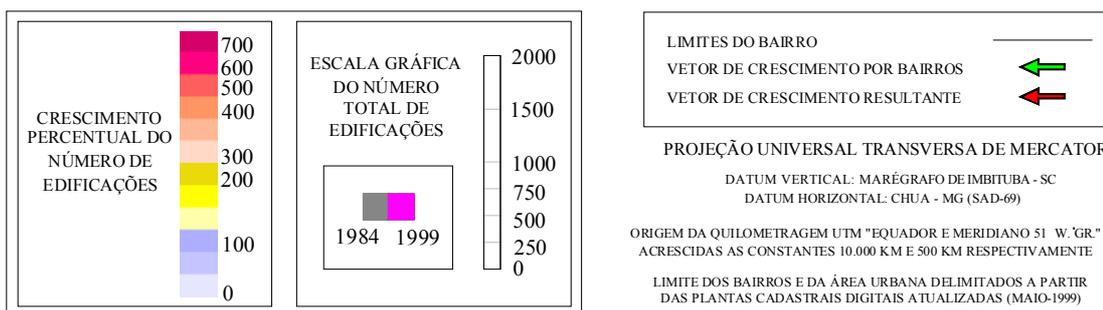
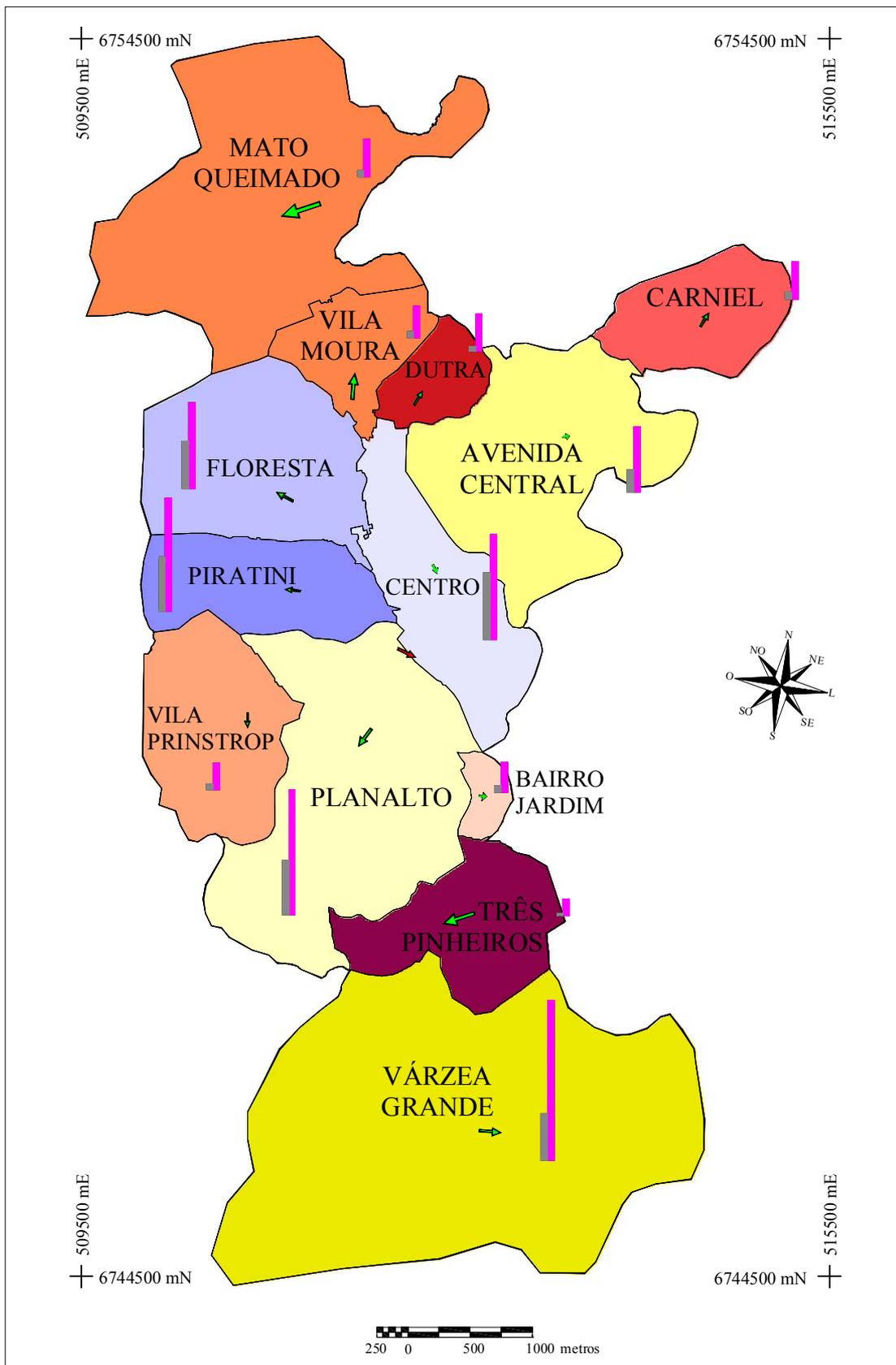


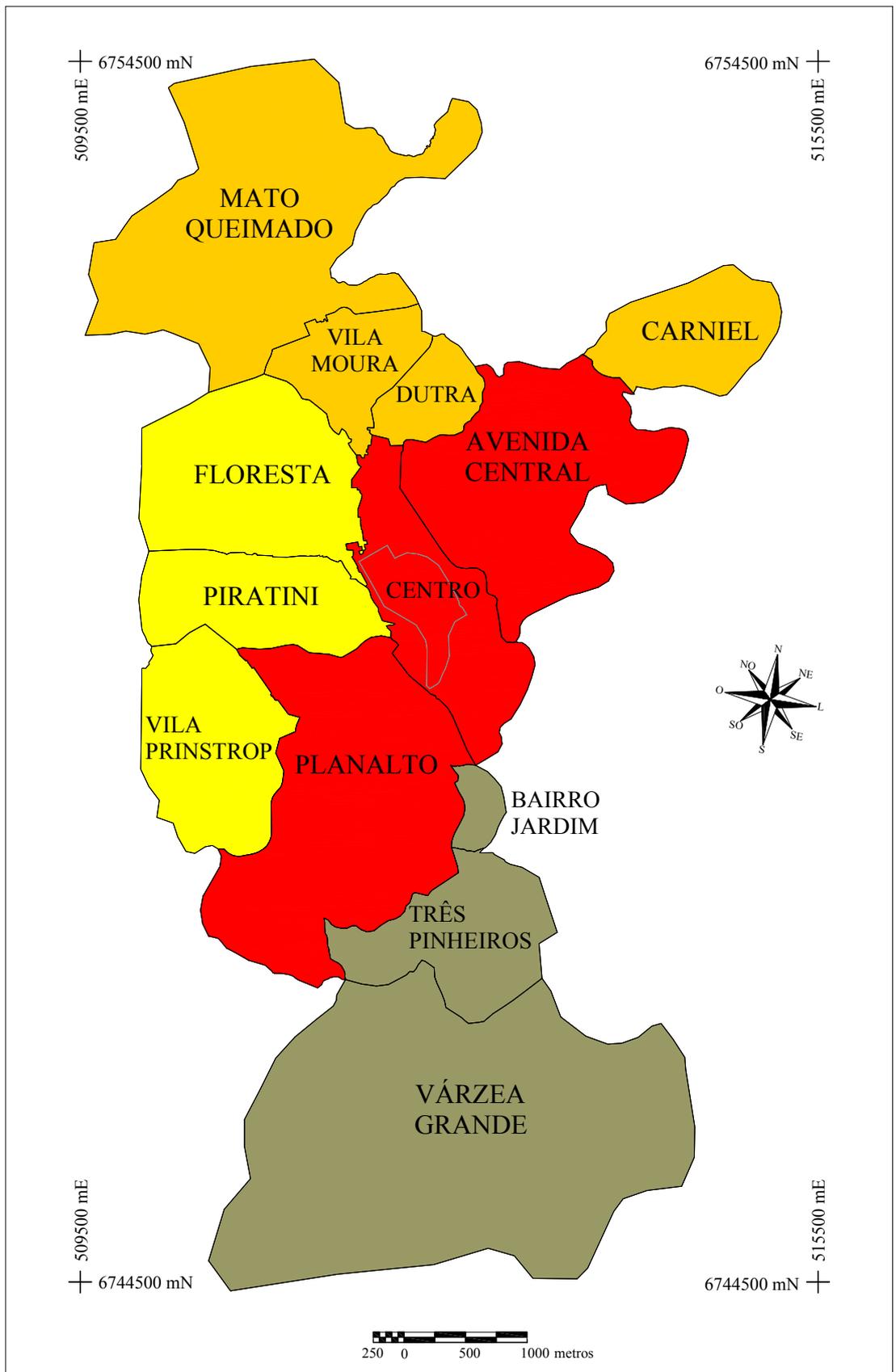
Figura 5.7 - Crescimento do Número de Edificações dos Bairros da Área Urbana de Gramado (1984-1999)

Considerando-se a evolução e o crescimento da ocupação urbana, podemos simplificar nossa análise agrupando os bairros com base em tais características homogêneas. Por exemplo, os bairros Centro, Avenida Central e Planalto apresentam características de crescimento semelhantes, e poderiam ser agrupados em uma área de estudo homogênea e mais ampla, neste trabalho convencionada como setor central da área urbana; por sua vez, partindo destes mesmos critérios, poderíamos agrupar os bairros Floresta, Piratini e Vila Prinstrop em um setor oeste, e assim por diante, para os bairros Mato Queimado, Vila Moura, Dutra e Carniel (setor norte), Várzea Grande, Jardim e Três Pinheiros (setor sul).

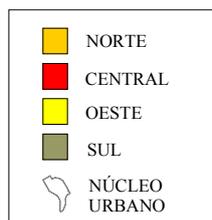
A localização dos referidos setores está indicada na figura 5.8, enquanto que os dados do número total e o crescimento percentual de edificações dos setores estão representados quantitativamente na tabela 5.2 e qualitativamente por gráficos de barras (figuras 5.9 e 5.10).

Tabela 5.2 - Quantificação e crescimento percentual das edificações dos setores da área urbana de Gramado (1984-1999)

SETOR	ANO				Crescimento Percentual (%)
	1984		1999		
	Nº Edificações	(%)	Nº Edificações	(%)	
<b>Norte</b>	292	7,6	1.788	17,5	512,33
<b>Sul</b>	643	16,7	2.387	23,4	271,23
<b>Oeste</b>	1.248	32,3	2.616	25,7	109,62
<b>Central</b>	1.673	43,4	3.410	33,4	103,83
<b>TOTAL</b>	<b>3.856</b>	<b>100,00</b>	<b>10.201</b>	<b>100,00</b>	<b>164,55</b>



SETORES E NÚCLEO DA ÁREA URBANA



PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

DATUM VERTICAL: MARÉGRAFO DE IMBITUBA - SC  
 DATUM HORIZONTAL: CHUA - MG (SAD-69)  
 ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 51° W. GR."  
 ACRESCIDAS AS CONSTANTES 10.000 KM E 500 KM RESPECTIVAMENTE  
 LIMITE DOS BAIRROS E DA ÁREA URBANA DELIMITADOS A PARTIR  
 DAS PLANTAS CADASTRAIS DIGITAIS ATUALIZADAS (MAIO-1999)

Figura 5.8 - Subdivisão da Área Urbana do Município de Gramado em Setores

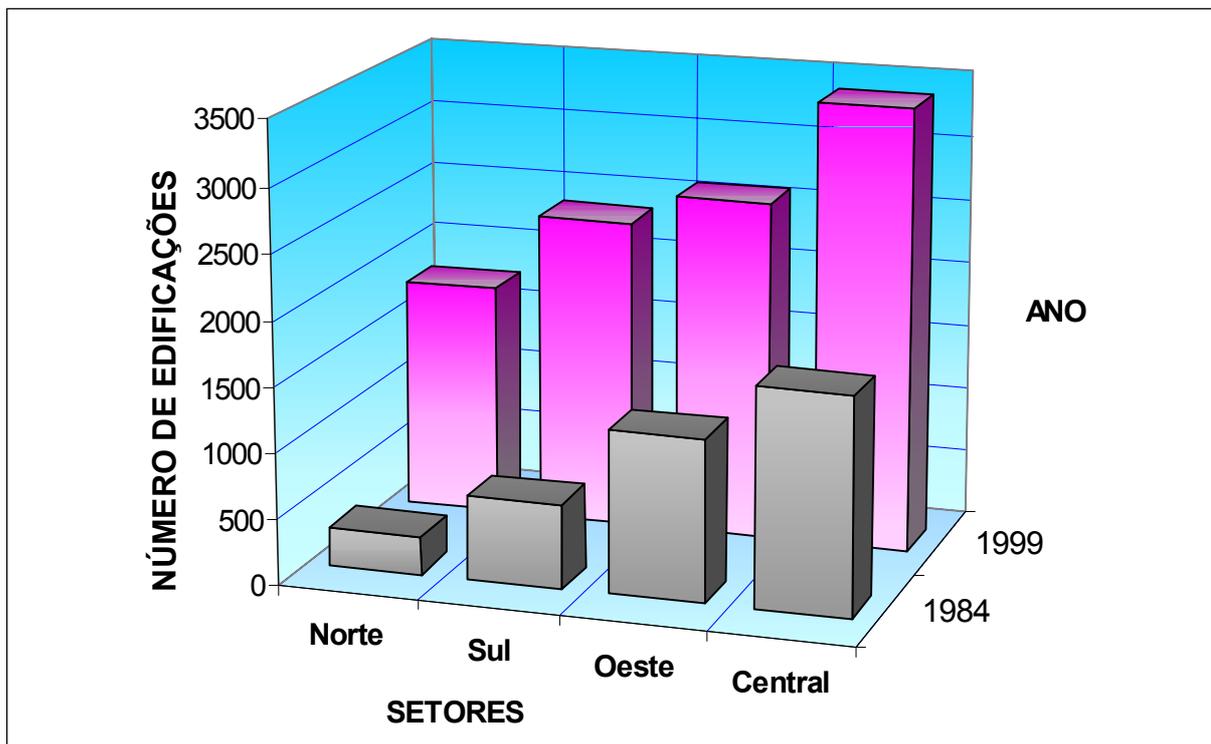


Figura 5.9 – Número total de edificações dos setores da área urbana de Gramado nos anos de 1984 e 1999

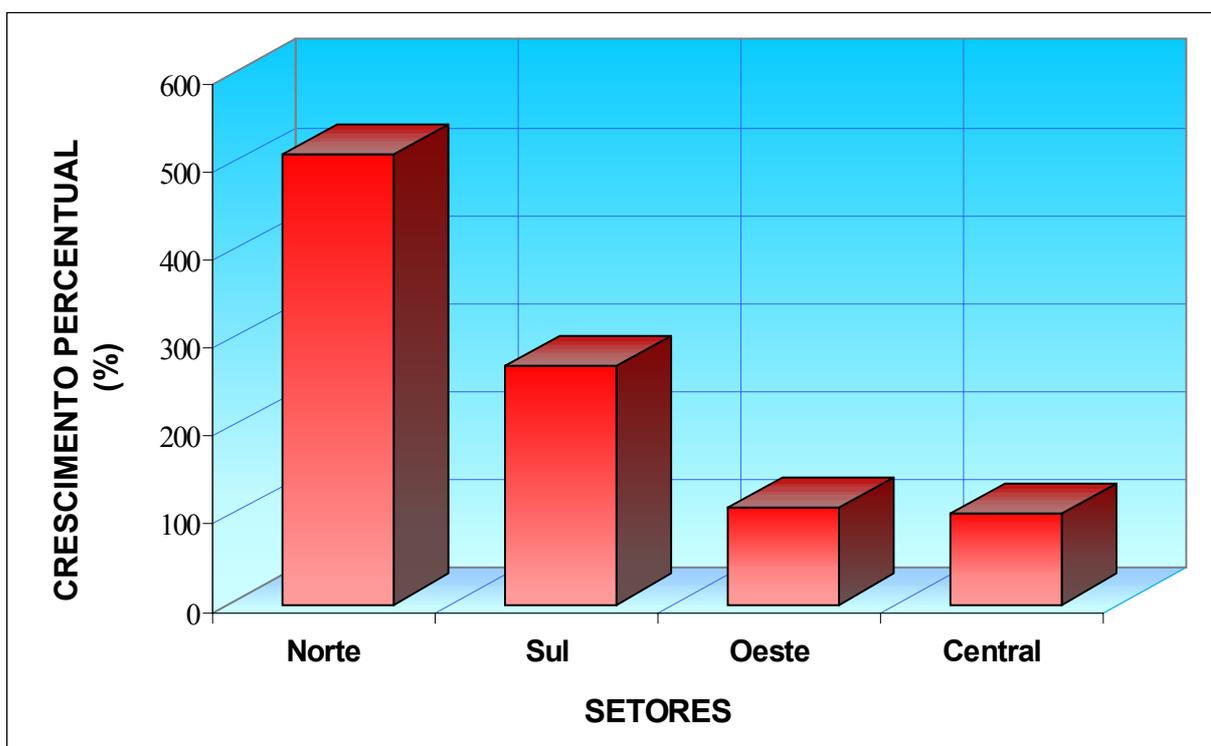


Figura 5.10 – Crescimento percentual do número de edificações dos setores da área urbana de Gramado entre os anos de 1984 e 1999

Com base nos dados tabulares e na análise dos gráficos, verificamos que o menor crescimento do número de edificações ocorreu nos setores central e oeste, onde os valores resultaram em torno dos 100%. Quanto às características da expansão da ocupação, observou-se um pequeno deslocamento da concentração urbana nos bairros mais antigos, como o Centro e o Avenida Central (figura 5.7), em razão do crescimento radial homogêneo das áreas centrais para os limites destes bairros. Entretanto, o mesmo não ocorreu nos bairros do setor oeste, onde o surgimento de muitos loteamentos próximos dos limites oeste e sudoeste deste setor resultaram em uma maior expansão da ocupação destas áreas.

Quanto ao setor norte da área urbana, o crescimento do número de edificações ocorreu substancialmente a partir da década de 70 e foi impulsionado pelo surgimento de muitos empreendimentos imobiliários nas décadas posteriores. Entre os anos de 1984 e 1999, os bairros Dutra, Vila Moura, Carniel e Mato Queimado apresentaram um crescimento médio de 512 %, cujo valor é o maior encontrado dentre os demais setores da área urbana, sendo duas vezes maior do que o calculado para o setor sul e de quase cinco vezes o do crescimento apresentado nos setores central e oeste.

Para se ter uma idéia bem clara da magnitude deste crescimento, verificamos que para o ano de 1984 existiam apenas um total de 292 edificações para os quatro bairros do setor norte. Após 15 anos, este valor foi superado pelo de um único bairro, com a menor área dentre os demais (bairro Dutra), cujo número de edificações chegou a 429 no ano de 1999 (tabela 5.2).

Até metade da década de 80, verificou-se uma concentração das edificações do setor norte próximas ao núcleo urbano, representando apenas 7,6% do total de edificações da área urbana. Com o surgimento de loteamentos mais afastados deste núcleo, ocorreu uma expansão de novas áreas ocupadas, chegando a um número de 1788 edificações para o ano de 1999.

No que se refere ao setor sul, os bairros Três Pinheiros, Jardim e Várzea Grande também experimentaram um crescimento superior ao dos bairros dos setores central e oeste da área urbana. O maior valor para o crescimento de toda a área urbana de

Gramado foi constatado no bairro Três Pinheiros, chegando à marca de 735%, como consequência da implantação de apenas um loteamento neste bairro.

Com uma área reduzida e limitando-se ao norte do Três Pinheiros, o bairro Jardim também provou um grande aumento na sua ocupação para este mesmo período, com um valor de 356% de crescimento. No entanto, a existência de apenas um loteamento e a área reduzida deste bairro implicaram um pequeno deslocamento da concentração de edificações, ao contrário do verificado para os demais bairros do setor sul da área urbana.

O bairro Várzea Grande é o maior de todos os bairros da área urbana de Gramado e atualmente apresenta o maior número de edificações, superando inclusive o Planalto e o Centro. Seu número total de edificações para o ano de 1999, se somado ao demais bairros do setor sul, representou 23,4 % do número total de edificações da área urbana de Gramado.

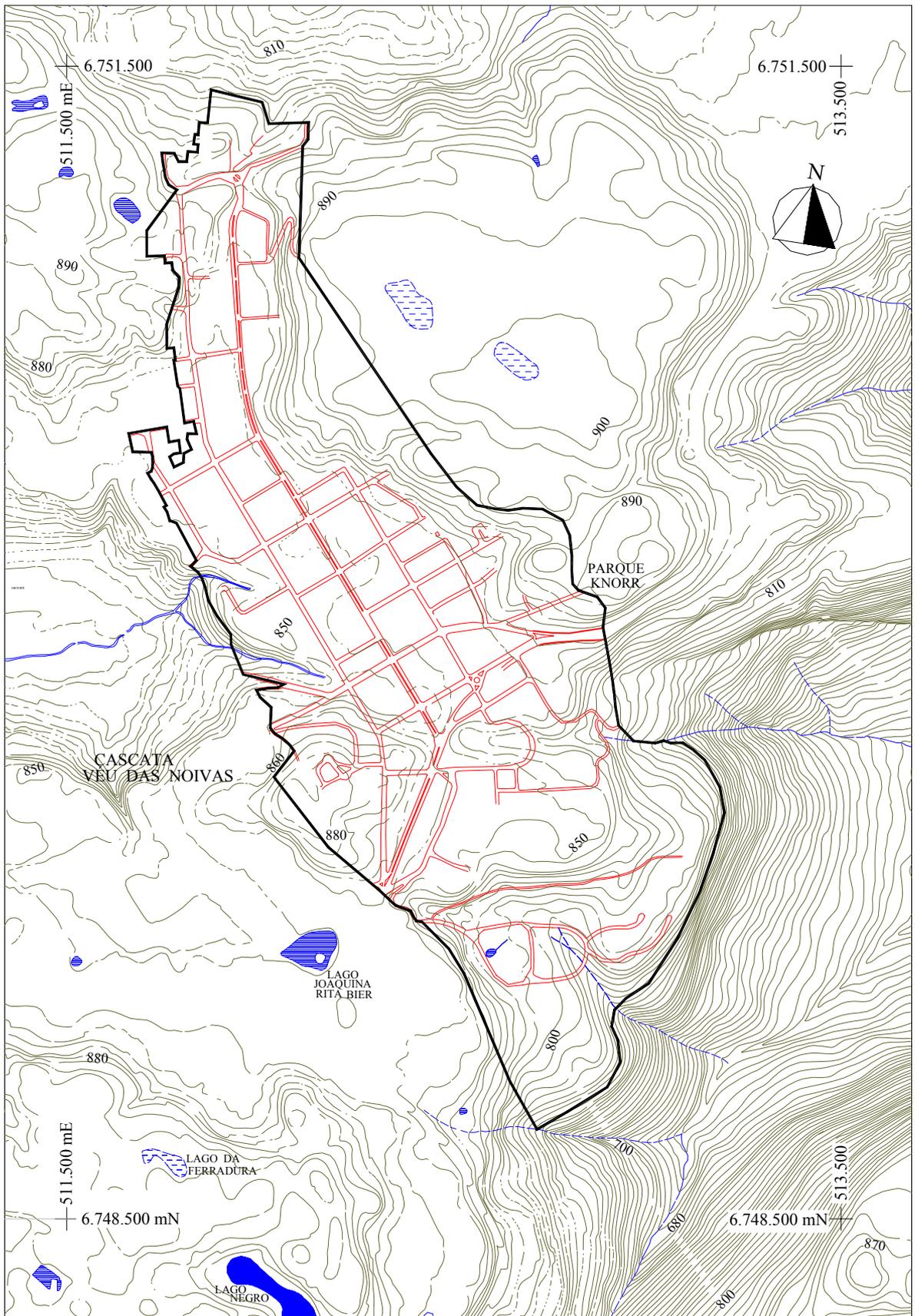
### **5.3.3 – Expansão da ocupação nos bairros da área urbana**

#### **5.3.3.1 – Setor central**

##### **5.3.2.1.1 – Bairro Centro**

O bairro Centro apresenta as melhores condições de infra-estrutura e a maior extensão de ruas pavimentadas por metro quadrado. As principais vias de acesso longitudinais são a rua São Pedro, avenida Borges de Medeiros, rua Ângelo Bisol e a rua Garibaldi. Quanto às ruas transversais, destacam-se as ruas Emílio Leobet e João Petry, além da avenida das Hortênsias (figura 5.12).

Quanto ao modelado de relevo (figura 5.11), observamos que a superfície é relativamente plana na região central deste bairro, com altitudes em torno de 850 m, elevando-se até 890 m nos limites do perímetro deste bairro, onde ocorrem encostas íngremes cobertas por uma densa mata nativa (exceto para noroeste), localizada em zonas de preservação paisagística.



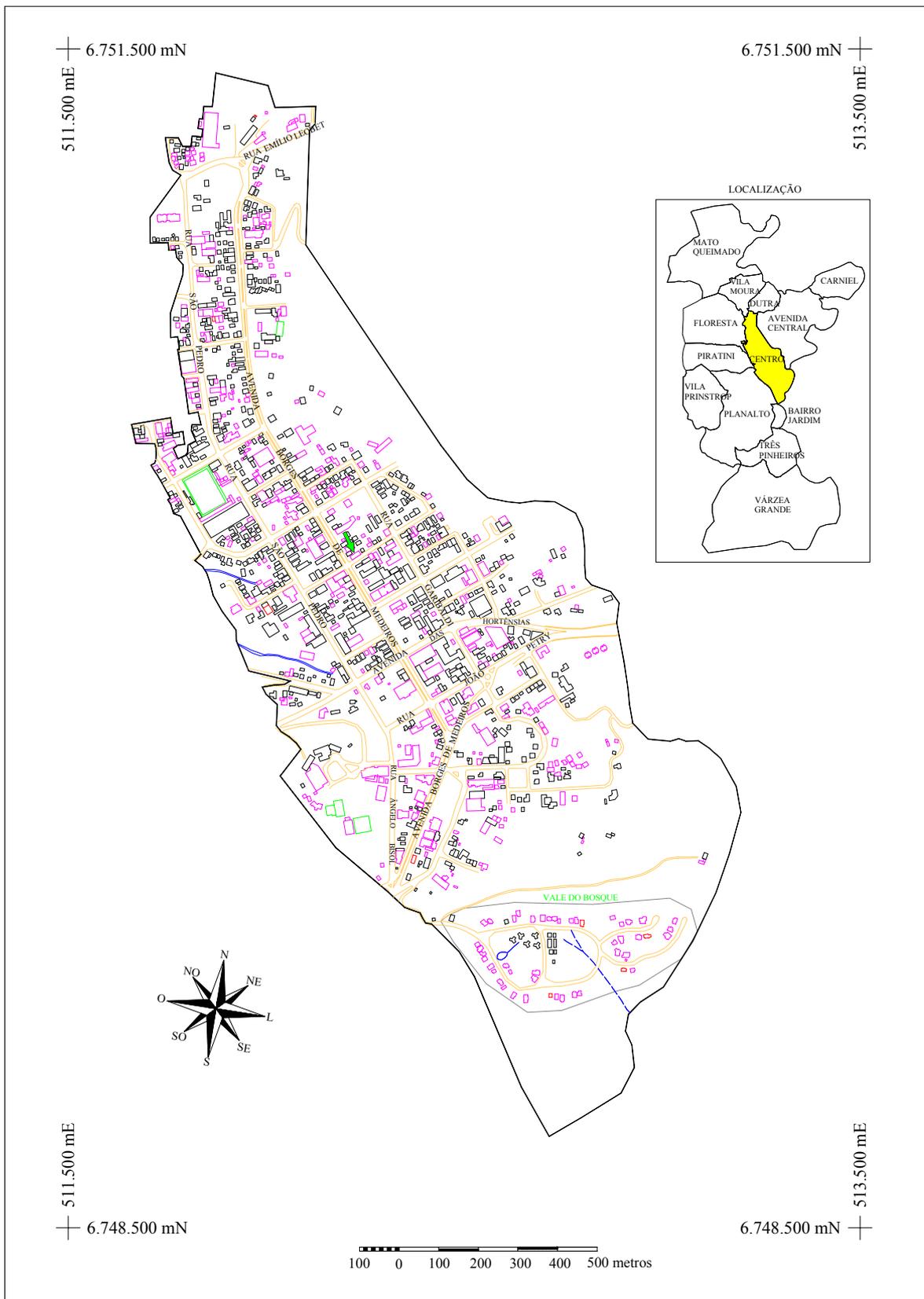
100 0 100 200 300 400 500 metros

LEGENDA	
ESTRADA PAVIMENTADA	
ESTRADA SECUNDÁRIA E RUAS	
LIMITES DO BAIRRO	
AÇUDE, BANHADO	
RIOS	
LAGOS	

### BAIRRO CENTRO PLANIALTIMETRIA

EQUIDISTÂNCIA DAS CURVAS DE NÍVEL: 5 METROS  
 PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
 DATUM VERTICAL: MARÉGRAFO DE IMBITUBA - SC  
 DATUM HORIZONTAL: CHUA - MG (SAD-69)  
 ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 51° W. GR."  
 ACRESCIDAS AS CONSTANTES 10.000 KM E 500 KM RESPECTIVAMENTE  
 Base cartográfica digitalizada a partir das plantas cadastrais na escala de 1:5.000, elaboradas através de levantamento aerofotogramétrico em 1984.

Figura 5.11 - Planialtimetria do Bairro Centro - Setor Central



**LEGENDA**

EDIFICAÇÕES DO CADASTRO DE 1984	
EDIFICAÇÕES DA ATUALIZAÇÃO CADASTRAL (1999)	
CAMPOS E QUADRAS	
CAMINHO	
ESTRADA PAVIMENTADA	
ESTRADA SECUNDÁRIA E RUAS	
LIMITES DO BAIRRO	
LIMITES DO LOTEAMENTO	
AÇUDE, BANHADO	
RIOS	
LAGOS	
VECTOR DE CRESCIMENTO	

**BAIRRO CENTRO**  
EXPANSÃO DA OCUPAÇÃO URBANA

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
DATUM VERTICAL: MARÉGRAFO DE IMBITUBA - SC  
DATUM HORIZONTAL: CHUA - MG (SAD-69)  
ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 51° W. GR."  
ACRESCIDAS AS CONSTANTES 10.000 KM E 500 KM RESPECTIVAMENTE

Base cartográfica digitalizada a partir das plantas cadastrais na escala de 1:5.000, elaboradas através de levantamento aerofotogramétrico em 1984. Atualização a partir do recobrimento aerofotográfico em 50 mm, executado em maio de 1999.

Figura 5.12 - Edificações e Loteamentos do Bairro Centro (maio/1999)

Além da zona de preservação paisagística, foram articuladas zonas de uso comercial, próximas às principais vias de acesso, e zonas de uso residencial especial, nas áreas periféricas.

No bairro Centro, localizam-se a sede da Prefeitura Municipal de Gramado, na avenida das Hortênsias, a Praça Major Nicoletti (avenidas Borges de Medeiros e das Hortênsias), a rodoviária (avenida Borges de Medeiros), a Igreja Matriz São Pedro e o Palácio dos Festivais (ambos em frente à praça Major Nicoletti).

A ocupação do bairro Centro é a mais antiga dentre as demais; até a década de 30, somente existiam ocupações nos bairros Centro e no Planalto, ao longo da avenida Borges de Medeiros. Somente uma década depois é que o bairro Avenida Central começou a ser ocupado, e durante a década de 50, os bairros Piratini e Floresta (setor oeste).

Com relação ao número de edificações deste bairro, foram quantificados 772 edificações para o ano de 1984, e um total de 1216 edificações para 1999, representando um crescimento de 57% (tabela 5.1), que é o menor valor de crescimento do número total de edificações para a área urbana de Gramado.

No que se refere ao sentido da expansão da ocupação, a mesma orientou-se para SSE, principalmente em função do aumento do número de ocupações residenciais na região meridional, localizadas no único loteamento existente neste bairro, o Vale do Bosque (1981), onde os terrenos são relativamente aplainados e favorecidos pela beleza cênica proporcionada por uma exuberante mata nativa.

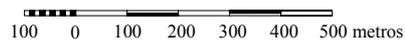
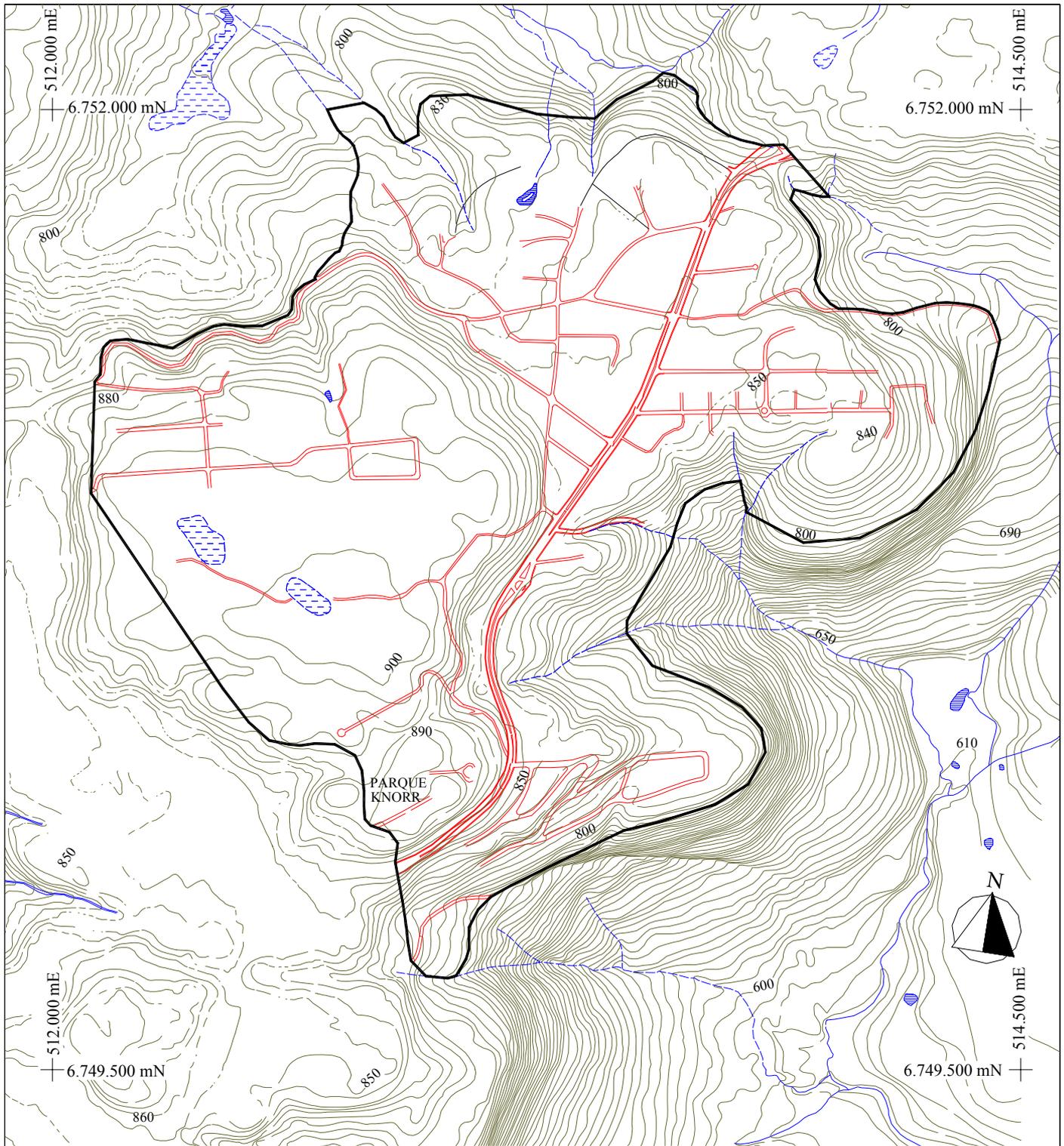
### 5.3.3.1.2 – Bairro Avenida Central

As maiores altitudes da área urbana estão situadas no bairro Avenida Central, chegando a 900 m na região SO deste bairro (figura 5.13). Quanto ao modelado de relevo, este é caracterizado por encostas íngremes, cujas declividades são mais expressivas nas regiões SE e S, chegando a valores em torno de 40°.

Através da observação do fotoíndice das FAPEF's, verificamos que a maior densidade da cobertura vegetal do bairro Avenida Central estende-se das áreas ao sul até os limites da rua Emílio Leobet e da avenida das Hortênsias. Na região meridional localiza-se o famoso ponto turístico conhecido como Parque Knorr, cuja extensão desenvolve-se sobre uma zona de preservação paisagística. Na região oeste deste bairro ocorrem banhados e áreas alagadiças, em altitudes de 890 a 900 m. As áreas a NE da rua Emílio Leobet são planas e apresentam altitudes relativamente mais baixas, de 840 a 850 m, com uma densa cobertura vegetal localizada nos limites setentrionais do bairro estudado.

Basicamente, a ocupação do Bairro Avenida Central iniciou na década de 40, a NE, e próxima ao encontro da rua Emílio Leobet com a avenida das Hortênsias. A partir da década de 60, surgiram ocupações residenciais a leste e a ocupação começou a se expandir para SO, com função tipicamente comercial, ao longo da avenida das Hortênsias. A concentração urbana ao longo deste eixo continuou a se ampliar na década de 70, mas surgiram novas áreas de ocupação, na região oeste e central do bairro, próximo ao encontro da rua Emílio Leobet com a avenida Borges de Medeiros, nos loteamentos Vila Suíça (1974) e Belvedere (1979).

Dados das plantas cadastrais de 1984 indicam o surgimento de novas áreas ocupadas no sul deste bairro (figura 5.14), com os loteamentos São Miguel (1978) e o Jardim Bela Vista (1978). Entretanto, o maior número de edificações foi encontrado a NE, próximo à avenida das Hortênsias, caracterizando-se pelos usos residencial, comercial e de serviços.



LEGENDA	
ESTRADA PAVIMENTADA	
ESTRADA SECUNDÁRIA E RUAS	
LIMITES DO BAIRRO	
AÇUDE, BANHADO	
RIOS	
LAGOS	

## BAIRRO AVENIDA CENTRAL

### PLANIALTIMETRIA

EQÜIDISTÂNCIA DAS CURVAS DE NÍVEL: 5 METROS

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

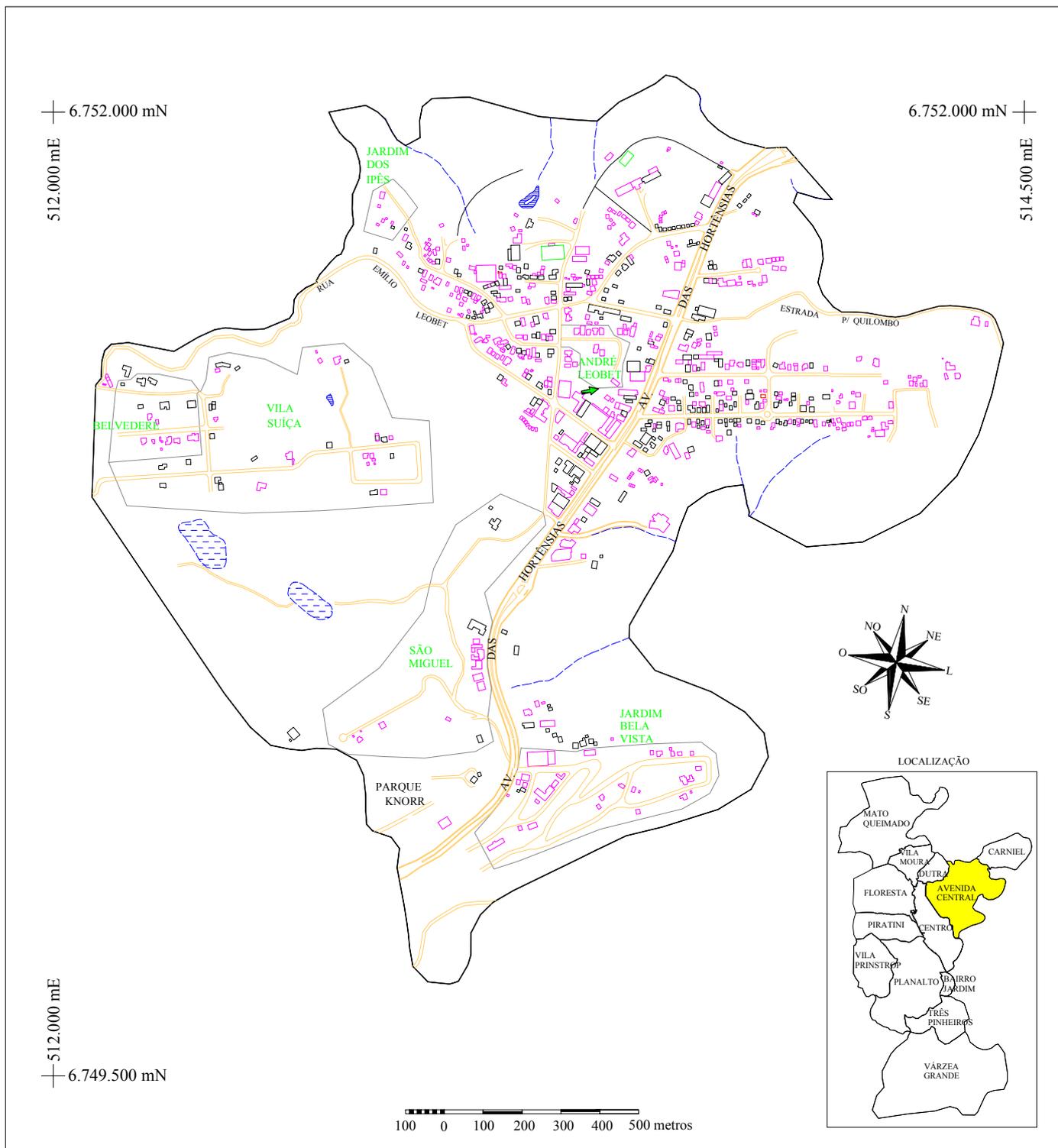
DATUM VERTICAL: MARÉGRAFO DE IMBITUBA - SC

DATUM HORIZONTAL: CHUA - MG (SAD-69)

ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 51 "W. GR."  
ACRESCIDAS AS CONSTANTES 10.000 KM E 500 KM RESPECTIVAMENTE

Base cartográfica digitalizada a partir das plantas cadastrais na escala de 1:5.000, elaboradas através de levantamento aerofotogramétrico em 1984.

Figura 5.13 - Planialtimetria do Bairro Avenida Central - Setor Central



LEGENDA	
EDIFICAÇÕES DO CADASTRO DE 1984	
EDIFICAÇÕES DA ATUALIZAÇÃO CADASTRAL (1999)	
CAMPOS E QUADRAS	
CAMINHO	
ESTRADA PAVIMENTADA	
ESTRADA SECUNDÁRIA E RUAS	
LIMITES DO BAIRRO	
LIMITES DO LOTEAMENTO	
AÇUDE, BANHADO	
RIOS	
LAGOS	
VETOR DE CRESCIMENTO	

## BAIRRO AVENIDA CENTRAL

### EXPANSÃO DA OCUPAÇÃO URBANA

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

DATUM VERTICAL: MARÉGRAFO DE IMBITUBA - SC

DATUM HORIZONTAL: CHUA - MG (SAD-69)

ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 51° W. GR."

ACRESCIDAS AS CONSTANTES 10.000 KM E 500 KM RESPECTIVAMENTE

Base cartográfica digitalizada a partir das plantas cadastrais na escala de 1:5.000, elaboradas através de levantamento aerofotogramétrico em 1984. Atualização a partir do recobrimento aerofotográfico em 50 mm, executado em maio de 1999.

Figura 5.14 - Edificações e Loteamentos do Bairro Avenida Central (maio/1999)

O mapeamento temático e a consulta ao banco de dados revelou um crescimento de 181,7 %, orientado para NE. Esta tendência de crescimento pode ser explicada pelo surgimento de edificações residenciais ao longo de ruas transversais à avenida das Hortênsias, além de estabelecimentos comerciais ao longo desta avenida principal, que permite o acesso para a região NE da área urbana. Ao atravessar o bairro Avenida Central na direção NE, a avenida das Hortênsias permite o acesso ao bairro Carniel, além de apresentar um papel fundamental para a comunicação viária com o município de Canela.

#### **5.3.3.1.3 – Bairro Planalto**

O bairro Planalto limita-se com os bairros Piratini (N), Centro (NE), Jardim (L), Três Pinheiros (SE), Várzea Grande (S) e Vila Prinstrop (NO). A principal via de acesso é a avenida das Hortênsias, que estende-se até a RS 235 (para o município de Nova Petrópolis), assumindo destaque algumas ruas transversais, como a Leopoldo Rosenfeld e a João Alfredo Schneider, que comunicam-se com a avenida Borges de Medeiros (figura 5.16). Outras importantes ruas são a Piratini e a João Leopoldo Lied, muito utilizada para o acesso ao Lago Negro. A comunicação para a região sul e sudoeste é feita pela rua Querino Ary Candiago, ligando-se à estrada para a Linha Tapera, que é uma das localidades a sudeste da área urbana de Gramado.

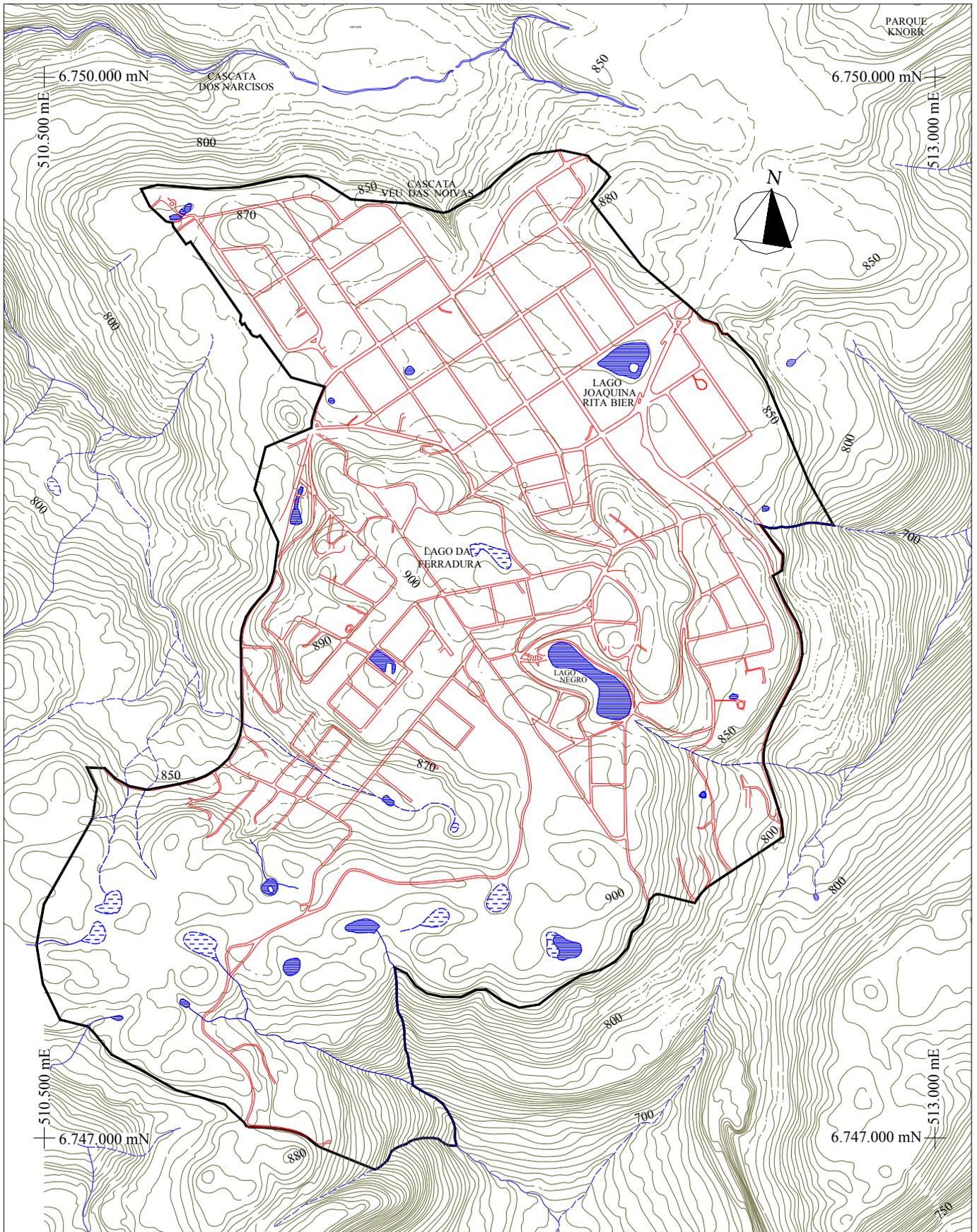
Para o zoneamento das áreas deste bairro, o plano diretor de Gramado definiu zonas de uso residencial, residencial especial, comercial e de preservação paisagística. Em geral, as zonas de uso comercial estão localizadas em lotes próximos às avenidas principais, como a Borges de Medeiros e a avenida das Hortênsias. As zonas de uso residencial localizam-se a sudoeste, nos loteamentos Tirol de Gramado (1958), Ipê Amarelo (1981) e o das Pedreiras (sem protocolo), a NNO, no Loteamento Eichemberg (1978), e na região sul do Planalto, no loteamento Lago Negro (1996). Além destes loteamentos, encontramos uso residencial na maioria das ruas que se comunicam com as principais avenidas, em quase todas as regiões do bairro Planalto, com exceção da região meridional, onde localiza-se a maior cobertura de mata nativa.

As zonas residencial especial, que também permitem a atividade comercial, localizam-se nos loteamentos situados próximos à estrada de rodagem RS 235, bem como em áreas circundando parques e lagos (pontos turísticos).

Dentre os principais pontos turísticos, destacam-se o Lago Joaquina Rita Bier, localizado na região nordeste do bairro Planalto, com uma área de 1,7 ha e um espaço cercado por vivendas, hotéis e araucárias, e o Lago Negro, de origem artificial, resultado da construção de uma barragem, em 1953. Este nome advém de suas águas escuras, e sua beleza natural é ainda mais imponente pela presença de coníferas trazidas da Floresta Negra, Alemanha, em 1953, sendo circundado por hortênsias, azaléias e ciprestes.

Com relação às características físicas deste bairro, podemos afirmar que o modelado de relevo é constituído predominantemente por morros altos com topos planos, com altitudes em torno de 870 m (figura 5.15). Afora dos limites deste bairro, na região sul, ocorrem declives de até 40°, chegando à altitude de 770 m na base das encostas. Nestes declives, desenvolve-se uma densa mata nativa, situada em uma zona de preservação paisagística. Em geral, estas zonas de preservação paisagística estão localizadas nas áreas de mata nativa próximas às avenidas principais que cruzam o bairro, nas encostas dos morros e ao longo das áreas que circundam lagos.

Nos limites oeste e sudoeste, as altitudes médias chegam a 850 m, onde está localizada a avenida das Hortênsias. A sudoeste, ocorrem extensos vales em altitudes de 840 m, com redes de drenagem perenes, diversos lagos e áreas alagadiças, próximas de loteamentos com grande arborização, como o Loteamento das Pedreiras e o Ipê Amarelo. Os terrenos elevam-se a 890 m na região central, onde também ocorre um considerável número de lagos, como o Lago da Ferradura e o Lago Negro.



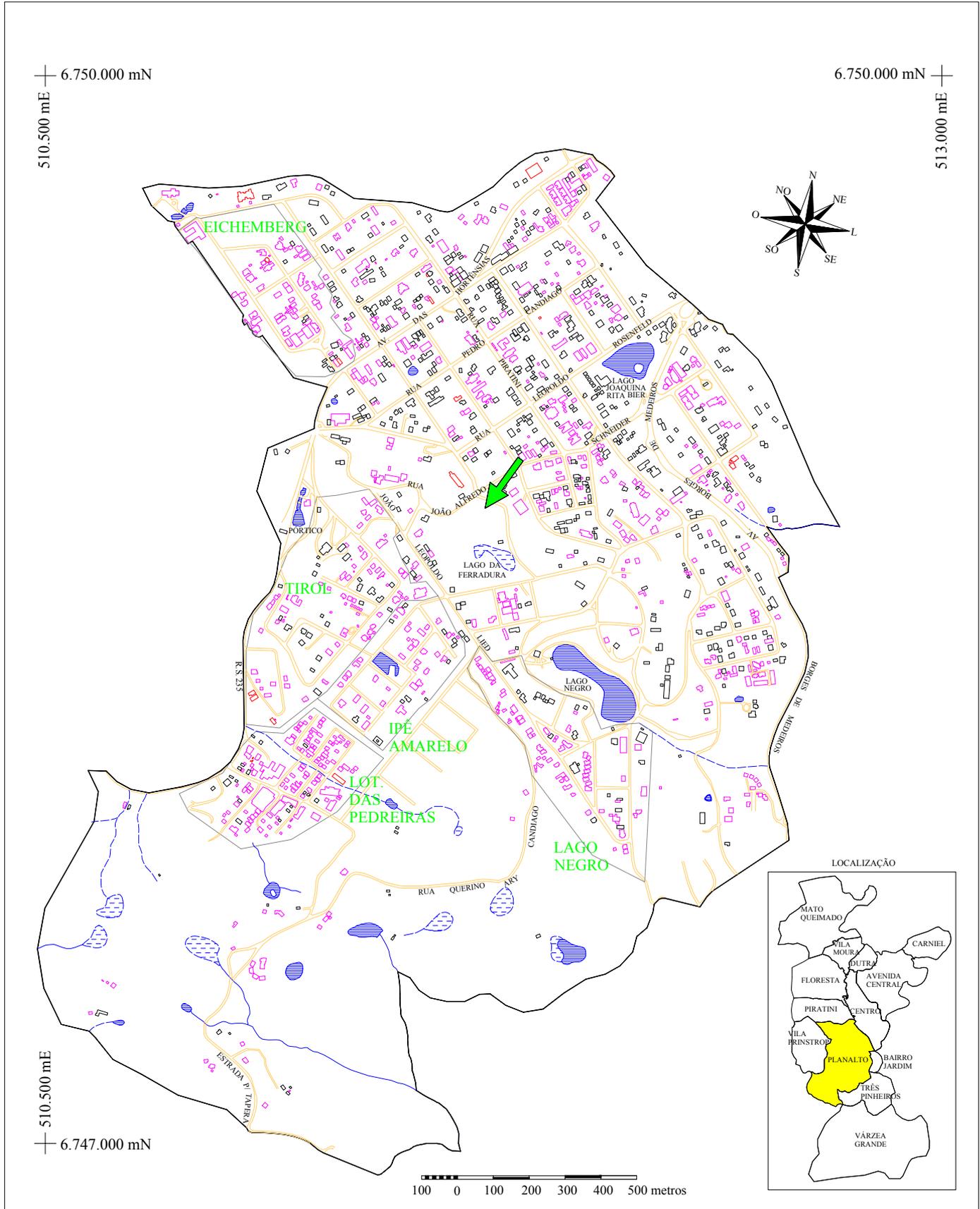
100 0 100 200 300 400 500 metros

LEGENDA	
ESTRADA PAVIMENTADA	
ESTRADA SECUNDÁRIA E RUAS	
LIMITES DO BAIRRO	
AÇUDE, BANHADO	
RIOS	
LAGOS	

### BAIRRO PLANALTO PLANIALTIMETRIA

EQUIDISTÂNCIA DAS CURVAS DE NÍVEL: 5 METROS  
 PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
 DATUM VERTICAL: MARÉGRAFO DE IMBITUBA - SC  
 DATUM HORIZONTAL: CHUA - MG (SAD-69)  
 ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 51 "W. GR."  
 ACRESCIDAS AS CONSTANTES 10.000 KM E 500 KM RESPECTIVAMENTE  
 Base cartográfica digitalizada a partir das plantas cadastrais na escala de 1:5.000, elaboradas através de levantamento aerofotogramétrico em 1984.

Figura 5.15 - Planialtimetria do Bairro Planalto - Setor Central



**LEGENDA**

EDIFICAÇÕES DO CADASTRO DE 1984	
EDIFICAÇÕES DA ATUALIZAÇÃO CADASTRAL (1999)	
CAMPOS E QUADRAS	
CAMINHO	
ESTRADA PAVIMENTADA	
ESTRADA SECUNDÁRIA E RUAS	
LIMITES DO BAIRRO	
LIMITES DO LOTEAMENTO	
AÇUDE, BANHADO	
RIOS	
LAGOS	
VETOR DE CRESCIMENTO	

**BAIRRO PLANALTO**  
EXPANSÃO DA OCUPAÇÃO URBANA

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
 DATUM VERTICAL: MARÉGRAFO DE IMBITUBA - SC  
 DATUM HORIZONTAL: CHUA - MG (SAD-69)  
 ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 51 "W. GR."  
 ACRESCIDAS AS CONSTANTES 10.000 KM E 500 KM RESPECTIVAMENTE

Base cartográfica digitalizada a partir das plantas cadastrais na escala de 1:5.000, elaboradas através de levantamento aerofotogramétrico em 1984. Atualização a partir do recobrimento aerofotográfico em 50 mm, executado em maio de 1999.

**Figura 5.16 - Edificações e Loteamentos do Bairro Planalto (maio/1999)**

Ferraro (1982) constatou que existiam edificações no Bairro Planalto desde o final da década de 1920, localizadas nas proximidades da avenida Borges de Medeiros. Estas edificações eram utilizadas como pequenos estabelecimentos comerciais, com exceção de um hotel, em frente ao Lago Joaquina Rita Bier.

Na década de 40, surgiram algumas residências de moradores e de veraneio, e o crescimento do setor comercial mostrou-se bastante lento. No decorrer desta década, a concentração urbana, que estava na região leste, expandiu-se para o norte, próxima à avenida das Hortênsias, com característica predominantemente residencial. Por sua vez, começaram a surgir residências na região central, próximas ao Lago Negro (1953).

Nos anos 60, surgiram muitos hotéis, e a expansão das residências orientou-se para S, O e NO, limitando-se até a rua João Leopoldo Lied. Durante a década de 70, as demais regiões apresentaram grande crescimento, com exceção da região sul, que é praticamente inadequada para a ocupação urbana, em função das áreas inundáveis, grandes declividades e da extensa área de mata nativa.

As plantas cadastrais de 1984 mostraram uma evolução da ocupação urbana para oeste, em grande parte desenvolvida nas áreas do loteamento Tirol de Gramado. O mapeamento temático indicou uma mudança nesta tendência de crescimento para o ano de 1999, que passou a orientar-se para a direção sudoeste, como resultado das ocupações dos loteamentos Tirol de Gramado, Ipê Amarelo e Loteamento das Pedreiras. O vetor de crescimento demonstrou ainda um grande deslocamento do centróide do ano de 1984 para o de 1999 (figura 5.16), que pode ser interpretado como o resultado de uma mudança do padrão de concentração de edificações da região setentrional para as áreas a oeste e sudoeste.

Totalizando um número de 1442 edificações em 1999, em função de um crescimento de 128% em 15 anos, o bairro Planalto apresentou o segundo maior número total de edificações dentre os demais bairros da área urbana de Gramado, conforme dados apresentados na tabela 5.1.

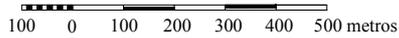
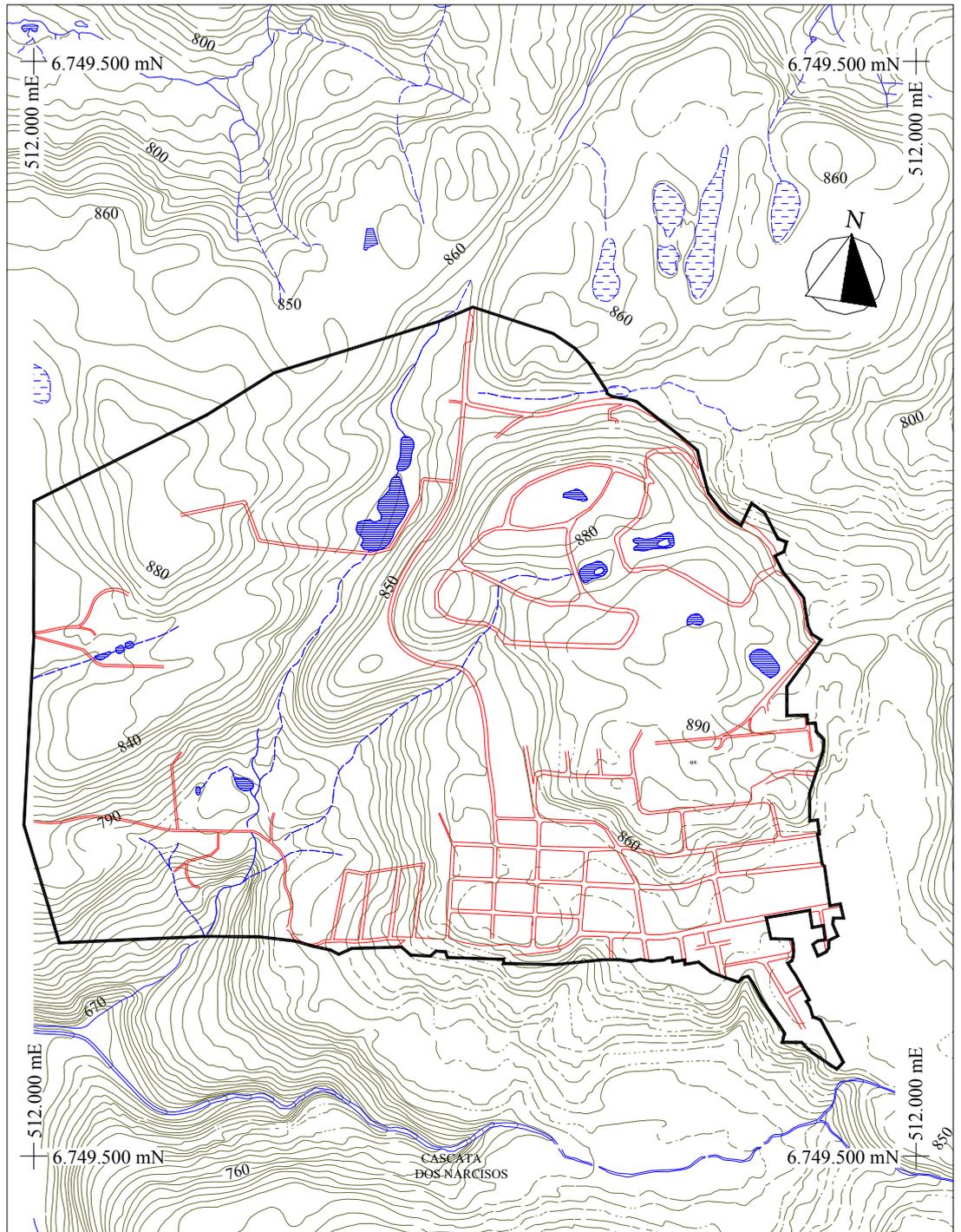
### **5.3.3.2 – Setor oeste**

#### **5.3.3.2.1 – Bairro Floresta**

No bairro Floresta, duas importantes ruas interligam-se e seccionam o bairro, no sentido N-S: a rua Prefeito Waldemar Frederico Weber e a rua São Jorge (figura 5.18). À leste deste principal eixo viário, ocorrem áreas com relevo plano e com altitude média de 880 m, caracterizadas por um grande número de lagos (figura 5.17). A oeste deste eixo, observamos terrenos com declives de até 20°, chegando a diferenças de nível de até 30 m (altitude de 850 m), próximos da rua Serafim Benetti. Nesta orientação, ocorrem muitos lagos e cursos d'água perenes e intermitentes, que são tributários do rio Piratini. As áreas a NE, L e SO caracterizam-se pela presença de grandes áreas de matas nativas de encosta.

No que diz respeito ao processo de ocupação do bairro Floresta, este iniciou na região SE, no início da década de 50, no encontro da rua Tristão de Oliveira com a rua São Pedro. A característica predominante era a de residência de moradores, com a presença de alguns prédios comerciais. Com o passar de uma década, houve uma grande expansão da área residencial para oeste, até a rua São Jorge. Somente a partir do final da década de 70, surgiram residências na região setentrional, onde localiza-se o loteamento Colina dos Lagos (1979). Outros importantes loteamentos deste bairro são o Monte Verde (1981), na região central, o Recanto Virgínia (1986), ao sul, e o loteamento Irmãos Benetti (1992), a sudoeste.

A região sudoeste teve uma inexpressiva ocupação até a década de 1980. Durante as décadas de 80 e 90, surgiram muitos prédios residenciais, concentrando-se ainda na direção sul. Apesar desta tendência de concentração, favorecida por empreendimentos imobiliários, como o loteamento Irmãos Benetti (1992), surgiram novas áreas de ocupação em meados da década de 80, com a construção de alguns hotéis e prédios residenciais localizados nas regiões N e NO, onde também ocorrem pequenas indústrias (manufatureiras e de artesanatos).



LEGENDA	
ESTRADA PAVIMENTADA	
ESTRADA SECUNDÁRIA E RUAS	
LIMITES DO BAIRRO	
AÇUDE, BANHADO	
RIOS	
LAGOS	

## BAIRRO FLORESTA PLANIALTIMETRIA

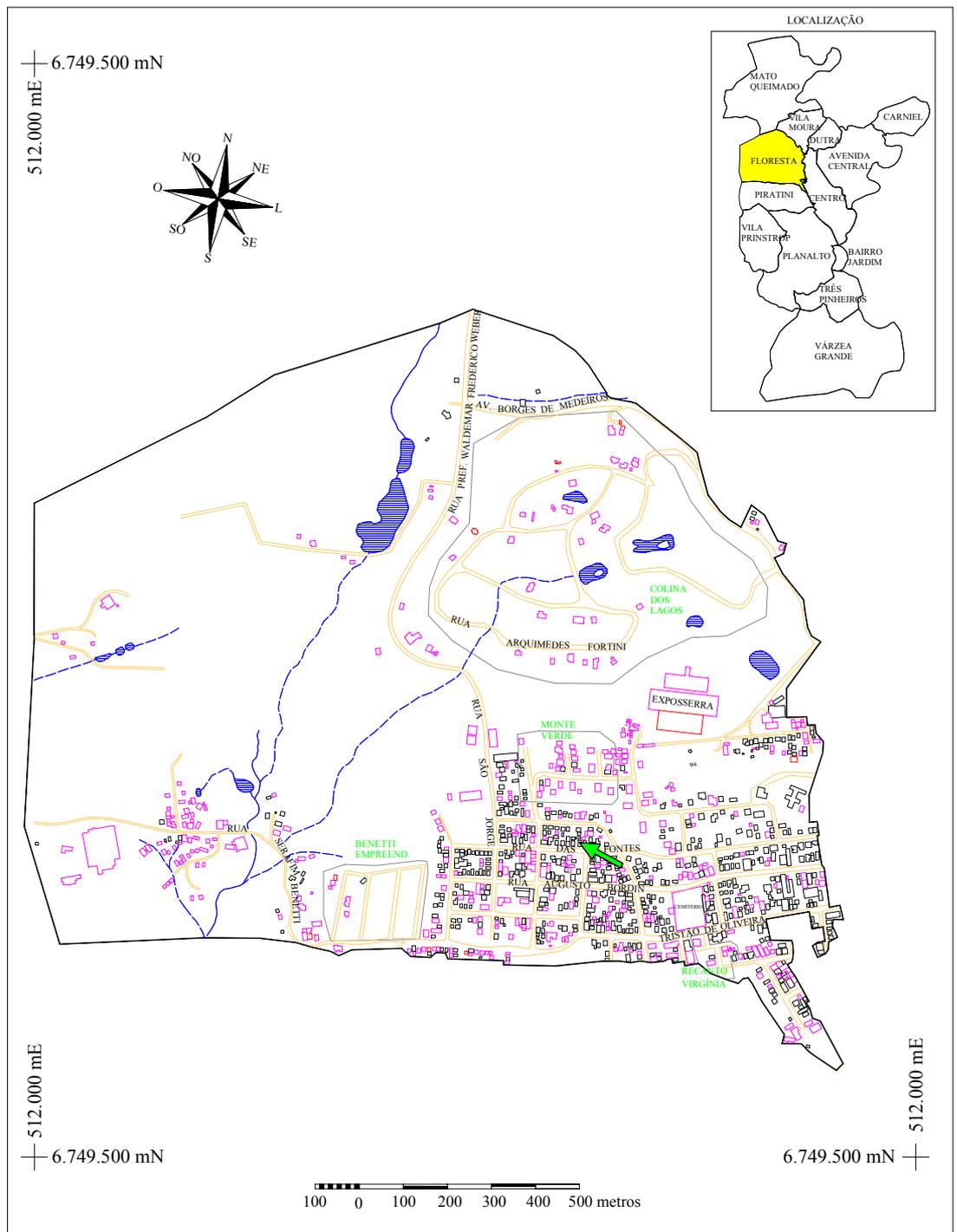
EQUIDISTÂNCIA DAS CURVAS DE NÍVEL: 5 METROS  
PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

DATUM VERTICAL: MARÉGRAFO DE IMBITUBA - SC  
DATUM HORIZONTAL: CHUA - MG (SAD-69)

ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 51° W. GR."  
ACRESCIDAS AS CONSTANTES 10.000 KM E 500 KM RESPECTIVAMENTE

Base cartográfica digitalizada a partir das plantas cadastrais na escala de 1:5.000, elaboradas através de levantamento aerofotogramétrico em 1984.

Figura 5.17 - Planialtimetria do Bairro Floresta - Setor Oeste



LEGENDA	
EDIFICAÇÕES DO CADASTRO DE 1984	
EDIFICAÇÕES DA ATUALIZAÇÃO CADASTRAL (1999)	
CAMPOS E QUADRAS	
CAMINHO	
ESTRADA PAVIMENTADA	
ESTRADA SECUNDÁRIA E RUAS	
LIMITES DO BAIRRO	
LIMITES DO LOTEAMENTO	
ACUDE, BANHADO	
RIOS	
LAGOS	
VETOR DE CRESCIMENTO	

**BAIRRO FLORESTA**  
EXPANSÃO DA OCUPAÇÃO URBANA

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
DATUM VERTICAL: MARÉGRAFO DE IMBITUBA - SC  
DATUM HORIZONTAL: CHUA - MG (SAD-69)  
ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 51° W. GR."  
ACRESCIDAS AS CONSTANTES 10.000 KM E 500 KM RESPECTIVAMENTE

Base cartográfica digitalizada a partir das plantas cadastrais na escala de 1:5.000, elaboradas através de levantamento aerofotogramétrico em 1984. Atualização a partir do recobrimento aerofotográfico em 50 mm, executado em maio de 1999.

Figura 5.18 - Edificações e Loteamentos do Bairro Floresta (maio/1999)

Para o bairro Floresta, o plano diretor de Gramado define basicamente zonas de uso residencial, localizadas nos loteamentos anteriormente citados, de uso residencial especial (com comércio), a NE, de uso comercial (ao longo das ruas Borges de Medeiros, São Pedro e parte da rua Tristão de Oliveira) e de uso industrial (regiões meridional e oeste).

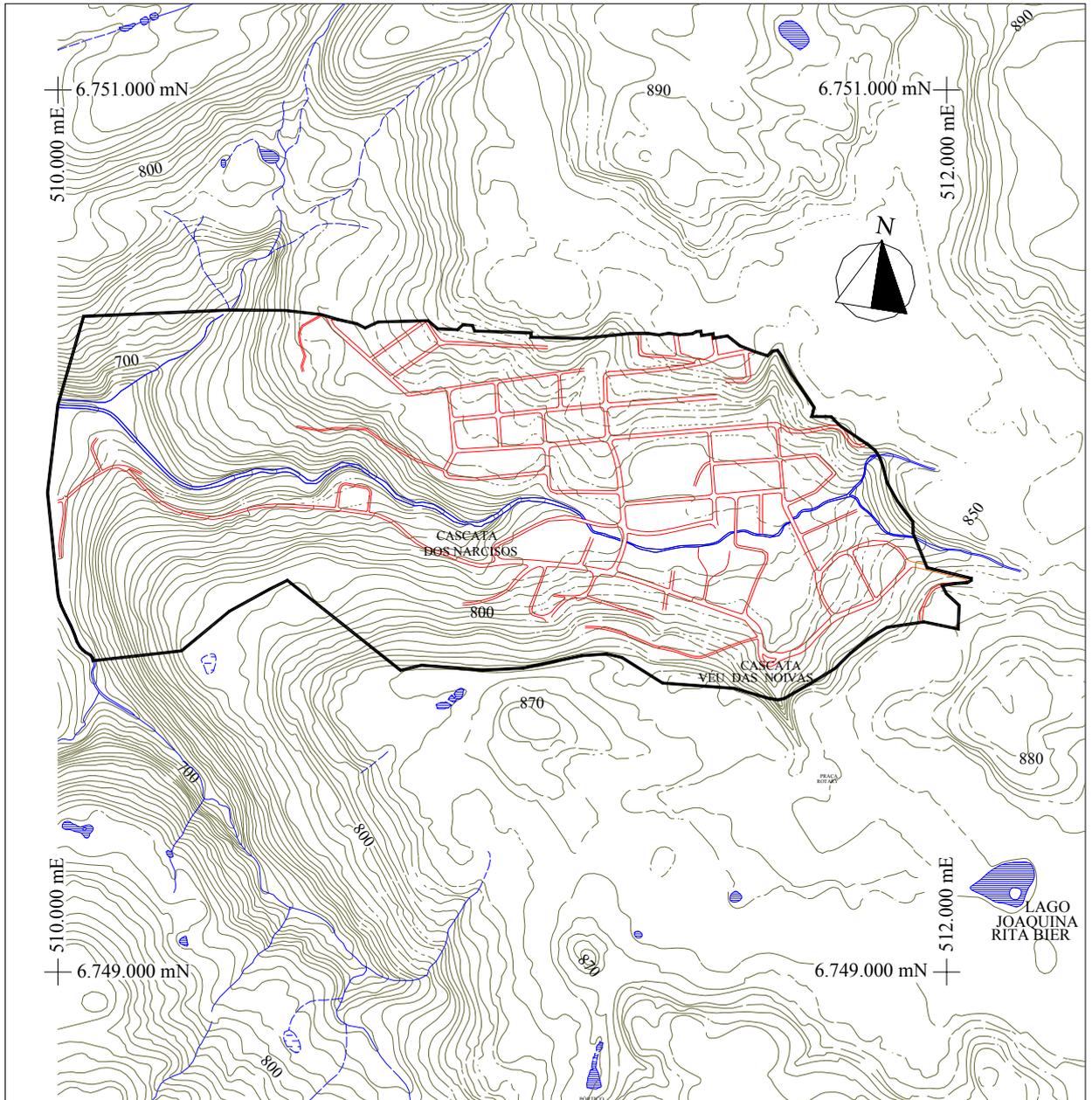
Com relação ao crescimento da ocupação, verificou-se que o bairro Floresta apresentou um dos menores valores de crescimento com relação aos demais bairros da área urbana de Gramado. O número total de edificações apresentou um crescimento de 80,5 % em um período de 15 anos. Até o ano de 1984, existiam 555 prédios, e em 1999, foram quantificados um número total de 1002 edificações (tabela 5.1).

A representação vetorial indicou uma direção de crescimento para NO, em função dos investimentos imobiliários nos loteamentos Monte Verde e Benetti Empreendimentos, somado à ocorrência de indústrias em zonas definidas pelo plano diretor, em áreas da região oeste do bairro Floresta.

#### **5.3.3.2.2 – Bairro Piratini**

As principais vias de acesso do bairro Piratini são a rua Dom Pedro I, que percorre toda a extensão do bairro no sentido L-O, e comunica-se com a avenida das Hortênsias através das ruas Antônio Balzaretto, e Getúlio Vargas, também longitudinal e com acesso ao bairro Centro (figura 5.20).

Com relação ao modelado de relevo (figura 5.19), verificamos que este bairro apresenta áreas planas, com altitude de 780 m, entre as ruas Getúlio Vargas e Dom Pedro I, onde localiza-se o Campo de Futebol Ortopé. A oeste e ao sul, ocorre uma densa mata nativa de encosta, que está situada em uma zona de preservação paisagística. Além de matas de encosta, ocorrem capões e uma vegetação de gramíneas que se desenvolve em áreas mais rebaixadas, na região sudoeste. As zonas de preservação paisagística, estão localizadas nos limites das matas de encosta e nas matas de galeria do rio Piratini.



100 0 100 200 300 400 500 metros

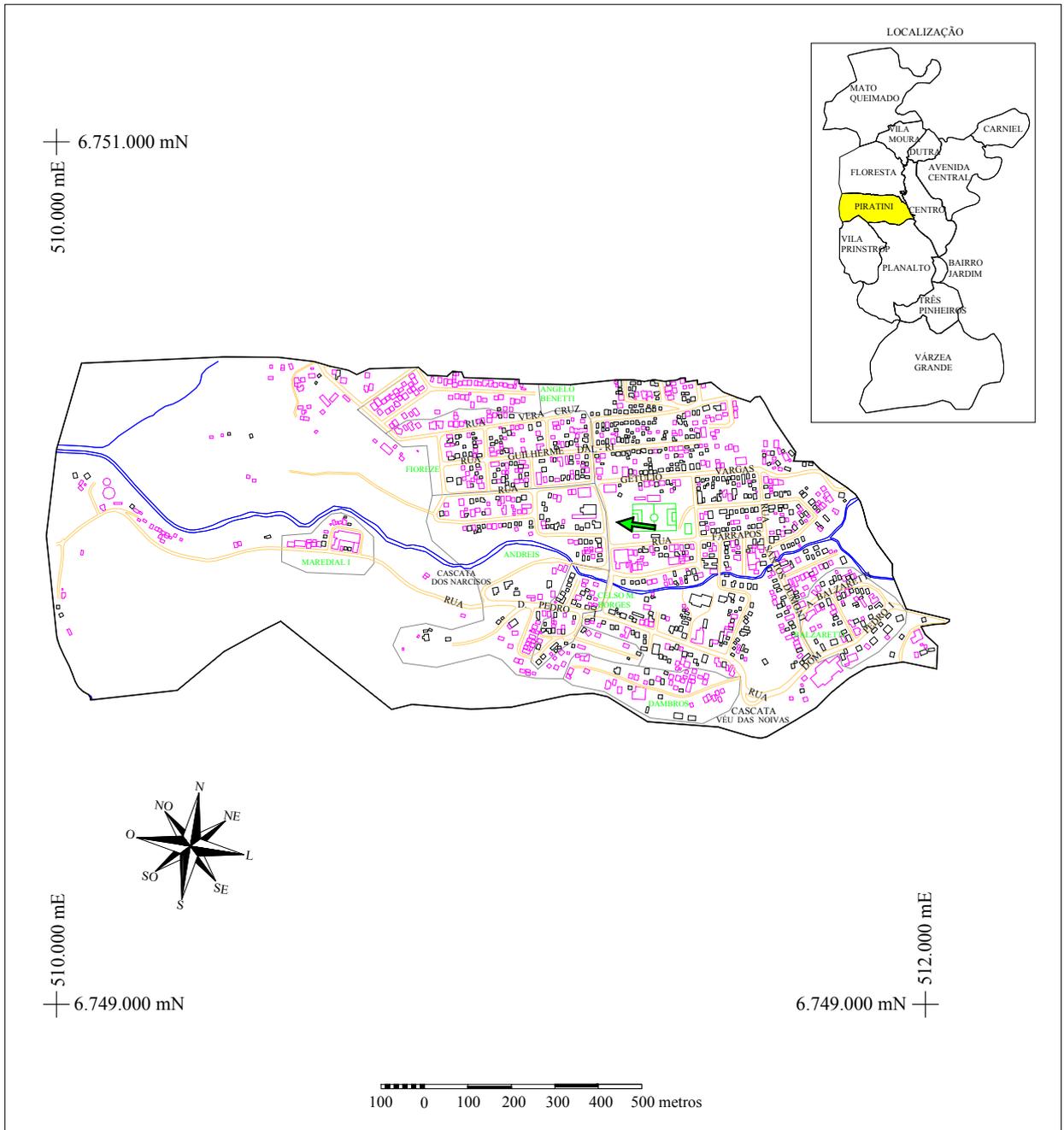
LEGENDA	
ESTRADA PAVIMENTADA	
ESTRADA SECUNDÁRIA E RUAS	
LIMITES DO BAIRRO	
AÇUDE, BANHADO	
RIOS	
LAGOS	

**BAIRRO PIRATINI**  
PLANIALTIMETRIA

EQUIDISTÂNCIA DAS CURVAS DE NÍVEL: 5 METROS  
 PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
 DATUM VERTICAL: MARÉGRAFO DE IMBITUBA - SC  
 DATUM HORIZONTAL: CHUA - MG (SAD-69)  
 ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 51° W. GR."  
 ACRESCIDAS AS CONSTANTES 10.000 KM E 500 KM RESPECTIVAMENTE

Base cartográfica digitalizada a partir das plantas cadastrais na escala de 1:5.000, elaboradas através de levantamento aerofotogramétrico em 1984.

Figura 5.19 - Planialtimetria do Bairro Piratini - Setor Oeste



LEGENDA	
EDIFICAÇÕES DO CADASTRO DE 1984	
EDIFICAÇÕES DA ATUALIZAÇÃO CADASTRAL (1999)	
CAMPOS E QUADRAS	
CAMINHO	
ESTRADA PAVIMENTADA	
ESTRADA SECUNDÁRIA E RUAS	
LIMITES DO BAIRRO	
LIMITES DO LOTEAMENTO	
ÁÇUDE, BANHADO	
RIOS	
LAGOS	
VETOR DE CRESCIMENTO	

## BAIRRO PIRATINI

### EXPANSÃO DA OCUPAÇÃO URBANA

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

DATUM VERTICAL: MARÉGRAFO DE IMBITUBA - SC  
DATUM HORIZONTAL: CHUÁ - MG (SAD-69)

ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 51° W. GR."  
ACRESCIDAS AS CONSTANTES 10.000 KM E 500 KM RESPECTIVAMENTE

Base cartográfica digitalizada a partir das plantas cadastrais na escala de 1:5.000, elaboradas através de levantamento aerofotogramétrico em 1984. Atualização a partir do recobrimento aerofotográfico em 50 mm, executado em maio de 1999.

Figura 5.20 - Edificações e Loteamentos do Bairro Piratini - Setor Oeste

O curso d'água principal do Piratini desenvolve-se na extensão L-O, em vales encaixados, de vertentes com até 100% de declividade. Na região oeste, localizam-se densas áreas de mata nativa, favorecidas pelos nutrientes dos solos oriundos dos derramamentos de lavas ácidas e pela irrigação da drenagem perene. O desenvolvimento de afluentes deste rio principal e de terrenos muito acidentados favoreceu o surgimento de quedas d'água, como as cascatas Vêu das Noivas (S) e a dos Narcisos (SO).

A ocupação deste bairro iniciou nos anos 50, na região sudeste, com construções residenciais próximas à Rua Dom Pedro I. Em um curto período de uma década, surgiram inúmeras edificações residenciais nos limites setentrional, meridional e a oeste do bairro estudado. Estas áreas residenciais se expandiram no decorrer dos anos 70 para a região central, em terrenos planos situados entre as ruas Getúlio Vargas e Dom Pedro I. Além da ocupação desta áreas planas, cumpre destacar a evolução da ocupação por indústrias no extremo oeste e a noroeste. A localização destas indústrias nas proximidades dos limites a oeste do território, foi definida pelo plano diretor como uma zona de uso industrial, que se estende também por sobre áreas a sudoeste.

Para que possamos entender a evolução da ocupação urbana deste bairro, devemos tomar como ponto de partida a localização dos loteamentos. No ano de 1978, surgiram importantes loteamentos, que promoveram a concentração ainda maior do número de edificações em áreas mais próximas ao bairro Centro, como o Avelino Andreis (região central), Celso Moreira Borges (S), Dambros (S), Balzaretto (SE) e Fioreze (N). No início da década de 80, foi protocolado o loteamento Maredial I (1981). O Maredial I, nas imediações da Rua D. Pedro I, favorecendo a expansão ainda maior das edificações para a região oeste do bairro.

As plantas cadastrais de 1984 indicaram que o resultado da ocupação dos referidos loteamentos foi a concentração das edificações na região central do bairro Piratini, nas áreas próximas ao bairro Centro (figura 5.20). No entanto, esta concentração urbana provou mudanças com o surgimento de ocupações residenciais nas regiões norte e oeste ao longo de um período de 15 anos. Neste mesmo período, o número de edificações total do bairro duplicou (crescimento de 108 %), totalizando um número de 1306 edificações para o ano de 1999.

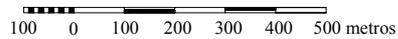
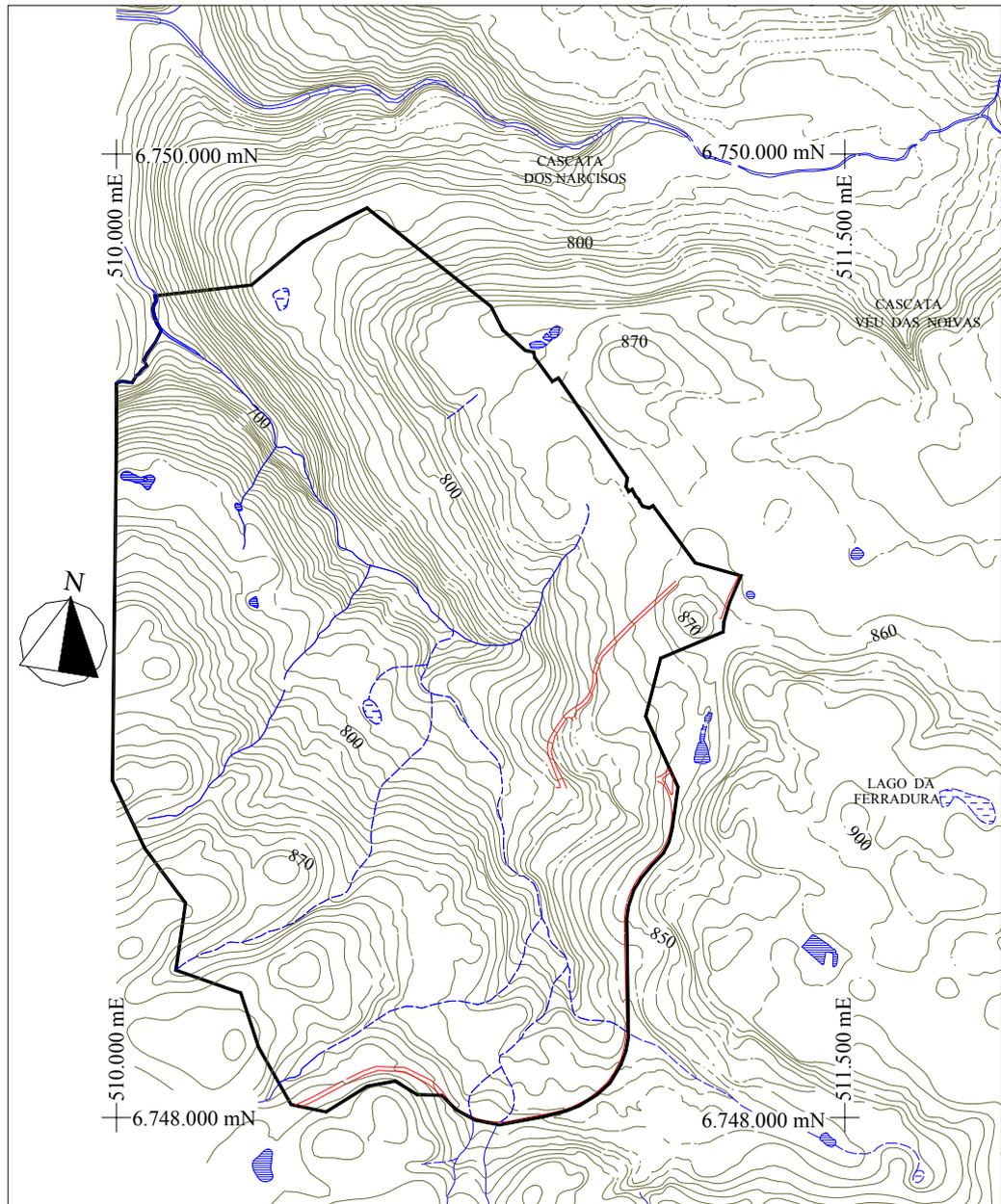
O aumento da concentração de edificações na região setentrional pode ser explicado como uma consequência da ocupação do loteamento Fioreze, e das proximidades destas áreas com a rua Tristão de Oliveira, com alta densidade de construções, no limite sul do bairro Floresta. Para a região oeste, onde a expansão da ocupação foi mais expressiva, a concentração de edificações foi causada pelo surgimento de residências de moradores no loteamento Maredial I.

#### **5.3.3.2.3 – Bairro Vila Prinstrop**

O bairro Vila Prinstrop situa-se a oeste da área urbana de Gramado, limitando-se com os bairros Piratini (N) e Planalto (L). As principais vias de acesso são a rua Theobaldo Prinstrop, que estende-se até a avenida das Hortênsias, a estrada da Linha Ávila, à oeste, e a estrada de rodagem RS 235 (cujo topônimo é Curva da Farinha, ligando-se à Nova Petrópolis), no limite meridional do referido bairro (figura 5.22).

A ocupação da Vila Prinstrop iniciou na década de 70, próxima à rua Theobaldo Prinstrop, por residências de moradores e por pequenos estabelecimentos comerciais. Esta ocupação teve maior influência pelo surgimento dos loteamentos Daniel Arend (1975) e do Pórtico (1983), ambos localizados em terrenos acidentados (figura 5.21), com declividades que podem chegar a 30%.

O vetor de crescimento mostrou um deslocamento da ocupação para SSO, partindo do limite meridional do loteamento Daniel Arend para o loteamento do Pórtico, entre a estrada para a Linha Ávila e a Curva da Farinha, em função de sua ocupação a partir da metade da década de 80. Em geral, este bairro teve um crescimento de 373 % (65 para 308 edificações) em apenas 15 anos, que foi o maior dentre o apresentado pelos demais bairros da região oeste da área urbana (Floresta e o Piratini), em função da grande importância assumida pela RS 235 para o escoamento da produção e deslocamento dos moradores locais.



LEGENDA	
ESTRADA PAVIMENTADA	
ESTRADA SECUNDÁRIA E RUAS	
LIMITES DO BAIRRO	
AÇUDE, BANHADO	
RIOS	
LAGOS	

### BAIRRO VILA PRINSTROP PLANIALTIMETRIA

EQUIDISTÂNCIA DAS CURVAS DE NÍVEL: 5 METROS  
PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

DATUM VERTICAL: MARÉGRAFO DE IMBITUBA - SC  
DATUM HORIZONTAL: CHUA - MG (SAD-69)

ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 51° W. GR."  
ACRESCIDAS AS CONSTANTES 10.000 KM E 500 KM RESPECTIVAMENTE

Base cartográfica digitalizada a partir das plantas cadastrais na escala de 1:5.000, elaboradas através de levantamento aerofotogramétrico em 1984.

Figura 5.21 - Planialtimetria do Bairro Vila Prinstrop - Setor Oeste

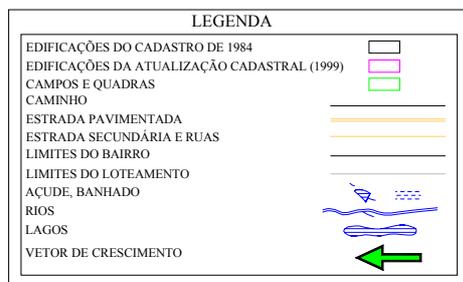
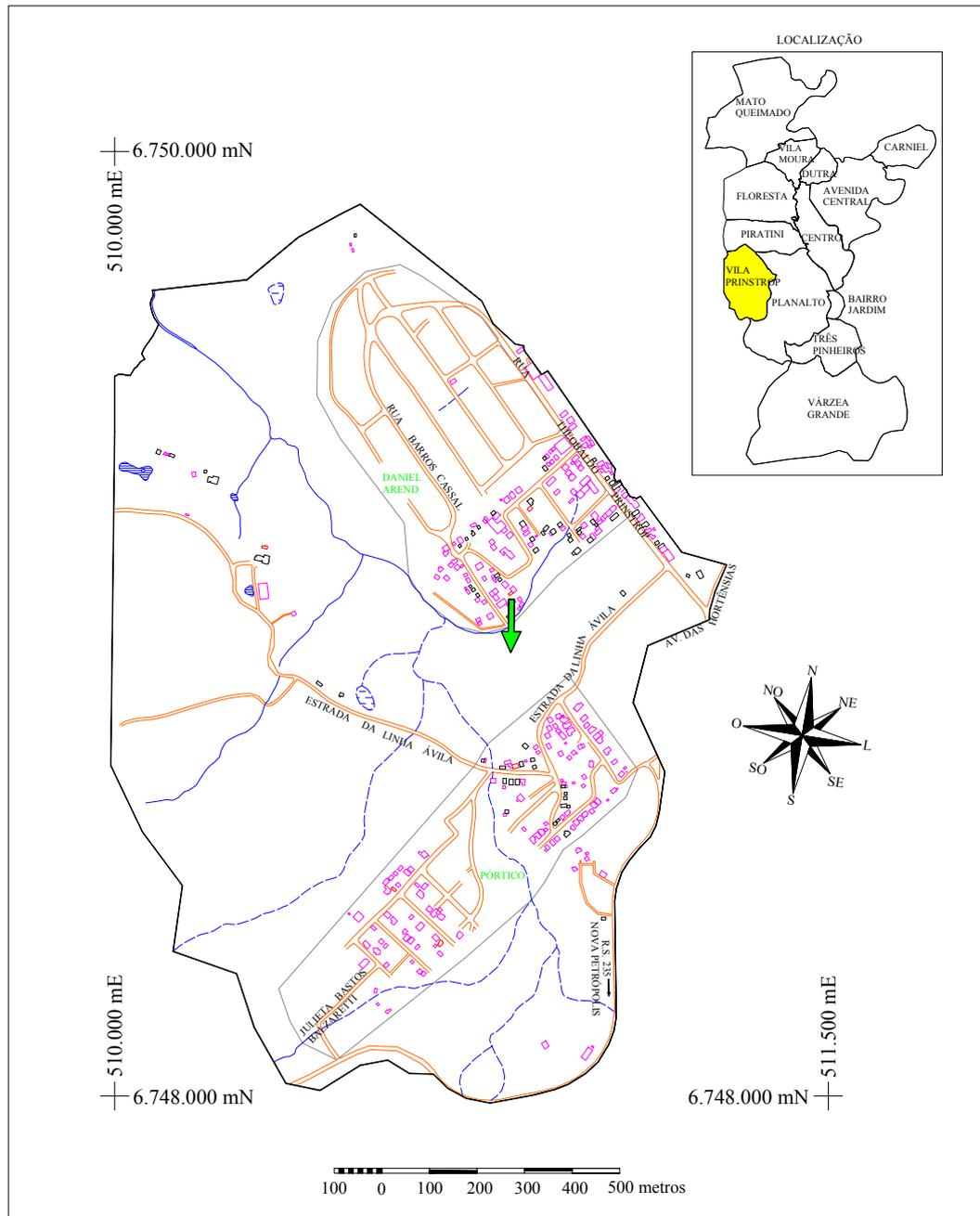


Figura 5.22 - Edificações e Loteamentos do Bairro Vila Prinstrop (maio/1999)

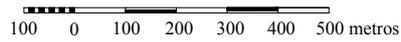
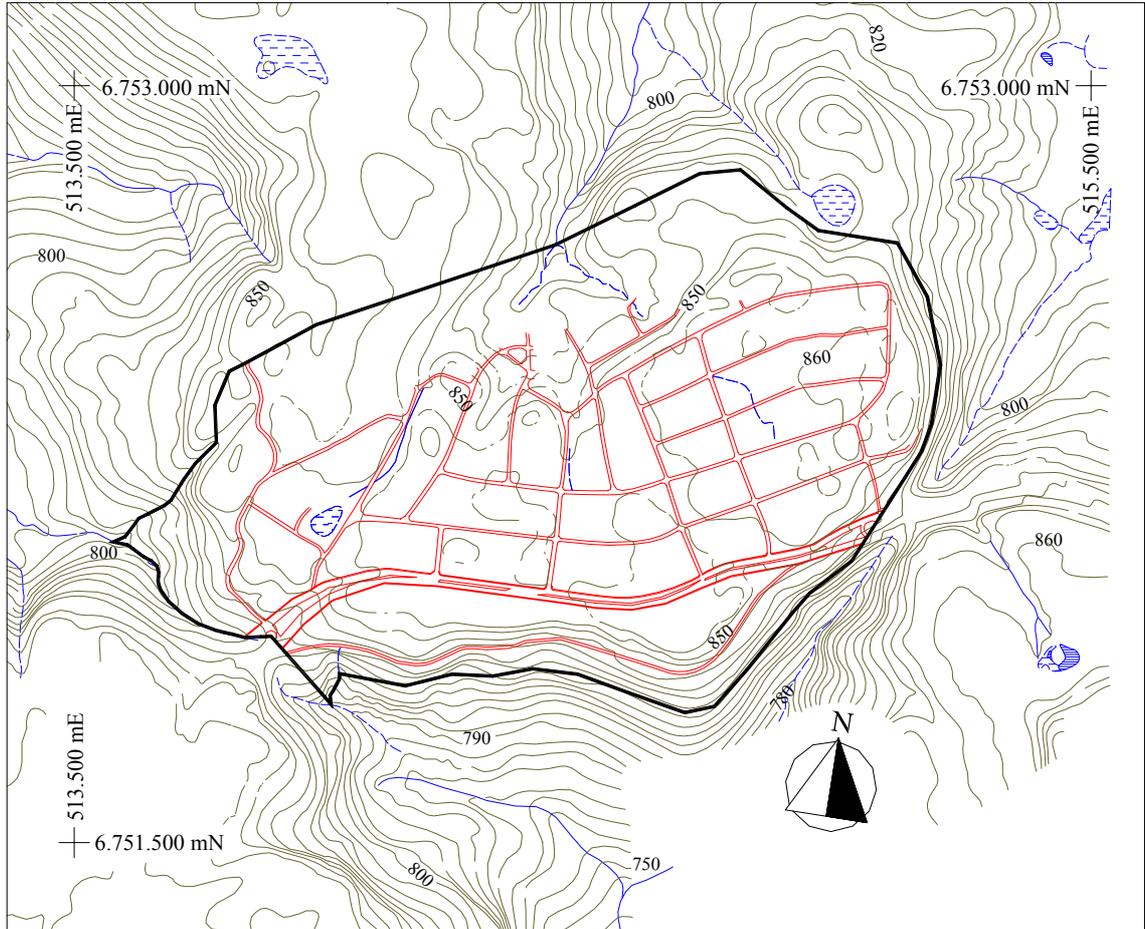
### **5.3.3.3 – Setor norte**

#### **5.3.3.3.1 – Bairro Carniel**

O relevo caracteriza-se por encostas íngremes, com até 35° de declividade, localizadas ao sul, com altitudes variando de 780 a 860 m. Na região central, ocorrem áreas planas (860 m), além de rios intermitentes e áreas alagadiças, próximos das áreas ocupadas (figura 5.23). A densa cobertura vegetal desenvolve-se até os limites deste bairro, estando localizada em áreas de preservação paisagística, conforme a planta de zoneamento definida pelo plano diretor.

A ocupação iniciou a partir da década de 70, caracterizada pela localização ao longo da avenida das Hortênsias, com característica predominantemente comercial, e pela ocupação de residências de moradores na região SO deste bairro.

As maiores modificações da ocupação urbana ocorreram durante as décadas de 80 e 90. Em um período de 15 anos (1984-1999), o número de edificações, de apenas 83, passou para o valor total de 561, representando um crescimento de 575,9 %. Em 1984, com base nas plantas cadastrais digitais, verificamos que a concentração urbana, tanto residencial quanto comercial, apresentava maior densidade próxima à avenida das Hortênsias, onde a atividade comercial ainda tem sua maior expressão. No entanto, o mapeamento temático evidenciou uma importante mudança, com o surgimento de um grande número de residências de moradores para nordeste, no loteamento Carniel (figura 5.24).



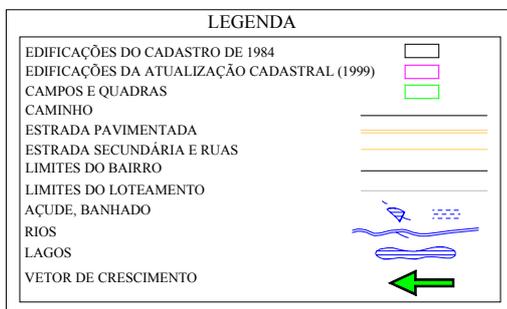
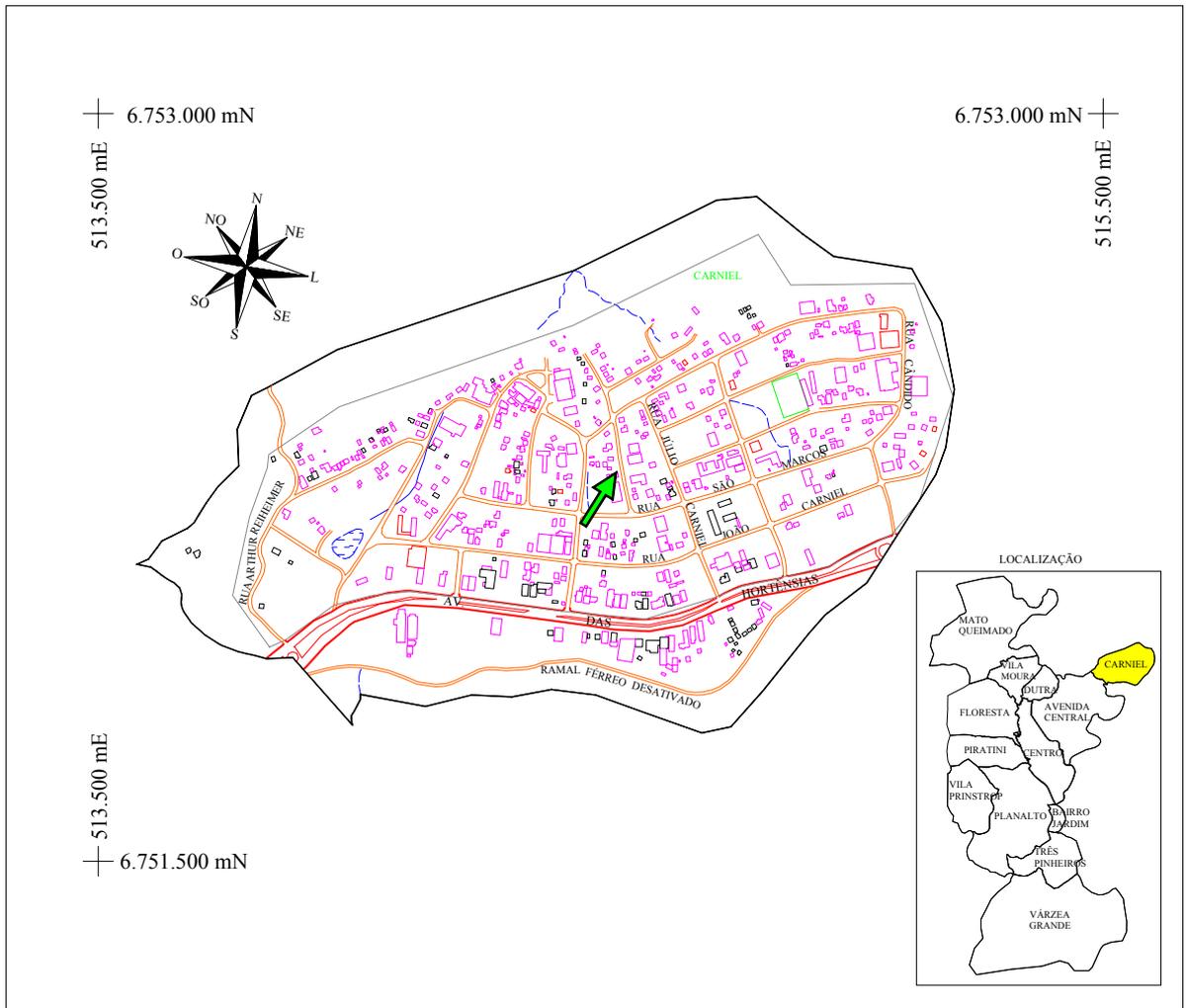
LEGENDA	
ESTRADA PAVIMENTADA	
ESTRADA SECUNDÁRIA E RUAS	
LIMITES DO BAIRRO	
AÇUDE, BANHADO	
RIOS	
LAGOS	

**BAIRRO CARNIEL**  
**PLANIALTIMETRIA**

EQÜIDISTÂNCIA DAS CURVAS DE NÍVEL: 5 METROS  
 PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
 DATUM VERTICAL: MARÉGRAFO DE IMBITUBA - SC  
 DATUM HORIZONTAL: CHUA - MG (SAD-69)  
 ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 51 °W. GR."  
 ACRESCIDAS AS CONSTANTES 10.000 KM E 500 KM RESPECTIVAMENTE

Base cartográfica digitalizada a partir das plantas cadastrais na escala de 1:5.000, elaboradas através de levantamento aerofotogramétrico em 1984.

Figura 5.23 - Planialtimetria do Bairro Carniel - Setor Norte



**BAIRRO CARNIEL**  
EXPANSÃO DA OCUPAÇÃO URBANA

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

DATUM VERTICAL: MARÉGRAFO DE IMBITUBA - SC  
DATUM HORIZONTAL: CHUA - MG (SAD-69)

ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 51° W. GR."  
ACRESCIDAS AS CONSTANTES 10.000 KM E 500 KM RESPECTIVAMENTE

Base cartográfica digitalizada a partir das plantas cadastrais na escala de 1:5.000, elaboradas através de levantamento aerofotogramétrico em 1984. Atualização a partir do recobrimento aerofotográfico em 50 mm, executado em maio de 1999.

Figura 5.24 - Edificações e Loteamentos do Bairro Carniel (maio/1999)

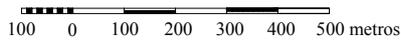
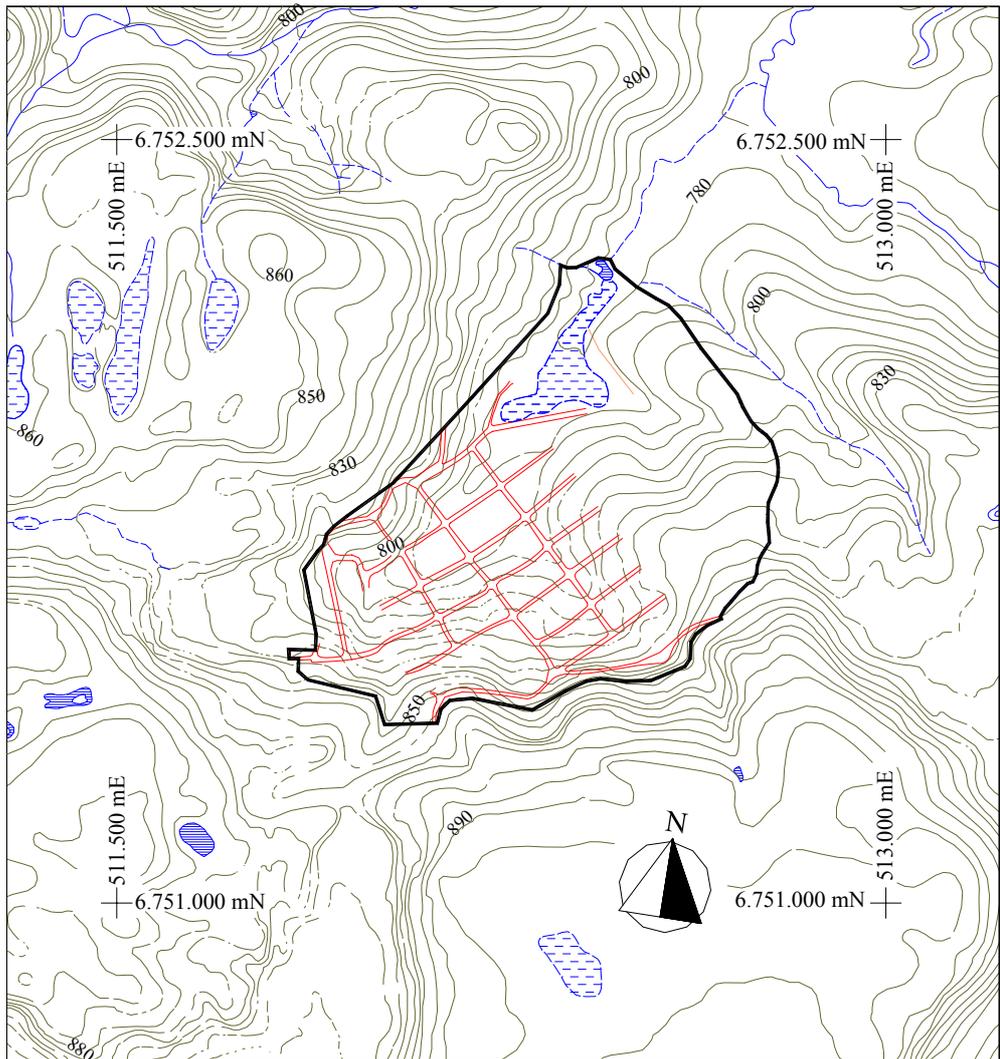
### 5.3.3.3.2 – Bairro Dutra

O relevo acidentado, com declividades de até 30°, com altitudes variando de 780 a 860 m, densa cobertura vegetal a NE, L, SO, pode ser considerados como condicionantes para o padrão de ocupação do bairro Dutra no sentido NE (figura 5.25).

A principal via de acesso é a rua Emílio Leobet, que comunica-se com a avenida Borges de Medeiros, a oeste (figura 5.26). Uma zona de uso comercial é definida ao longo desta rua principal, mas o restante de toda a área ocupada é de característica residencial, nos loteamentos Dutra (1975) e Morada del Rey (1981).

A evolução do bairro Dutra iniciou a partir do final da década de 60, com apenas duas residências de moradores, na rua Emílio Leobet. Até a década de 80, existiam apenas 5 edificações, com estas mesmas características e localização.

O bairro Dutra apresentou o segundo maior crescimento no município de Gramado, com um aumento de 652,6 % (7, 5 vezes) no número total de edificações. Para se ter uma melhor idéia deste crescimento, existiam apenas 57 edificações no ano de 1984, concentradas a SO, próximas à rua Emílio Leobet, enquanto que em 1999, o mapeamento temático totalizou 429 prédios, na maioria localizados a nordeste. A tendência à interiorização desta concentração ocorre com um grande incremento de edificações no loteamento Dutra, privilegiando o crescimento para áreas a nordeste, até os limites da cobertura vegetal.



LEGENDA	
ESTRADA PAVIMENTADA	
ESTRADA SECUNDÁRIA E RUAS	
LIMITES DO BAIRRO	
AÇUDE, BANHADO	
RIOS	
LAGOS	

## BAIRRO DUTRA PLANIALTIMETRIA

EQÜIDISTÂNCIA DAS CURVAS DE NÍVEL: 5 METROS

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

DATUM VERTICAL: MARÉGRAFO DE IMBITUBA - SC

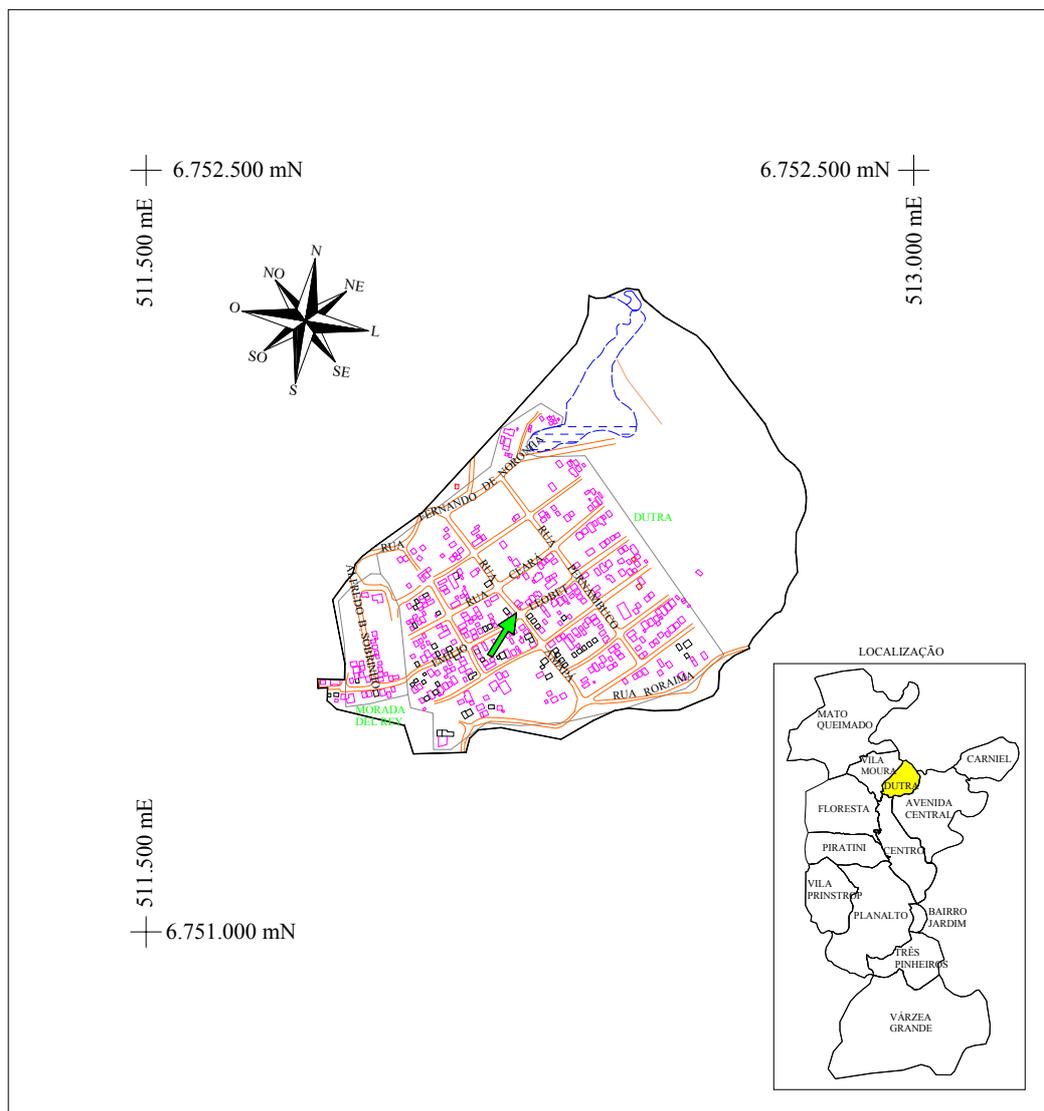
DATUM HORIZONTAL: CHUA - MG (SAD-69)

ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 51 "W. GR."

ACRESCIDAS AS CONSTANTES 10.000 KM E 500 KM RESPECTIVAMENTE

Base cartográfica digitalizada a partir das plantas cadastrais na escala de 1:5.000, elaboradas através de levantamento aerofotogramétrico em 1984.

Figura 5.25 - Planialtimetria do Bairro Dutra - Setor Norte



100 0 100 200 300 400 500 metros

LEGENDA	
EDIFICAÇÕES DO CADASTRO DE 1984	
EDIFICAÇÕES DA ATUALIZAÇÃO CADASTRAL (1999)	
CAMPOS E QUADRAS	
CAMINHO	
ESTRADA PAVIMENTADA	
ESTRADA SECUNDÁRIA E RUAS	
LIMITES DO BAIRRO	
LIMITES DO LOTEAMENTO	
AÇUDE, BANHADO	
RIOS	
LAGOS	
VETOR DE CRESCIMENTO	

## BAIRRO DUTRA

### EXPANSÃO DA OCUPAÇÃO URBANA

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

DATUM VERTICAL: MARÉGRAFO DE IMBITUBA - SC  
DATUM HORIZONTAL: CHUA - MG (SAD-69)

ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 51 "W. GR."  
ACRESCIDAS AS CONSTANTES 10.000 KM E 500 KM RESPECTIVAMENTE

Base cartográfica digitalizada a partir das plantas cadastrais na escala de 1:5.000, elaboradas através de levantamento aerofotogramétrico em 1984. Atualização a partir do recobrimento aerofotográfico em 50 mm, executado em maio de 1999.

Figura 5.26 - Edificações e Loteamentos do Bairro Dutra (maio/1999)

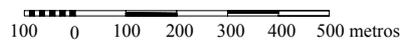
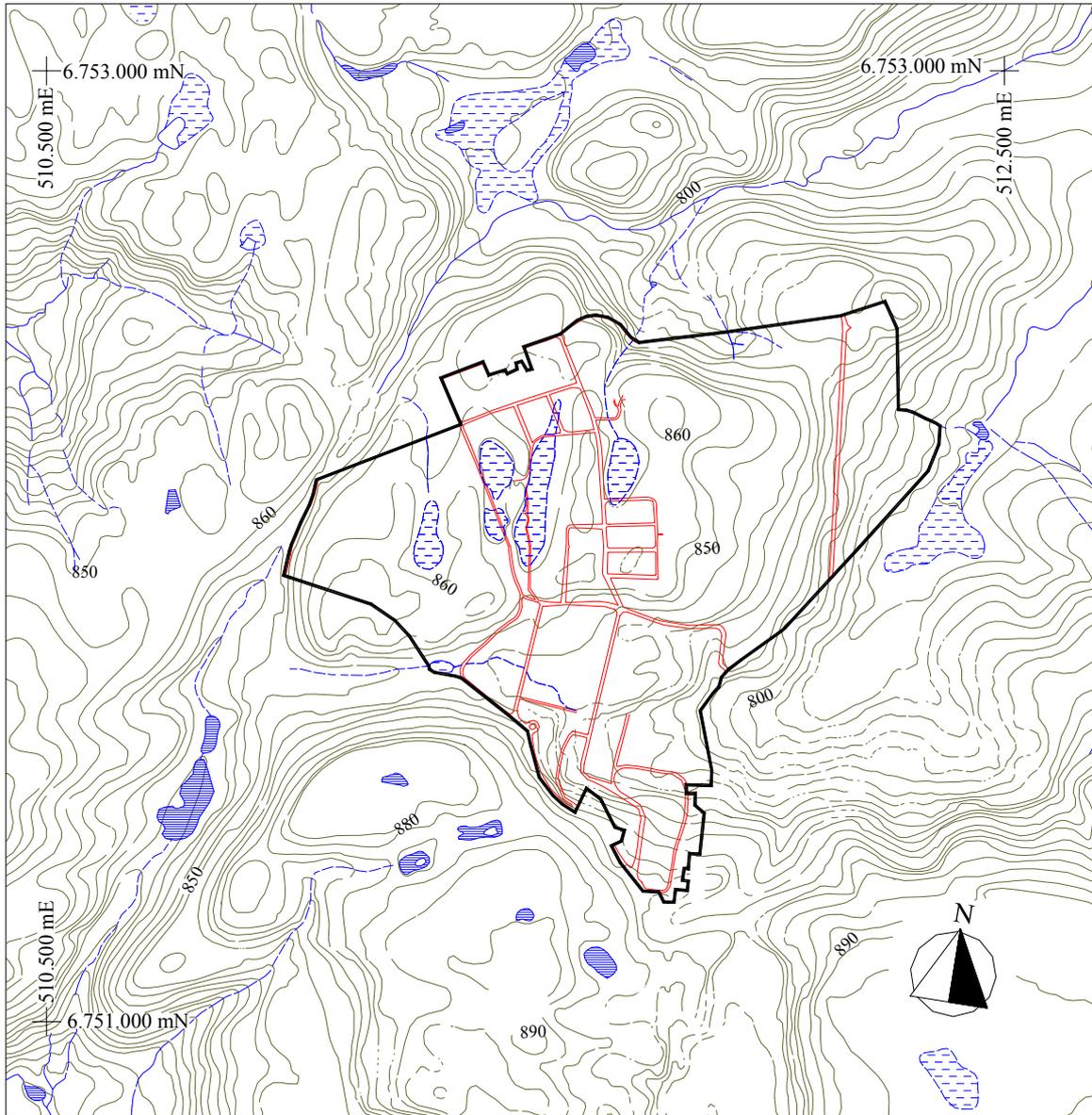
### **5.3.3.3.3 – Bairro Vila Moura**

No bairro Vila Moura ocorre um relevo de topos planos (figura 5.27), cujas características morfológicas foram mais propícias para a ocupação, também favorecida pela cobertura vegetal de menor porte, nas regiões central, NE e NO.

No que se refere às características de sua ocupação, este bairro é essencialmente constituído por edificações residenciais, com áreas destinadas à atividade comercial. A zona comercial desenvolve-se ao longo da avenida Borges de Medeiros, que é uma das principais vias de acesso (figura 5.28).

O estudo da expansão da ocupação urbana indicou um crescimento deste bairro para o sentido NNE. No ano de 1984, existiam apenas 69 edificações, enquanto que no ano de 1999, foram reconhecidas 293 novas edificações, totalizando um número de 362 prédios e um crescimento da ordem de 424,6 % (tabela 5.1).

Pelo exame das plantas da evolução urbana de Gramado (1921-1980), verifica-se que desde a década de 50, este bairro apresentou uma ocupação com maior concentração na sua região meridional, próximo à avenida Borges de Medeiros. Com relação ao exame dos dados das plantas cadastrais digitais, observou-se que esta tendência tomou maiores proporções com o surgimento do loteamento Vila Aurora, protocolado em 1986. Esta situação se reverteu, quando houve uma grande ocupação da região norte e da região central do referido bairro, particularmente no loteamento Schenkel (1992).



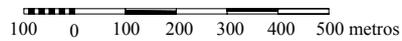
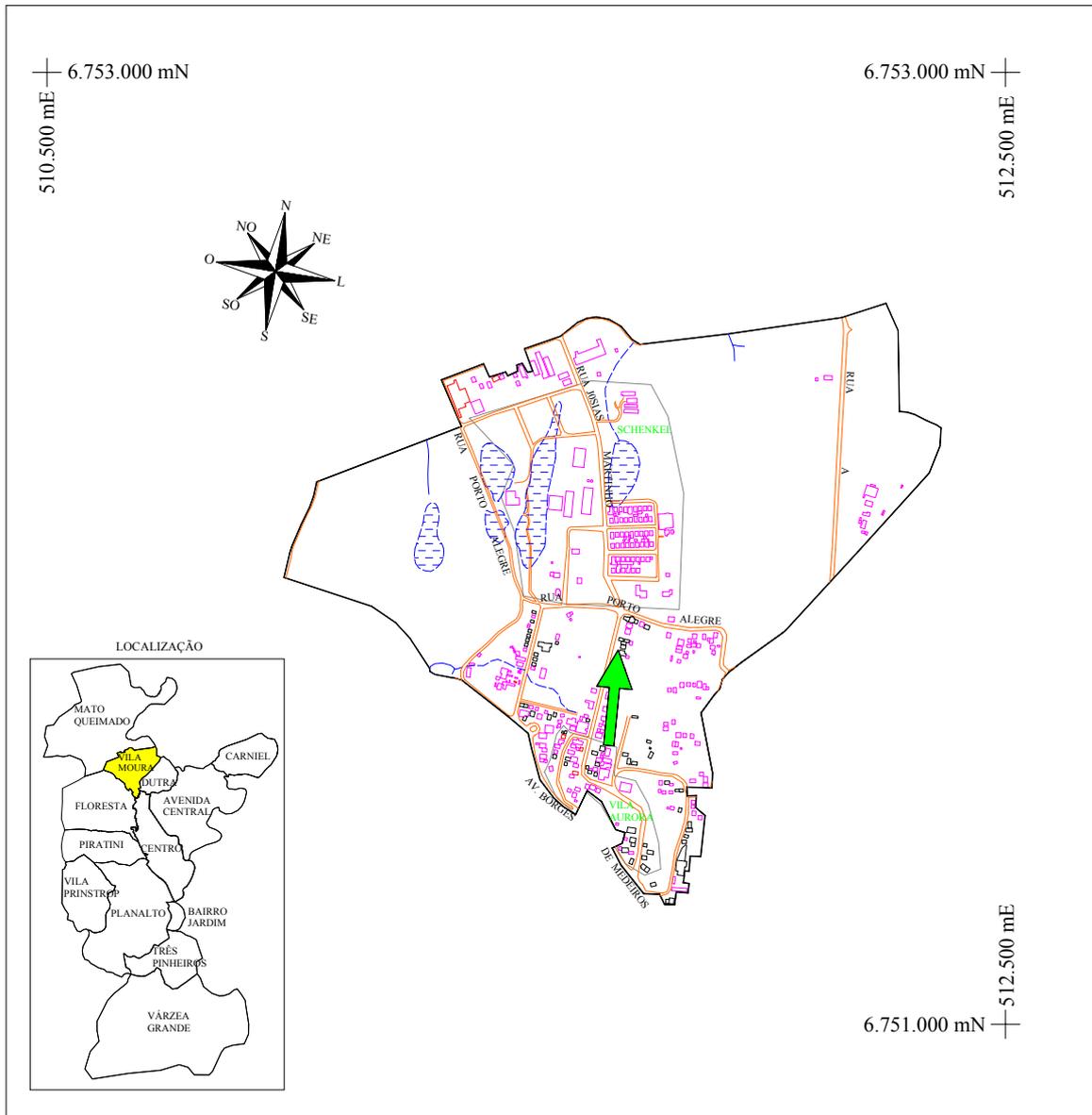
LEGENDA	
ESTRADA PAVIMENTADA	
ESTRADA SECUNDÁRIA E RUAS	
LIMITES DO BAIRRO	
AÇUDE, BANHADO	
RIOS	
LAGOS	

**BAIRRO VILA MOURA**  
**PLANIALTIMETRIA**

EQUIDISTÂNCIA DAS CURVAS DE NÍVEL: 5 METROS  
 PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
 DATUM VERTICAL: MARÉGRAFO DE IMBITUBA - SC  
 DATUM HORIZONTAL: CHUA - MG (SAD-69)  
 ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 51° W. GR."  
 ACRESCIDAS AS CONSTANTES 10.000 KM E 500 KM RESPECTIVAMENTE

Base cartográfica digitalizada a partir das plantas cadastrais na escala de 1:5.000, elaboradas através de levantamento aerofotogramétrico em 1984.

Figura 5.27 - Planialtimetria do Bairro Vila Moura - Setor Norte



LEGENDA	
EDIFICAÇÕES DO CADASTRO DE 1984	
EDIFICAÇÕES DA ATUALIZAÇÃO CADASTRAL (1999)	
CAMPOS E QUADRAS	
CAMINHO	
ESTRADA PAVIMENTADA	
ESTRADA SECUNDÁRIA E RUAS	
LIMITES DO BAIRRO	
LIMITES DO LOTEAMENTO	
AÇUDE, BANHADO	
RIOS	
LAGOS	
VETOR DE CRESCIMENTO	

## BAIRRO VILA MOURA

### EXPANSÃO DA OCUPAÇÃO URBANA

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

DATUM VERTICAL: MARÉGRAFO DE IMBITUBA - SC  
 DATUM HORIZONTAL: CHUA - MG (SAD-69)

ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 51° W. GR."  
 ACRESCIDAS AS CONSTANTES 10.000 KM E 500 KM RESPECTIVAMENTE

Base cartográfica digitalizada a partir das plantas cadastrais na escala de 1:5.000, elaboradas através de levantamento aerofotogramétrico em 1984. Atualização a partir do recobrimento aerofotográfico em 50 mm, executado em maio de 1999.

Figura 5.28 - Edificações e Loteamentos do Bairro Vila Moura (maio/1999)

#### 5.3.3.3.4 – Bairro Mato Queimado

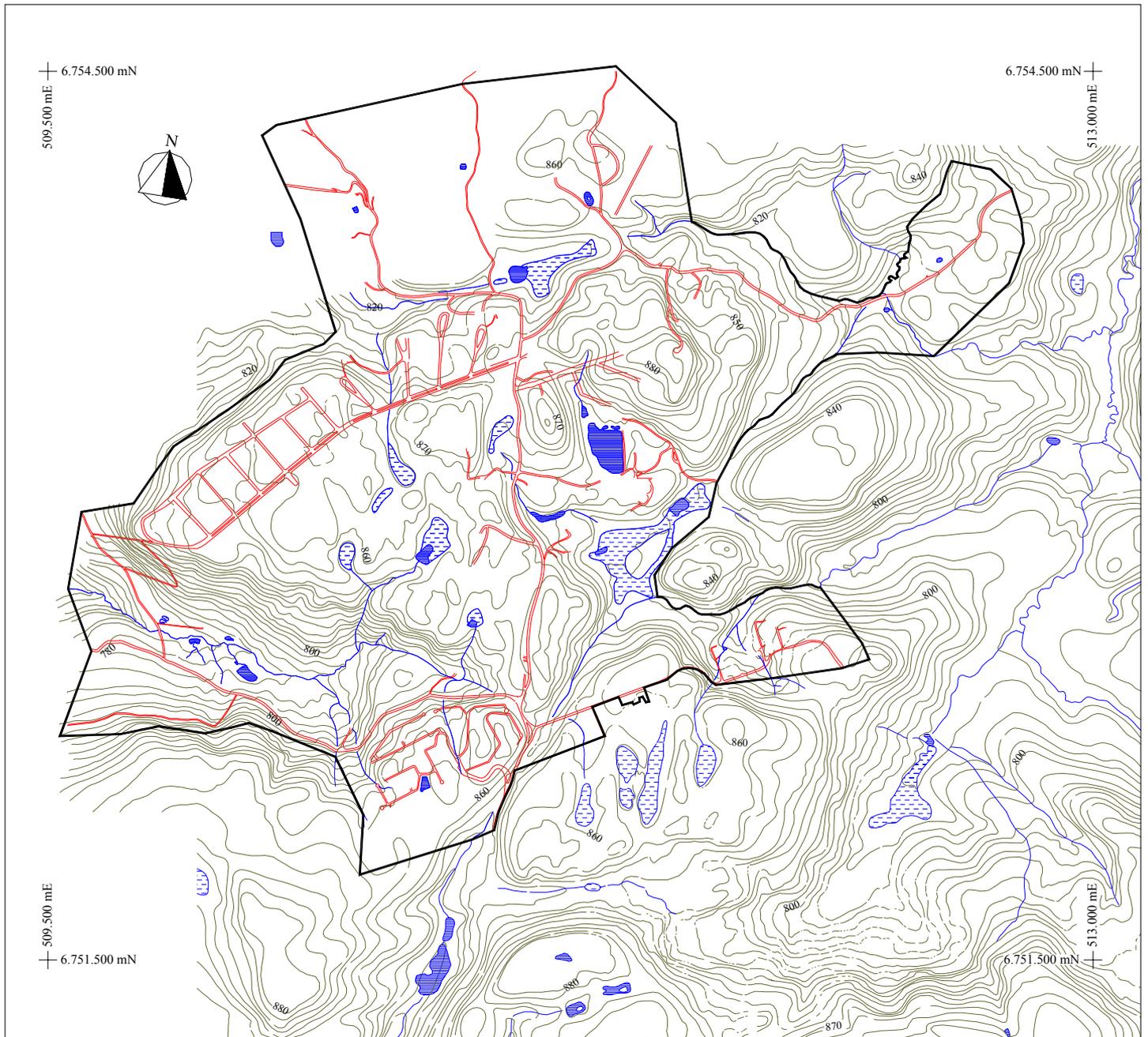
Conforme dados do mapa planialtimétrico (figura 5.29), a morfologia dos terrenos do bairro Mato Queimado caracteriza-se pela sua forte dissecação, com altitudes que variam de 780 a 870 m. Predomina um modelado de topos planos, com grande inclinação das vertentes, chegando aos 100% de declividade.

Observando-se o fotoíndice da cobertura aerofotográfica, constatamos que o Mato Queimado apresenta a maior cobertura vegetal dentre os demais bairros, cuja localização atinge maiores proporções ao N, NE e L. Com base na planta de zoneamento de uso definida pelo plano diretor de Gramado, verificamos extensas áreas de preservação paisagística neste bairro, definidas nas áreas do Gramado Golfe Clube, Barragem Parque dos Pinheiros (NNE) e próximo ao loteamento Praça das Figueiras (SE).

Ocorrem muitos lagos e banhados que se desenvolvem próximos à principal via de acesso, que corresponde à rua Antônio Benetti Sobrinho (figura 5.30). Além de permitir o acesso a todos os loteamentos do Mato Queimado, inclusive para a região setentrional, comunicando-se com o Gramado Golfe Clube (NO) e com a sede campestre do CTG Manotaço (NNO), apresenta seu desenvolvimento para oeste ligando-se à famosa Estrada do Caracol, cujo percurso comunica-se com o município de Canela.

O Bairro Mato Queimado apresenta um conjunto de loteamentos relativamente recentes, como o Bosque do Sol (1992) e o Saint Moritz (1999). Outros loteamentos atualmente ocupados são o Parque das Figueiras (1976), Parque das Fontes (1977) e Gramado Golfe Clube (1980).

A consulta ao banco de dados indicou um crescimento absoluto de 83 para 436 edificações, para a direção OSO, em um período de 15 anos (1984 – 1999), que pode ser explicado pelo surgimento de ocupações ao longo da rua Antônio Benetti Sobrinho e principalmente nos loteamentos Parque das Fontes e Saint Moritz, onde o crescimento foi mais significativo.



100 0 100 200 300 400 500 metros

LEGENDA	
ESTRADA PAVIMENTADA	
ESTRADA SECUNDÁRIA E RUAS	
LIMITES DO BAIRRO	
ÇAÚDE, BANHADO	
RIOS	
LAGOS	

### BAIRRO MATO QUEIMADO PLANIALTIMETRIA

EQUIDISTÂNCIA DAS CURVAS DE NÍVEL: 5 METROS

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

DATUM VERTICAL: MARÉGRAFO DE IMBITUBA - SC

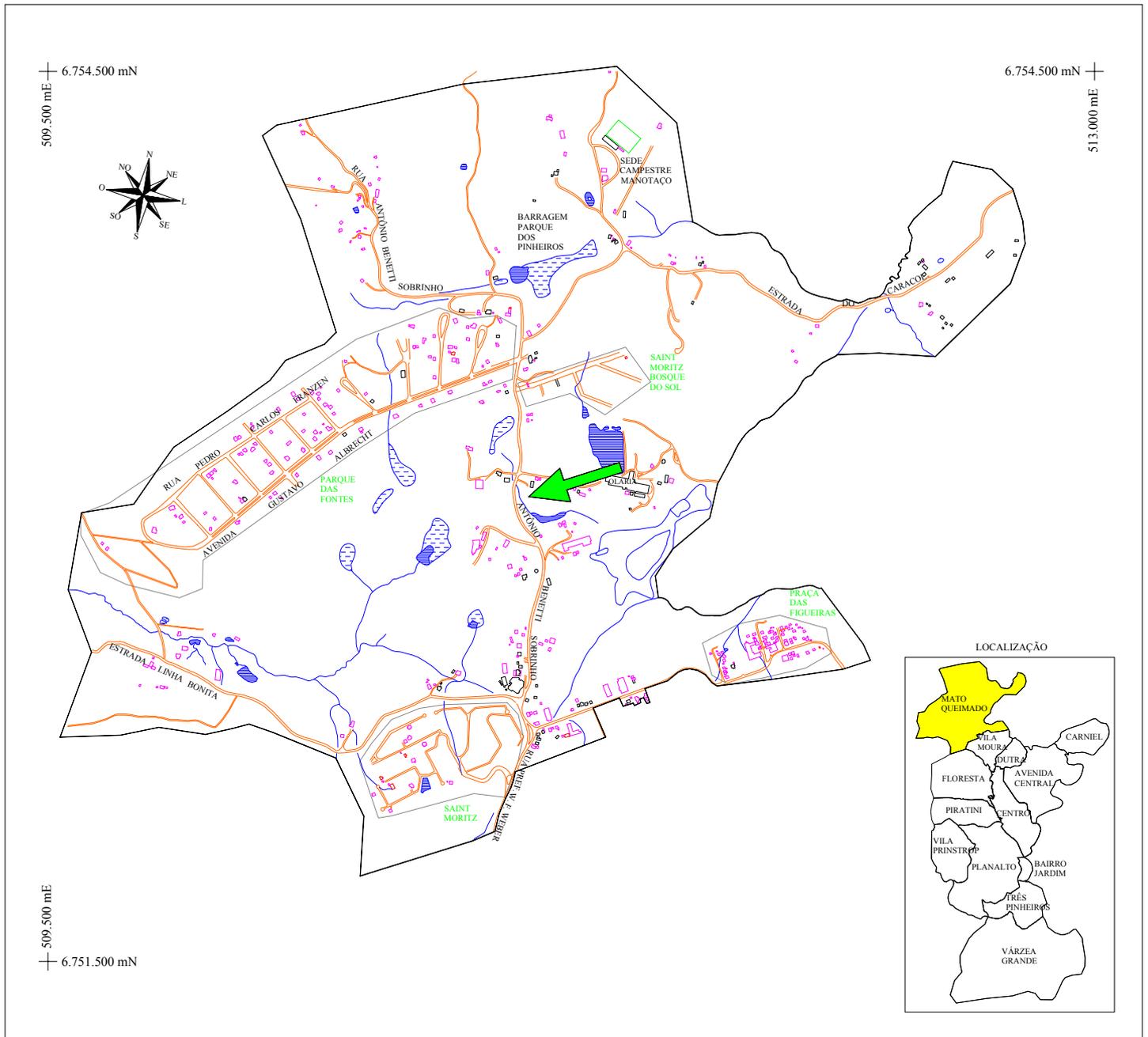
DATUM HORIZONTAL: CHUA - MG (SAD-69)

ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 51" W. GR."

ACRESCIDAS AS CONSTANTES 10.000 KM E 500 KM RESPECTIVAMENTE

Base cartográfica digitalizada a partir das plantas cadastrais na escala de 1:5.000, elaboradas através de levantamento aerofotogramétrico em 1984.

Figura 5.29 - Planialtimetria do Bairro Mato Queimado - Setor Norte



100 0 100 200 300 400 500 metros

LEGENDA	
EDIFICAÇÕES DO CADASTRO DE 1984	
EDIFICAÇÕES DA ATUALIZAÇÃO CADASTRAL (1999)	
CAMPOS E QUADRAS	
CAMINHO	
ESTRADA PAVIMENTADA	
ESTRADA SECUNDÁRIA E RUAS	
LIMITES DO BAIRRO	
LIMITES DO LOTEAMENTO	
AÇUDE, BANHADO	
RIOS	
LAGOS	
VECTOR DE CRESCIMENTO	

### BAIRRO MATO QUEIMADO

EXPANSÃO DA OCUPAÇÃO URBANA

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

DATUM VERTICAL: MARÉGRAFO DE IMBITUBA - SC

DATUM HORIZONTAL: CHUA - MG (SAD-69)

ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 51° W. GR."  
ACRESCIDAS AS CONSTANTES 10.000 KM E 500 KM RESPECTIVAMENTE

Base cartográfica digitalizada a partir das plantas cadastrais na escala de 1:5.000, elaboradas através de levantamento aerofotogramétrico em 1984. Atualização a partir do recobrimento aerofotogramétrico em 50 mm, executado em maio de 1999.

Figura 5.30 - Edificações e Loteamentos do Bairro Mato Queimado (maio/1999)

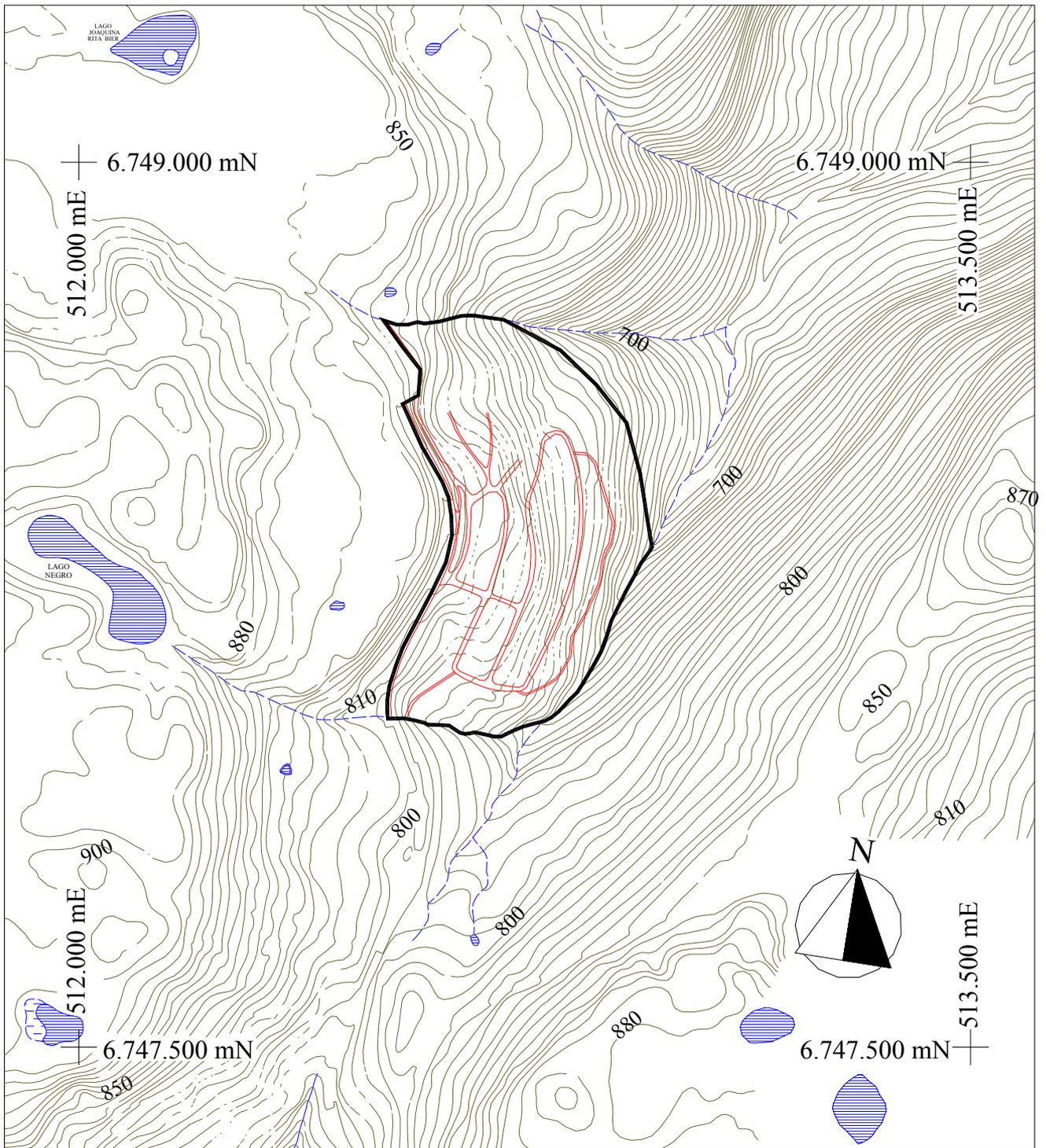
### **5.3.3.4 – Setor sul**

#### **5.3.3.4.1 – Bairro Jardim**

Os terrenos acidentados, com aclives de até 40°, no sentido leste-oeste, apresentam-se planos na avenida Borges de Medeiros (figura 5.31). A vegetação de mata nativa desenvolve-se ao norte e leste, com a ocorrência de uma área de preservação paisagística ao sul, próxima à Borges de Medeiros. Além desta avenida principal, destacam-se a rua da Primavera (paralela) e a Castelo Branco (transversal), mapeadas na figura 5.32 .

A tendência de crescimento verificada ao longo da rua da Primavera, a partir da década de 40, na região noroeste do bairro Planalto, implicou a concentração de edificações próximas à região norte do bairro Jardim. No final da década de 50, surgiram residências de veraneio nestas áreas, e somente a partir do final da década de 70, a expansão orientou-se para as regiões meridionais, com o surgimento do loteamento Vila Jardim (1979).

No ano de 1984, foram identificadas 77 edificações, concentradas em sua maioria no loteamento Vila Jardim, sendo que no período de 15 anos, o crescimento apresentou um valor de 356 %, com a característica de deslocamento da concentração da ocupação urbana dos principais eixos viários (Borges de Medeiros e rua da Primavera), para as áreas mais rebaixadas, declivosas e com maior cobertura vegetal, que correspondem à região oeste do bairro estudado.



100 0 100 200 300 400 500 metros

LEGENDA	
ESTRADA PAVIMENTADA	
ESTRADA SECUNDÁRIA E RUAS	
LIMITES DO BAIRRO	
AÇUDE, BANHADO	
RIOS	
LAGOS	

## BAIRRO JARDIM

### PLANIALTIMETRIA

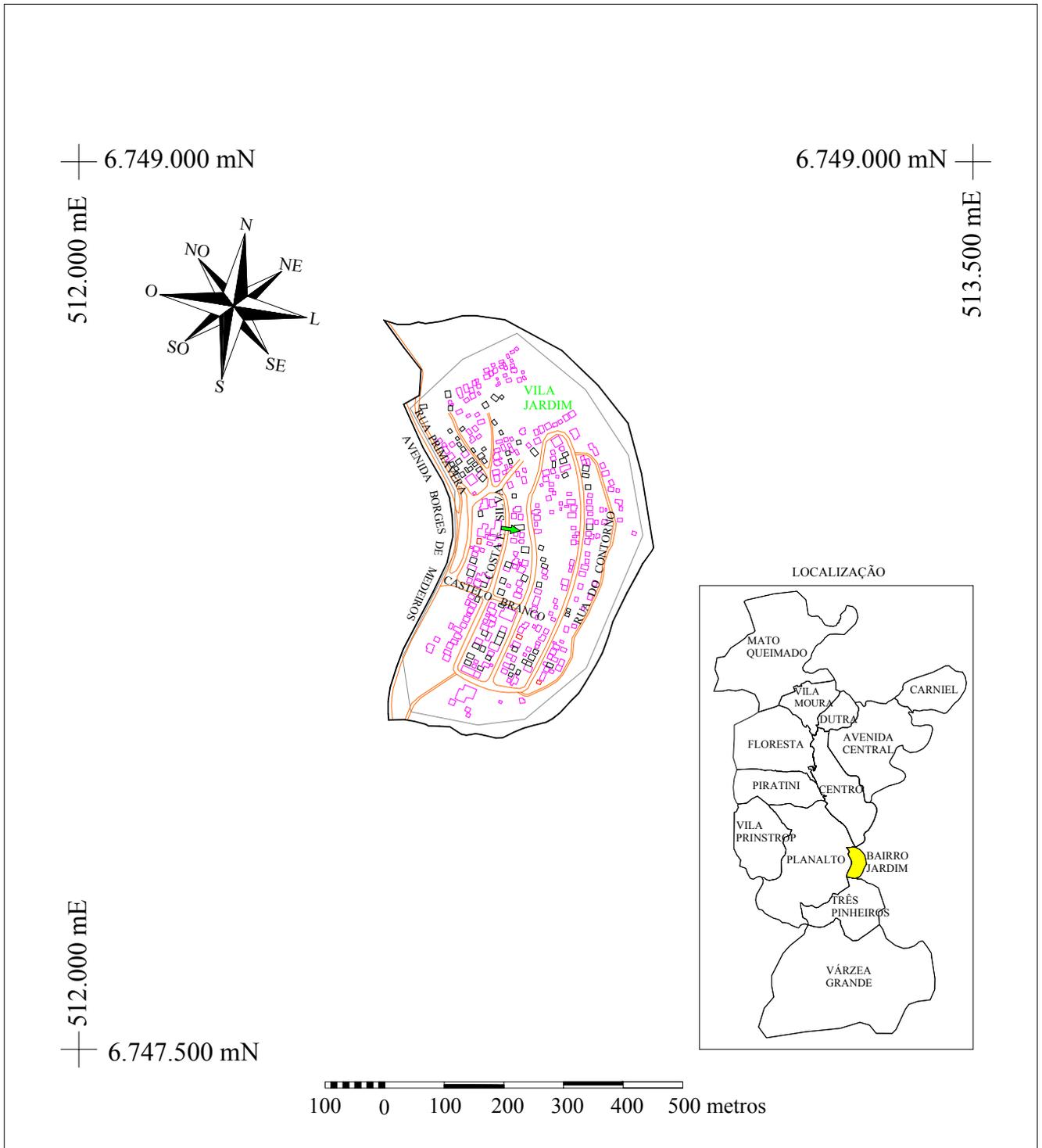
EQÜIDISTÂNCIA DAS CURVAS DE NÍVEL: 5 METROS  
 PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

DATUM VERTICAL: MARÉGRAFO DE IMBITUBA - SC  
 DATUM HORIZONTAL: CHUA - MG (SAD-69)

ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 51° W. GR."  
 ACRESCIDAS AS CONSTANTES 10.000 KM E 500 KM RESPECTIVAMENTE

Base cartográfica digitalizada a partir das plantas cadastrais na escala de 1:5.000, elaboradas através de levantamento aerofotogramétrico em 1984.

**Figura 5.31 - Planialtimetria do Bairro Vila Jardim - Setor Sul**



**LEGENDA**

EDIFICAÇÕES DO CADASTRO DE 1984	
EDIFICAÇÕES DA ATUALIZAÇÃO CADASTRAL (1999)	
CAMPOS E QUADRAS	
CAMINHO	
ESTRADA PAVIMENTADA	
ESTRADA SECUNDÁRIA E RUAS	
LIMITES DO BAIRRO	
LIMITES DO LOTEAMENTO	
AÇUDE, BANHADO	
RIOS	
LAGOS	
VETOR DE CRESCIMENTO	

**BAIRRO JARDIM**  
EXPANSÃO DA OCUPAÇÃO URBANA

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
 DATUM VERTICAL: MARÉGRAFO DE IMBITUBA - SC  
 DATUM HORIZONTAL: CHUA - MG (SAD-69)  
 ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 51 'W. GR."  
 ACRESCIDAS AS CONSTANTES 10.000 KM E 500 KM RESPECTIVAMENTE

Base cartográfica digitalizada a partir das plantas cadastrais na escala de 1:5.000, elaboradas através de levantamento aerofotogramétrico em 1984. Atualização a partir do recobrimento aerofotográfico em 50 mm, executado em maio de 1999.

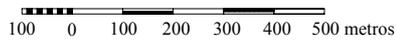
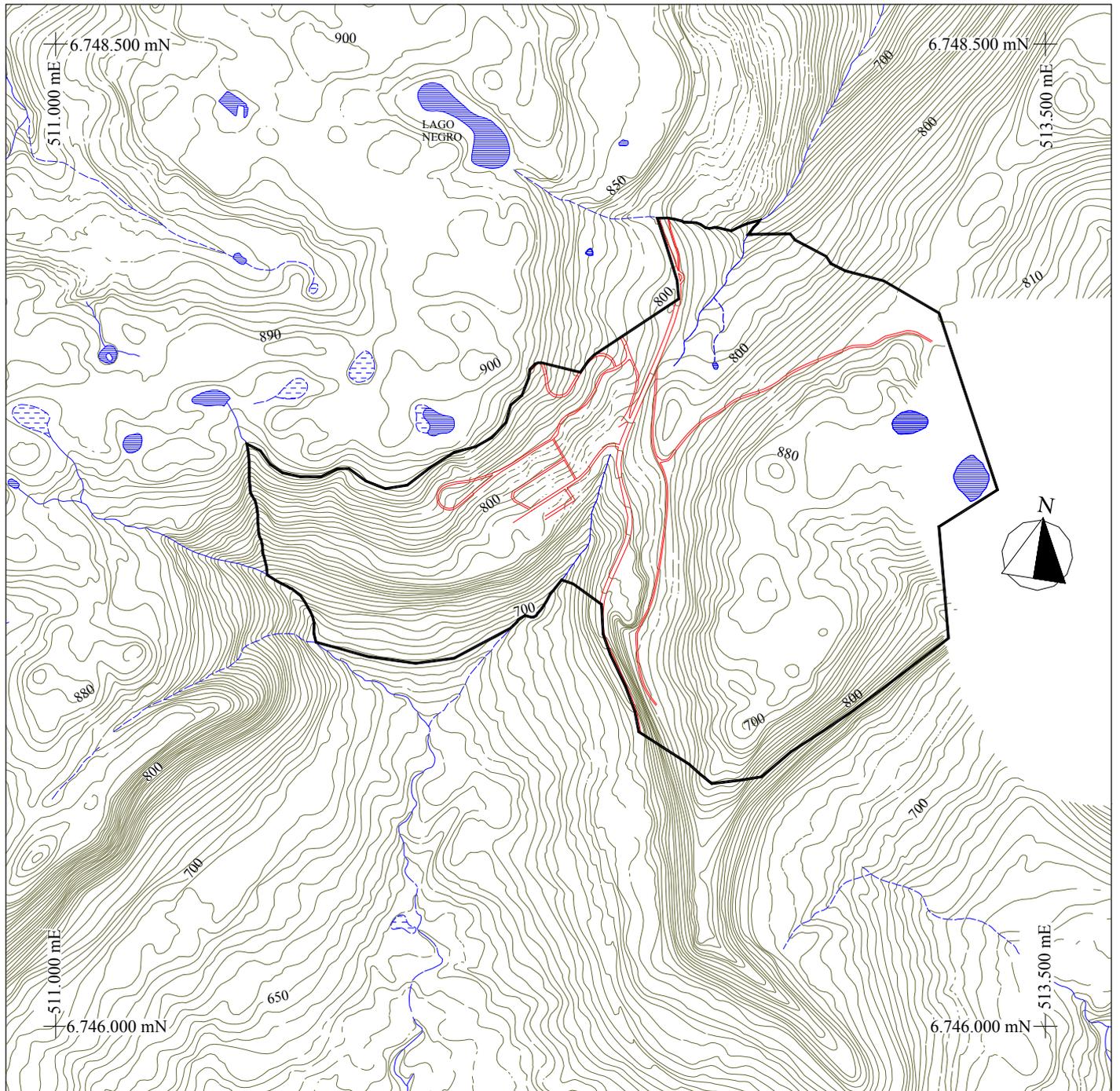
Figura 5.32 - Edificações e Loteamentos do Bairro Vila Jardim (maio/1999)

#### **5.3.3.4.2 – Bairro Três Pinheiros**

O bairro Três Pinheiros tem como principal via de acesso a RS 115, que desenvolve-se no sentido norte-sul, comunicando-se com a avenida Borges de Medeiros), onde as altitudes chegam a 800 m, conforme dados do mapa planialtimétrico (figura 5.33).

A ocupação deste bairro, para o ano de 1984, mostra uma concentração de residências de moradores ao norte (limites com o bairro Jardim) e ao sul, seguindo o desenvolvimento da avenida Borges de Medeiros (figura 5.3). Neste mesmo ano, havia um número pouco expressivo de residências, chegando apenas ao valor de 23 edificações. Este reduzido número de residências indica que a ocupação deste bairro é uma das mais recentes dentre os demais, sendo que a demarcação do primeiro loteamento nesta área ocorreu somente em 1982 (loteamento Maredial II).

Com a ocupação do loteamento Maredial II (figura 5.34), a concentração de residências passou a localizar-se na região oeste do bairro Três Pinheiros, sendo que no ano de 1999, o bairro Três Pinheiros já totalizava um número de 192 edificações que, em outras palavras, representa um crescimento de oito vezes o número total de residências. Após a consulta ao banco de dados, verificou-se que este bairro apresentou o maior crescimento da ocupação dentre os demais (tabela 5.1), apesar das limitações de ocupação frente ao relevo fortemente acidentado e da densa cobertura vegetal.



LEGENDA	
ESTRADA PAVIMENTADA	
ESTRADA SECUNDÁRIA E RUAS	
LIMITES DO BAIRRO	
AÇUDE, BANHADO	
RIOS	
LAGOS	

## BAIRRO TRÊS PINHEIROS

### PLANIALTIMETRIA

EQÜIDISTÂNCIA DAS CURVAS DE NÍVEL: 5 METROS

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

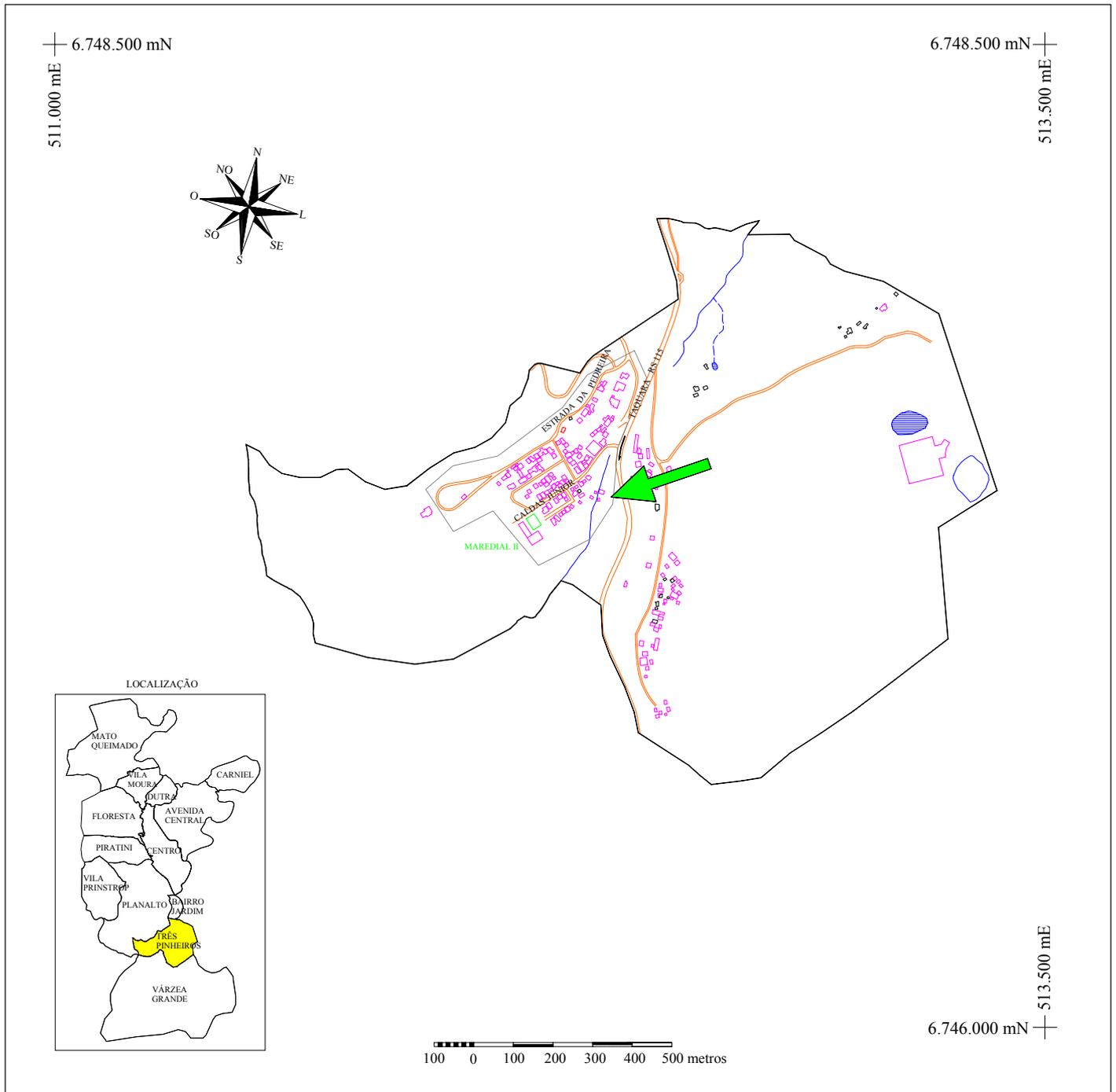
DATUM VERTICAL: MARÉGRAFO DE IMBITUBA - SC

DATUM HORIZONTAL: CHUA - MG (SAD-69)

ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 51° W. GR."  
ACRESCIDAS AS CONSTANTES 10.000 KM E 500 KM RESPECTIVAMENTE

Base cartográfica digitalizada a partir das plantas cadastrais na escala de 1:5.000, elaboradas através de levantamento aerofotogramétrico em 1984.

Figura 5.33 - Planialtimetria do Bairro Três Pinheiros - Setor Sul



LEGENDA	
EDIFICAÇÕES DO CADASTRO DE 1984	
EDIFICAÇÕES DA ATUALIZAÇÃO CADASTRAL (1999)	
CAMPOS E QUADRAS	
CAMINHO	
ESTRADA PAVIMENTADA	
ESTRADA SECUNDÁRIA E RUAS	
LIMITES DO BAIRRO	
LIMITES DO LOTEAMENTO	
AÇUDE, BANHADO	
RIOS	
LAGOS	
VETOR DE CRESCIMENTO	

## BAIRRO TRÊS PINHEIROS

### EXPANSÃO DA OCUPAÇÃO URBANA

PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

DATUM VERTICAL: MARÉGRAFO DE IMBITUBA - SC

DATUM HORIZONTAL: CHUA - MG (SAD-69)

ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 51° W. GR."  
ACRESCIDAS AS CONSTANTES 10.000 KM E 500 KM RESPECTIVAMENTE

Base cartográfica digitalizada a partir das plantas cadastrais na escala de 1:5.000, elaboradas através de levantamento aerofotogramétrico em 1984. Atualização a partir do recobrimento aerofotográfico em 50 mm, executado em maio de 1999.

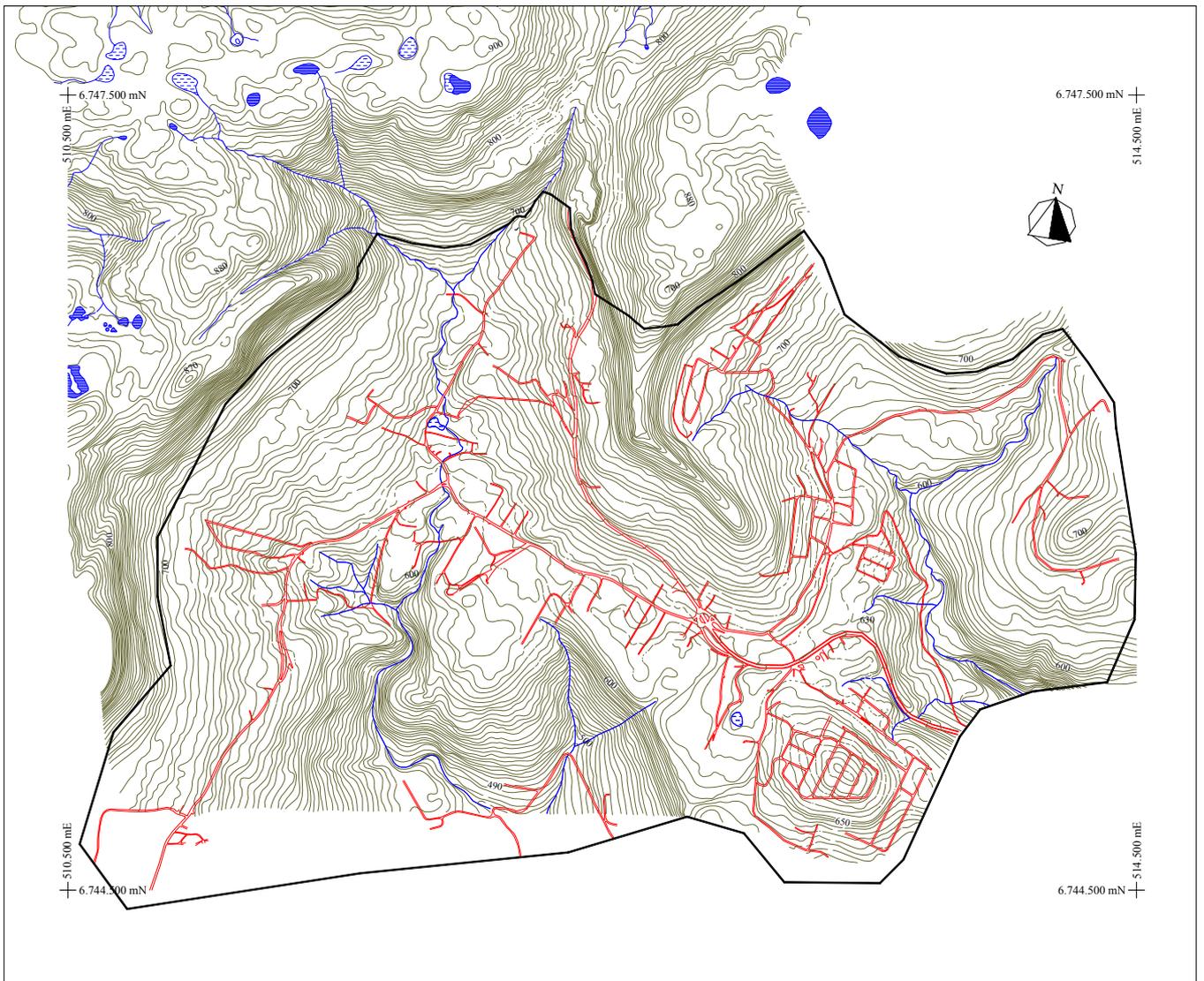
Figura 5.34 - Edificações e Loteamentos do Bairro Três Pinheiros (maio/1999)

#### 5.3.3.4.2 – Bairro Várzea Grande

Localizado na região meridional da área urbana de Gramado, o bairro Várzea Grande apresenta a maior área, maior número de edificações residenciais e de indústrias, além do maior número de loteamentos dentre os demais bairros estudados.

A principal via de acesso é a 1º de maio e a RS 115 (estrada para Três Coroas), que comunica-se com os bairros Planalto, Jardim e Três Pinheiros (figura 5.36). Esta comunicação favoreceu o crescimento do número de residências neste bairro, concentradas inicialmente em estradas transversais à RS 115. Com a abertura destas estradas transversais, e com o advento de inúmeros loteamentos, surgiram muitas novas edificações, que chegaram a representar um número total de 543 edificações para o ano de 1984. É importante ressaltar que a expansão das edificações está limitada às condições naturais locais, em função da exuberante vegetação nativa localizada em encostas íngremes e de áreas alagadiças, próximos a cursos d'água perenes e intermitentes (figura 5.35). Além destas áreas, destacam-se as zonas destinadas à preservação paisagística, como por exemplo ao longo da RS 115.

Na década de 80, foram implantados os loteamentos Michaelсен (1980), Vila do Sol (1980), Vale Verde (1980), Vila Paraíso (1982) e o loteamento Sociedade de Habitação Popular (1988), enquanto que durante a década de 90, os loteamentos Altos da Viação (1996) e o Nase e Moschem (1998). O mapeamento temático mostrou um grande incremento de novas edificações em um período de 15 anos, principalmente na região leste do bairro Várzea Grande. Este incremento deve-se à ocupação mais intensiva dos loteamentos Michaelсен, Vila Paraíso, Vila do Sol, Sociedade de Habitação Popular e o Nase e Moschem. Além do surgimento de loteamentos populares, outro importante fator foi o crescimento de indústrias manufatureiras nesta região (indústria de móveis Sierra, por exemplo), que favoreceu o desenvolvimento de pequenos estabelecimentos comerciais e de residências de moradores. Com base nos dados obtidos com o mapeamento temático, constatamos um crescimento de quase 240 %, totalizando 1844 edificações, cujo valor representou o maior número de edificações dentre os demais bairros da área urbana de Gramado.



LEGENDA	
ESTRADA PAVIMENTADA	
ESTRADA SECUNDÁRIA E RUAS	
LIMITES DO BAIRRO	
AÇUDE, BANHADO	
RIOS	
LAGOS	

**BAIRRO VÁRZEA GRANDE**  
PLANIALTIMETRIA

EQÜIDISTÂNCIA DAS CURVAS DE NÍVEL: 5 METROS  
 PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
 DATUM VERTICAL: MARÉGRAFO DE IMBITUBA - SC  
 DATUM HORIZONTAL: CHUA - MG (SAD-69)

ORIGEM DA QUILOMETRAGEM UTM "EQUADOR E MERIDIANO 51 "W. GR."  
 ACRESCIDAS AS CONSTANTES 10.000 KM E 500 KM RESPECTIVAMENTE

Base cartográfica digitalizada a partir das plantas cadastrais na escala de  
 1:5.000, elaboradas através de levantamento aerofotogramétrico em 1984.

**Figura 5.35 - Planialtimetria do Bairro Várzea Grande - Setor Sul**

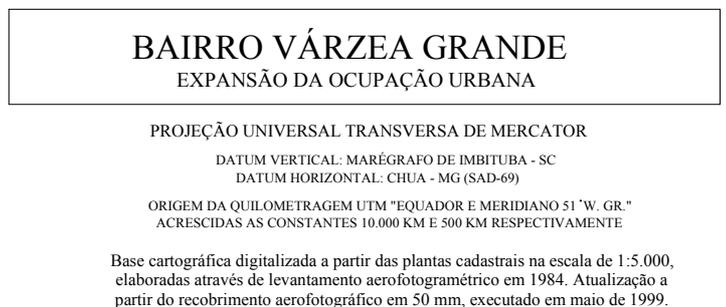
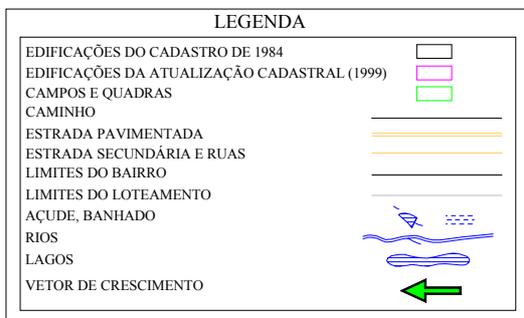
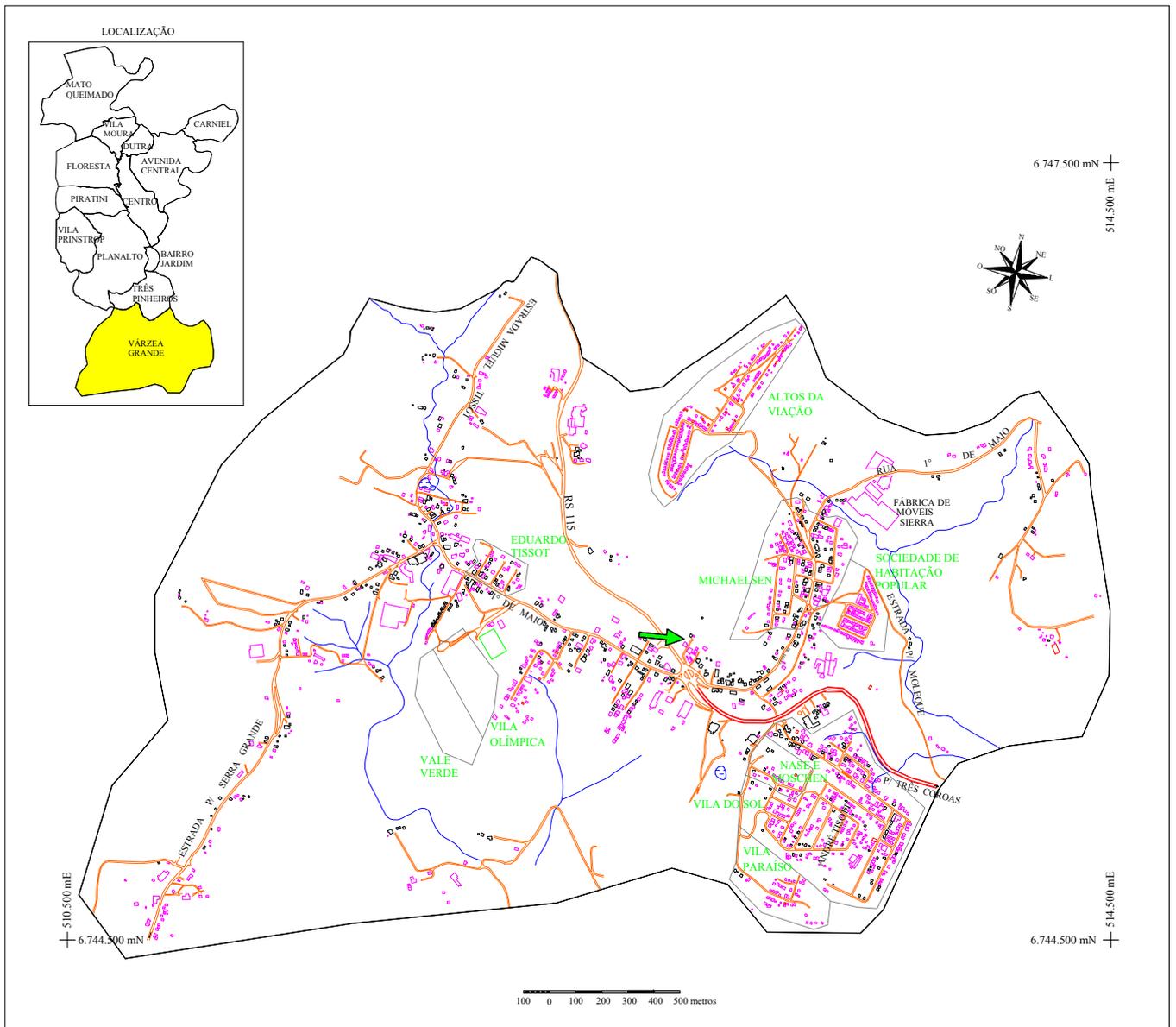


Figura 5.36 - Edificações e Loteamentos do Bairro Várzea Grande (maio/1999)

#### **5.4 – O papel do Estado no controle do processo de urbanização**

Os proprietários fundiários, de empresas comerciais e/ou de indústrias, além dos promotores imobiliários, grupos sociais excluídos e o próprio Estado “fazem e refazem a cidade” (Corrêa, 1989). Em geral, um marco jurídico regulamenta a contribuição e a ação destes agentes sociais, como é o caso da Constituição Federal e, numa escala menor, as leis orgânicas municipais.

A Constituição Federal de 1988, em seu art. 182, passou a obrigar os municípios com mais de 20.000 habitantes a terem seu plano diretor, como é o caso de Gramado. “Inventariar e diagnosticar qual vocação ecológica e os usos das diferentes áreas de uma cidade será o mínimo que um plano diretor deverá conter” (Medauar, 2002).

A Lei 10.257, de 10/07/2001, denominada de Estatuto da Cidade, estabelece diretrizes gerais da política urbana, complementando a Constituição Federal de 1988. De acordo com esta Lei, o plano diretor é parte integrante do processo de planejamento municipal, devendo ser revisto, pelo menos, a cada dez anos (art. 42). O plano plurianual, as diretrizes orçamentárias e o orçamento anual devem incorporar as diretrizes e as prioridades nele contidas.

A Lei Municipal nº 1.033, de 25/09/1991, instituiu o plano diretor do município de Gramado. Foram consideradas como parte integrante desta Lei, elementos técnicos como as próprias diretrizes do plano, um conjunto de plantas cadastrais e uma planta de zoneamento, definindo zonas de ocupação e uso da terra, o sistema viário e o sistema verde de recreação.

Por sua vez, esta planta de zoneamento deve conter a divisão político-administrativa do perímetro urbano em bairros, tendo em vista uma melhor gestão dos recursos municipais. Afora estas definições legais, outra forma de zoneamento de uma cidade pode ser através de sua divisão em duas áreas distintas: um núcleo urbano, onde inicia-se a expansão da ocupação urbana, e zonas periféricas a este centro, limítrofes à área rural.

Partindo-se desta divisão, verificamos que no núcleo urbano localizam-se as sedes administrativas das empresas privadas e as instituições estatais, pequenos estabelecimentos comerciais e de serviços, além de um número pouco expressivo de

residência de moradores. Nestas áreas, o uso do solo é mais intensivo, com limitado crescimento horizontal das edificações, em função da menor dimensão dos terrenos e dos mais elevados preços da terra. A ampla escala de crescimento vertical das edificações, característica dos núcleos urbanos das grandes cidades, não ocorre no município de Gramado; de acordo com o plano diretor, o número máximo de pavimentos das edificações permitido é de apenas quatro nas zonas de uso comercial do bairro Centro.

A zona periférica da área urbana apresenta um uso semi-intensivo do solo, figurando o comércio varejista e as indústrias leves. O maior espaço disponível e o menor preço da terra favorecem a implantação e expansão de edificações de maior porte, cuja localização ocorre próxima aos principais eixos rodoviários.

Como podemos observar nas plantas cadastrais, o padrão de localização das indústrias manufatureiras ocorre nas áreas planas e mais afastadas do núcleo urbano. As razões para este padrão de localização residem na ocorrência de terrenos mais baratos e amplos nas áreas periféricas, além da proximidade com os principais eixos viários, tendo em vista um melhor escoamento da produção. A ação destas indústrias modela a cidade, provocando mudanças no uso da terra, inclusive para o surgimento de áreas residenciais próximas, geralmente de classe baixa.

Os terrenos das áreas periféricas, de posse dos proprietários fundiários, e comprados a baixos preços, são valorizados pela implantação de infra-estrutura estatal e privada, resultando na expansão da ocupação do núcleo para as periferias urbanas. Em alguns casos, verifica-se a tendência da incorporação das áreas do espaço rural, limítrofes ao espaço urbano, cuja consequência é o aumento do perímetro urbano.

Regra geral, os proprietários de terras bem localizadas, investem em campanhas publicitárias exaltando as qualidades da área oferecida, cujo público-alvo é a população com maior renda. No entanto, para o caso de Gramado, nem sempre as áreas tecnicamente mais propícias para a implantação de um loteamento são as mais valorizadas. Aspectos físicos da paisagem como a densa cobertura vegetal e um modelado de morros altos com topos planos e forte inclinação das vertentes não representam entrave ao surgimento de loteamentos e para a construção de edificações. Estes terrenos localizados em áreas com relevo acidentado e nas maiores altitudes, antes

pouco valorizados pela dificuldade de acesso e pela necessidade de maiores investimentos na implantação dos loteamentos, foram muito valorizados e são o alvo de interesse dos proprietários fundiários e dos promotores imobiliários.

O município de Gramado, considerado como um dos principais pontos turísticos do Brasil, apresentou um grande crescimento de empreendimentos imobiliários nos últimos vinte anos. Todavia, o sucesso de qualquer empreendimento depende da escolha adequada da localização, do tamanho das unidades e da qualidade do prédio a ser construído, de acordo com as condições de mercado e do perfil do consumidor, devendo ser obedecidas as diretrizes estabelecidas pelo plano diretor municipal.

O perfil do consumidor de maior poder aquisitivo é o da residência de moradia ou de veraneio, localizada nas áreas periféricas ao núcleo urbano, geralmente distantes das avenidas principais, e nos terrenos onde se desenvolveram as paisagens naturais de maior beleza cênica. Em outras palavras, o que está sendo oferecido na venda do imóvel é a idéia de uma maior qualidade de vida, em locais cercados por amplas áreas verdes, com menor poluição atmosférica e sonora, e distantes da violência e insegurança das grandes cidades.

Todavia, apesar deste potencial de mercado, a implantação de qualquer empreendimento imobiliário deve obedecer a uma série de pré-requisitos, como a aprovação do projeto de loteamento e a demonstração da viabilidade de tratamento do esgoto cloacal. Além destas exigências, são verificados o respeito às áreas de preservação paisagística e faixas de domínio viário, bem como a todas as demais diretrizes definidas no plano diretor.

As diretrizes de planejamento definidas no plano diretor municipal nem sempre são obedecidas, apesar das severas punições legais a que são submetidos os proprietários irregulares. Basicamente, são as populações de baixa renda que ocupam áreas irregulares, ocupadas pela população de baixa renda, onde as condições de infraestrutura são mínimas, como a falta de um saneamento básico adequado.

Muitas destas áreas irregulares e subhabitações são o resultado do fluxo migratório, de pessoas atraídas pelas oportunidades de emprego geradas a partir da economia local, que tem base na atividade turística. Em outras palavras, a oferta de empregos nos setores secundário e terciário, acaba por resultar em um grande fluxo de

pessoas, que apresentam dificuldades para se instalarem devido à falta de habitação, ocupando assim áreas irregulares.

A população de baixa renda é atingida pelo alto custo de vida no município, devido ao turismo, ocasionando dificuldades na aquisição de elementos básicos de subsistência. Por outro lado, as pessoas inseridas na atividade de turismo necessitam de investimentos constantes na boa aparência física e cultural para atender ao público. Ainda, quando há eventos maiores, desperta atenção para a população de rua, como idosos, crianças, adolescentes, portadores de deficiência e vendedores ambulantes que usam o espaço para a mendicância e comercialização de seus produtos, que é proibida pelas leis municipais. Grande parte desta população é oriunda de cidades vizinhas, que passa o dia na cidade, e à noite retornam à cidade de origem. Inserido neste contexto, as questões sociais se agravam, como estrutura familiar e os conflitos existentes decorrentes de toda uma política macroestrutural.

Em outras palavras, a tendência de surgimento de ocupações irregulares é o resultado da exclusão social e da falta de um monitoramento efetivo do território pelo Estado. O investimento público na produção do espaço, através de obras de infraestrutura em geral, é de responsabilidade do Estado, que é um importante agente de organização e regulação do uso do espaço urbano. O Estado também é um promotor da segregação residencial, partindo de investimentos públicos desiguais, valorizando imóveis com a implantação de infra-estrutura.

Conforme Corrêa (1989), a segregação espacial pode ser entendida como uma espacialidade das classes sociais, verificada basicamente devido ao diferencial da capacidade que cada grupo social tem de pagar pela localização e tipo de residência que ocupa.

Em outras palavras, esta segregação residencial, produto da desigualdade social, consiste no surgimento de loteamentos ou bairros caracteristicamente homogêneos quanto ao nível de renda de suas populações. Por exemplo, poderíamos citar os pequenos aglomerados de edificações em áreas irregulares quanto à ocupação e ao uso do solo, com baixas condições de qualidade de vida, e os empreendimentos imobiliários de classe alta, assistidos por todos os confortos proporcionados pela completa infraestrutura, bastante característicos da área urbana de Gramado.

## 6 – CONCLUSÕES

A obtenção de FAPEF's e sua aplicação no mapeamento temático das edificações das plantas cadastrais digitais do município de Gramado, permitiu a geração de dados que foram estruturados topologicamente por meio de um SIG. Através da consulta ao banco de dados, obtiveram-se a quantificação e a localização geográfica das edificações mapeadas, para os anos de 1984 e 1999, possibilitando a elaboração de um mapa temático da expansão da ocupação dos bairros da área urbana para o período estudado.

Apesar das fotografias aéreas convencionais ainda serem os produtos mais utilizados para o mapeamento das feições terrestres em média e grande escalas, verifica-se uma tendência de crescimento da obtenção de fotografias aéreas por processos mais simples e econômicos, com caráter complementar ao dos produtos fotogramétricos, como as FAPEF's obtidas no presente estudo.

As vantagens da utilização das câmeras não-métricas de pequeno formato frente aos métodos convencionais com câmeras aerofotogramétricas são o baixo preço e a disponibilidade comercial muito grande das câmeras comuns, com vários tamanhos, acessórios e uso de diferentes lentes e filmes, associado ao baixo investimento de manutenção dos equipamentos e a maior velocidade de obtenção e revelação dos produtos fotográficos. Além destas vantagens, o valor do aluguel da aeronave para a execução do vôo é muito mais acessível do que o exigido para os levantamentos convencionais, onde são necessárias aeronaves de maior porte e com adaptações específicas na fuselagem para a acoplagem de plataformas giroestabilizadas, que são de maior porte e muito mais pesadas do que as utilizadas nos levantamentos aerofotográficos.

Outras vantagens frente às câmeras aéreas convencionais são a baixa altura de vôo, que permite a obtenção de FAPEF's com escalas maiores e, portanto, com elevado grau de detalhamento dos objetos fotografados, a reduzida velocidade da aeronave e do intervalo de tempo entre as exposições consecutivas e a grande portabilidade dos equipamentos, no que diz respeito à possibilidade de se acoplar uma ou mais câmeras em diferentes tipos de plataformas, e nas mais diversas modalidades de aeronaves.

Todavia, a limitação da técnica aplicada está no recobrimento de áreas extensas, sobretudo na obtenção de fotografias aéreas com escalas pequenas, que são tomadas em grandes altitudes, onde são necessárias aeronaves com cabines pressurizadas. Somado a estas condições, seria necessário um elevado número de FAPEF's para o recobrimento destas áreas, tornando o processo inviável quanto ao seu custo-benefício.

Com relação à operação de recobrimento aerofotográfico, o sucesso da missão de vôo dependeu essencialmente da etapa de seu planejamento, simplificada na produção de um mapa de vôo. Apesar da missão de vôo ter sido executada em uma aeronave convencional e não modificada para levantamentos aerofotogramétricos, verificaram-se bons resultados no recobrimento aerofotográfico com os equipamentos utilizados.

O tipo de suporte externo, acoplado na fuselagem lateral da aeronave, mostrou-se eficiente para a tarefa de troca dos filmes fotográficos após o término de cada faixa de vôo. Outra vantagem foi a possibilidade de controle da inclinação do eixo óptico da câmera no momento da exposição, através da unidade de nivelamento da plataforma utilizada. Todavia, alguns aspectos negativos podem ser apontados com relação à fixação exterior da plataforma, como a inexistência de sistemas giroestabilizadores para a correção dos movimentos da câmera fotográfica, a restrição quanto ao tipo de aeronave e a redução da aerodinâmica e estabilidade do avião. Além destes aspectos, é importante destacar algumas desvantagens verificadas com a remoção de uma das portas laterais da aeronave para o conforto da tripulação, dentre as quais a redução da temperatura interna da cabine, que apresentava-se relativamente baixa em função da altura de vôo, e o aumento de ruídos na cabine, oriundos do motor do avião, que dificultaram a comunicação entre o piloto e o operador da câmera.

No que diz respeito à execução do recobrimento aerofotográfico, o mesmo foi realizado em condições de turbulência atmosférica e com a presença de fortes ventos laterais, que provocaram desvios e rotações da câmera fotográfica com relação à situação ideal prevista, como pode ser observado no fotoíndice em anexo. A solução encontrada para minimizar possíveis erros no recobrimento por deriva da aeronave foi a navegação com a maior dimensão do negativo transversal à direção da linha de vôo, que possibilitou a redução do número de faixas de vôo necessárias para o recobrimento do terreno desejado, e, portanto, do número de filmes utilizados no recobrimento aerofotográfico.

A navegação por GPS e a aplicação do sistema aerofotográfico *Accuphoto* foram essenciais para o sucesso da etapa do recobrimento; não houve, portanto, a necessidade de repetição da execução das faixas de vôo ou mesmo de sobrevôo. A probabilidade de sucesso na missão de vôo poderia ser comprometida com a metodologia de navegação por controle visual, utilizando-se um cronômetro e controlando-se as derivas por instrumentos de navegação da aeronave, tais como o altímetro e a bússola.

As FAPEF's obtidas a partir da revelação dos negativos apresentaram boa resolução e contraste, como resultado da utilização de equipamentos como uma câmera comum com um poder de resolução e precisão das lentes adequado para o aerolevante, de filmes fotográficos coloridos com sensibilidade de 100 ASA, de um filtro *skylight* acoplado na objetiva da câmera e da correta regulagem da velocidade de abertura do obturador da câmera, para evitar o arrastamento da imagem dos objetos fotografados.

No processo de georreferenciamento das FAPEF's digitais, as correções geométricas pelo método da retificação polinomial, aplicando-se sistemas de equações de segundo grau, e o método de reamostragem pelo vizinho mais próximo, mostraram-se aceitáveis dentro do valor máximo de 2,5 m para o PEC planimétrico das plantas cadastrais digitais.

Os maiores valores de EP foram encontrados nas FAPEF's onde a distribuição e o número de pontos de controle foi insuficiente para a determinação de sistemas de equações polinomiais de segundo grau. Outra causa para o aumento destes erros foram as próprias distorções das FAPEF's, em função da projeção central, do ângulo de

inclinação do eixo óptico em relação ao nadir e do deslocamento da imagem devido ao relevo acidentado.

Todavia, apesar dos valores encontrados para o RMS de cada FAPEF ter sido satisfatório, cumpre observar que o georreferenciamento de cada fotografia a partir do método polinomial não implicou a transformação da projeção central das FAPEF's em uma projeção ortogonal, uma vez que para a produção de uma ortofoto seria necessário o conhecimento dos parâmetros de orientação interna e externa para as equações de projeção fotogramétrica. Em função do desconhecimento destes parâmetros, as FAPEF's não podem ser utilizadas para a medição precisa das dimensões dos objetos fotografados, que podem ser medidos com acurácia apenas em fotografias obtidas a partir de câmeras aerofotogramétricas ou a partir de câmeras que possuam certificado de calibração.

A aplicação de uma câmera comum não-calibrada no aerolevanteamento, com a inexistência de um sistema de lentes de alta precisão e de um sistema que garanta a planura dos filmes, somado ao processo de ampliação dos negativos, às deformações do papel fotográfico e à rasterização das fotografias em papel por *scanners* comuns, foram fatores que contribuíram para a distorção da imagem dos objetos fotografados.

Outros fatores também contribuíram para o surgimento de deformações das imagens dos objetos fotografados, relacionados aos movimentos da câmera fotográfica durante a execução do recobrimento. As condições atmosféricas de turbulência provocaram a inclinação e a rotação do eixo óptico da câmera, causando deslocamentos das imagens, além das variações de escala resultantes da mudança da altura de vôo em função da presença de correntes ascendentes. Somado às condições meteorológicas, as vibrações no suporte fixo transmitidas pelo funcionamento motor da aeronave também provocaram movimentos do eixo óptico da câmera fotográfica, em função da ausência de um sistema de amortecimento na plataforma. Além destes aspectos, cumpre destacar a influência do modelado de relevo para o deslocamento e variação da escala da imagem, que sofreu maiores influências nas fotografias aéreas tomadas em áreas com um modelado de relevo mais acidentado.

Apesar das críticas a respeito da aplicação da referida técnica para a obtenção de produtos fotográficos com precisão métrica e, portanto, inadequadas para o cadastro

técnico urbano, sua validade consiste na produção de mapas temáticos com baixo custo e que permitem o reconhecimento dos recursos naturais e da infra-estrutura de um determinado município.

Metodologias tradicionais de atualização cartográfica, particularmente quanto à informação temática, têm sido baseadas no uso da aerofotogrametria, pela acurácia e precisão, mas o seu elevado custo torna por vezes inviáveis mapeamentos sistemáticos com periodicidade adequada.

Em geral, inúmeras aplicações das FAPEF's têm sido utilizadas conjuntamente com levantamento de campo, no âmbito da atualização de plantas cadastrais de municípios com baixa receita. Na verdade, muitos seriam os problemas gerados quando uma administração não tem a possibilidade de adquirir fotografias aéreas convencionais e, portanto, de usufruir do conhecimento e do controle dos próprios recursos municipais, para planejar e assim gerar riquezas.

Desta maneira, com relação à metodologia e ao tipo de convênio realizado pela prefeitura de Gramado, o resultado foi a redução do orçamento destinado para o mapeamento temático, proporcionando um maior benefício para a comunidade local. A canalização racional dos recursos públicos na administração municipal é uma das alternativas para reduzir os gastos com o planejamento.

Além da importância da obtenção e aplicação dos produtos fotográficos no mapeamento temático das edificações, destaca-se a produção de informações como as delimitações dos bairros e da área urbana de Gramado, que são dados cartográficos básicos para qualquer planejamento urbano regional.

A expansão da ocupação urbana, que representou quase 165 % de crescimento em um período de apenas 15 anos, justifica e reforça a necessidade de se manter atualizadas as bases cartográficas deste município. No entanto, a atualização dos dados cadastrais representa apenas uma das etapas para o planejamento urbano, que deve fornecer subsídios para o desenvolvimento sustentável do espaço físico-territorial.

Com relação ao SIG utilizado, suas principais vantagens foram a capacidade de armazenar, manipular e analisar um grande volume de informações, como as mais de

10.000 edificações representadas nas plantas cadastrais, estruturadas topologicamente para as consultas ao banco de dados.

As ferramentas de edição (*drawing cleanup*) foram indispensáveis para a correção dos erros de digitalização de alguns polígonos das edificações, preparando previamente os dados para a topologia.

A geração de uma topologia de polígono, além de determinar automaticamente a posição do centróide de cada edificação, tornou possível a criação de um banco de dados relacional, com informações de área e perímetro para todas as edificações. Posteriormente, através da consulta ao banco de dados, e com a determinação da posição dos centróides para as duas datas estudadas, por bairros e para toda a área urbana, foi possível a elaboração do mapa temático da expansão da ocupação urbana. Portanto, uma grande quantidade de informações foi gerada durante um reduzido tempo de processamento, com uma simplicidade de manipulação, alta precisão dos dados e baixo investimento financeiro envolvidos no processo.

A principal vantagem do mapa temático elaborado consiste na representação geocodificada, sintética e objetiva de um fenômeno complexo como a expansão da ocupação urbana de um município com grande importância turística como é o de Gramado.

As informações dos vetores de crescimento e do crescimento percentual absoluto da ocupação dos bairros foram interpretadas com base no conhecimento dos aspectos físicos e antrópicos da área de estudo, obtidos através de saídas de campo e pela consulta bibliográfica.

Com relação aos aspectos físicos, verificou-se que a área de estudo apresenta um embasamento de rochas riolíticas e um modelado de relevo caracterizado por encostas íngremes. A ação do intemperismo sobre os terrenos declivosos e cobertos por solos riolíticos rasos e pedregosos, descobertos pela vegetação, provoca movimentos de massa, tornando estas áreas inadequadas para a ocupação.

Apesar de serem consideradas como áreas de risco, grande parte destas áreas são ocupadas irregularmente por residências de moradores de classe baixa, mas também verificam-se residências de moradores ou de veraneio de classe alta, com a diferença de

que as últimas foram planejadas para serem construídas nestas condições adversas, com aprovação pelo plano diretor, estando servidas de completa infra-estrutura.

A influência de fatores antrópicos, promovidos pela intervenção estatal, como a construção de vias de acesso e o surgimento de loteamentos, exerceram influência para a mudança dos padrões de ocupação urbana. Aspectos físicos da paisagem da área urbana, que seriam considerados desfavoráveis para a ocupação, como a densa cobertura vegetal e um modelado de morros altos com topos planos e forte inclinação das vertentes, não representaram entrave ao surgimento de loteamentos e para a construção de edificações, favorecidos pela demanda de mercado por áreas cercadas por amplas áreas verdes, distantes da poluição atmosférica e sonora presentes nas grandes cidades.

Dentre os fatores que promoveram a repulsão do núcleo urbano, destacam-se a dificuldade de obtenção de espaço para a expansão da ocupação, alto preço das terras, congestionamento do sistema de transportes e comunicações. Por outro lado, os fatores favoráveis para a ocupação das áreas periféricas foram as terras não ocupadas, a baixo preço e impostos, infra-estrutura implantada, possibilidade de controle do uso das terras e amenidades naturais.

Do ponto de vista dos proprietários fundiários, esta descentralização da ocupação urbana representou a valorização e o aumento do lucro sobre a terra, enquanto que para os promotores imobiliários, um novo campo para investimentos concretizados no surgimento de muitos loteamentos.

Através da intervenção estatal, e principalmente em função dos interesses dos proprietários fundiários e dos promotores imobiliários de expandirem seus negócios, verificou-se a tendência da incorporação de áreas do espaço rural ao espaço urbano, cuja consequência foi o aumento do perímetro urbano durante o período estudado.

Com base no mapeamento temático das edificações, observou-se que a evolução da ocupação urbana ao longo das décadas de 80 e 90 mostrou uma forte tendência de interiorização da ocupação urbana, em função do crescimento centrífugo ou radial partindo do núcleo urbano.

Esta tendência de ocupação das periferias da área urbana pôde ser comprovada pelo menor crescimento dos setores central e o oeste, que são os mais antigos quanto a sua ocupação. Por outro lado, o processo de ocupação dos setores norte e sul, que começou a se tornar representativo a partir da década de 70, apresentou um crescimento ainda maior durante as décadas de 80 e 90, como verificado no presente estudo.

Com relação à expansão da ocupação da área urbana, sua orientação para a região SE pode ser explicada pelo grande desenvolvimento do setor sul a partir da década de 80, com a abertura de estradas transversais à estrada de rodagem RS 115, e posteriormente com a expansão dos setores secundário e terciário, além do surgimento de inúmeros loteamentos nesta região.

A rodovia RS 115 contribuiu consideravelmente para o crescimento da ocupação da região sudeste da área urbana, em função da possibilidade de escoamento da produção e de migração do núcleo urbano para esta região.

A expansão da ocupação do setor sul caracterizou-se pela construção de muitas residências de moradores no bairro Três Pinheiros, que apresentou o maior crescimento do número total de edificações dentre todos os demais bairros da área urbana durante o período estudado. Somado a este crescimento, destaca-se a expansão da ocupação para a região meridional da área urbana, no bairro Várzea Grande, onde verificou-se o maior número de edificações residenciais, de indústrias e de loteamentos existentes na área urbana de Gramado.

O elevado número de residências surgidas após o cadastro de 1984 nos limites extremos do setor sul influenciaram na orientação do vetor resultante, pois a estimativa da posição dos centróides foi determinada através de um estimador tendencioso, como é o caso da média aritmética. Assim, posições extremas influenciaram o resultado obtido, motivo pelo qual a média aritmética foi aplicada para demonstrar a variação da posição dos centros de gravidade das edificações dos bairros e de toda a área urbana.

Quanto ao sentido da expansão da ocupação urbana, destaca-se também a expansão para a região leste, ocorrida principalmente em estradas vicinais ao eixo viário da RS 235, que, por sua vez, permite a comunicação do núcleo urbano com a região nordeste da área urbana.

O crescimento da região nordeste da área urbana, limítrofe ao município de Canela, caracteriza a expansão urbana decorrente da evolução da ocupação próxima aos eixos viários. A imagem do satélite Landsat 7 comprova que a ocupação ao longo dos limites da RS 235 evidencia uma forte tendência de formação de aglomerados urbanos, entre os municípios de Gramado e Canela, em função da expansão dos seus sítios urbanos.

## **7 – RECOMENDAÇÕES**

Para organizar a ocupação e evitar o aumento da concentração urbana, a administração municipal deve promover o incentivo à construção de unidades e conjuntos residenciais populares nas áreas urbanas periféricas desocupadas, bem como em áreas do espaço rural. O turismo rural é uma das alternativas de promover o crescimento através da circulação do capital nestas áreas, favorecendo o surgimento de empregos e a permanência e migração de famílias para o espaço rural.

Através das medidas de contenção da concentração urbana, a administração municipal desfavorece a especulação imobiliária, a formação de ocupações irregulares, o congestionamento do transporte viário e o aumento dos impactos ambientais, como a poluição atmosférica e dos mananciais hídricos, o aumento dos resíduos sólidos no ambiente, bem como o desmatamento da cobertura vegetal.

A falta de um planejamento efetivo do espaço urbano e da preservação de seus recursos naturais acarreta não somente a perda da qualidade de vida da população, mas também a fragilidade da própria economia local, que depende essencialmente da atividade turística e, portanto, deve privar pela preservação da beleza cênica da paisagem e pela qualidade dos serviços, como forma de atrair o fluxo de turistas, que por sua vez gera empregos e circulação de capitais para a região.

A implantação ou execução da expansão da rede viária para os novos loteamentos deve estar fortemente integrada ao planejamento da expansão urbana. O posicionamento das ruas é que vai coordenar o uso do solo da cidade, seja em termos de edificações, obras de infra-estrutura ou mesmo na localização das áreas verdes.

O espaço urbano do município de Gramado apresenta um grande número de ocupações residenciais localizadas em áreas de risco e, portanto, medidas de contenção

da erosão sobre as encostas devem ser tomadas urgentemente para se evitar possíveis tragédias imediatas e, num maior prazo de tempo, os moradores destas áreas devem ser realocados em áreas adequadas para a sua ocupação, assistidos por verbas públicas.

As autoridades municipais devem impedir, portanto, a implantação de loteamentos em terrenos declivosos, devendo estabelecer condições especiais que venham a dar segurança para as construções, fixar diretrizes que evitem a erosão e que possibilitem o trânsito adequado de pedestres e veículos. Ainda, devem restringir o parcelamento do solo em terrenos alagadiços e sujeitos a inundações e cujas condições geológicas são impróprias para a construção de edificações, bem como em terrenos localizados nas áreas de preservação ecológica, protegidas por lei.

Outra importante medida é a fiscalização da atividade do extrativismo da madeira, que promove grande remoção das matas das encostas, causando o aumento dos impactos ambientais no espaço urbano.

A fiscalização dos recursos naturais e das obras municipais pode ser assessorada por meio da utilização das FAPEF's. Por exemplo, a alta resolução espacial e radiométrica destes produtos fotográficos permite o reconhecimento de construções clandestinas e de edificações que não respeitaram o projeto de construção aprovado pela prefeitura, e assim podem ser utilizadas como provas concretas de possíveis irregularidades das ocupações.

Como medida para tornar as FAPEF's mais precisas geometricamente para o mapeamento cadastral, deve-se submeter a câmera fotográfica a um processo de calibração antes da execução do aerolevanteamento, para determinar-se os valores exatos dos elementos de orientação interna, como por exemplo as marcas fiduciais, necessárias para uma restituição das FAPEF's. Outra forma de controle das deformações dos produtos fotográficos é a implantação de um *reseau* para a correção da deformação e da não-planura do filme fotográfico. Para diminuir os movimentos da câmera durante a tomada das FAPEF's, que provocam o arrastamento da imagem dos objetos fotografados, recomenda-se a construção de uma plataforma giro-estabilizada, que permita, sobretudo, o recolhimento do filme fotográfico após a execução de cada faixa de vôo.

No que diz respeito ao planejamento da área urbana do município de Gramado, recomenda-se que o cadastro técnico esteja vinculado à implantação de um Sistema de Informações Geográficas. Através de um SIG, torna-se possível o controle efetivo da complexidade dos aspectos físicos e antrópicos do território, através do armazenamento e cruzamento de planos de informação, que podem ser compartilhados por redes locais ou remotas. Através da consulta ao banco de dados, pode-se obter automaticamente relatórios, estatísticas e mapas com informações geocodificadas, que podem ser manipuladas por meio de modelos matemáticos para a simulação de situações futuras.

A otimização da arrecadação e a construção de um novo conceito gerencial baseado na informação espacial são os principais benefícios obtidos pela implantação do SIG associado ao cadastro técnico municipal. Além disso, é possível a redução de custos operacionais, redução de prazos, otimização do trabalho de pessoal e aumento de produtividade.

Facilitando a integração entre as informações, o SIG amplia o acesso às informações para outros agentes públicos e privados, notadamente para as concessionárias de serviços públicos. Com o uso adequado de aplicações SIG, a administração municipal passa a dispor de um conjunto mais amplo de informações para o planejamento e controle urbanístico e fiscal. A prefeitura pode se tornar prestadora de serviços de informação para outras instituições, órgãos públicos e empresas.

Um SIG, entendido como uma ferramenta de pesquisa e análise, geradora de novas informações, necessita de constante atualização dos dados cartográficos e alfanuméricos. Caso contrário, acaba se convertendo em uma mera mapoteca digital. Portanto, a implantação de um SIG é um processo contínuo, que não tem propriamente um final.

Além da utilização de fotografias aéreas, as plantas cadastrais podem ser atualizadas através de levantamento topográfico, com as coordenadas obtidas nos levantamentos referenciadas às coordenadas dos marcos topográficos existentes em Gramado. Porém, os custos de tempo e investimentos para a aplicação dos levantamentos topográficos tornam-se inviáveis quando existe a necessidade de se medir e georreferenciar uma grande quantidade de objetos, que podem estar localizados a grandes distâncias e em terrenos de difícil acesso.

Com a finalidade de se reduzir os gastos com a atualização das plantas cadastrais da área urbana do município de Gramado, uma das alternativas encontradas frente ao elevado custo dos levantamentos aerofotogramétricos convencionais é a da aplicação da metodologia de obtenção de FAPEF's para o mapeamento temático das edificações. Os baixos custos obtidos com esta metodologia possibilitam a realização de um levantamento aerofotográfico no período de uma gestão pública, de quatro anos, fornecendo uma grande quantidade de informações para o reconhecimento expedito e o mapeamento temático das feições naturais e antrópicas.

Dado que para a maioria das prefeituras municipais, o preço de um mapa ou de sua atualização ainda são proibitivos, torna-se necessária a simplificação da representação dos dados cartográficos. O custo de um mapa depende da quantidade e diversidade dos elementos que contém, a precisão exigida e os produtos a serem gerados. A precisão corresponde ao fator mais oneroso e que provoca maiores custos a um levantamento, pois exige equipamentos e produtos mais caros.

Considerando-se que a aplicação de FAPEF's com câmera não calibrada não pode ser utilizada para o cadastro preciso das dimensões dos objetos a serem mapeados, recomenda-se vincular os bancos de dados dos contribuintes aos polígonos representando os contornos das edificações do município. Desta maneira, além dos dados das dimensões das construções, poderiam ser vinculados aos centróides das edificações todas as variáveis necessárias para o cálculo do valor venal ou predial, ou para o cálculo de impostos, que posteriormente poderiam ser consultados na forma de mapas ou relatórios através da linguagem estruturada (SQL) em um SIG.

Além da consulta ao banco de dados, outra importante aplicação do SIG para o cadastro urbano refere-se à atualização de plantas de zoneamento de uso do solo. As edificações mapeadas a partir das FAPEF's podem ser aplicadas na atualização da planta de zoneamento e da planta de valores, definidas pelo plano diretor, e assim adaptar o zoneamento de uso e o sistema de tributação à nova realidade espacial configurada no município.

A elaboração da planta de zoneamento deve obedecer em primeira instância às leis federais, no que diz respeito ao Código Florestal (Leis nº 4.771 / 65 e nº 7.754 /

89), às resoluções do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente; criado pela Lei nº 6.938 / 84) e à Lei sobre o Parcelamento do Solo Urbano (Lei nº 6.766 / 79), seguindo as especificidades das leis orgânicas estaduais e municipais.

A planta de zoneamento definida pelo plano diretor de Gramado, em formato analógico, poderia ser elaborada com um maior grau de precisão e detalhamento com base nos dados das plantas cadastrais digitais, através do armazenamento, manipulação e análise dos dados cadastrais por meio de um SIG.

Dentro de um SIG, as distâncias ou áreas tampão (*buffers*) a uma determinada feição natural ou artificial podem ser determinadas automaticamente. Assim, algumas das diretrizes propostas no plano diretor poderiam ser espacializadas, como as distâncias a cursos d'água, lagos, represas e matas nativas, bem como as faixas de domínio para as diferentes categorias do sistema viário.

Além da aplicação dos operadores de distância para a elaboração da planta de zoneamento, recomenda-se a geração de um modelo numérico do terreno para a área urbana estudada. A capacidade de geração de mapas hipsométricos a partir de métodos de interpolação dos valores de altitude das curvas de nível, possibilitam o mapeamento das declividades dos terrenos, permitindo a localização de áreas inundáveis e impróprias para a ocupação, ou mesmo que não possam ser ocupadas de acordo com a declividade máxima permitida pelos ditames legais, referentes ao Código Florestal e ao plano diretor municipal.

Com a aplicação dos operadores de distância e do MNT, pode-se delimitar as áreas de preservação permanente definidas no Código Florestal, que consistem em áreas cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar a estabilidade geológica, assegurando assim o bem-estar das populações humanas.

Através da nova realidade espacial urbana configurada no município de Gramado, verificada com a atualização cadastral, é importante a revisão e adaptação dos índices de aproveitamento (valor fixado para o quociente entre a área total de construção computável e a área total do respectivo terreno), a taxa de ocupação (quociente entre a máxima projeção horizontal da área coberta construída e a área total do terreno) e a densidade territorial (valor para determinar o número máximo de

dormitórios ou lojas e salas em uma edificação, para prédios residenciais e comerciais) para cada zona de uso definida na planta de zoneamento.

Muitas outras recomendações poderiam ser enumeradas com relação à aplicação de um SIG municipal, como por exemplo a atualização da planta de valores (utilizada para a tributação municipal), o gerenciamento da infra-estrutura (manipulação e gerenciamento de água, esgoto, gás, energia, telecomunicações, vias de acesso, pavimentação, escolas, rede de coleta de lixo e de transporte urbano, áreas de lazer e de assentamentos urbanos, etc.), a divisão político-administrativa do território (em bairros ou zonas eleitorais), o gerenciamento dos setores da segurança e saúde pública (combate ao crime, roubos, epidemias, incêndios, iluminação pública, etc.) e dos transportes (fluxo de veículos, controle de cargas, etc.). Além destas aplicações, recomenda-se o uso do SIG para o gerenciamento dos recursos renováveis (água, ar, solo, floresta), do setor agrícola (gerenciamento e levantamento de solos, informação das culturas em produção, etc.) e para o monitoramento ambiental (impactos de obras civis, em áreas rurais ou urbanas, estudos da hidrografia e recursos de superfície, cobertura vegetal, declividade, geologia, geomorfologia, pedologia, uso do solo, etc.), além de suas aplicações para a análise dos dados censitários, etc.

Conforme pudemos observar, o uso das geotecnologias aplica-se em todos os setores da administração pública municipal, uma vez que qualquer tipo de fenômeno geográfico passível de ser localizado e representado na forma de relatórios ou mapas geocodificados podem ser armazenados como um banco de dados no SIG municipal, recomendado para se reduzir a subjetividade no processo de tomada das decisões administrativas.

No entanto, a tomada de decisões administrativas através do SIG municipal deve respeitar as leis orgânicas municipais, privando pela integração dos espaços urbano e rural. Por sua vez, recomenda-se que as leis orgânicas apliquem no planejamento urbanístico o controle do processo de urbanização, para assegurar o equilíbrio e evitar o despovoamento das áreas agrícolas ou pastoris, além de elaborar as normas de edificação, de zoneamento e loteamento urbanos (ou para a expansão urbana), atendidas as peculiaridades locais, respeitando as disposições de lei federal ou estadual.

## 8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, J. Bittencourt de. 1998. **Fotogrametria**. Curitiba: Editora SBEE. 258 p.

ARONOFF, S. 1989. **Geographical Information Systems: a Management Perspective**. Ottawa: WDI Publications.

ASSUMPÇÃO, Aline. 2001. **Recado aos Prefeitos: como Arrecadar mais com a Geoinformação**. In: Revista Infogeo, nº 17, ano 3, Curitiba: Editora EspaçoGeo, p. 40-45.

BURROUGH, P. A. 1985. **Principles of Geographical Information Systems and Land Resources Assesment**. Oxford: Claredon Press. 280 p.

CÂMARA, Gilberto; MEDEIROS, José S. 1998. Tendências de Evolução do Geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (ed.) **Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura**. Brasília: SPI, p. 411-424

CÓDIGO FLORESTAL. 1965. **Lei Nº 4.771, de 15 de Setembro de 1965**.

CONSTITUIÇÃO FEDERAL. 1988. **Constituição Federal de 5 de Outubro de 1988**.

CLEGG, R.H.; SCHERZ, J.P. 1975. **A Comparison of 9 inch, 70 mm and 35 mm Cameras**. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Falls Church, v.41, n.12, p.1487-1500.

- COMBS, J.E. 1980. **Planning and Executing the Photogrammetric Project**. In: Manual of Photogrammetry. 4<sup>th</sup> ed. Falls Church: American Society of Photogrammetry, p.367-412.
- COMISSÃO DE CARTOGRAFIA. 1985. **Cartografia e Aerolevanteamento – Legislação**. Brasília: IBGE. 251 p.
- CORRÊA, Roberto L. 1989. **O Espaço Urbano**. Série Princípios. São Paulo: Editora Ática. 95 p.
- CURRAN, P.J. 1981. **Remote Sensing: the Role of Small Format Light Aircraft Photography**. In: Geographical Papers, n.15. 39p.
- DAVIS JR., Clodoveu A. 2000. **Geoprocessamento Municipal. Simplificar para Viabilizar**. In: Revista Fator GIS n° 13, ano 4, p.21. Curitiba: Editora Sagres.
- DISPERATI, A.A. 1986; ROSOT, N.C.; SANTOS, J.R. dos. **Mapeamento dos Povoamentos de Bracatinga (*Mimosa scabrella* (Benth)) em Diferentes Idades usando Fotografias Aéreas Verticais 35 mm**. Curitiba: Acta Forestalia Brasiliensis, v.1, p.65-74.
- DISPERATI, A.A. 1991. **Obtenção e Uso de Fotografias Aéreas de Pequeno Formato**. Curitiba: UFPR, FUPEF.
- EASTMAN, J. R. 1998. **Manual do Usuário Idrisi for Windows 2.0. Introdução e Exercícios Tutoriais**. Porto Alegre: UFRGS. Centro de Ecologia. 235 p.
- ESTATUTO DA CIDADE. 2001. **Lei 10.257, de Julho de 2001**.
- FAURGS. 1998. **Atualização da Planta Urbana do Município de Santo Antônio da Patrulha**. Termo de Convênio entre a Fundação de Apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e a Prefeitura Municipal de Santo Antônio da Patrulha. Porto Alegre: FAURGS, 4 p. (não publicado).

- \_\_\_\_\_. 1999. **Atualização das Plantas Cadastrais do Município de Gramado**. Termo de Convênio entre a Fundação de Apoio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e a Prefeitura Municipal de Gramado. Porto Alegre: FAURGS, 10 p. (não publicado).
- FERRARO, Lilian M.W. 1982. **A Evolução do Núcleo Urbano de Gramado em Função do Turismo**. Porto Alegre, 50 p. Departamento de Geografia. Trabalho de Graduação.
- GARCIA, G.J.; MARCHETTI, D.A.B. 1977. **Princípios de Fotogrametria e Fotointerpretação**. São Paulo: Editora Nobel. 256 p.
- GOUVEIA, Ismael C. 1994. **Atualização Cartográfica de Pequenas Áreas Urbanas**. In: Revista Fator GIS n° 7, ano 2, Curitiba: Editora Sagres, p.36-37.
- GRANEMANN, Emerson Z.; LASKOWSKI, Suely B. 1995. **O Brasil Precisa de Mapas**. In: Revista Fator GIS, n° 10, ano 3. Curitiba: Editora Sagres, p. 10-13.
- GRANEMANN, Emerson Z. 2000. **Ortofoto: a Imagem que é um Mapa**. In: Revista Infogeo, n° 16, ano 3, Curitiba: Editora EspaçoGeo, p. 36-41.
- GUERRA, Antônio T.; GUERRA, Antonio José T. 1997. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- IBGE. 1960. **Censo Demográfico – Recenseamento Geral do Brasil - Rio Grande do Sul**.
- \_\_\_\_\_. 1970. **Censo Demográfico – Recenseamento Geral do Brasil - Rio Grande do Sul**.
- \_\_\_\_\_. 1980. **Censo Demográfico – Recenseamento Geral do Brasil - Rio Grande do Sul**.
- \_\_\_\_\_. 1986. **Projeto RADAM Brasil**. Rio de Janeiro, v. 33.

\_\_\_\_\_. 1991. **Censo Demográfico – Recenseamento Geral do Brasil - Rio Grande do Sul.**

\_\_\_\_\_. 1996. **Censo Demográfico Preliminar –Rio Grande do Sul.**

LEI SOBRE O PARCELAMENTO DO SOLO URBANO. 1979. **Lei Nº 6.766, de 19 de Dezembro de 1979.**

LILLESAND, T.; KIEFER, R.W. 1994. **Remote Sensing and Image Interpretation.** New York: John Wiley and Sons.

LOCH, C. 1994. **Elementos Básicos da Fotogrametria e sua Utilização Prática.** Florianópolis: EDUFSC. 104 p.

MEDAUAR, Odete. 2002. **Coletânea de Legislação de Direito Ambiental: Constituição Federal.** São Paulo: Editora Revista dos Tribunais. 770 p.

MEDEIROS, J.S. de; BATISTA, G.T. 1984. **Fotografias Aéreas Verticais 35 mm: Aplicações na Área Florestal.** In: Anais do III Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: INPE. 10p.

MINISTÉRIO DO EXÉRCITO. Departamento de Engenharia e Comunicações. Diretoria de Serviço Geográfico. 1ª Divisão de Levantamento. Carta Topográfica SH.22-X-C e D (MIR-536 e 536-A), Gravataí, E = 1.250.000. Brasília, DSG, 1983.

NOVAK, 1992. 1992. **Rectification of Digital Imagery.** In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. Falls Church, v.58, n.3, p.339-344.

OLIVAS, Mary Angélica de A. 1999. **Fundamentos de Fotogrametria.** Curitiba: UFPR, Departamento de Geomática. 100 p.

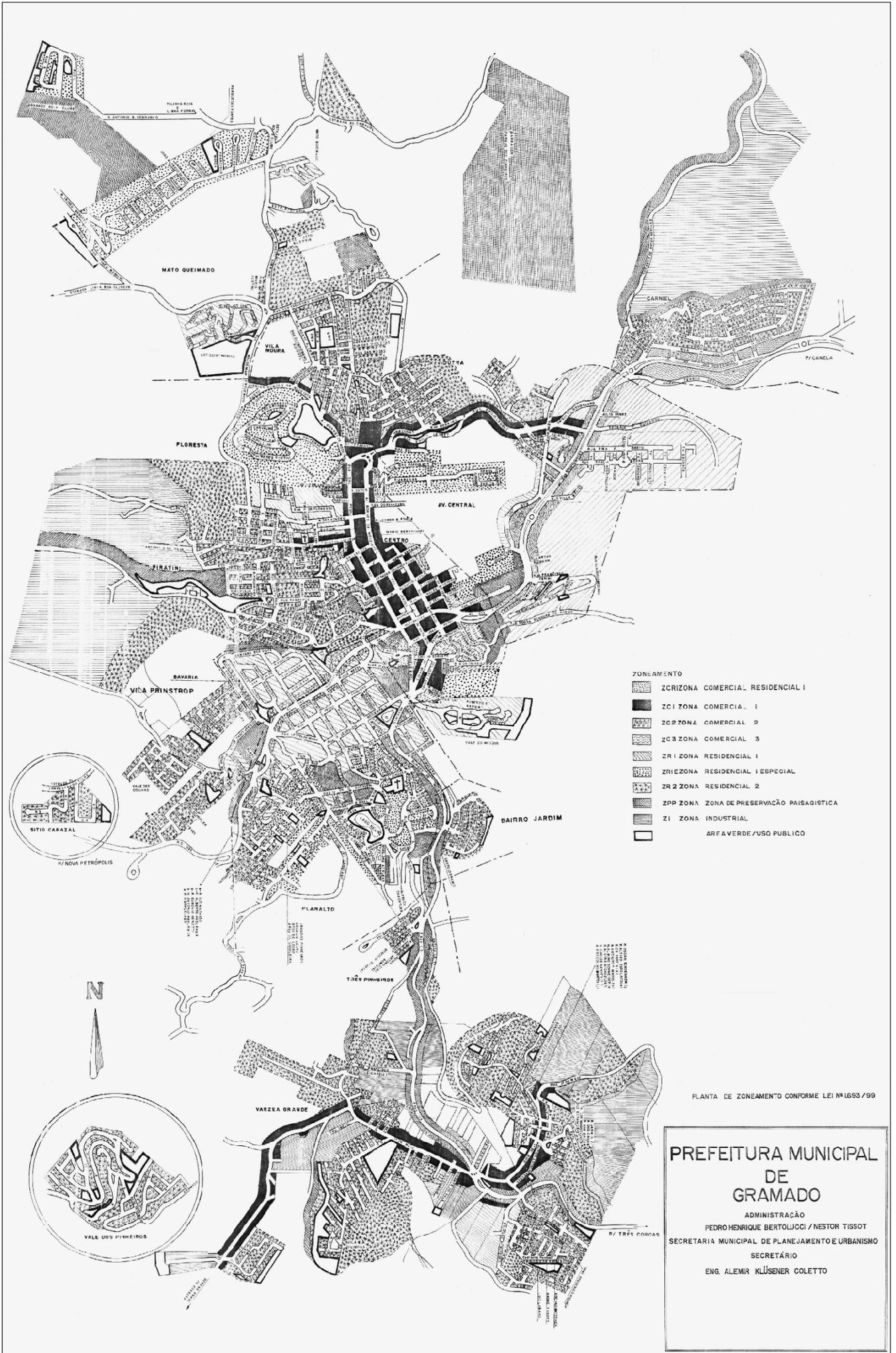
OLIVEIRA, Antonio Dias. 1996. **Soluções Ultraleves.** In: Revista Fator GIS, nº 13, ano 4, Curitiba: Editora Sagres, p.20.

- PAREDES, Evaristo A. 1987. **Práticas Aerofotogramétricas e suas Aplicações na Engenharia**. Maringá: UEM. 500 p.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE GRAMADO. 1991. Secretaria Municipal do Planejamento e Urbanismo. **Plano Diretor do Município de Gramado**. 30 p.
- \_\_\_\_\_. 1999. Secretaria Municipal do Planejamento e Urbanismo. **Planta Cadastral Atualizada**. Folhas 1 a 6. Gramado. 6 mapas: coloridos. Escala 1:5.000. Material cartográfico.
- \_\_\_\_\_. 1999. Secretaria Municipal do Planejamento e Urbanismo. **Planta de Zoneamento conforme Lei nº 1.693/99**. Gramado. 1 mapa: preto-e-branco. Escala 1:10.000. Material cartográfico.
- \_\_\_\_\_. 1999. Secretaria Municipal do Planejamento e Urbanismo. Ruas e avenidas por bairros e loteamentos. Não publicado.
- \_\_\_\_\_. 1999. Secretaria Municipal do Planejamento e Urbanismo. Situação dos Loteamentos. Não publicado.
- RICCI, M.; PETRI, S. 1965. **Princípios de Aerofotogrametria e Interpretação Geológica**. São Paulo: Nacional, 326 p.
- RICHARDS, John. 1993. **Remote Sensing Digital Image Analysis**. New York: Springer-Verlag, 2ª ed.
- ROCHA, César H.B. 2000. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar**. Minas Gerais: Ed. do Autor. 220 p.
- ROSA, Flávio Sammarco. 1995. **Softwares de Geoprocessamento. Quem é quem**. In: Revista Fator GIS nº 8, ano 2, Curitiba: Editora Sagres, p.21-25.
- ROZA, Deise; GALINDO, Rogerio. 1999. **O Geo nas Prefeituras**. In: Revista Infogeo, nº 8, ano 2, Curitiba: Editora EspaçoGeo, p. 34-36.

- SPENCER, R.D. 1978. **Map Intensification from Small Format Camera Photography**. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Falls Church, v.44, n.6, p.697-707.
- TEIXEIRA, Amândio Luís de A.; MATIAS, Lindon F.; NOAL, Rosa H.; MORETTI, Edmar. 1995. **Qual a melhor Definição de um SIG**. In: Revista Fator GIS nº 11, ano 3, Curitiba: Editora Sagres, p.20-24.
- TOMMASELLI, Atonio M. G. 2000. **Tendências da Fotogrametria Digital**. In: Revista Infogeo, nº 12, ano 2, Curitiba: Editora EspaçoGeo, p. 63-65.
- WOODCOCK, W.E. 1976. **Aerial Reconnaissance and Photogrammetry with Small Cameras**. In: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Falls Church, v.42, n.4, p.503-511.
- ZOMER, S. L.da C. 1997. **Uso de Recobrimentos Aerofotográficos Verticais no Estudo das Alterações sobre a faixa de Dunas Frontais do Litoral Norte do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 133 p. Curso de Pós-Graduação em Geociências, UFRGS. Dissertação de Mestrado, v.1.

## **ANEXOS**

## **ANEXO I**



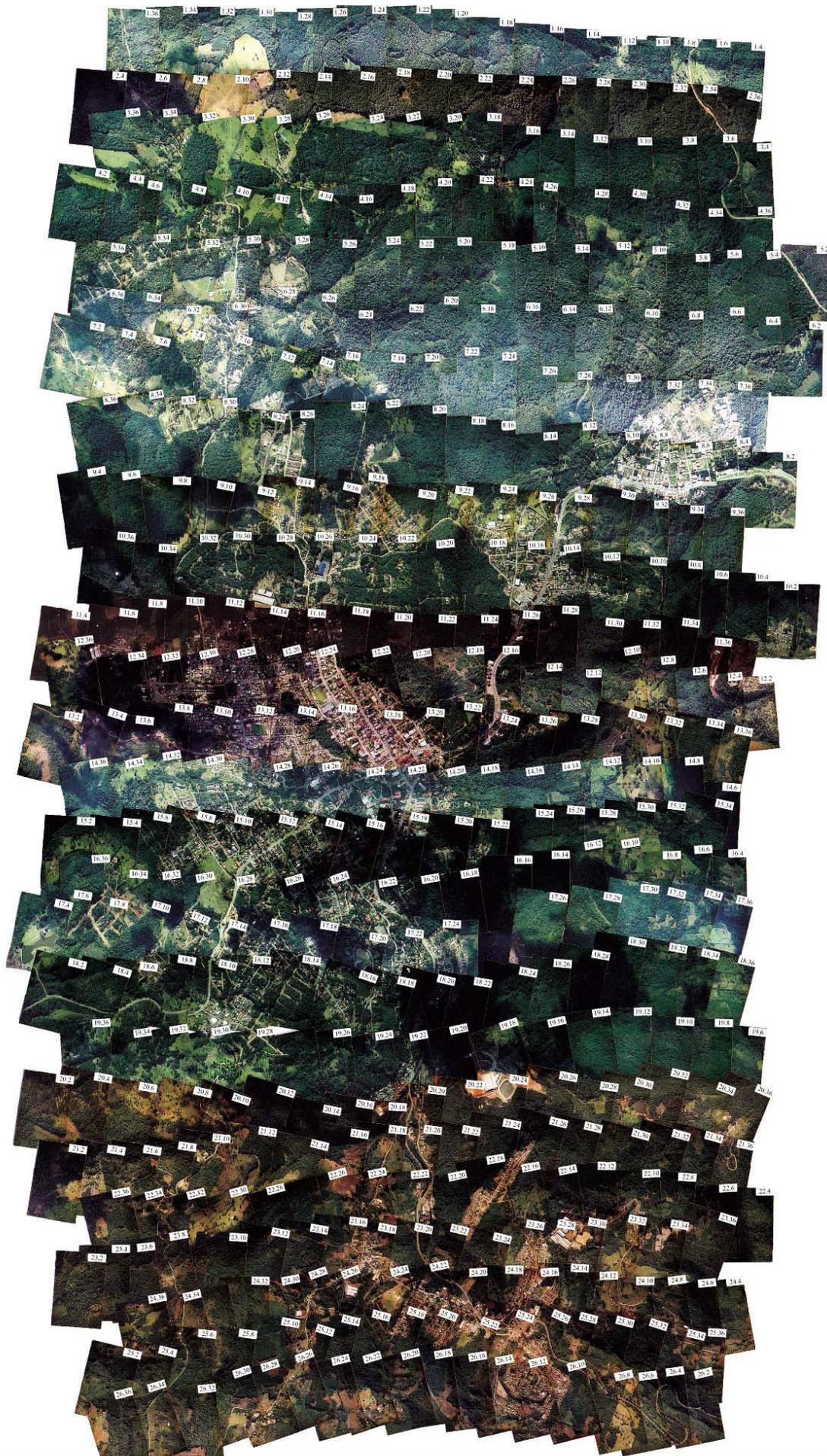
- ZONEAMENTO
- ZCR ZONA COMERCIAL RESIDENCIAL I
  - ZCI ZONA COMERCIAL I
  - ZC2 ZONA COMERCIAL 2
  - ZC3 ZONA COMERCIAL 3
  - ZR1 ZONA RESIDENCIAL I
  - ZRE ZONA RESIDENCIAL ESPECIAL
  - ZR2 ZONA RESIDENCIAL 2
  - ZPD ZONA DE PRESERVAÇÃO PAISAGISTICA
  - ZI ZONA INDUSTRIAL
  - ARF ÁREA VERDE / USO PÚBLICO

PLANTA DE ZONEAMENTO CONFORME LEI Nº 1653/99

**PREFEITURA MUNICIPAL  
DE  
GRAMADO**

ADMINISTRAÇÃO  
PEDRO HENRIQUE BERTOLUCCI / NESTOR TISSOT  
SECRETARIA MUNICIPAL DE PLANEJAMENTO E URBANISMO  
SECRETÁRIO  
ENG. ALEMIR KLÜSENER COLETTI

## **ANEXO II**



<p><b>Informações Técnicas:</b> Base cartográfica digitalizada a partir das plantas cadastrais 1:5.000 (PMG), elaboradas através de levantamento aerofotogramétrico em 1984. Atualização a partir de recobrimento aerofotográfico em 35 mm, executado em maio de 1999.</p> <p><b>Equipe Técnica:</b>          Ricardo Norberto Aypaz Zouain - coordenador      Claudio W. Mendes Junior          Andressa Lopes Ieschebeck - resp. téc. cartografia      Eduardo Guimarães Barbosa          Jorge Luiz Barbosa da Silva - resp. téc. topografia      Regiane Valdameri          Sídney Zomer      Ricardo Batisteli</p> <p><b>Estagiários:</b> Carlos Afonso M. de Almeida e Jorge Augusto Lemos Araújo</p> <p><b>Responsáveis Técnicos:</b>          Eng.º Curt André Lopes Ieschebeck      Geol. Jorge Luiz Barbosa da Silva          CREA: PR21316/D      CREA: RS3684-D</p>	<p><b>CONVENÇÃO</b></p> <p><b>FOTOÍNDICE</b>          FOTOGRAFIAS DE NÚMEROS PARES</p> <p>EXEMPLO:</p> <p>Nº DA FAIXA      Nº DA FOTO</p>	<p><b>SITUAÇÃO</b></p> <p>Rio Grande do Sul Gramado</p>	<p><b>PREFEITURA MUNICIPAL DE GRAMADO</b>          GESTÃO 1997/2000</p> <p><b>Administração:</b> NELSON DINNEBIER          JORGE LUIZ BERTOLUCI</p> <p>CONVÊNIO: PREFEITURA MUNICIPAL DE GRAMADO - FAURGS          SECRETARIA DA ADMINISTRAÇÃO / PMG - INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS / UFRGS</p> <p style="text-align: center;"><b>FOTOÍNDICE</b></p> <p style="text-align: center;">RECOBRIMENTO AEROFOTOGRAFICO REALIZADO EM MAIO DE 1999</p>
---	---	---	--