UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

AVALIAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE EM SUPERFÍCIE REAL NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE PETRÓPOLIS, RJ.

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

ALUNO: PEDRO HENRIQUE FERREIRA COURA

PROF. ORIENTADOR: MANOEL DO COUTO FERNANDES

PROF. CO-ORIENTADOR: RAFAEL SILVA DE BARROS

Rio de Janeiro, Fevereiro de 2012

AVALIAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE EM SUPERFÍCIE REAL NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE PETRÓPOLIS, RIO DE JANEIRO.

Pedro Henrique Ferreira Coura

Dissertação de Mestrado submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Ciências: Geografia.

Prof. Dr. _____ - Orientador
Manoel do Couto Fernandes
Dep. de Geografia – UFRJ

Prof. Dr. _____- Co-orientador.
Rafael Silva de Barros
Dep. de Geografia – UFRJ

Prof. Dr. _____
Carla Bernadete Madureira Cruz
Dep. de Geografia – UFRJ

Prof. Dr. _____
Paulo Márcio Leal de Menezes
Dep. de Geografia – UFRJ

Prof. Dr. _____
Márcio Rocha Francelino
Dep. de Sivicultura – UFRRJ

Rio de Janeiro

2012

Coura, Pedro Henrique Ferreira

Avaliação das Áreas de Preservação Permanente em Superfície Real na Área de Proteção Ambiental de Petrópolis, Rio de Janeiro: [s.n.], 2012.

125 fls., 30 cm.

Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

Referências bibliográficas fl.92-100.

1. Geoprocessamento 2. Modelo Digital de Elevação 3. Áreas de Preservação Permanente 4. Geoecologia. 5. Sistemas de Informações Geográficas

Por mais longa que seja a caminhada o mais importante é dar o primeiro passo.

Vinicius de Moraes

A toda minha família e amigos pelas aprendizagens e incentivos fundamentais para mais esta etapa da minha vida profissional e acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Foram muitas as pessoas que ajudaram direta ou indiretamente para que fosse possível a realização deste trabalho, que representa mais uma etapa na minha vida, sendo um degrau importante na minha carreira acadêmica e profissional.

Porém, algumas se destacam mais pelo papel fundamental que tiveram, como: minha esposa pela paciência nos finais de semana perdidos, pelo carinho e companheirismo de madrugada me ajudando e pelo apoio e incentivo constante ao longo desses dois anos ; meus pais, sogra e irmã pelo incentivo, motivação, conselhos e todo amor que são parte da minha combustão de vida; meu orientador, grande amigo e pai adotivo (Manoel) pela ajuda, conselhos, motivação e atenção praticamente diária, que desde o meu início na Universidade me orienta e ajuda a caminhar pelas pedras na minha formação acadêmica/profissional; pelo grande amigo Gustavo Mota de Sousa pelas constantes conversas, conselhos e incondicional incentivo; ao meu padrinho acadêmico Prof. Paulo Menezes; ao meu camarada Fernando Antunes, uma pessoa que tive a felicidade de conhecer e que me ajudou muito nesse período todo e com certeza se tornou um grande amigo; os professores, Julio Tadeu do Núcleo de Computação (NCE) da UFRJ e Tiago Marino do Departamento de Geociências da UFRRJ, que participaram ativamente do desenvolvimento deste trabalho e me ensinaram bastante sobre computação; aos alunos de graduação Alessa Favero e Fabio Ventura pelo apoio e participação no início e fim do trabalho, respectivamente; a professora Carla Madureira e Rafael Barros pelas dicas, sugestões, apoio e orientações que cooperaram para a melhora da dissertação; ao meu "avô" Paulo Alves, uma pessoa com quem tive a felicidade de conviver e tirar inúmeras aprendizagens; ao Professor Sebastião Renato Valverde da UFV que me auxiliou e indicou inúmeras referências bibliográficas que foram fundamentais na elaboração da base conceitual do meu trabalho e a todos os integrantes do Laboratório de Cartografia (Geocart) e Laboratório de Sensoriamento Remoto (ESPAÇO) pelas ajudas rotineiras e convivência quase diária.

Por último, porém mais importante, agradeço muito a Deus por ter iluminado meu caminho e minha vida, colocando seres humanos maravilhosos ao meu lado. Pessoas que fazem parte da minha vida e a cada dia ajudam na minha formação, amadurecimento e definição de valores e personalidade.

RESUMO

O Bioma da Mata Atlântica encontra-se muito fragmentado, devido aos diferentes ciclos da economia que privilegiavam a retirada da cobertura vegetal original. Muitos remanescentes florestais de Mata Atlântica, que são resultados desse processo, estão situados em Áreas de Preservação Permanente (APPs), sendo que estas áreas possuem um caráter funcional, ou seja, prestam um importante serviço que está relacionado a manutenção do equilíbrio ambiental dos recursos hídricos e dos ecossistemas do seu entorno. Ao pensar em estratégias de preservação, fica clara a necessidade de realizar o mapeamento e identificação das APPs, já que elas se constituem em instrumentos de preservação por força legal. Porém, não existe um consenso a respeito da forma de mapeamento e identificação destas áreas, pois o conteúdo presente nas legislações que estabelecem essas áreas não é claro e específico. Isso acarreta em diferentes interpretações, sendo que uma delas está relacionada as formas de mapeamento realizadas em campo e em cartas topográficas ou sistemas de informações geográficas. Os mapeamentos realizados em campo levam em consideração a rugosidade do relevo, já os mapeamentos utilizando cartas topográficas ou sistemas de informações geográficas não levam em consideração as características morfológicas da área, contemplando a superfície planimétrica. Tendo em vista essa realidade, o presente estudo procura avaliar as diferentes formas de delimitação dessas áreas de preservação, através do desenvolvimento de uma metodologia semi-automática de delimitação das APPs em superfície planimétrica (SP) e em superfície real (SR) na Área de Proteção Ambiental de Petrópolis. Desta forma, são utilizadas técnicas de geoprocessamento para a delimitação das APPs, usando Modelos Digitais de Elevação (MDEs) para refinar a metodologia de delimitação destas, através de uma solução computacional desenvolvida exclusivamente para mapeá-las levando em consideração observações em superfície real. Os resultados mostraram um incremento no cálculo de área das APPs de 31% quando mensuradas em SR, entretanto, quando estas foram delimitadas em SR sua área de abrangência ficou 7,5% menor que quando delimitada em SP. As diferentes formas de mapeamento trazem delimitações distintas e desta forma uma leitura diferenciada a respeito do posicionamento dos elementos nas áreas de APPs. As análises realizadas em superfície real permitem uma visão mais ajustada da paisagem, possibilitando a realização de diversas análises espaciais com resultados mais próximos do mundo real.

Palavras-chave: Sistemas de Informações Geográficas, Modelo Digital de Elevação, Geoecologia.

ABSTRACT

The Atlantic Forest Biome today is quite fragmented as a result of (among other reasons) the various economic cycles that privilege the removal of the original vegetative cover. Many times, the forest remnants of the Atlantic Forest are situated in Areas of Permanent Preservation (APPs) being that these areas have a functional character. In other words, these remnants provide an important service that is related to the maintenance of environmental equilibrium of water resources and of the ecosystems around it. To think about preservation strategies, the need to conduct a mapping and identification of APPs is clear, since they are already instruments of preservation according to the law. But there is not a consensus with respect to the form of mapping and identification of these areas because the current legislation is not clear and specific in this regard. Among the conflicts caused by the different interpretations of the law's text, there is the important debate between mapping in the field and mapping using topographic cards or geographic information systems (GIS) programs.The mappings conducted in the field take into consideration the ruggedness of the relief and the morphological characteristics of the area, while mappings conducted on cartographic cards or GIS end up conducting these mappings on a planimetric surface. Keeping this reality in mind, this study attempts to evaluate the different forms of delimitation of these preservation areas, trying to develop a semi-automatic method of delimitation of some Areas of Permanent Preservation on the planimetric surface and the real surface of the Petropolis Area of Environmental Protection. To accomplish this, GIS techniques are used for delimitation of the APPs, Digital Models of Elevation (MDEs) are used to refine the methodology of their delimitation, and a computational solution developed exclusively to map the APPs takes into consideration observations made on the real surface. When measured on the real surface, the results showed a 31% increase in the calculation of the area of the APPs, however, when they were delimited on the real surface their area of reach was 7.5% smaller than when delimited on the planimetric surface. The different forms of mapping bring distinct delimitations and a differentiated reading with respect to the positioning of the elements of the areas of the APPs. The analyses conducted on the real surface allow a vision of reality, permitting a diverse set of spatial analyses with results that are closer to those seen in the real world.

Key words: Geographic Information Systems, Digital Elevation Model, Geoecology.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO..... 01

1.2. Objetivos..... 02

1.2.1. Objetivo Geral..... 03

1.2.2. Objetivos Específicos..... 03

1.3. Estrutura do Trabalho..... 03

2. DISCUSSÃO DOS CONCEITOS ABORDADOS..... 04

2.1. Sistemas e Geossistemas..... 04

2.2. Geoecologia..... 06

2.3. Geoprocessamento..... 08

2.3.1. Modelos Digitais de Elevação..... 10

2.3.2. Sensoriamento Remoto..... 14

2.4. Área de Preservação Permanente..... 16

2.4.1. Evolução e dificuldades no mapeamento das APPs..... 19

3. ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE PETRÓPOLIS..... 23

4. MATERIAIS E MÉTODOS..... 28

4.1. Dados de Entrada..... 30

4.2. Procedimentos de edição da base cartográfica..... 33

4.3. Modelos Digitais de Elevação..... 33

4.4. Mapeamento das Áreas de Preservação Permanente em Superfície Planimétrica no formato vetorial..... 39

4.4.1. APP 1 - Nascentes..... 39

4.4.2. APP 2 - Lagos, Lagoas e Reservatórios..... 40

4.4.3. APP 3 - Cursos d'àgua..... 42

4.4.4. APP 4 - Altitude Superior a 1.800 metros..... 44

4.4.5. APP 5 - Encostas com Declividade maior de 45°..... 45

4.5. Mapeamento das Áreas de Preservação em Superfície Real..... 46

4.5.1. Programa APP 1.0 - Estrutura de dados matricial..... 47

4.5.2. Validação do Método de Delimitação em Superfície Real..... 51

4.6. Elaboração do Mapa de Área Vegetada..... 56

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES..... 62

5.1. Cálculos de Área em Superfície Planimétrica e Superfície Real..... 62
5.2. Validação dos Métodos de Mapeamento do Programa APP 1.0..... 70
5.3. Comparações das Delimitações em Superfície Planimétrica e Superfície Real..... 73
5.4. Estado de Conservação das APPs nos diferentes Mapeamentos..... 79
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... 88
6.1. Conclusões..... 88
6.2. Recomendações..... 90
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 91
ANEXO 1 Endereços eletrônicos (Links) para Baixar o Programa APP 1.0..... 101
ANEXO 2 Documentação do Programa APP 1.0 v3..... 102
ANEXO 3 Código do Programa APP 1.0 v3..... 105

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Fluxograma dos conceitos utilizados no trabalho.....	04
Figura 2	Inter-relacionamento das tecnologias envolvidas no geoprocessamento.....	10
Figura 3	Esquema ilustrativo da concepção de Modelo Digital de Elevação e Modelo Digital de Superfície.....	11
Figura 4	Grade Regular Retangular.....	12
Figura 5	Rede Triangular Irregular.....	12
Figura 6	Representação matricial de uma grade regular quadrada e sua superfície tridimensional.....	13
Figura 7	Representação de um TIN.....	13
Figura 8	Diferença na delimitação utilizando superfície real e superfície planimétrica em uma mesma encosta.....	20
Figura 9	Localização da área de estudo.....	24
Figura 10	Construções “subindo” a encosta na localidade Alto Independência.....	26
Figura 11	Construções em áreas declivosas na localidade Alto da Serra, ao final da Serra Velha.....	26
Figura 12	Construções no cume do morro na localidade Alto da Serra, ao final da Serra Velha.....	27
Figura 13	Fluxograma de operacionalização do trabalho, demonstrando cada etapa a ser realizada.....	28
Figura 14	Articulação das cartas utilizadas no Plano de Manejo – APA Petrópolis.....	30
Figura 15	Pontos e MDEs usados na ortorretificação das imagens ALOS AVNIR-2.....	32
Figura 16	Adequação da orientação do segmento de hidrografia de acordo com o fluxo natural do rio, de montante a jusante.....	33
Figura 17	Comparação realizada entre os MDE TIN gerados sem informação de fora da APA (tin) e com informação do entorno da área (tin_t).....	35
Figura 18	Modelo Digital de Elevação TIN da APA Petrópolis.....	36
Figura 19	Recortes realizados nos dados de entrada para elaboração fracionada do Modelo Digital de Elevação de grade regular retangular.....	37
Figura 20	Modelo Digital de Elevação GRID da APA Petrópolis.....	38
Figura 21	Demonstração da localização correta das nascentes, no início da hidrografia, nos canais de primeira ordem.....	40

Figura 22 Demonstração das áreas de lagos e lagoas naturais e suas respectivas áreas de influência estabelecidas por lei..... 41
Figura 23 Demonstração da separação dos trechos da hidrografia..... 43
Figura 24 Demonstração da delimitação da APP 3..... 44
Figura 25 Demonstração da delimitação da APP 4..... 45
Figura 26 Demonstração da delimitação da APP 5..... 46
Figura 27 Funcionamento da verificação do pixel de borda..... 48
Figura 28 Análise Radial para delimitação em superfície planimétrica no APP 1.0..... 48
Figura 29 Demonstração do procedimento de varredura de processamento do APP1.0.. 49
Figura 30 Procedimento realizado para delimitação em superfície real no APP 1.0..... 51
Figura 31 Dimensões da semi-esfera – forma geométrica utilizada na validação..... 52
Figura 32 Isolinhas da semi-esfera, nas três eqüidistâncias diferentes, simulando a representação de três escalas distintas..... 52
Figura 33 Demonstração do raciocínio da primeira fase da elaboração da validação..... 54
Figura 34 Demonstração do raciocínio da segunda fase da elaboração da validação..... 54
Figura 35 Demonstração do raciocínio da terceira fase da elaboração da validação..... 55
Figura 36 Área limite da semi-esfera e circunferência utilizada para validação..... 56
Figura 37 Esquema ilustrativo da rede semântica e os operadores e parâmetros utilizados para identificar e definir cada classe do mapa de área vegetada..... 57
Figura 38 Mapa com os recortes elaborados na área de estudo para possibilitar a classificação da mesma no InterIMAGE..... 58
Figura 39 Imagem do trabalho de campo e parte dos materiais utilizados..... 59
Figura 40 Mapa dos pontos visitados em campo com imagens de algumas áreas visitadas para constatação/validação da categoria de uso..... 60
Figura 41 APPs em Superfície Real e Superfície Planimétrica na APA Petrópolis..... 63
Figura 42 Diferença dos cálculos de área em SP e SR das áreas de preservação permanente..... 64
Figura 43 Demonstração das APPs situadas em regiões mais acidentadas..... 65
Figura 44 Demonstração da sobreposição de algumas áreas de APPs..... 65
Figura 45 Classes do Mapa de Área Vegetada em relação à área da APA Petrópolis..... 66
Figura 46 Demonstração da localização das áreas de sombra e não vegetadas..... 67
Figura 47 APPs sobrepostas às classes do Mapa de Área Vegetada..... 68

Figura 48 Demonstração das APPs em áreas vegetadas e das APPs em áreas de sombra situadas em regiões mais acidentadas da área de estudo..... 69
Figura 49 Sobreposição das áreas mapeadas em Superfície Planimétrica em cada escala com a área de validação – círculo de raio 50 metros..... 71
Figura 50 Sobreposição das áreas mapeadas em Superfície Real em cada escala com a área de validação – círculo de raio 42,0735492 metros..... 71
Figura 51 Validação dos mapeamentos da semi-esfera em Superfície Planimétrica nas três escalas..... 72
Figura 52 Validação dos mapeamentos da semi-esfera em Superfície Real nas três escalas..... 73
Figura 53 Mapa da delimitação das APPs em Superfície Planimétrica..... 74
Figura 54 Mapa da delimitação das APPs em Superfície Real..... 75
Figura 55 Comparação dos mapeamentos em SP e SR..... 76
Figura 56 Sobreposição entre as delimitações em SP e SR das APPs de Nascentes.... 77
Figura 57 Sobreposição entre as delimitações em SP e SR das APPs de Lagos, Lagoas e Reservatórios..... 77
Figura 58 Sobreposição entre as delimitações em SP e SR das APPs dos Cursos d'água com largura maior que 10 metros..... 78
Figura 59 Sobreposição entre as delimitações em SP e SR das APPs dos Cursos d'água com largura até 10 metros..... 78
Figura 60 Mapa de Área Vegetada da APA Petrópolis..... 80
Figura 61 Mapeamento da APP de nascente em SP e SR sobreposto ao Mapa de Área Vegetada..... 81
Figura 62 Mapeamento da APP de cursos d'água com largura até 10 metros em SP e SR sobreposto ao Mapa de Área Vegetada..... 82
Figura 63 Mapeamento da APP de cursos d'água com largura maior que 10 metros em SP e SR sobreposto ao Mapa de Área Vegetada..... 83
Figura 64 Mapeamento da APP de lagos, lagoas e reservatórios em SP e SR sobreposto ao Mapa de Área Vegetada..... 84
Figura 65 Mapeamentos em SP e SR sobrepostos ao Mapa de Área Vegetada..... 85
Figura 66 Área de sobreposição das APPs em SP e SR sobrepostas ao Mapa de Área Vegetada..... 86

Figura 67 Diferença entre os Mapeamentos das APPs em SP e SR realizados no APP 1.0..... 87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Conceitos da Geoecologia, sua época, seus autores e formação.....	06
Tabela 2	Denominações das Áreas de Preservação Permanente mapeadas.....	17
Tabela 3	Tamanhos dos *pixel*s considerados para cada escala.....	53
Tabela 4	Porcentagem do total de APPs em relação a área da APA Petrópolis.....	66
Tabela 5	Diferença da Área em SR para SP das classes do Mapa de Área Vegetada.....	67
Tabela 6	Diferença da Área em SP para SR das APPs sobrepostas com as classes do Mapa de Área Vegetada.....	69
Tabela 7	Comparação entre as diferenças do cálculo de área e mapeamentos das APPs.....	79
Tabela 8	Diferença do Total das Delimitações em SP X SR.....	79

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	Índice de Vegetação de Razão Simples.....	15
Equação 2	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada.....	15
Equação 3	Equação elaborada para criação das isolinhas da semi-esfera.....	53
Equação 4	Equação da Área do Círculo.....	70

LISTA DE SIGLAS

ALOS – *Advanced land observing Satellite*

APA – Área de Proteção Ambiental

APP – Área de Preservação Permanente

APPs – Áreas de Preservação Permanente

AutoCAD – *Computer aided design* – Desenho auxiliado por computador

ASCII – *American Standard Code for Information Interchange* – Código Padrão Americano para o Intercâmbio de Informação

AVNIR-2 – *Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2*

CIDE – Fundação Centro de Informações e Dados do Rio de Janeiro

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPPETEC – Fundação Coordenação de Projetos de Pesquisa e Estudos Tecnológicos

DPI – Divisão de Processamento de Imagem

DSR – Divisão de Sensoriamento Remoto

ESRI – Enviromental System Research Institute

FUNDREM – Fundação para o Desenvolvimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro

GRID – Grade Regular Retangular

IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatítica

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LVC – Laboratório de Visão Computacional

MDE – Modelo Digital de Elevação

MDEHC – Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente

MDEs – Modelos Digital de Elevação

MDS – Modelo Digital de Superfície

MNT – Modelo Numérico de Terreno

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MP – Medida Provisória

NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index* – Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

PEC – Padrão de Exatidão Cartográfica

PROBIO – Projeto Nacional de Ações Integradas Público-Privadas para a Biodiversidade

PUC – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

RBMA – Reserva da Biosfera da Mata Atlântica

RPC - Rational Polynomial Câmera

SAD 69 – South American Datum 1969 – Datum da América do Sul 1969

SIG – Sistemas de Informações Geográficas

SIRGAS 2000 - Sistema de Referencia Geocêntrico para as Américas 2000

SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação

SP – Superfície Planimétrica

SR – Superfície Real

TIN – Grade Irregular Triangular

UC – Unidades de Conservação

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a educação, a ciência e a cultura

WGS 84 – World Geodetic System 1984 – Sistema Geodésico Mundial 1984

1. INTRODUÇÃO

O histórico de devastação do bioma da Mata Atlântica parte desde o início da ocupação territorial brasileira, há aproximadamente 500 anos. Esta devastação é resultado, entre outros motivos, pelos diferentes ciclos da economia que privilegiavam a retirada da cobertura vegetal original e a ocupação do litoral (Dean, 1996). Em função disso, a Mata Atlântica é um dos biomas que devem receber prioridades no contexto da conservação biológica (Myers *et al*., 2000). Atualmente esse bioma encontra-se muito fragmentado e, segundo levantamento realizado pelo PROBIO/MMA (2006), possui apenas 16% de sua área original coberta por remanescentes florestais em diferentes níveis de conservação no Brasil. Esses remanescentes florestais de Mata Atlântica, muitas vezes estão situados em Áreas de Preservação Permanente (APPs) (Reis, 2008).

As Áreas de Preservação Permanente são importantes elementos de composição da paisagem, pois possuem diferentes funções ambientais que estão diretamente relacionadas a manutenção do equilíbrio dos recursos hídricos e dos ecossistemas do seu entorno. As APPs possuem funções ambientais de: preservar os recursos hídricos; a paisagem; a estabilidade geológica; a biodiversidade; o fluxo gênico de fauna e flora; proteger o solo; e assegurar o bem estar das populações humanas (Brasil, 1965; Brasil, 2002).

Por isso a delimitação e proteção delas são fundamental para o entendimento geoecológico da paisagem, pois estas influenciam no comportamento dos geossistemas e podem servir como áreas prioritárias para a proposição de projetos de recuperação ambiental. Desta forma, ao pensar em estratégias de preservação, fica clara a necessidade de realizar o mapeamento e identificação das APPs, já que elas se constituem em instrumentos de preservação por força legal.

Porém, o conteúdo presente nas legislações que estabelecem as APPs não é claro e específico, o que gera diferentes interpretações a respeito de como deve ser elaborado o mapeamento dessas áreas. A dificuldade existente na delimitação das APPs resulta em sua ocupação de forma inadequada e desordenada, que na maioria das vezes é devido a falta de conhecimento da população acerca da legislação vigente, pela grande demanda de fiscalização que a área requer e ao despreparo técnico do pessoal responsável, onde as instituições responsáveis por essa tarefa acabam não conseguindo realizar de forma eficiente, muito devido à falta de dados espaciais que auxiliem o monitoramento e organização dessas áreas.

Porém, mesmo quando existem bases cartográficas para realizar este tipo de mapeamento, não se encontra uma solução para realizar este levando em consideração a superfície tridimensional da paisagem. Com isso acabam sendo geradas sempre duas formas distintas de mapeamento: em superfície real, através de medições em campo; e em superfície planimétrica, em cartas topográficas ou utilizando geotecnologias de geoprocessamento. As diferentes formas de mapeamento trazem delimitações distintas, e desta forma leituras diferenciadas a respeito do posicionamento dos elementos nas áreas de APPs.

Nesse contexto surge a importância de desenvolver formas alternativas e gratuitas de realizar estes mapeamentos em superfície real em meio computacional, procurando avaliar as diferentes leituras e interpretações geradas pelas duas formas de mapeamentos que se pode elaborar.

As observações e análises realizadas em superfície real podem proporcionar uma leitura mais aprimorada dos elementos e características das APPs. Além de que a definição de uma metodologia de delimitação das áreas de APP em superfície real e o mapeamento elaborado também podem servir como auxílio para os profissionais do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), orgão responsável pela fiscalização e intermediação dos diferentes conflitos existentes em unidades de conservação, e consequentemente, na Área de Proteção Ambiental de Petrópolis (APA Petrópolis), a área foco do presente trabalho.

1.2. Objetivos:

Tendo em vista essa realidade, o presente estudo procura avaliar as diferentes formas de delimitação dessas áreas de preservação, procurando desenvolver uma metodologia semi-automática de delimitação de algumas Áreas de Preservação Permanente em superfície planimétrica (SP) e em superfície real (SR) na Área de Proteção Ambiental de Petrópolis. A partir destas diferentes delimitações, procurou-se também entender como se comporta a análise vegetacional dentro dessas APPs. Para tanto, sistematicamente são apresentados a seguir os objetivos do trabalho.

1.2.1. Objetivo geral:

Identificar e mapear as áreas de preservação permanente da APA Petrópolis na escala 1:25.000, levando em consideração para sua delimitação as observações em superfície real e superfície planimétrica, além da legislação ambiental.

1.2.2. Objetivos específicos:

- Definir estratégias de delimitação semi-automática para mapear em superfície planimétrica as áreas de preservação permanente, de acordo com a aplicação da Lei Federal N°. 4.771/1965 e da Resolução CONAMA Nº 303/2002;

- Avaliar em superfície real e superfície planimétrica as mensurações de área das APPs delimitadas em superfície planimétrica;

- Desenvolver uma solução computacional independente, gratuita e aberta que seja capaz de delimitar as áreas de preservação permanente em superfície real e em superfície planimétrica;

- Comparar e discutir as diferentes delimitações das APPs;

- Avaliar o estado de conservação dessas áreas a partir do mapa de área vegetada gerado através de imagens ALOS sensor AVNIR-2 de 2009;

1.3. Estrutura do Trabalho:

Para atingir os objetivos descritos acima, o trabalho foi estruturado em seis capítulos, onde: o primeiro está relacionado a apresentação do contexto, questionamentos, justificativas e objetivos a serem alcançados; no segundo é feita uma discussão sobre os conceitos adotados; no terceiro é apresentada as características da área de estudo; no quarto os materiais e métodos para a delimitação das APPs em superfície real e planimétrica, além da elaboração do mapa de área vegetada; no quinto são apresentados os resultados e discussões; e por fim o sexta capítulo que aborda as conclusões e recomendações.

2. DISCUSSÃO DOS CONCEITOS ABORDADOS

Esta parte do trabalho foi dividida em quatro subitens que mesmo sendo apresentados separadamente, estão interconectados na lógica de raciocínio conceitual desta proposta de pesquisa. A figura 1 apresenta como esses conceitos estão ordenados.

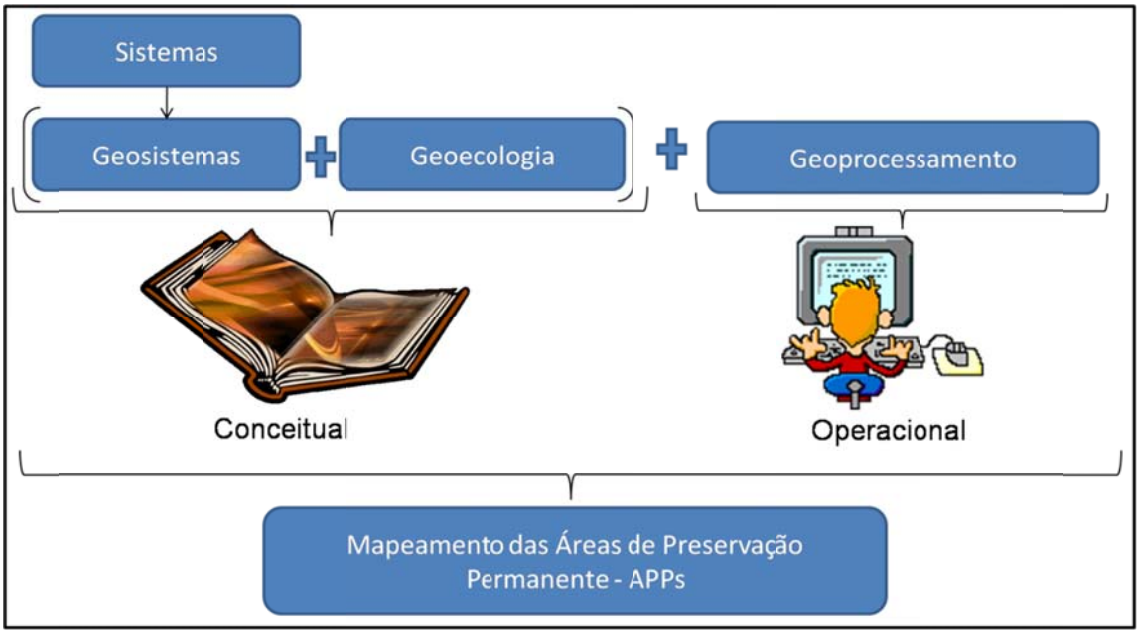


Figura 1: Fluxograma dos conceitos utilizados no trabalho.

2.1. Sistemas e Geosistemas

Em 1937, o biólogo Ludwig Von Bertalanffy propôs um campo metodológico conhecido como a Teoria Geral dos Sistemas, que objetiva suplantar a fragmentação e analisar os fenômenos a partir de interconexões holísticas, entre outros. Para Christofoletti (1999) e Camargo (2005), o alcance do equilíbrio dinâmico é uma das propriedades mais importantes desta teoria, sendo este entendido como uma constante permuta entre matéria e energia que circulam no meio ambiente interno e externo, no caso de sistemas abertos.

Dentre alguns conceitos de sistema, podem-se destacar aqueles que estão baseados na compreensão das partes para o entendimento do todo, como apresentado por Haigh (1985, *apud* Christofoletti, 1999):

> *"um sistema é uma totalidade que é criada pela integração de um conjunto estruturado de partes componentes, cujas inter-relações estruturais e funcionais criam uma inteireza que não se*

> *encontra implicada por aquelas partes componentes quando desagregadas*" (Haigh, 1985 *apud* Christofoletti, 1999).

Um conceito muito importante para o trabalho é o conceito de geossistemas ou Sistemas Ambientais. Christofoletti (1999) apresenta estes como sendo os campos de trabalho da Geografia Física. O autor argumenta que estes conceitos representam entidades de organização espacial do meio ambiente que resultam da interação de diferentes elementos da natureza, como o clima, a topografia, vegetação, água, animais, entre outros. Além disso, estes componentes físicos possuem uma distribuição na superfície terrestre que representam uma organização composta por elementos que funcionam através de fluxos de energia e matéria.

Ainda de acordo com Christofoletti (*op. cit.*) existe a necessidade de uma abordagem holística sistêmica que reflete na compreensão de como as entidades físicas expressam-se em organizações espaciais, se estruturando e funcionando como diferentes unidades complexas em si e em suas hierarquias de alinhamento. Desta forma, existe a necessidade de focalizar os subconjuntos e partes componentes em cada unidade a fim de melhor conhecer seus aspectos e relações.

Seguindo este raciocínio Lang & Blaschke (2009) afirmam que sistemas de escala maiores contêm um grande número de subsistemas. Os autores ponderam que dentro de sistemas vivos ocorrem níveis de organização com crescente complexidade, sendo que esta organização não aumenta continuamente, mas é discretizável. Desta forma, os componentes de um nível inferior constroem o próprio sistema parcial superior.

Monteiro (1978) percebe geossistema como sendo um sistema singular e complexo, onde os elementos humanos, físicos, químicos e biológicos constituem seu funcionamento, ou seja, ele considera os elementos sócio-econômicos como estando incluídos no funcionamento do sistema.

Desta forma, a APA Petrópolis se apresenta como uma entidade de organização espacial, um grande sistema, sendo a paisagem de análise, que possui em sua composição diferentes elementos humanos, físicos, químicos e biológicos distribuídos em sua superfície. Dentre os subconjuntos e partes componentes desta paisagem, encontram-se as Áreas de Preservação Permanente (APP), áreas delimitadas por instrumento legal e que se apresentam como unidades complexas que possuem aspectos

e relações particulares fundamentais para a compreensão dos aspectos estruturais e funcionais da paisagem em análise como um todo.

Levando em consideração o raciocínio acima, é completamente cabível neste estudo a integração dos conceitos de geossistema e geoecologia, visto que se trabalhará com uma grande riqueza de variáveis de forma multi e inter-disciplinar.

2.2. Geoecologia

A geoecologia ou ecologia da paisagem é uma disciplina que realiza a interface entre a geografia e a ecologia. Desde seu surgimento, o conceito de geoecologia teve diferentes definições dentre os diversos estudos desenvolvidos. Como principais estudiosos da paisagem, destacam-se Geógrafos e Biólogos. De acordo com Sousa (2009) a visão dos Geógrafos aborda principalmente a paisagem e as relações existentes nela e os Biólogos trabalham elementos relacionados à Ecologia como pode-se verificar através da tabela 1.

Tabela 1: Conceitos da geoecologia, sua época, seus autores e formação.

Autor	Ano	Formação	Conceito
TROLL	1939	Geógrafo	"*Estudo dos relacionamentos físico-biológicos, que governam as diferentes unidades espaciais de uma área geográfica.*"
ZONNEVELD	1972	Geógrafo	"*Estabelece que a ecologia da paisagem é a subdivisão crucial da ciência de estudo da paisagem, a geografia, abordando-a como uma entidade holística, composta de diferentes elementos, cada um influenciando os demais".*
KLINK	1974	Geógrafo	"*Estudo das massas naturais, quantidades de energia e suas variações, de uma paisagem, qualitativa e quantitativamente, determinadas através de ciclos ecológicos".*
RISSER *et al.*,	1984	Biólogo	"*Desenvolvimento e a dinâmica da heterogeneidade espacial. Considera as interações espaciais e temporais, as alterações nas paisagens heterogêneas e as influências dessa heterogeneidade*

			sobre os processos bióticos e abióticos, bem como o próprio gerenciamento da heterogeneidade espacial."
FORMAN & GODRON	1986	Biólogos	*"Ciência que estuda a estrutura, funções e alterações em uma área heterogênea, composta por ecossistemas que interagem entre si."*
NAVEH & LIEBERMAN	1993	Biólogos	*"Ramificação da moderna ecologia, que trata dos relacionamentos entre o homem e paisagens, sejam elas urbanas ou não urbanas."*

Fonte: Adaptado de Menezes (2000).

O conceito de geoecologia que será adotado neste trabalho irá considerar raízes de Forman & Godron (1986) e sofre influência do trabalho de Rodriguez *et al*., (2007). Desta forma, geoecologia está sendo considerada como uma ciência que estuda métodos, procedimentos e técnicas de investigação, que tem a finalidade de obter um conhecimento sobre o meio natural em sua estrutura, função e dinâmica, permitindo estabelecer um diagnóstico operacional da paisagem através dos subsistemas que a compõem.

Seguindo o raciocínio conceitual descrito, este estudo apresenta métodos e técnicas que visam investigar o estado de conservação vegetacional das Áreas de Preservação Permanente em seu aspecto estrutural, funcional. Estas áreas estão sendo consideradas importantes subsistemas da paisagem em análise, que é a APA Petrópolis.

Forman & Godron (1986), apresentam as três principais características de uma paisagem como sendo sua estrutura, função e mudança. Assim, estes autores conceituam essas características da seguinte maneira:

- Estrutura – produto do relacionamento espacial entre distintos ecossistemas ou elementos. Ou seja, é o arranjo ou padrão espacial da paisagem descrito por tamanhos, formas, números e configurações dos ecossistemas que lhe permitem distribuir energia, materiais e organismos.
- Função – interações entre os elementos espaciais. São representadas pelos fluxos de energia, materiais e espécies entre os ecossistemas presentes.

- Mudança – dada pela alteração na estrutura e na função do mosaico ecológico através do tempo.

Em praticamente todas as definições e conceitos apresentados nesta parte do trabalho, é notória a utilização do termo paisagem. Este termo vem sendo muito utilizado tanto nas ciências geográficas como nas biológicas, relacionados tanto a estudos de temática geoecológica, como de outras áreas do conhecimento.

Em função disso, se faz necessário tornar claro que, para este estudo, paisagem está sendo considerada como uma formação natural formulada pela inter-relação de componentes e elementos naturais, sendo esta uma interpretação regional, que concebe a paisagem uma unidade taxionômica de regionalização físico-geográfica (Zonneveld, 1986, *apud* Rodriguez, 2007).

Devido a complexidade e grande número de variáveis, características das análises geoecológicas, buscou-se no avanço tecnológico, mais especificamente nas tecnologias de geoprocessamento, o suporte necessário para a criação, manipulação e consulta de dados espaciais.

Para Bonham-Carter (1996) o geoprocessamento é uma área do conhecimento intensamente útil e aplicável às investigações ambientais. Diversos autores (Forman, 1995, Burrough & McDonnell, 1998, Aspinall, 1999, Fernandes, 2009) apontam o uso das tecnologias de geoprocessamento e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) como ferramenta fundamental nas análises integrativas geoecológicas.

2.3. Geoprocessamento

Na literatura especializada existem diferentes definições e percepções sobre o que vem a ser geoprocessamento. Câmara & Medeiros (1998) apresentam este conceito de forma mais abrangente, para eles trata-se de uma disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas. Seguindo o raciocínio acima, Cruz (2000) avalia que essas tecnologias objetivam a localização, delimitação, quantificação, equacionamento e monitoramento da evolução de fenômenos ambientais.

Por outro lado, Xavier da Silva (2000) considera geoprocessamento um conjunto de técnicas computacionais que opera sobre bases de dados georreferenciados, para

transformá-los em informações relevantes, através de análises, sínteses e reformulações desses dados, tornando-os utilizáveis em um sistema de processamento automático.

De certa forma, aparentemente, percebe-se duas cognições a respeito do que vem a ser geoprocessamento. Enquanto para os dois primeiros autores mencionados neste sub-capítulo (Câmara & Medeiros, 1998 e Cruz, 2000) a manipulação de qualquer dado georreferenciado já configura em utilização do geoprocessamento. Para Xavier da Silva (2000) somente se configura geoprocessamento quando existe a geração de uma nova informação proveniente de dados georreferenciados.

Neste trabalho, optou-se por seguir a lógica do conceito de geoprocessamento apresentada por Câmara & Medeiros (1998) e Cruz (2000).

Para Fernandes (2009), nos estudos integrativos em função da vasta complexidade relacionada à natureza dos dados geográficos tanto físicos como sócio-econômicos e dos próprios questionamentos conceituais e metodológicos impostos aos estudos integrativos, a utilização da geoecologia e do geoprocessamento é resguardada de uma série de potencialidades e limitações.

Uma destas limitações está relacionada a construção de modelos para análise da paisagem. Estes modelos embora sejam imprescindíveis, à medida que constituem pontes entre os níveis de observação e as proposições teóricas, são também uma representação qualquer simplificada da realidade (Christofoletti, 1999). Em função disso, em um modelo nem todas as inter-relações e conexões internas e externas são representadas devido à complexidade de incrementá-las.

A utilização do geoprocessamento é imprescindível neste trabalho, por possibilitar a construção de mapas provenientes de outros mapas agregados pela análise espacial, além de outras informações não gráficas que oferecem suporte ao produto final (Bonham-Carter, 1996; Meirelles, 1997 *apud* Menezes, 2000).

Nesse contexto, é importante explicitar sobre o entendimento de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). De acordo com Pina, (1994 *apud* Carvalho *et al*., 2000) SIG são sistemas computacionais, usados para o entendimento dos fatos e fenômenos que ocorrem no espaço geográfico. Estes sistemas são fundamentais para a manipulação das informações geográficas, pois possuem a capacidade de reunir uma grande quantidade de dados espaciais, estruturando-os e integrando-os adequadamente.

Os SIG possuem uma grande capacidade de manipulação de outras geotecnologias, sendo que para o presente estudo, as mais importantes são: a Modelagem Digital de Elevação (MDE) ou Modelagem Numérica de Terreno (MNT) e o Sensoriamento Remoto (Figura 2).

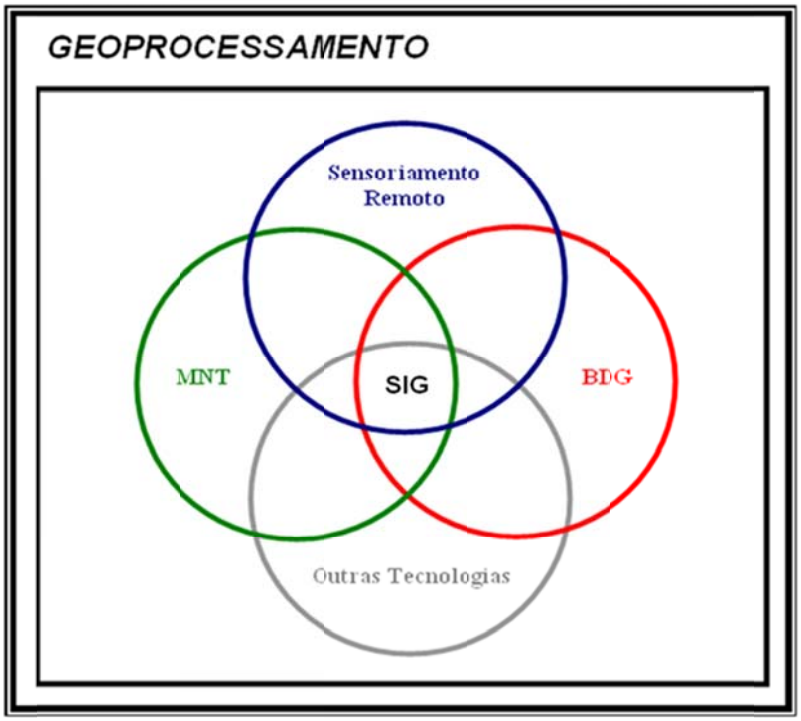


Figura 2: Inter-relacionamento das tecnologias envolvidas no geoprocessamento.

Fonte: Fernandes (2004).

Uma importante observação apresentada por Sousa (2009), que vale a pena ser destacada, está relacionada a apresentação do SIG como uma das técnicas de geoprocessamento, uma das mais amplas delas e que se interrelaciona com todas as demais.

2.3.1. Modelos Digitais de Elevação

A Modelagem Digital de Elevação (MDE) é de grande importância para este estudo, pois serve como base para o mapeamento das APPs em superfície real. Além disso, permite que sejam realizadas as observações em superfície real dos mapeamentos planimétricos e as análises entre os dois tipos de mapeamentos.

Antes de dissertar a respeito do conceito de MDE e das grades e métodos utilizados no trabalho, é importante conceituar o termo superfície real. Este vem sendo utilizado constantemente no meio acadêmico, como nos trabalhos de Fernandes (2004), Fernandes & Menezes (2005), Souza *et al.* (2009), Miceli (2010), entre outros. Desta forma, considera-se neste trabalho superfície real como a representação tridimensional do relevo, ou seja, a representação da superfície terrestre levando em consideração o seu valor de altitude.

Na literatura especializada sobre o tema, existem diferentes concepções relacionadas à modelagem tridimensional em Sistemas de Informações Geográficas. Pelo fato das análises realizadas terem como base apenas as informações do relevo será adotada a nomenclatura MDE (Modelo Digital de Elevação) tendo como base o trabalho de Felgueiras (1997) e Felgueiras & Câmara (1999), Toutin (2006) que define MDE como a modelagem do relevo não incluindo vegetação, construções, entre outros.

De acordo com estes autores, quando se leva em consideração elementos de vegetação e edificações, a nomenclatura correta é Modelo Digital de Superfície (MDS), conforme ilustra a figura 3.

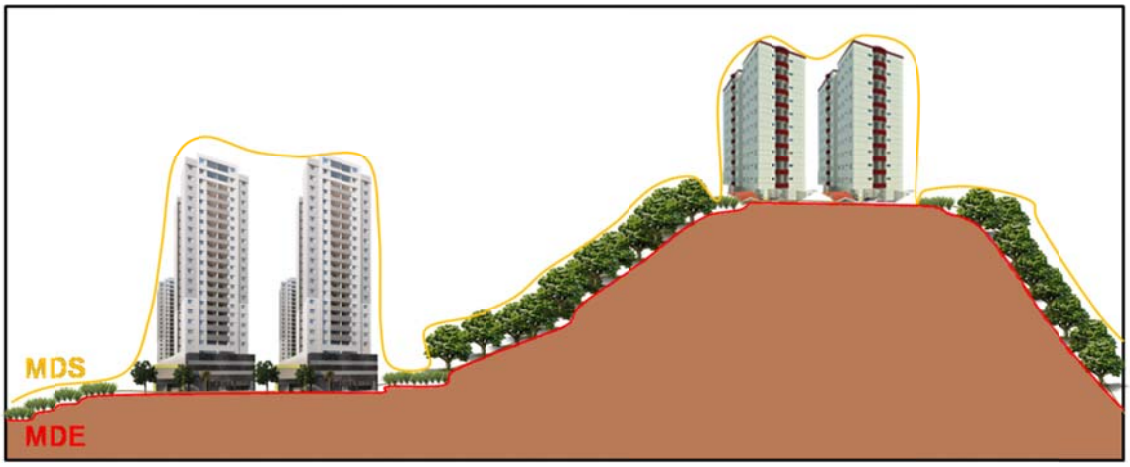


Figura 3: Esquema ilustrativo da concepção do Modelo Digital de Elevação e Modelo Digital de Superfície.

Para o desenvolvimento do trabalho foram confeccionados dois modelos: um em grade regular retangular (GRID) e outro em grade irregular triangular (TIN), como ilustram as figuras 4 e 5.

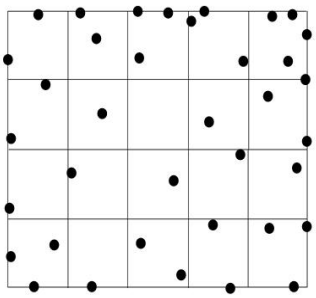
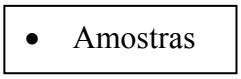


Figura 4: Grade Regular Retangular
Fonte: Fernandes (2004)



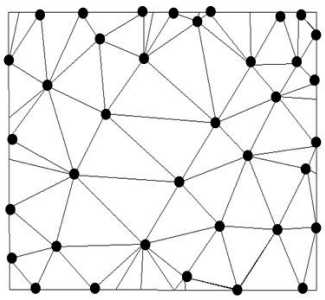


Figura 5: Rede Triangular Irregular
Fonte: Fernandes (2004)

A metodologia de obtenção desses modelos será apresentada no capítulo de materiais e métodos. Entretanto, vale ressaltar que os modelos elaborados são Modelos Digitais de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC), ou seja, modelos que priorizam a representação do relevo de forma a reproduzir, com exatidão, o caminho preferencial do escoamento da água superficial observado no mundo real (ESRI, 2010).

A grade regular é constituída por uma matriz que possui um espaçamento uniforme horizontal e vertical. Na interseção das linhas com as colunas formam-se elementos chamados células ou “pixels”, que possuem uma localização espacial definida pelas coordenadas tridimensionais x, y e z (Felgueiras, 1997). É oportuno salientar que não existe a obrigatoriedade do espaçamento horizontal ser igual ao vertical. Caso o espaçamento seja igual, será formada uma grade regular quadrada, não sendo igual trata-se de grade regular retangular.

A figura 6 demonstra uma representação tridimensional de um GRID e também o MDE de grade regular elaborado para a área de estudo.

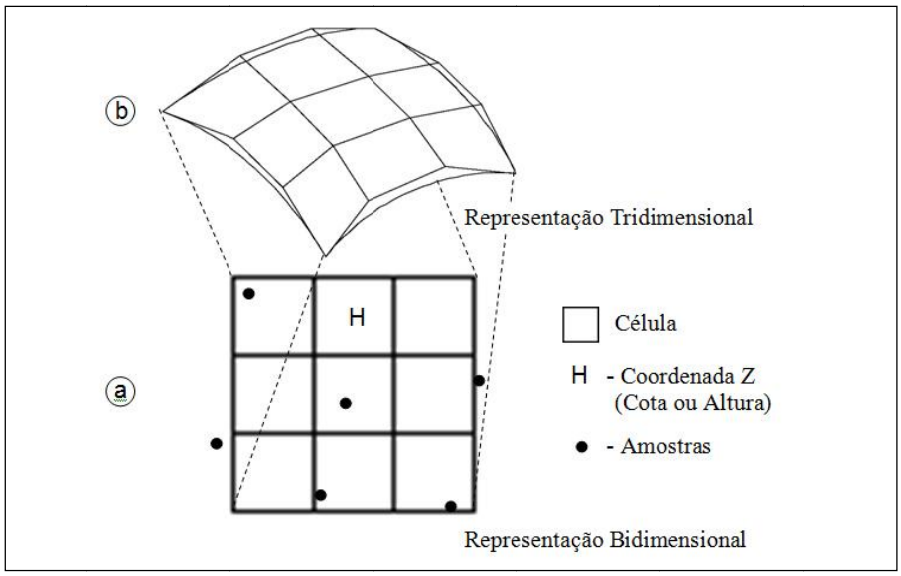


Figura 6: Representação matricial de uma grade regular quadrada e sua superfície tridimensional. Fonte: Fernandes (2004).

De acordo com Fernandes (2004) os Modelos Digitais de Elevação de grade irregular triangular são construídos com base na interligação de amostras três a três, gerando diferentes triangulações. Além disso, os valores de "z" dos vértices dos elementos triangulares do TIN não precisam ser estimados por interpolação, o que é diferente da geração de grade regular. No caso do TIN os vértices dos triângulos são definidos a partir de dados amostrais (Figura 7).

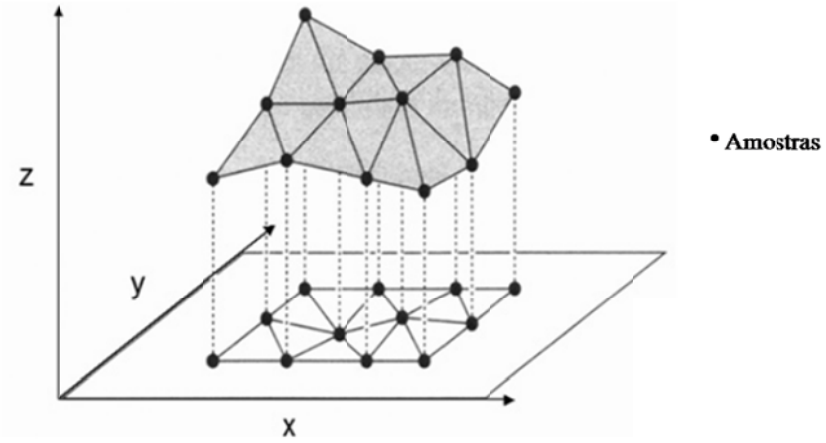


Figura 7: Representação de um TIN. Fonte: Fernandes (2004).

Fernandes (2009) aborda a importância de se trabalhar com MDE, devido a estes representarem um esquema que busca de maneira material ou simbólica, compor um quadro simplificado e inteligível do mundo, baseado em uma abstração da realidade. Desta forma, segundo o autor, estes modelos permitem uma visão mais próxima da realidade como a percebemos, possibilitando a construção de modelos mais ajustados a paisagem de análise.

2.3.2. Sensoriamento Remoto

Para Moreira (2001) o Sensoriamento Remoto é o conjunto de processos e técnicas usados para medir propriedades eletromagnéticas de uma superfície, ou de um objeto, sem que haja contato físico entre o objeto e o equipamento sensor. A importância do Sensoriamento Remoto neste estudo está relacionada à utilização do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI) presente no programa InterIMAGE (versão 1.27) para a elaboração do Mapa de área vegetada a partir das duas imagens ALOS, sensor AVNIR-2 obtidas junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010).

De acordo com Blaschke & Kux (2007), o Sensoriamento Remoto apresentou diversos avanços relacionados, não somente ao desenvolvimento de satélites com instrumentos sensores com resoluções espacial, espectral e temporal cada vez melhores, mas também o desenvolvimento de programas com novas concepções metodológicas de interpretação de imagens.

Percebe-se na literatura especializada diferentes índices de vegetação com o objetivo de explorar as propriedades espectrais da vegetação, especialmente nas regiões do visível e do infravermelho próximo. A fundamentação desses índices está relacionada ao comportamento oposto da reflectância da vegetação nas duas regiões espectrais anteriormente mencionadas.

Ponzoni & Shimabukuro (2007) apontam que esse comportamento antagônico nada mais é do que a baixa reflectância das folhas na região do visível, que se explica em razão da absorção da radiação solar pela ação dos pigmentos fotossintetizantes. Enquanto que na região do infravermelho próximo ocorre a alta reflectância devido ao espalhamento (reflectância e transmitância) da radiação no interior das folhas em função

da estrutura celular. Então, quanto maior for este contraste, maior vigor terá a cobertura vegetal imageada.

Esse raciocínio se aplica nos dosséis vegetais, onde a variação da reflectância da cobertura vegetal em diferentes bandas espectrais depende, principalmente, da quantidade de folhas e da arquitetura do dossel. Tanto é que a curva de reflectância de um dossel se assemelha muito com a forma da curva de reflectância das folhas isoladas que a compõem.

Ainda segundo Ponzoni & Shimabukuro (*op. cit.*) a razão simples (Jordan, 1969) foi o primeiro índice a ser usado sendo obtido pela razão simples dos valores referentes à região do infravermelho próximo por valores da região do vermelho. O índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) presente no InterIMAGE é uma normalização do índice de vegetação da razão simples para o intervalo de -1 a +1 (Rouse *et al.* 1973). Desta forma, para alvos terrestres o limite inferior torna-se aproximadamente zero (0) e o limite superior aproximadamente 0,80. As equações do índice de vegetação da razão simples e do índice de vegetação da diferença normalizada podem ser vistos nas equações 1 e 2.

(1)

Índice de Vegetação da Razão Simples
(SR - Jordan, 1969)

$$SR = \frac{\rho ivp}{\rho v}$$

(2)

Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
(NDVI - Rouse *et al*. 1973)

$$NDVI = \frac{(\rho ivp - \rho v)}{(\rho ivp + \rho v)}$$

ρivp = Infravermelho Próximo / ρv = Vermelho

É válido destacar que a região do vermelho é utilizada em detrimento à do azul e à do verde por diferentes razões. Uma delas é que a região do vermelho sofre uma menor influência dos efeitos da atmosfera, pois quanto menores forem os comprimentos de onda, maior será a interferência atmosférica. Além disso, existe nesta faixa do espectro uma maior absorção da radiação eletromagnética pela ação da clorofila.

2.4. Áreas de Preservação Permanente

Neste sub-capítulo, serão apresentadas as leis ambientais que regem e estabelecem as APP. A lógica de discussão se dará realizando um histórico acerca dos diferentes instrumentos legais que surgiram para estabelecer estas áreas e/ou modificá-las.

De acordo com Viana (2004) o Decreto nº 23.793 de 23 de Janeiro de 1934 pode ser considerado como a primeira legislação nacional a discorrer sobre normas de política e gestão dos recursos florestais. Para Borges (2008) os primórdios do que se conhece hoje como APP, surgiu através deste decreto, que pode ser considerado o primeiro Código Florestal. O artigo 4º do Decreto nº 23.793/34 se referia as florestas protetoras, o que certamente é um esboço do que hoje entendemos como sendo algumas APP.

> *"Art. 4º - Serão consideradas florestas protetoras as que, por sua localização, servirem conjunta ou separadamente para quaisquer dos fins seguintes:*
>
> *a. Conservar o regime das águas;*
>
> *b. Evitar a erosão das terras pela ação dos agentes naturais;*
>
> *c. Fixas dunas;*
>
> *d. Auxiliar a defesa das fronteiras, de modo julgado necessário pelas autoridades militares;*
>
> *e. Assegurar condições de salubridade pública;*
>
> *f. Proteger sítios que por sua beleza mereçam ser conservados;*
>
> *g. Asilar espécimes raros da fauna indígena."*

Em função das grandes dificuldades para implementação deste Código Florestal, elaborou-se uma proposta que buscasse normatizar adequadamente a proteção jurídica do patrimônio florestal brasileiro (Ahrens, 2003; 2005). Desta forma, preparou-se o Código Florestal de 1965, objeto da lei nº 4.771, de 15 de Setembro de 1965 que se encontra em vigor até hoje. Este Código de 1965, segundo Milaré (2007), manteve até certo ponto o sistema de 1934, salvo a abolição das categorias de florestas e a classificação das Áreas de Preservação Permanente (APP).

Neiva (2009) aborda que a figura jurídica das APP sofreu diversas alterações. Estas alterações ocorreram inicialmente com a lei federal nº 7.511/86, que institui o

Novo Código Florestal e posteriormente pela lei federal nº 7.803/89, que altera a redação da lei nº 4.771/65. Algumas Medidas Provisórias (MP) também foram responsáveis por alterações na figura jurídica das APP, como a MP nº 2.166-67/01 que introduziu o conceito de APP, sendo a redação vigente hoje do Código Florestal devido a Ementa Constitucional nº 32 de 11 de setembro de 2001.

Desta forma, segundo a Medida Provisória nº 2.166-67, de 2001, as APP são áreas cobertas ou não por vegetação nativa, com função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas.

Segundo estudo da Fundação COPPETEC (2002), a MP nº 2.166-67/01 modificou a definição de APP no trecho referente a "coberta ou não por vegetação nativa", pois antes desta modificação existiam diferentes interpretações e pareceres jurídicos quanto a questão da existência ou não de vegetação nativa nas APP para configurá-las como tal.

Tendo como base a Resolução CONAMA nº 303/2002 que determina parâmetros, definições e limites das APP, a Tabela 2 mostra as APPs que se pretende mapear neste trabalho:

Tabela 2: Denominações das Áreas de Preservação Permanente mapeadas

APP 1: Ao redor de nascentes ou olho d'água, ainda que intermitente, com raio mínimo de 50 metros de tal forma que proteja, em cada caso, a bacia hidrográfica contribuinte;
APP 2: Ao redor de, lagos e lagoas naturais, em faixa de metragem mínima de: - 30 metros, para os que estejam situados em áreas urbanas consolidadas; - 100 metros, para os que estejam situados em áreas rurais, exceto os corpos d'água com até 20 hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 metros;
APP 3: Ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água, em faixa marginal, medida a partir do nível mais alto, em projeção horizontal, com largura mínima de: - 30 metros para os cursos d'água de menos de 10 metros de largura; - 50 metros para os cursos d'água que tenham de 10 a 50 metros de largura; - 100 metros para os cursos d'água que tenham de 50 a 200 metros de largura; - 200 metros para os cursos d'água que tenham de 200 a 600 metros de largura; - 500 metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 metros;
APP 4: Em altitude superior a 1.800 metros, ou em Estados que não tenham tais

elevações, a critério do órgão ambiental competente;
APP 5: em encosta ou parte desta, com declividade superior a cem por cento ou quarenta e cinco graus na linha de maior declive.

Uma informação pertinente está relacionada às APP de entorno de reservatórios artificiais. A resolução CONAMA nº 302/02 faz tratamento específico para essas áreas estabelecendo distâncias em áreas urbanas consolidadas e rurais.

É valido mencionar que existem algumas APP como dunas, mangues e restingas que não ocorrem na área de estudo. Além disso, não se pretende mapear outras APPs como: topo de morro, linhas de cumeada, locais de refúgio ou reprodução de aves migratórias e locais de refúgio ou reprodução de exemplares da fauna ameaçados de extinção que constem na lista elaborada pelo Poder Público Federal, Estadual ou Municipal. As APPs como topo de morro e linha de cumeada não foram mapeadas, devido a sua complexidade e por também não ser este o foco do trabalho.

2.4.1. Evolução e dificuldades no mapeamento das APPs

As bibliografias existentes que tratam do mapeamento e da análise das APPs apresentam, em um primeiro momento, métodos convencionais de obtenção manual dessas áreas, a partir de mapas topográficos. Segundo Garbrechet & Martz (2000) esses métodos são tediosos e de grande mão-de-obra, representando sempre um desafio, mesmo para profissionais experientes.

Além disso, a delimitação das APPs através de métodos analógicos, incluindo interpretação visual, é subjetiva, está condicionada à experiência do analista e é sempre passível de contestação (Hott *et al.*, 2005). Serigatto (2006) afirma que a dificuldade de se fazer a delimitação dessas áreas pelo método tradicional é tamanha, que atualmente ainda não se produziu, para qualquer unidade federativa, um mapeamento sistemático.

Tendo em vista a dificuldade em visualizar e determinar espacialmente as APPs, existe também, nas bibliografias relacionadas ao tema, metodologias de extração semi-automática dessas áreas, como apresentado por Reis (2008). Ribeiro *et al*., (2005) afirma que, a delimitação automática das APPs elimina a subjetividade do processo, auxilia na definição geográfica das reservas legais apoiada em critérios ecologicamente estabelecidos, apresenta níveis de exatidão comparáveis aos obtidos por métodos manuais e promove a melhoria na forma e função das APPs, viabilizando o cumprimento do Código Florestal Brasileiro, favorecendo a fiscalização ambiental.

Porém, nenhum dos modelos de delimitação dessas áreas leva em consideração a superfície tridimensional (3D) da paisagem, sendo que Fernandes & Menezes (2005) e Fernandes (2009) demonstram a importância dessa variável em diferentes abordagens científicas. Segundo estes autores, os elementos e análises realizados em superfície planimétrica (2D, projetada) podem mascarar alguns resultados obtidos, principalmente em áreas de relevo acidentado, como é o caso da APA Petrópolis. Assim elementos planares e lineares apresentam valores maiores se interpretados em superfície real do que em superfície planimétrica (Figura 8).

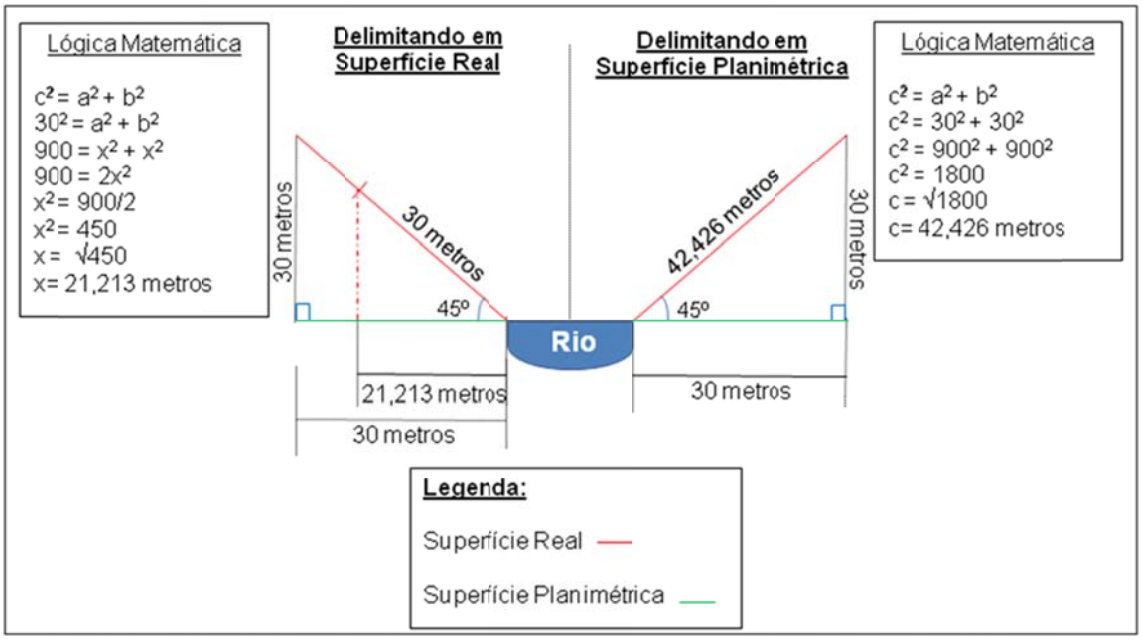


Figura 8: Diferença na delimitação utilizando superfície real e planimétrica em uma mesma encosta.

Em cima desse debate surgem outros argumentos que devem ser levados em consideração. Um deles está relacionado a forma como está redigida a lei, o que pode erroneamente levar a dois parâmetros de interpretação.

O trecho referente às áreas de preservação permanente ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água presente na Resolução CONAMA Nº 303/2002 é um bom exemplo para demonstrar o que foi dito anteriormente, já que de acordo com o inciso I do artigo 3º desta resolução, essas APPs são definidas como: "ao longo dos rios ou de qualquer curso d'água, em faixa marginal, medida a partir do nível mais alto, em projeção horizontal, com largura mínima de (...)".

Deste inciso, se extraem duas especificações que podem gerar controvérsias acerca do entendimento de "a partir do nível mais alto" e "em projeção horizontal".

Isto porque, o inciso em comento traz como definição para nível mais alto, como o nível alcançado por ocasião da cheia sazonal do curso d'àgua perene ou intermitente. Contudo, ao só trazer essa definição, não resta claro qual o espaço de tempo que tem que ser levado em consideração para essa determinação. Ou seja, atualmente é comum que ocorram intensas precipitações que geram cheias atípicas e não se sabe exatamente se essas alterações serão levadas em conta para a caracterização das APPs.

Já o especificado “em projeção horizontal” pode induzir a duas interpretações: uma relacionada a forma de mapeamento planimétrico e a outra a quanto que o nível de água varia ao longo do ano, o que define a maior largura do rio. Acredita-se que a expressão “projeção horizontal” esteja se referindo a segunda opção, pois se essa estivesse relacionada a parâmetros de mapeamento planimétrico, seria mais adequado utilizar no texto a palavra “ortogonal”.

A partir do momento que se adota essa posição de interpretação e levando em consideração que nenhuma das leis ambientais fazem referência à forma de mapeamento das áreas de preservação permanente, é notória a necessidade do Código Florestal ser revisto e atualizado, para atender e estabelecer fatores operacionais desse tipo de mapeamento.

Outro conflito de interpretação que vale a pena ser destacado está relacionado ao inciso II do artigo 3º. Este inciso estabelece as APPs de nascentes como: ao redor de nascente ou olho d`água, ainda que intermitente, com raio mínimo de cinqüenta metros de tal forma que proteja, em cada caso, a bacia hidrográfica contribuinte.

O estabelecido pelo inciso, mais especificamente o fragmento “de tal forma que proteja, em cada caso, a bacia hidrográfica contribuinte” pode levar a duas interpretações: a que se deve delimitar a cabeceira de drenagem que está acima da área de nascente; e que a partir da área de nascente “definida” por um ponto deve se estabelecer uma área de cinqüenta metros de APP.

De uma forma ou de outra, existe uma grande dificuldade de se mapear essas áreas. Isso porque a percepção da área de nascente vai mudar conforme a estações do ano e épocas de cheia e seca. Pode-se dizer que essa dinâmica presente no comportamento das nascentes torna-a impossível de ser mapeada, gerando simplificações em sua representação por impossibilidade metodológica de representação.

Nos últimos anos, tem se intensificado os debates e discussões acerca da delimitação das APPs. É necessário investir nas definições e conceituações que são ponto de partida para as delimitações dessas áreas. Um fator importantíssimo no qual a lei não faz menção é uma escala de referência para o mapeamento das APPs. O mapeamento em escalas diferentes certamente ocasionará em delimitações e

representações diferentes e essa distinção de leitura pode ser até maior que a encontrada na comparação Superfície Planimétrica X Superfície Real feita neste estudo.

Juridicamente, podem-se destacar alguns projetos de lei em tramitação relacionados as APPs, que propõem: a mudança de cálculo dessas áreas na zona rural (Projeto de Lei 3225/08); autonomia municipal para delimitação das APP (Projeto de Lei, 3517/08); proposta de redução na extensão das áreas (Projeto de Lei, 4006/08); regulamentação para sua recuperação (Projeto de Lei, 4619/09), entre outros. Além desses e outros projetos de lei, existem também muitas dúvidas relacionadas a abrangência e especificidade deste instrumento legal, como por exemplo as discussões relacionadas a consideração ou não de áreas de várzea como áreas de APP.

Além disso, o novo Código Florestal, uma reformulação do Código Florestal de 1965, apresenta algumas alterações nas delimitações das áreas de preservação permanente e no estabelecimento de reservas legais. Este já foi aprovado pela Câmara dos Deputados no dia vinte e cinco de maio de dois mil e onze, e aguarda aprovação no Senado e sanção da presidente Dilma Rousseff para entrar em vigor.

Isso demonstra a importância de se fazer uma discussão a respeito da forma com que essas áreas são entendidas e estabelecidas, sendo válido observar em superfície planimétrica (2D) e real (3D) como se dá espacialmente a relação dos diferentes elementos presentes nessas áreas e como estes se relacionam com os conflitos existentes na forma de manejo e uso do solo na área de estudo.

3. ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DE PETRÓPOLIS

A área de estudo em questão foi a primeira APA Federal a ser criada (1982) e oficializada em 1992, sendo atualmente administrada pelo ICMBio e tem como objetivo:

> *"garantir a preservação dos remanescentes da Mata Atlântica, pertencente à Reserva da Biofesra da UNESCO, patrimônio nacional e da humanidade, o uso sustentável dos recursos naturais e a conservação do conjunto paisagístico da região"* (Pagani, 2003).

Segundo IBAMA/MMA (2007) a APA Petrópolis ocupa parte dos municípios de Petrópolis (68,32%), Magé (16,75%), Guapimirim (10,39%) e Duque de Caxias (4,54%) e se estende por uma área de aproximadamente 595,22 km² (Figura 9). Além disso, abrange uma população estimada em 300 mil habitantes e possui uma biodiversidade ameaçada com os fortes impactos da alta densidade populacional, especialmente no vale do rio Piabanha, onde se localiza a cidade de Petrópolis.

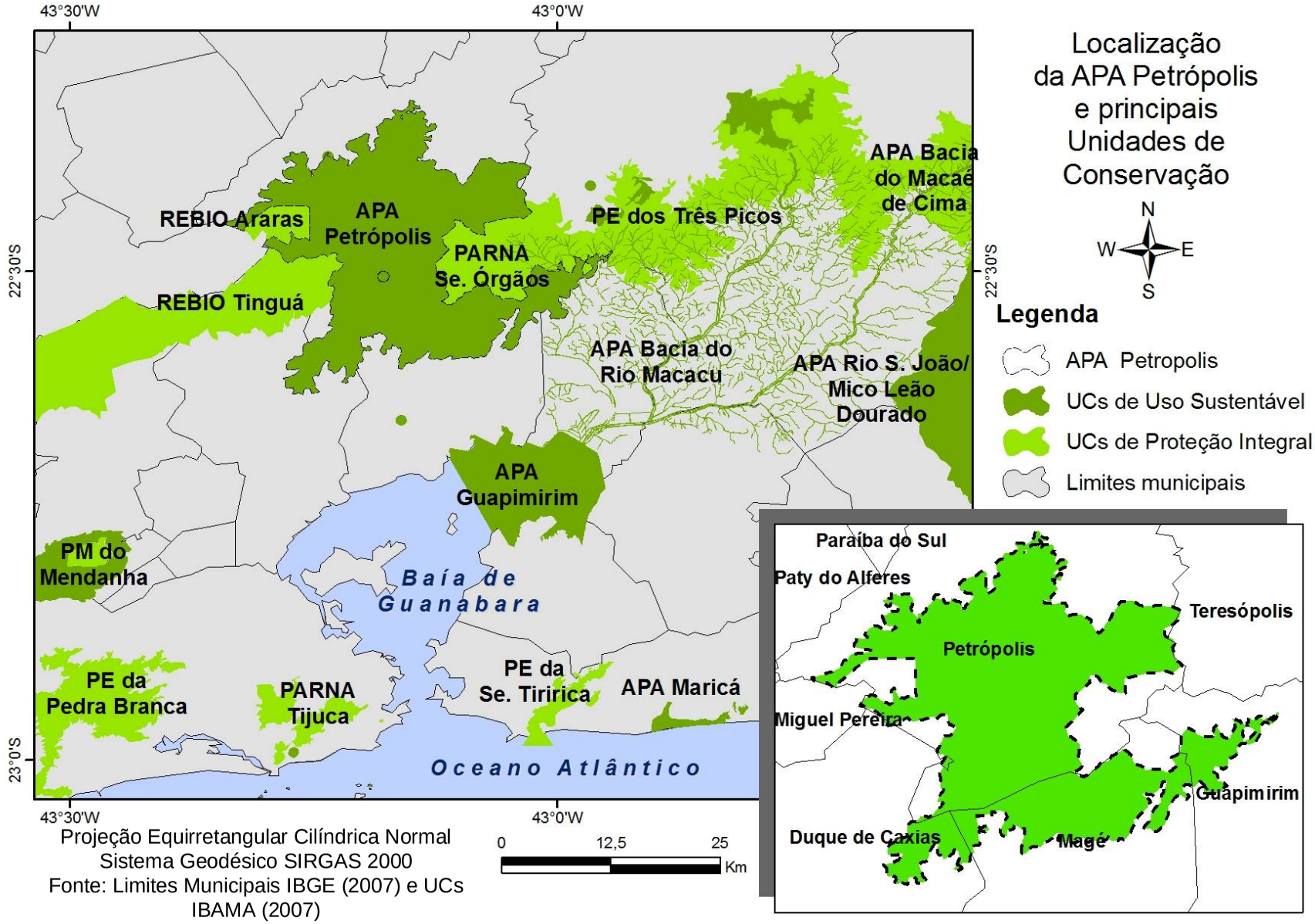


Figura 9: Localização da área de estudo.

O Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), instituído pela Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000 e regulamentado pelo Decreto nº 4.340 de 22 de agosto de 2002, é o instrumento legal que visa possibilitar os objetivos de proteção da natureza no Brasil. O SNUC busca organizar as áreas naturais protegidas, em categorias, e definir os meios de planejamento e gestão adequados para cada. Dessa forma, o SNUC definiu diversas categorias de Unidades de Conservação (UC) de uso sustentável ou de proteção integral, de acordo com suas possibilidades de manejo.

De acordo com IBAMA/MMA (2007), a APA Petrópolis, assim como as demais UC da sua categoria, tem sua definição dada pelo Artigo 15º do SNUC como:

> *"uma área em geral extensa, com um certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais".*

O mapeamento das Áreas de Preservação Permanente dentro da Área de Proteção Ambiental de Petrópolis se faz necessário em razão da importância da delimitação dessas áreas para uma melhor gestão dos diferentes conflitos existentes nessa UC. Segundo o Resumo Executivo do Plano de Manejo da APA (IBAMA/MMA, 2007) esses conflitos são em função da expansão da ocupação das APP devido: à especulação imobiliária, degradação dos recursos hídricos, exploração de pedreiras, exploração de produtos da flora (bromélias, cipós e orquídeas), entre outros.

Na área de estudo são constatadas inúmeras construções em áreas bastante declivosas e em cume de morros, conforme ilustram as figuras 10, 11 e 12.

Figura 10: Construções “subindo” a encosta na localidade Alto Independência.

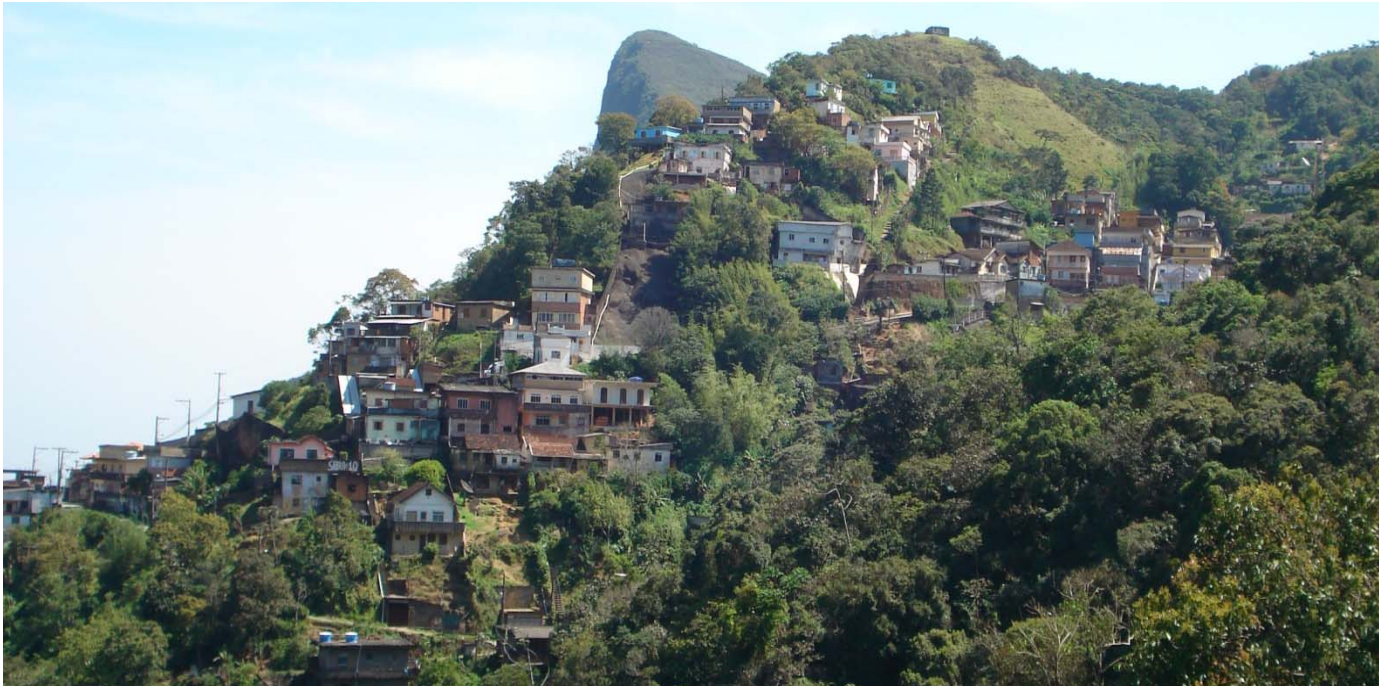


Figura 11: Construções em áreas declivosas na localidade Alto da Serra, ao final da Serra Velha.

Figura 12: Construções no cume do morro noAlto da Serra, ao final da Serra Velha.

Outra característica importante da APA Petrópolis está relacionada a sua inserção na Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (RBMA). Segundo o Plano de Manejo da APA (IBAMA/MMA, 2007) a RBMA possui cerca de 350.000 km² de extensão, em forma de um grande corredor envolvendo até 15 estados brasileiros, incorporando diversas áreas-núcleo (representadas por Unidades de Conservação). O bioma de Mata atlântica possui um dos mais altos níveis de biodiversidade do mundo e de acordo com Tabarelli *et al.*, (2005), trata-se da segunda floresta pluvial tropical do continente americano, sendo um dos 25 *hotspots* mundiais em biodiversidade.

O histórico de devastação deste bioma parte desde o início da ocupação territorial brasileira há aproximadamente 500 anos. Segundo levantamento realizado pelo PROBIO/MMA (2006), atualmente esse bioma encontra-se muito fragmentado e possui aproximadamente 20% de remanescentes florestais espalhados pelo território nacional. Isso reforça a importância de conservação das APP, pois estas muitas vezes são também remanescentes de Mata Atlântica (Reis, 2008).

Um ponto importante em relação à área de estudo é a sua configuração topográfica. Seu relevo bastante acidentado é favorável para realizar as observações em SR e posterior comparação com SP.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi dividido em cinco grandes etapas: aquisição dos dados de entrada; primeiros produtos derivados; delimitação das áreas de preservação permanente em superfície planimétrica; delimitação das áreas de preservação permanente em superfície real; e as análises.

O fluxograma abaixo (Figura 13) demonstra cada etapa e os procedimentos realizados em cada uma delas.

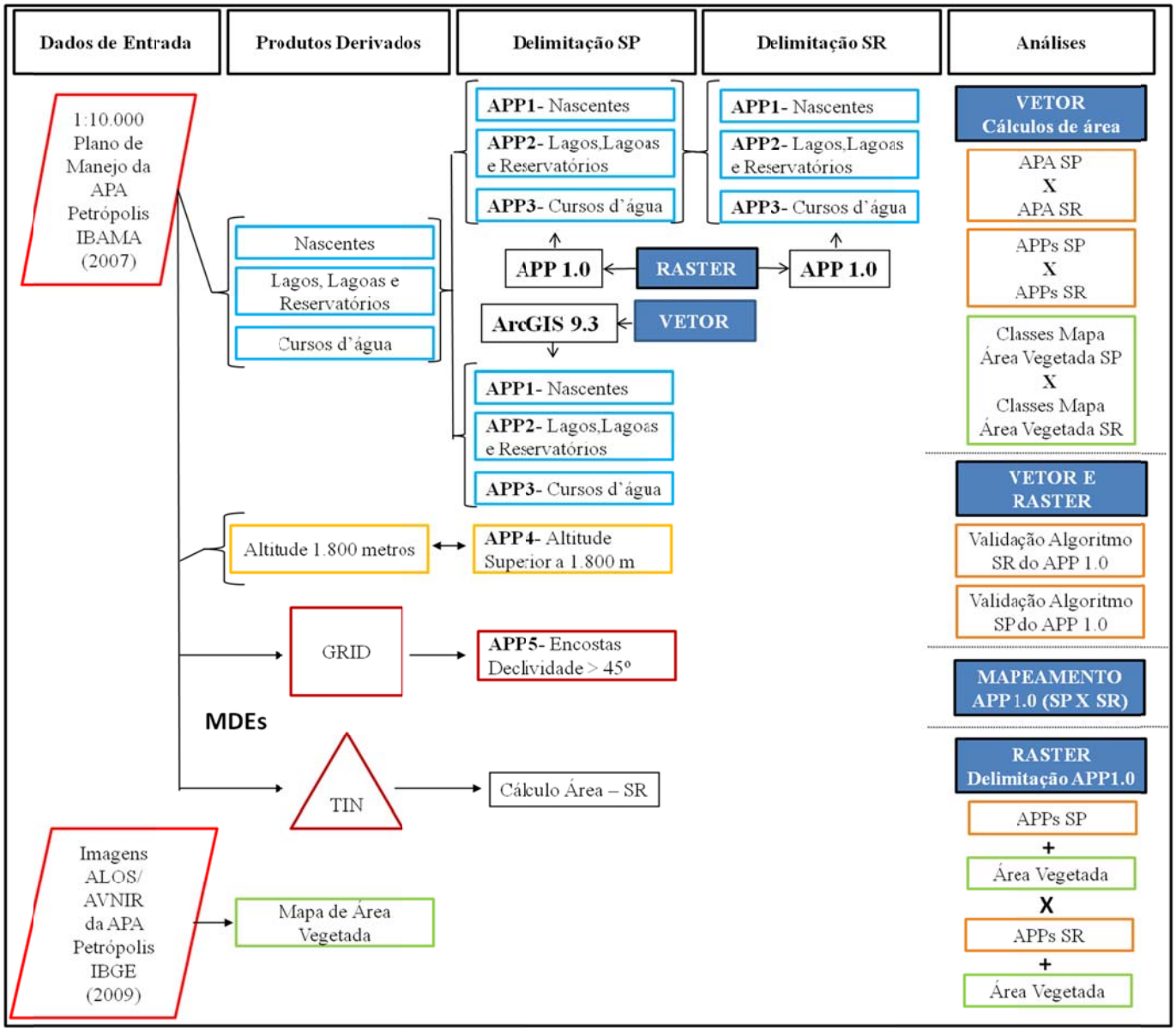


Figura 13: Fluxograma de operacionalização do trabalho, demonstrando cada etapa a ser realizada.

A primeira etapa consiste na aquisição, conferência e ajuste da base cartográfica do plano de manejo da APA Petrópolis (IBAMA/MMA, 2007) e a aquisição de duas

imagens ALOS AVNIR-2 de 2009 junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2009).

A etapa seguinte está relacionada com a seleção de algumas informações provenientes da base cartográfica para a delimitação de algumas APPs, assim como elaboração do mapa de área vegetada utilizando as imagens ALOS AVNIR-2. Além disso, são elaborados nessa etapa dois Modelos Digitais de Elevação que serão utilizados para mapear APPs em superfície real e para realizar o cálculo de área em superfície real.

A terceira etapa consiste na delimitação das APPs em superfície planimétrica em formato matricial (através do programa APP 1.0 desenvolvido nesse estudo) e formato vetorial (através do programa ArcGIS 9.3®). As APPs em formato vetorial que serão mapeadas nesta terceira etapa são: APP 1 – Nascentes; APP 2 – Lagos e Lagoas Naturais; APP 3 – Cursos d'água; APP 4 – Altitude Superior a 1.800 metros; APP 5 – Áreas de encostas com declividade superior a 45º. Por outro lado, em formato matricial só serão mapeadas as APPs 1, 2 e 3.

Na penúltima etapa foram mapeadas as APPs 1, 2 e 3 em superfície real e superfície planimétrica no formato matricial através do programa APP 1.0.

A última etapa consiste na análise dos resultados. Em um primeiro momento, foram comparados os cálculos de área em superfície planimétrica e em superfície real da APA. Da mesma forma foram calculadas as áreas das APPs delimitadas no formato vetorial (em superfície planimétrica no programa ArcGIS 9.3®), e das classes do mapa de área vegetada.

Depois foram validadas a forma de delimitação das APPs em SP e SR no APP1.0. Posteriormente, os dois mapeamentos das APPs (1, 2 e 3) foram elaborados para toda a APA e comparados. Por fim, foi avaliado o estado de conservação (área vegetada) das APPs através de suas delimitações em superfície real e em superfície planimétrica. Os procedimentos relacionados a cada uma destas etapas serão detalhados nos sub-capítulos a seguir.

4.1. Dados de Entrada

A base cartográfica do Plano de Manejo da APA Petrópolis na escala de 1:10.000 é proveniente de cartas da Prefeitura Municipal de Petrópolis/Prospec (1999), bases cartográficas cedidas pelo CIDE-RJ (1998) e bases cartográficas da FUNDREM (1978). A figura 14 demonstra a articulação destas informações. É válido ressaltar que toda a base se encontra em Projeção Universal Transversa de Mercator no Fuso 23 Sul e sistema geodésico SAD69.

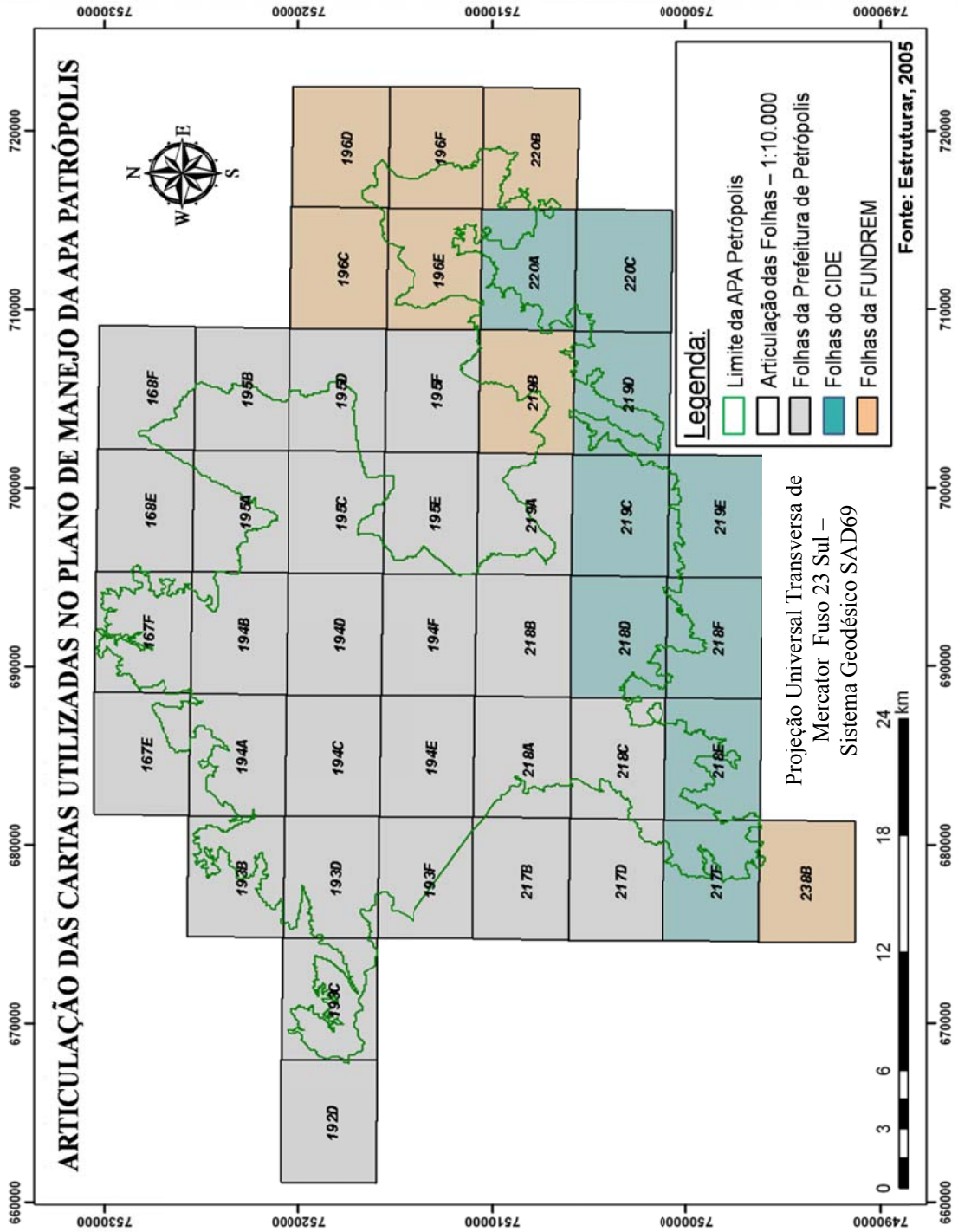


Figura 14: Articulação das cartas utilizadas no Plano de Manejo – APA Petrópolis. Fonte: Adaptado de ESTRUTURAR, 2005.

As imagens ALOS AVNIR-2 adquiridas junto ao IBGE possuem nível de correção 1B2-R. Elas estão na Projeção Universal Transversa de Mercator no Fuso 23 Sul e sistema geodésico WGS84. Foram adquiridas duas imagens devido a uma significativa área com cobertura de nuvens presente em uma das cenas.

As imagens adquiridas foram ortorretificadas no programa PCI Geomatics 10®. O procedimento para a ortorretificação utilizou o método de modelagem matemática de satélite orbital (*satélite orbital modeling*) com o modelo de Toutin (*Toutin's Model*). Esse método foi utilizado devido a não constatação dos arquivos RPC (rational polynomial câmera) de cada imagem AVNIR-2.

Foram utilizados ao todo 34 pontos. Destes, 8 foram usados na modelagem matemática da imagem 17788 (29 de Julho de 2009) e 11 para sua validação. Já para a imagem 18707 (27 de Maio de 2009), foram usados 8 pontos na modelagem matemática e 7 para validação. Dos pontos mencionados, 3 são em comum para ambas na modelagem matemática e 2 em suas validações. Toda seleção de pontos teve como base as ortofotos do IBGE de 2006 (IBGE, 2006), sendo que os pontos foram coletados principalmente em áreas de cruzamento de vias, bifurcação de vias, pontes, entre outras.

A ortorretificação foi feita através de um mosaico realizado entre o modelo TOPODATA (Folha 22-435ZN)(INPE, 2010) e o MDE do tipo GRID da APA Petrópolis, elaborado por esta pesquisa. A escolha do método de grade regular retangular para a ortorretificação está relacionada a este possuir uma estrutura matricial, a mesma apresentada pelo TOPODATA. Os pontos utilizados no incremento do modelo matemático, os MDEs usados na ortorretificação, assim como as imagens 17788 e 18707 podem ser observados na figura 15.

Na validação, o maior erro encontrado foi de 11,7 metros. Levando em consideração a escala de mapeamento 1:25.000, a qualidade do mapeamento é classe A dentro do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) (Brasil, 1984).

Em função da diferença de sistema geodésico existente entre a base cartográfica (SAD69) e as imagens (WGS84), foi realizada a transformação destes respeitando os parâmetros estabelecidos pelo Departamento de Geodésia do IBGE. Desta forma, todos os dados de entrada passaram a estar em Projeção Universal Transversa de Mercator no Fuso 23 Sul e Sistema de Referencia Geocêntrico para as Américas 2000 (SIRGAS 2000).

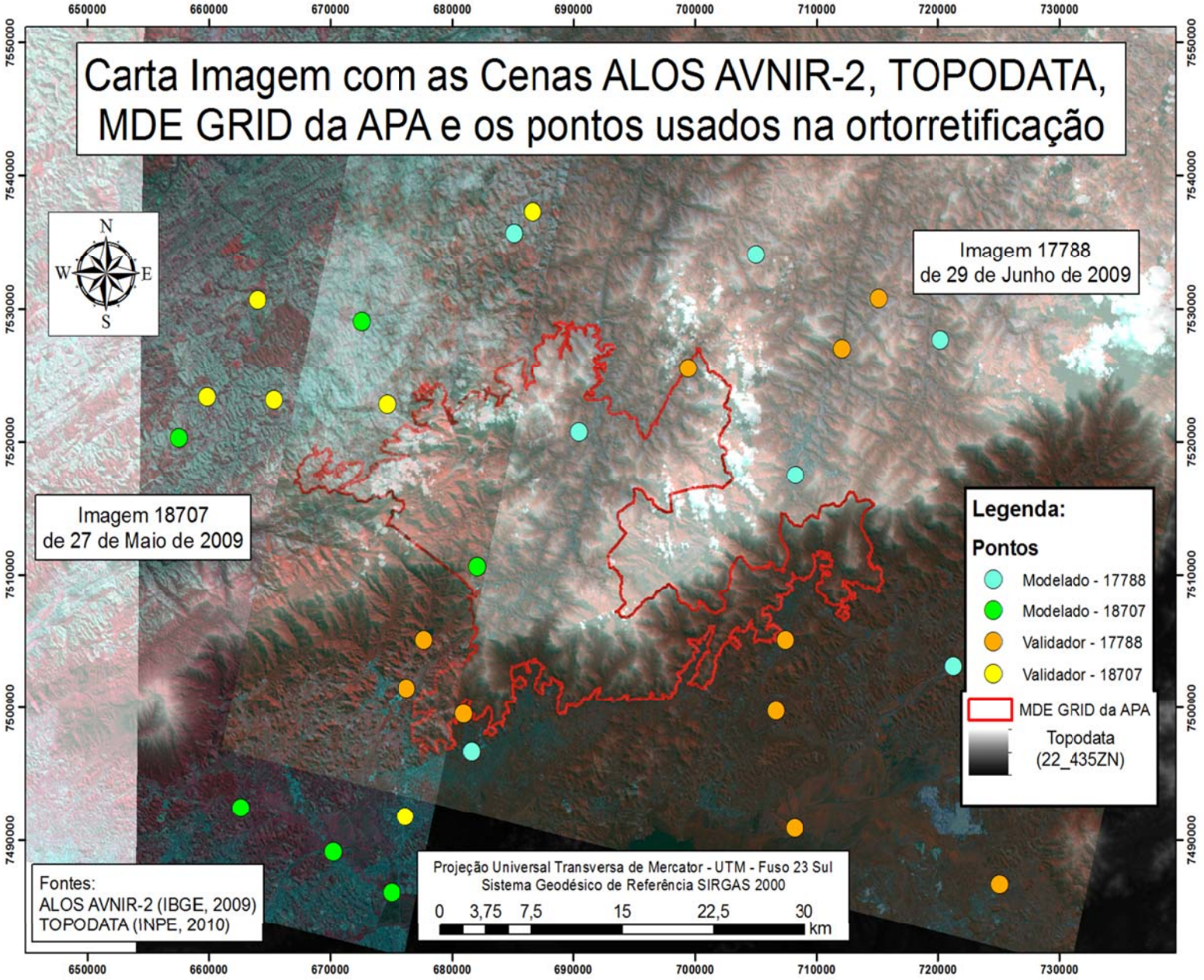
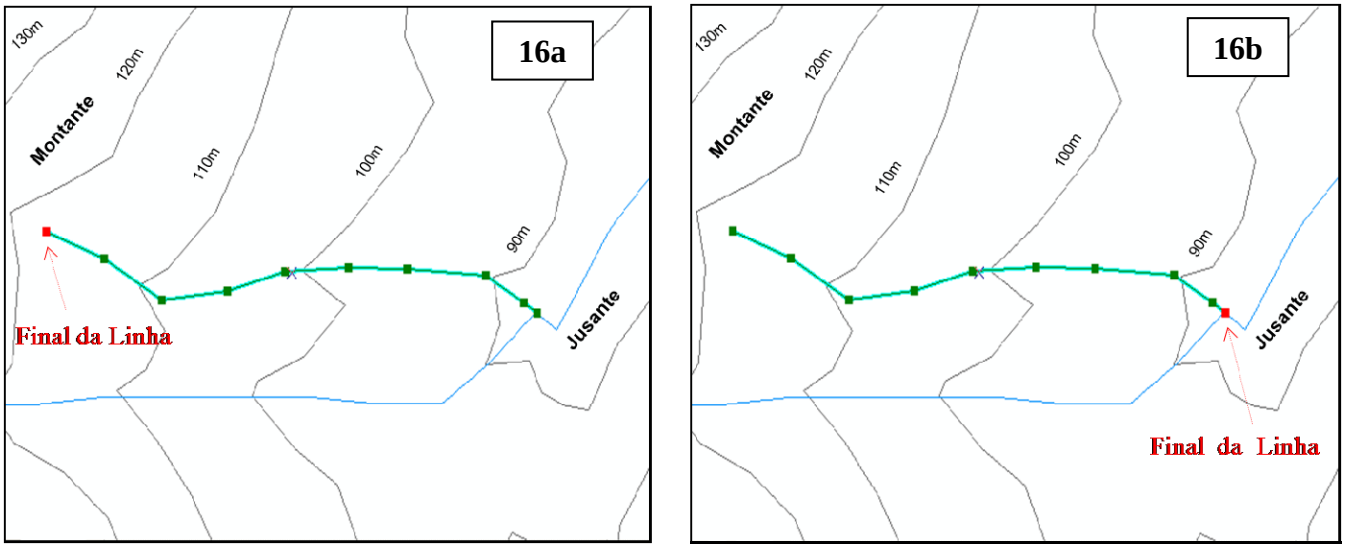


Figura 15: Pontos e MDEs usados na ortorretificação das imagens ALOS AVNIR-2.

4.2. Procedimentos de edição da base cartográfica

A base cartográfica adquirida apresentava algumas inconsistências como curvas de nível cruzadas, linhas de hidrografia incompletas e a orientação do segmento de linha de hidrografia contrário ao fluxo natural do rio (Figuras 16a e 16b). Todas estas incompatibilidades foram ajustadas no intuito de elaborar um do Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC).



Figuras 16ª e 16b: Adequação da orientação do segmento de hidrografia de acordo com o fluxo natural do rio, de montante a jusante.

Outra inconsistência da base que foi observada está relacionada a um significativo número de registros duplos, ou seja, segmentos de linha duplicados. No intuito de impedir que o ocorrido prejudicasse ou comprometesse a qualidade dos Modelos Digitais de Elevação gerados, foi realizado um macro de detecção de registros duplos na tabela de atributos e estes foram deletados.

4.3. Modelos Digitais de Elevação

Os Modelos Digitais de Elevação (MDE) são um instrumento imprescindível para esta pesquisa, uma vez que constituem parte fundamental na proposta de refinamento da metodologia de extração semi-automática das APP.

A partir da base cartográfica utilizada neste estudo foram confeccionados dois modelos. O Modelo do tipo GRID de grade regular retangular, foi confeccionado através do módulo TOPOGRID presente no programa ArcGIS 9.3® e com tamanho de pixel de 5 metros. Este MDE foi utilizado para auxiliar no mapeamento da APP 5 – Áreas de encostas com declividade superior a 45º e na delimitação em matriz das APPs 1, 2 e 3 em superfície real no programa APP 1.0 elaborado nesta pesquisa.

Já o modelo TIN, de grade irregular triangular, foi elaborado também no programa ArcGIS 9.3® utilizando-se o interpolador de ajuste linear com a triangulação de Delaunay com restrições. Este modelo possibilitou a realização das observações em superfície real, pois segundo estudo de Fernandes (2004) ele é melhor para observações de área e comprimento em regiões de alta declividade, como é o caso da área de estudo.

Os dados de entrada utilizados para confecção destes modelos foram: as curvas de nível; a hidrografia; lagos, lagoas e reservatórios; os pontos cotados; e a área de delimitação da APA Petrópolis. Cada dado de entrada utilizado na confecção do modelo tem um papel singular em sua confecção.

Na fase de testes com ambos os modelos, foi constatada uma preocupação importante em suas confecções. Este cuidado está relacionado em elaborar este modelo com informações não somente de dentro da área de estudo, mas de seu entorno também, visando minimizar "efeitos de borda".

Ou seja, na fase de testes foram elaborados dois modelos de grade irregular triangular (TIN) com os mesmos dados de entrada. Porém no primeiro, denominado "tin", foram consideradas apenas informações de dentro da área de estudo para sua confecção, já no segundo modelo, intitulado "tin_t" foi considerada uma área de entorno da APA de aproximadamente 200 metros. O resultado constatado pode ser visualizado na figura 17, que ilustra a diferença de altitude que foi observada em algumas áreas comuns desses modelos.

Essa diferença pode ser explicada a partir do momento que, com uma maior quantidade de informação de fora da área, a triangulação/interpolação externa fica mais detalhada (Figura 17), o que resulta em um valor de altitude mais próximo da realidade.

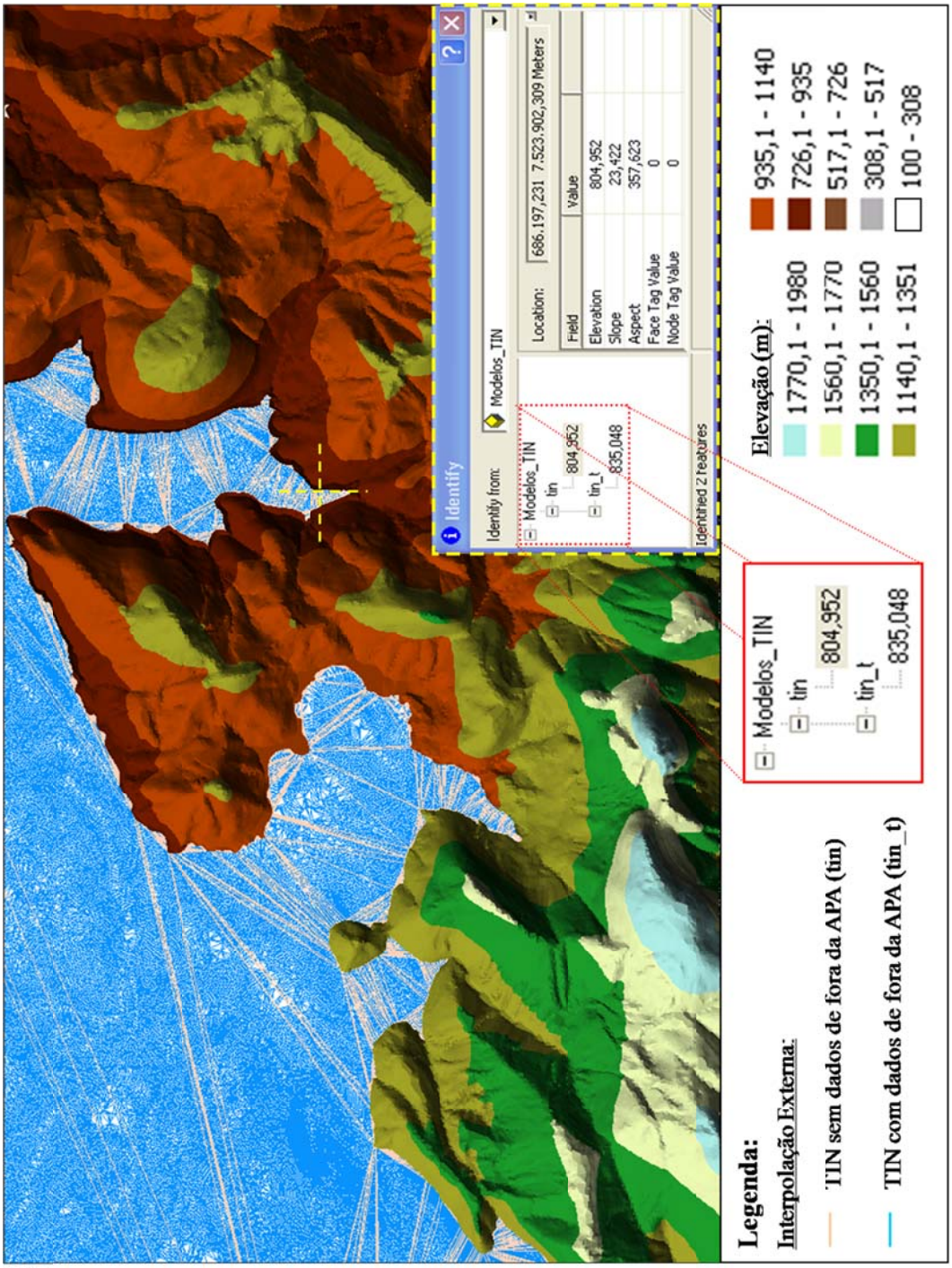


Figura 17: Comparação realizada entre os MDE TIN gerados sem informação de fora da APA (tin) e com informação do entorno da área (tin_t).

A figura 18 mostra o Modelo Digital de Elevação de grade irregular triangular (TIN) elaborado.

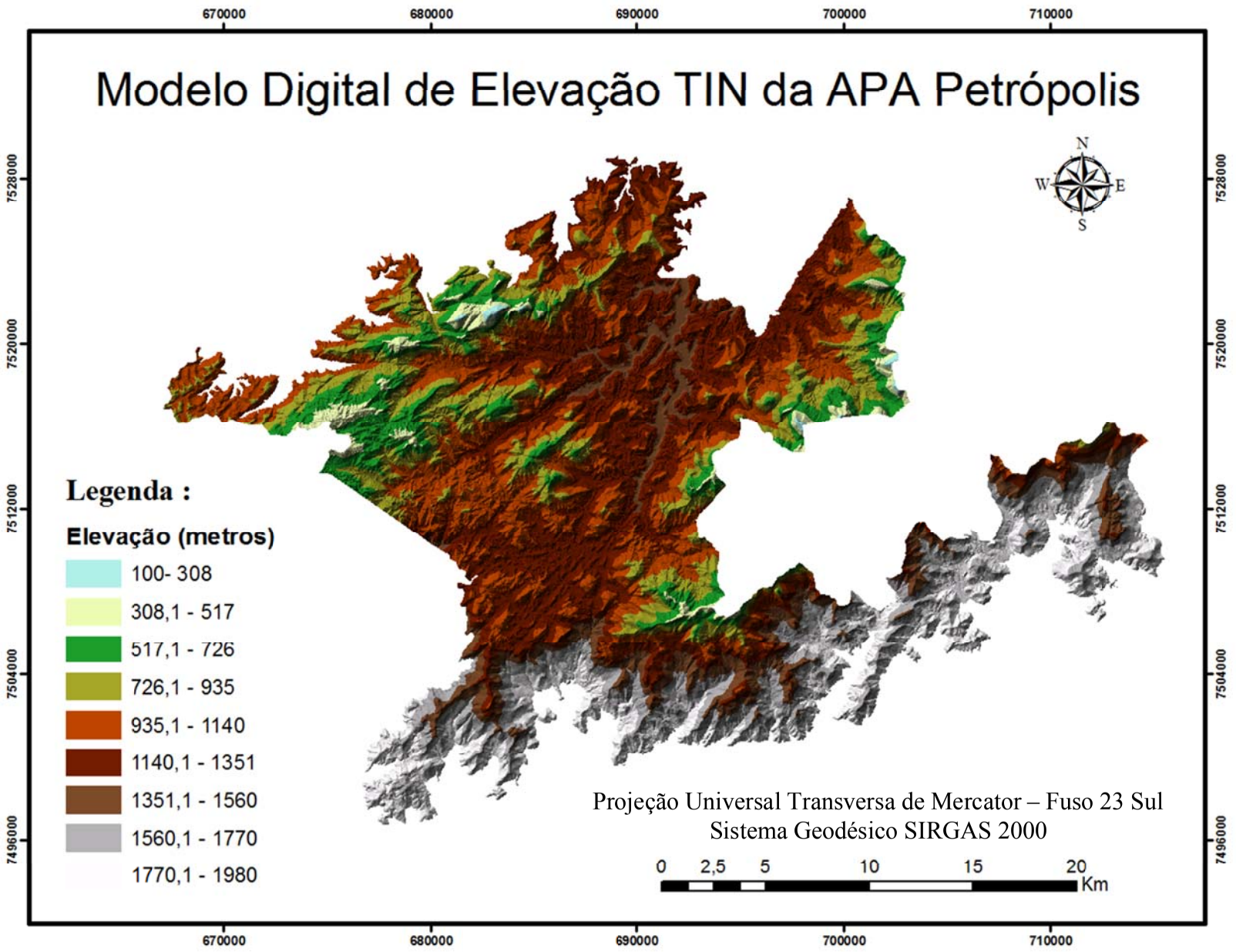


Figura 18: Modelo Digital de Elevação TIN da APA Petrópolis.

No procedimento para a elaboração do MDE de grade regular retangular (GRID) também foram consideradas informações do entorno da área de estudo de aproximadamente 200 metros, porém sua elaboração apresentou uma peculiaridade. Esta singularidade ocorreu devido a uma incapacidade técnica computacional para seu processamento. Em função disso, buscou-se recortar todos os dados de entrada em duas partes para gerar dois modelos e posteriormente mosaicá-los (Figura 19).

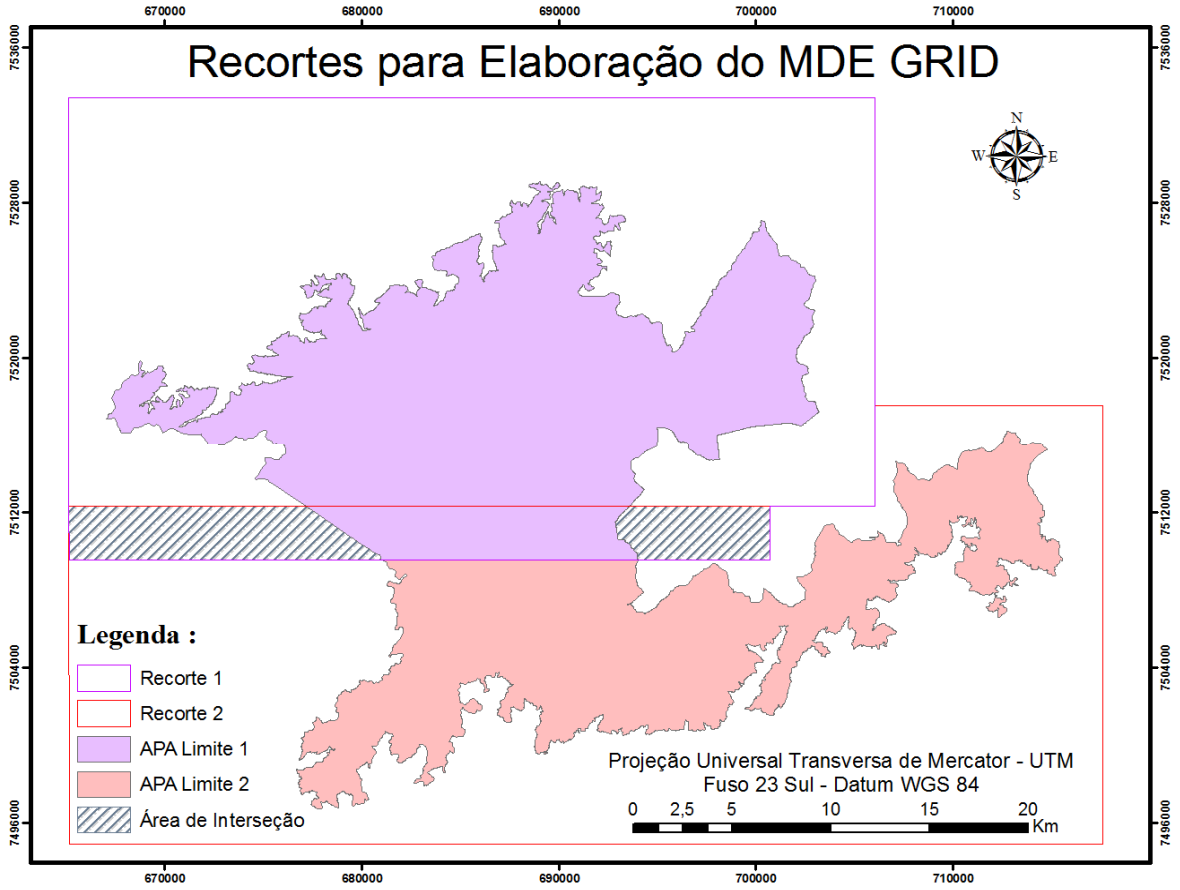


Figura 19: Recortes realizados nos dados de entrada para elaboração fracionada do Modelo Digital de Elevação de grade regular retangular.

Como pode ser observado na figura acima, entre as áreas de recorte existe uma área de sobreposição. No estabelecimento das áreas de recorte, houve a preocupação de não somente tentar ao máximo dividir a área em sua metade, como também deixar uma faixa de sobreposição de aproximadamente 3 km. A explicação para isso está relacionada com a preocupação que este sofra um "efeito de borda" ao ser moisacado.

A figura 20 mostra o Modelo Digital de Elevação de grade regular retangular (GRID) elaborado.

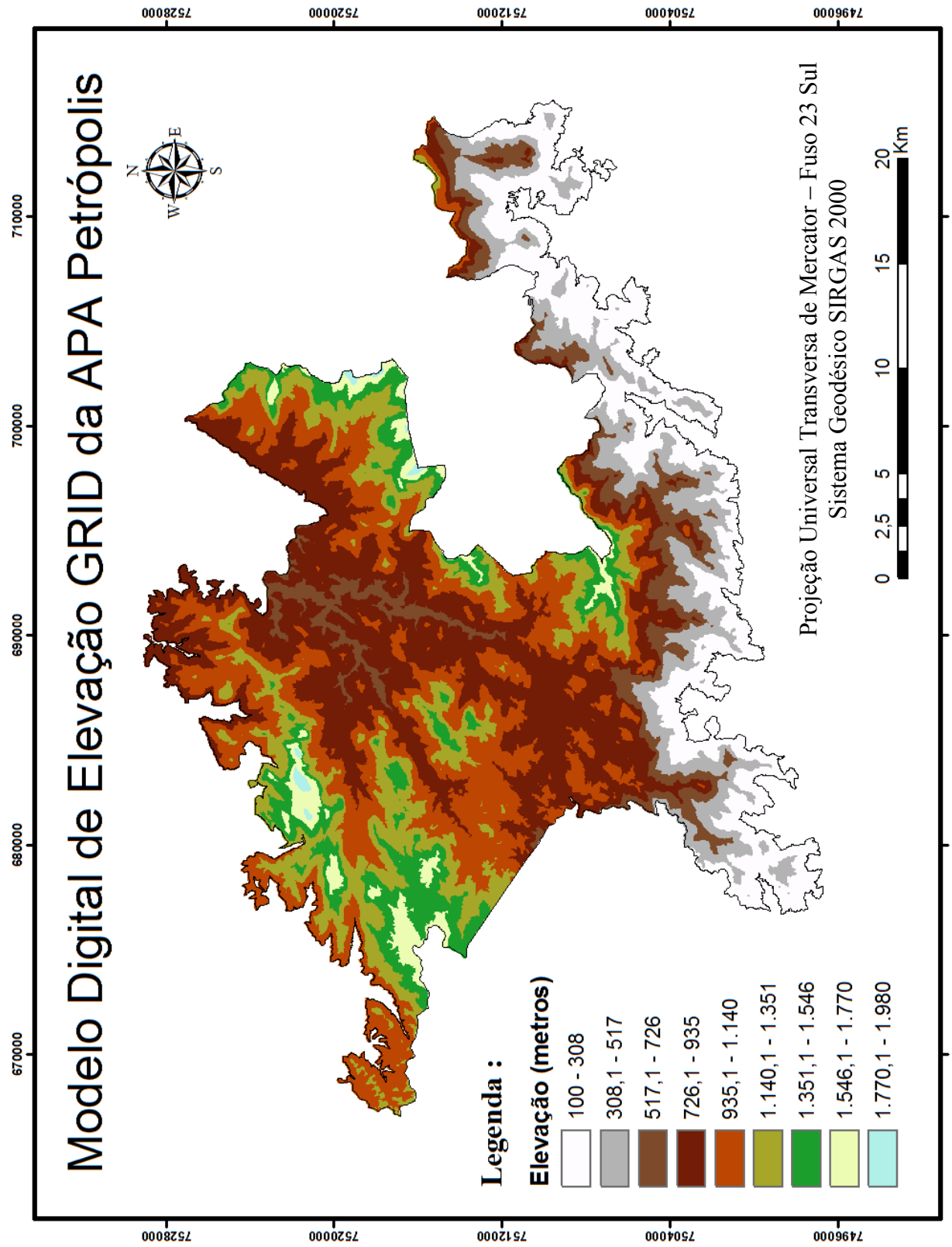


Figura 20: Modelo Digital de Elevação GRID da APA Petrópolis.

É válido destacar que foi definido nos parâmetros de mosaico que as informações de altitude da área de sobreposição seria definida a partir da média destas áreas. Após conclusão do modelo mosaicado, foi realizada uma verificação dos valores de altitude nessa área de sobreposição levando em consideração as duas áreas recortadas e o modelo moisacado, sendo que não identificada nenhuma diferença significativa.

4.4. Mapeamento Áreas de Preservação Permanente em Superfície Planimétrica no formato vetorial

Este sub-capítulo está relacionado ao esclarecimento da metodologia de delimitação das Áreas de Preservação Permanente em superfície planimétrica no formato vetorial.

4.4.1. APP 1 – Nascentes

De acordo com o artigo 3º, inciso II da Resolução CONAMA nº 303/2002, um dos tipos de APP são as áreas:

> "*ao redor de nascente ou olho d'água, ainda que intermitente, com raio mínimo de cinqüenta metros de tal forma que proteja, em cada caso, a bacia hidrográfica contribuinte.*" (Brasil, 2002)

Ainda de acordo com esta resolução, artigo 2º, inciso II é definido nascente ou olho d' água como o local onde aflora naturalmente, mesmo que de forma intermitente, a água subterrânea. Em função da falta de informação relacionada ao levantamento cartográfico das áreas de nascentes ou olhos d'água e ainda a dificuldade de determinar a localização dessas áreas em função da modificação de sua localização durante as estações do ano, considerou-se todo o início de hidrografia como uma área de nascente.

Desta forma utilizaram-se procedimentos para a geração de pontos em todo início de segmento de linha de hidrografia que representassem canais de primeira ordem. Os pontos gerados de forma correta passaram a simbolizar uma área de nascente. A figura 21 demonstra o resultado desta operação.

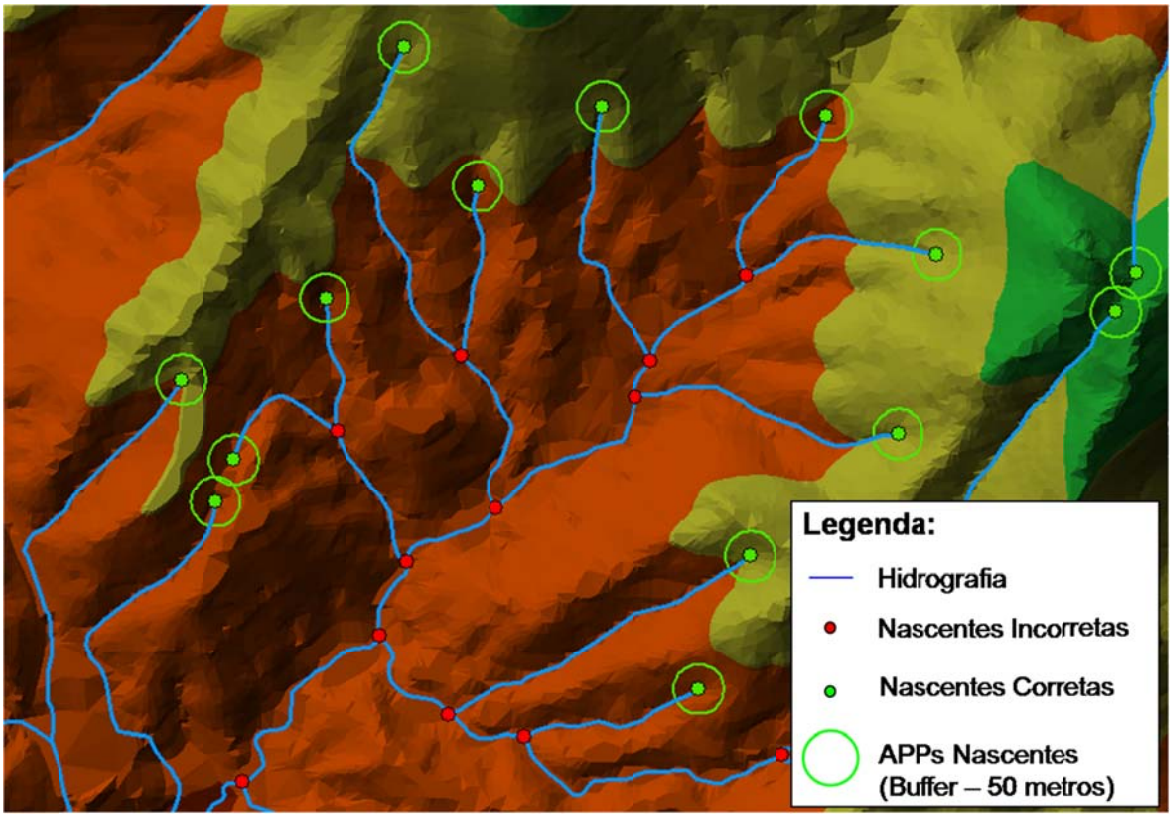


Figura 21: Demonstração da localização correta das nascentes, no início da hidrografia, nos canais de primeira ordem.

Como a hidrografia não é contínua, ou seja, são vários segmentos de linha diferentes que a compõem, ao gerar pontos no início de cada segmento de linha, são gerados pontos "incorretos" (representados em vermelho na figura) em confluências. Por isso, para finalização do mapeamento das APP de nascentes, existe a necessidade de editar esta informação eliminando os pontos que são gerados no meio da hidrografia para em seguida gerar as áreas de influência das nascentes regulamentadas pela resolução CONAMA 303/2002 que é de 50 metros.

4.4.2. APP 2 – Lagos, Lagoas, Reservatórios

O artigo 3º inciso III da Resolução CONAMA nº 303/2002, estabelece as áreas de preservação permanente ao redor de lagos e lagoas naturais, em faixa com metragem mínima de:

a) trinta metros, para os que estejam situados em áreas urbanas consolidadas;

b) cem metros, para as que estejam em áreas rurais, exceto os corpos d`água com até vinte hectares de superfície, cuja faixa marginal será de cinqüenta metros.

Para a delimitação destas áreas, foi necessário inicialmente extrair do shape de hidrografia do Plano de Manejo da APA Petrópolis (IBAMA/MMA, 2007) as informações referentes às feições que pudessem representar as áreas de lagos e lagoas naturais, além de reservatórios.

No presente estudo, as informações gráficas digitais disponíveis relacionadas a delimitação de corpos d'água não faziam distinção de sua modalidade em lago, lagoa ou reservatório. Desta forma, visto a dificuldade de se obter estas informações, optou-se por considerar toda a informação gráfica digital na categoria como lago ou lagoa natural.

A figura 22 demonstra como ficou estabelecido o mapeamento destas APPs.

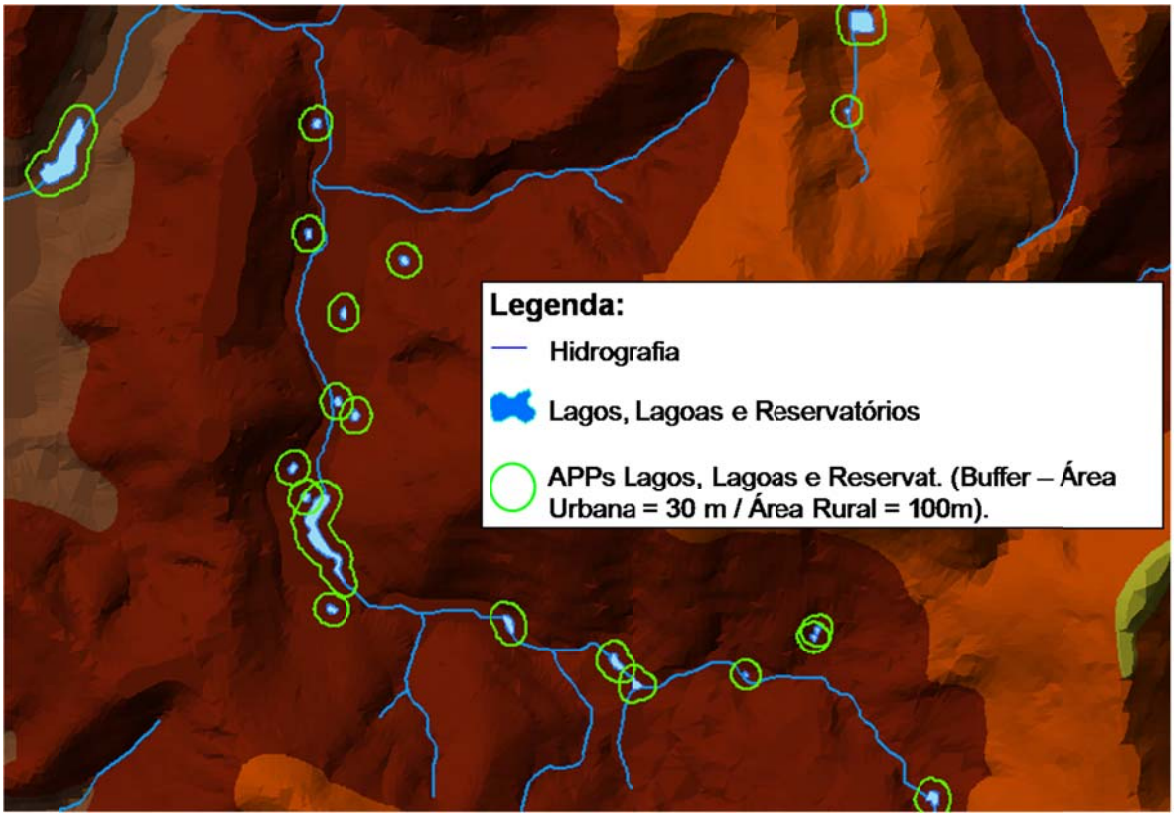


Figura 22: Demonstração das áreas de lagos e lagoas naturais e suas respectivas áreas de influência estabelecidas por lei.

É importante destacar que neste mapeamento não foi feita a distinção de área urbana e área rural devido a falta de informação espacial para distinguir estas áreas. Desta forma, na delimitação desta APP, foi considerada uma área de influência de 30 metros para todos os lagoas e reservatórios.

4.4.3. APP 3 – Cursos d'àgua

Em relação as APP de cursos d'água, a Resolução CONAMA nº 303/2002, dispõem no artigo 3º inciso I que estas devem ser consideradas em faixa marginal, medida a partir do nível mais alto, em projeção horizontal, com largura mínima, de:

a) trinta metros, para o curso d'água com menos de dez metros de largura;

b) cinqüenta metros, para o curso d'água com dez a cinqüenta metros de largura;

c) cem metros, para o curso d'água com cinqüenta a duzentos metros de largura;

d) duzentos metros, para o curso d'água com duzentos a seiscentos metros de largura;

e) quinhentos metros, para o curso d'água com mais de seiscentos metros de largura.

Uma observação pertinente está relacionada às simplificações que ocorrem com os cursos d'água ao modelarmos estas informações do mundo real para o computador. De acordo com o Manual Técnico de Convenções Cartográficas, do Ministério da Defesa (1998) e, sendo a escala da base cartográfica utilizada no trabalho 1:10.000, a representação dos rios com largura inferior a 8 metros é feita por uma linha simples, já os rios com largura superior a 8 metros, a representação é feita por duas linhas. Esta é uma informação valiosa que auxiliou o estudo para a medição e separação das categorias dessa APP.

Dessa forma, constatou-se que as características hídricas da área de estudo permitiam separar as informações de cursos d'água que possuíam largura até 10 metros e largura entre 10 a 50 metros. Essa operação foi realizada em duas etapas. Inicialmente foram separados os trechos de hidrografia representados: por um único segmento de linha (ou seja, rios que possuem largura de até 8 metros); e por dois segmentos de linha (ou seja, que representam cursos d'água com mais de 8 metros de largura).

O trecho de hidrografia representado por um único segmento de linha, por estar relacionado à representação de um curso d'água de até 8 metros de largura, de acordo com a Resolução CONAMA 303/2002, determina áreas de influência em suas margens de 30 metros.

Já para os trechos de hidrografia representados por dois segmentos de linha, que representam cursos d'água com mais de 8 metros de largura, foi necessário realizar a medição de margem a margem ao longo do rio. Esse procedimento se faz necessário já que a largura do curso d'água varia ao longo de sua extensão entre as classes "menor de 10 metros" e entre "10 metros e 50 metros" estabelecidas na Resolução CONAMA 303/2002.

Desta forma, a partir da elaboração da distância euclidiana[1] entre as margens foi possível observar o comportamento da largura da hidrografia, sendo visível a percepção dos trechos de interesse ("menor de 10 metros" e entre "10 metros e 30 metros") estabelecidos pelo instrumento legal de determinação das APPs.

Esses trechos com largura de margem diferenciada foram separados levando em consideração a distância euclidiana elaborada e medições manuais perpendiculares de margem a margem. Isso se tornou viável em razão de serem poucos os trechos de cursos d'água representados por duas linhas. A figura 23 ilustra o processo de separação destes tipos de informação.

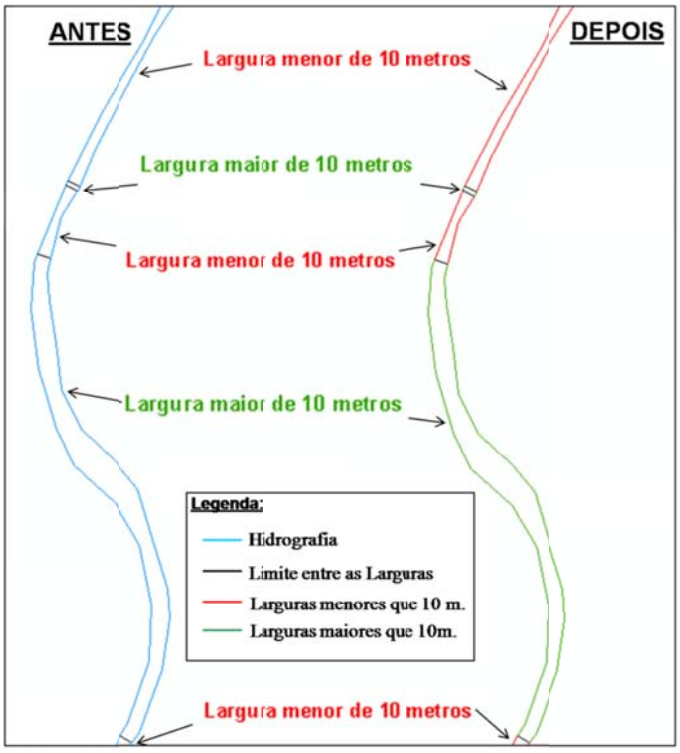


Figura 23: Demonstração da separação dos trechos da hidrografia.

[1] Em matemática, distância euclidiana (ou distância métrica) é a distância entre dois pontos, que pode ser provada pela aplicação repetida do teorema de Pitágoras. Aplicando essa fórmula como distância, o espaço euclidiano torna-se um espaço métrico (WIKIPEDIA, 2010).

O resultado deste mapeamento pode ser observado na figura 24.

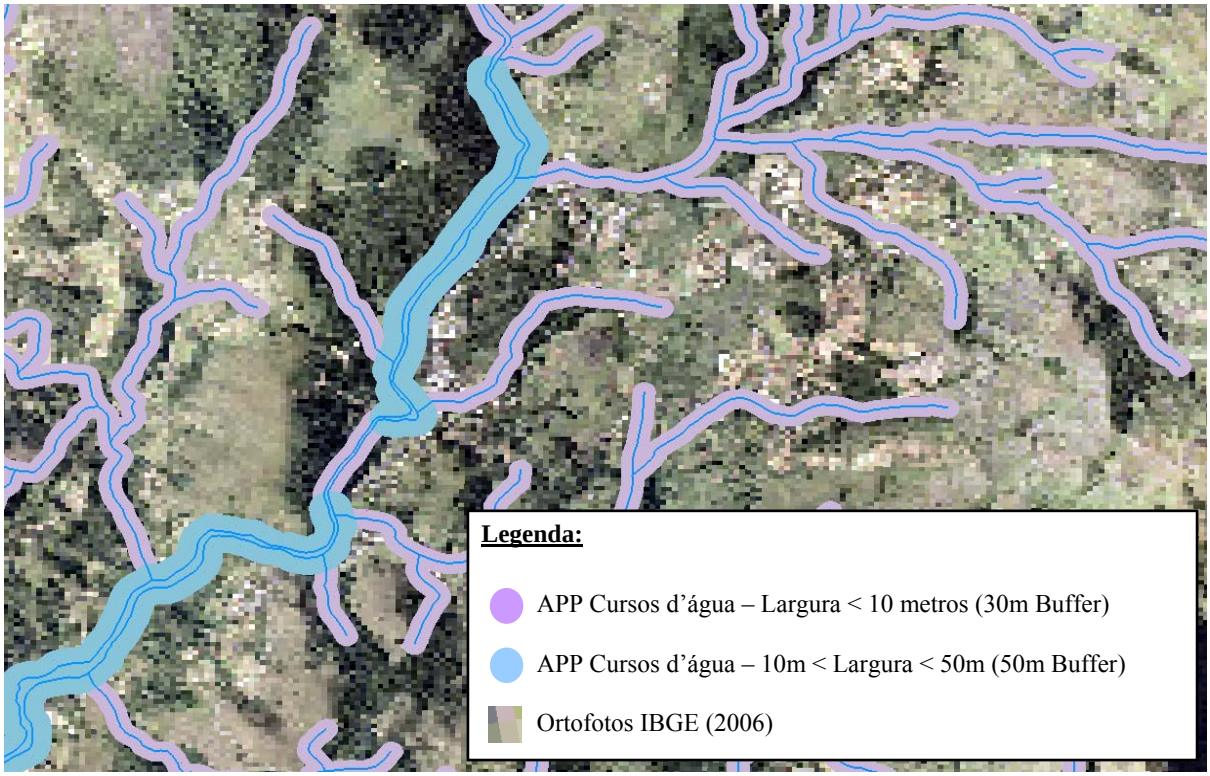


Figura 24: Demonstração da delimitação da APP 3.

4.4.4. APP 4 – Altitude Superior a 1.800 metros

O processo de delimitação e mapeamento das Áreas de Preservação Permanente de altitude superior a 1.800 metros passa por um processo onde é necessário selecionar e extrair as curvas de nível de 1.800 metros presentes na base do Plano de Manejo da APA Petrópolis (IBAMA/MMA, 2007) e converte-las de uma feição em linha para polígono. Isso foi realizado procurando cumprir com o estabelecido no artigo 3º, inciso XII da Resolução CONAMA 303/2002 que determina que áreas em altitude superior a mil e oitocentos metros, ou, em Estados que não tenham tais elevações, a critério do órgão ambiental competente. A figura seguir (Figura 25) ilustra algumas dessas áreas mapeadas.

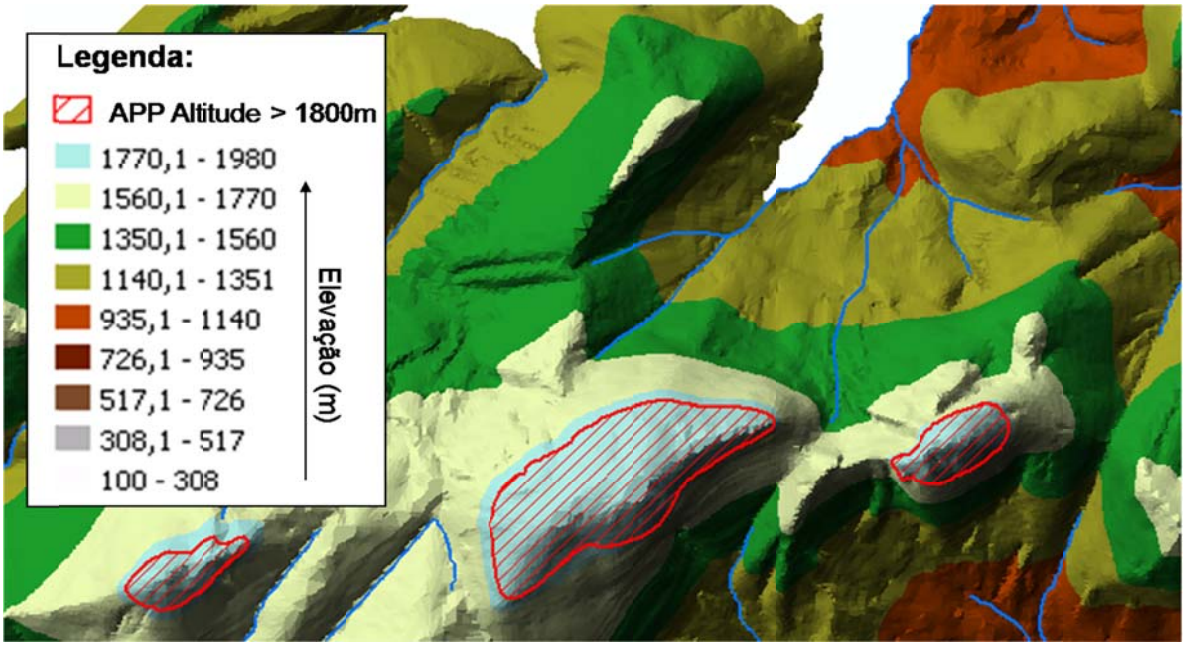


Figura 25: Demonstração da delimitação da APP 4.

4.4.5. APP 5 – Encostas com declividade maior de 45°

Levando em consideração artigo 3º inciso VII da Resolução CONAMA 303/2002 outro tipo de APP são aquelas áreas em encosta ou parte desta, com declividade superior a quarenta e cinco graus na linha de maior declive.

Com o auxílio do MDE do tipo GRID foi possível elaborar um mapa de declividade das encostas que demonstra em graus a inclinação de toda morfologia da APA Petrópolis. Este mapa foi reclassificado, sendo destacadas apenas as áreas que se encontram em uma inclinação superior a 45°.

A partir daí essa informação é exportada separadamente e convertida de seu formato original matricial ou "raster" para o formato vetorial de polígono. Tanto esses procedimentos descritos, assim como todos os outros mencionados na delimitação das áreas de preservação permanente em superfície planimétrica, foram realizados utilizando o programa ArcGIS 9.3® da Enviromental System Research Institute - ESRI. A figura 26 ilustra o mapeamento de algumas áreas com declividade superior a 45º que constituem a APP 5.

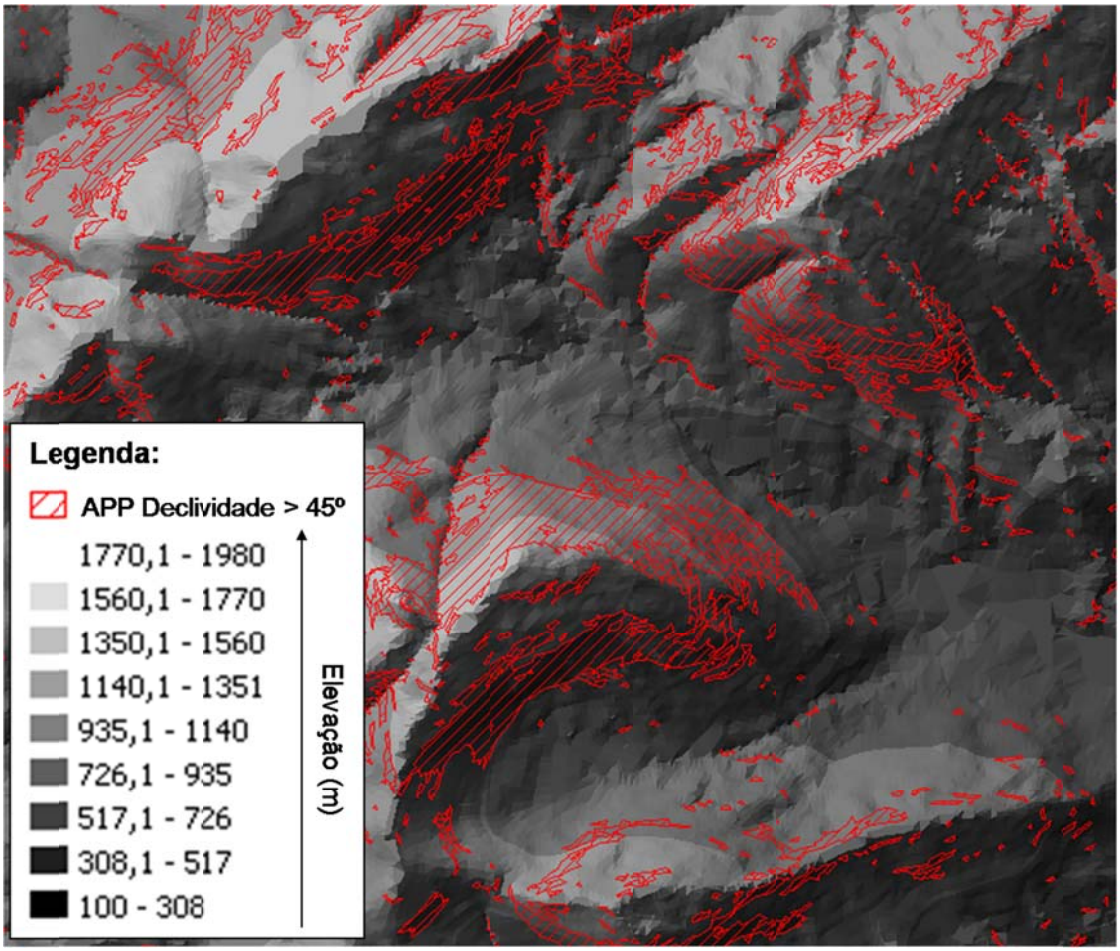


Figura 26: Demonstração da delimitação da APP 5.

4.5. Mapeamento das Áreas de Preservação Permanente em Superfície Real

Neste subcapítulo pretende-se explicar a metodologia desenvolvida por este estudo para possibilitar a delimitação semi-automática das áreas de preservação permanente de nascentes, lagos e lagoas e corpos d'água em superfície real no formato matricial.

Devido a ausência de soluções computacionais com capacidade de delimitar as APPs em superfície real, e ainda, tendo em vista a realidade de elaborar uma solução sem custo que possa ser acessível a diferentes instituições públicas, procurou-se desenvolver um sistema próprio que fosse capaz de realizar este procedimento. Este sistema foi o aplicativo APP 1.0, que será explicado mais detalhadamente no próximo subcapítulo.

4.5.1. Programa APP 1.0

Este programa foi elaborado em parceria com o Departamento de Geociências da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, na pessoa do Professor Tiago Marino. O programa intitulado "APP 1.0" realiza o mapeamento das áreas de preservação permanente em superfície planimétrica e superfície real no formato matricial.

Sua elaboração durou aproximadamente sete meses e apresentou seis versões diferentes. Esta solução visa ser uma iniciativa de alternativa gratuita e aberta para que se elabore o mapeamento das áreas de preservação permanente por qualquer instituição pública ou particular que demonstre interesse. É importante ressaltar que não foi encontrado nenhum aplicativo que executasse estes procedimentos. Ainda sim foram testadas algumas soluções existentes para finalidades parecidas, mas sem sucesso.

O programa foi elaborado na linguagem de programação *Delphi* e possui a mesma lógica de funcionamento para realizar o mapeamento em superfície planimétrica e em superfície real. Os arquivos necessários para o seu funcionamento são:

- Modelo Digital de Elevação em formato ASCII;

- Imagem em formato Bitmap (com arquivo de georreferência tbw) ou TIFF (Geotiff, ou seja, com arquivo tfw) das feições que se queira mapear em superfície planimétrica e superfície real – que no caso deste estudo são: nascentes; lagos, lagoas e reservatórios; cursos d'água com largura menor que 10 metros; e cursos d'água com largura maior que 10 metros.

De acordo com a documentação do programa, o APP 1.0 possui um funcionamento simples. Para realizar o mapeamento é necessário inicialmente abrir o MDE e uma imagem da APP que se pretende mapear. Ao abrir o arquivo relacionado a área de preservação permanente, o APP 1.0 realiza uma leitura célula a célula para identificar aonde existe informação e aonde não existe informação (*no data*).

A próxima verificação está relacionada a constatação se esta célula (*pixel*) caracterizada como APP é de borda ou não. Esta verificação ocorre pixel a pixel, sendo inspecionados os pixels vizinhos de cada pixel analisado (Figura 27). Esta verificação visa diminuir o processamento, pois se este pixel não for de borda, não há necessidade de considerá-lo no cálculo de determinação da área de APP.

Portanto, são analisados os oito pixels vizinhos, nas oito direções possíveis ao pixel analisado (Figura 27). Neste caso, para se configurar como um pixel de borda, pelo menos um de seus vizinhos tem que ser sem informação (*no data)*.

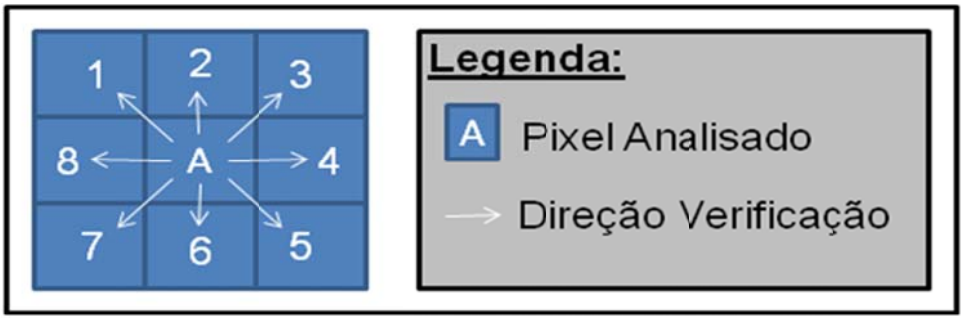


Figura 27: Funcionamento da verificação do pixel de borda.

Na delimitação em superfície planimétrica, ao constatar que este pixel é de borda, é realizada uma análise radial de acordo com a distância determinada pelo usuário para determinação dessa área de preservação (Figura 28).

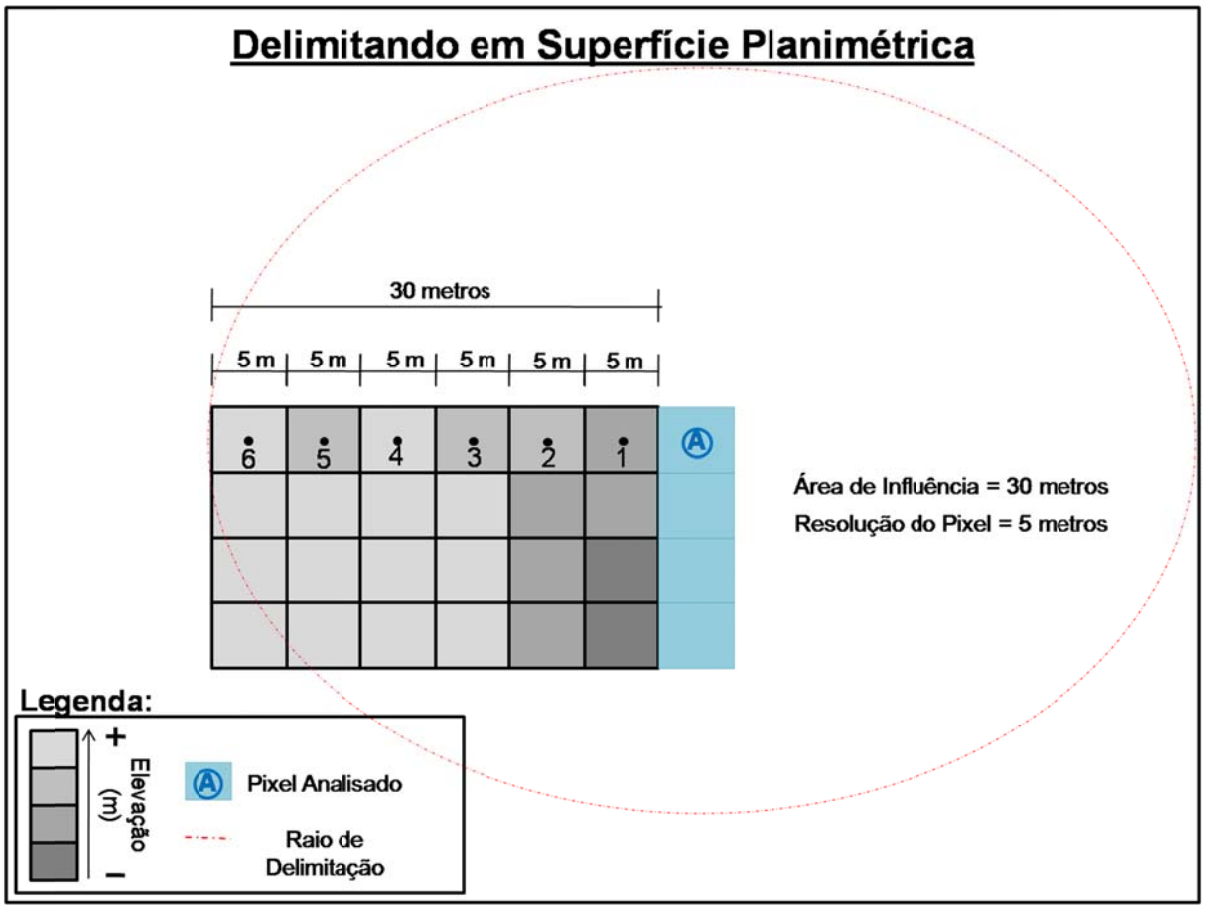


Figura 28: Análise Radial para delimitação em superfície planimétrica no APP 1.0.

Todos os procedimentos descritos anteriormente são realizados em uma varredura que possui o direcionamento superior para inferior e da esquerda para a direita, como ilustra a figura 29.

Figura 29: Demonstração do procedimento de varredura de processamento do APP1.0.

Portanto, para realizar este mapeamento os arquivos em formato vetorial representando as feições de APP que se deseja mapear foram convertidas para matricial sendo estabelecido o mesmo tamanho de pixel (5 metros) que o do MDE.

Antes de iniciar o processamento da delimitação é possível habilitar um recurso para que seja gerado um arquivo texto com o *log* da operação. Este recurso se mostra muito útil já que o erro máximo nesta forma de delimitação é metade da resolução do pixel e através deste recurso é possível identificar as áreas (os pixels) onde ocorreu esse erro.

Como dito anteriormente, o programa APP 1.0 também possui a capacidade de mapear em superfície real as APPs. Os procedimentos para realizar o mapeamento em superfície real nesta solução são os mesmos que foram descritos anteriormente para superfície planimétrica salvo uma única diferença relacionada ao algoritmo de mapeamento.

Para realizar o mapeamento em superfície planimétrica, o programa não considera as informações de elevação existentes no modelo, desta forma a fórmula radial processada considera que cada pixel possui valor de elevação igual a um metro. Já para o mapeamento em superfície real, o algoritmo calcula a diferença de altura existente entre os pixels de borda e seus vizinhos, realizando uma relação geométrica

básica (Teorema de Pitágoras) para calcular a distância de um pixel a outro. Este algoritmo ainda possui um índice de distância acumulada. Este índice vai receber os valores da distância calculada em cada direção para cada pixel de borda que está sendo verificado com seus vizinhos até que se complete a distância determinada pelo usuário.

Porém, como está se trabalhando com uma estrutura matricial, uma limitação desta delimitação está relacionada impossibilidade de se "quebrar" um pixel ao atingir a distância desejada para determinar a área da APP. Ou seja, caso a distância de um pixel para outro extrapole a distância desejada, não é possível quebrar o pixel exatamente no ponto desejado.

Tendo em vista a importância de se conhecer as áreas (células) e os valores (o quanto faltou e/ou o quanto extrapolou) relacionados a essa limitação, como dito anteriormente, existe uma opção no aplicativo de se elaborar um *log* de processamento para que se possa determinar os pixels e os valores onde foi constatado essas situações. A figura 30 demonstra como funcionam os procedimentos da delimitação em superfície real descritos anteriormente.

Uma informação pertinente, diz respeito a capacidade deste programa em delimitar as áreas de preservação permanente em superfície real utilizando também valores de declividade. Neste caso, o procedimento de delimitação é o mesmo, sendo distinto apenas o algoritmo para tal e sendo necessário também importar um ASCII com esses valores de declividade. Embora disponível esta alternativa não foi testada ou utilizada neste trabalho.

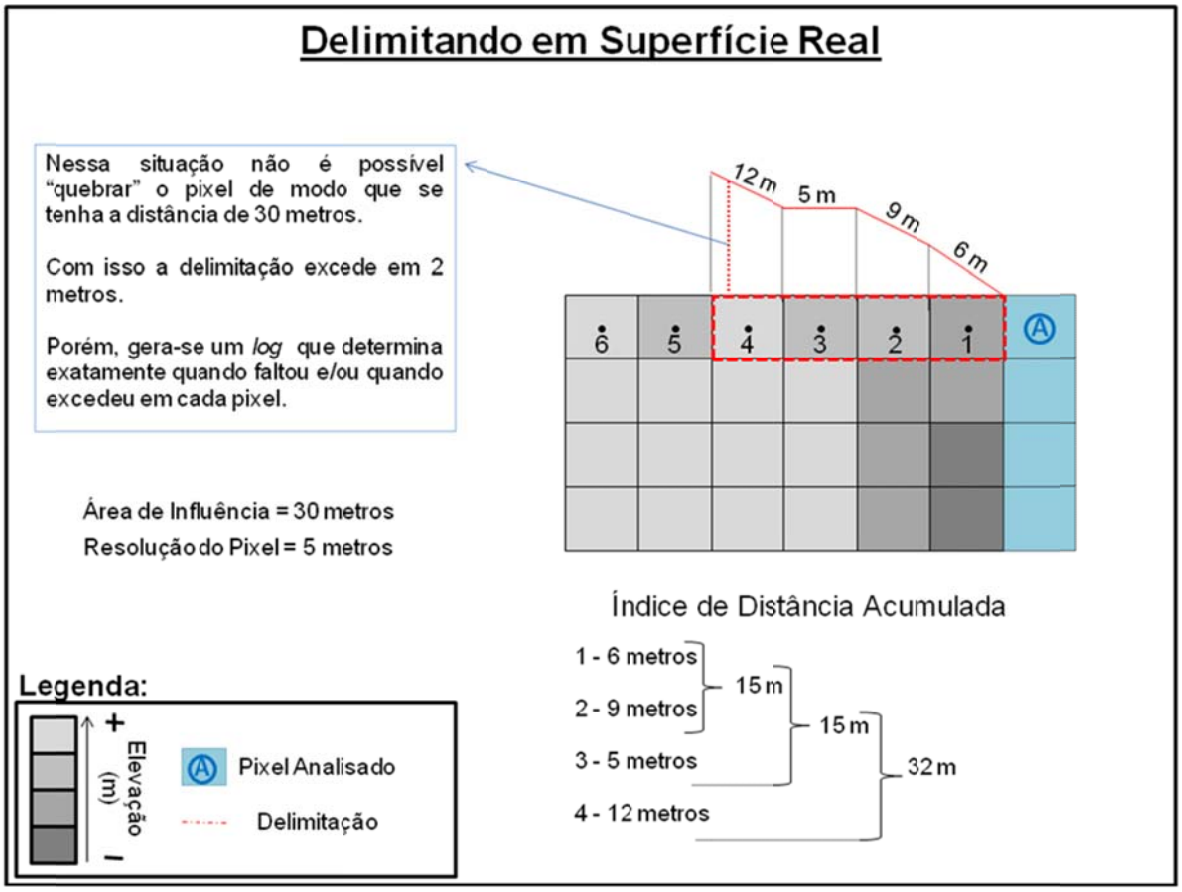


Figura 30: Procedimento realizado para delimitação em superfície real no APP 1.0.

4.5.2. Validação do Método de Delimitação em Superfície Real

No presente estudo foi utilizada a forma geométrica matematicamente definida da semi-esfera como um modelo para validar os métodos de mapeamento (SP e SR) provenientes do APP 1.0.

Esta forma geométrica e outras (pirâmide, cone e tetraedro) foram utilizadas por Fernandes (2004) em sua metodologia de validação dos diferentes tipos de Modelos Digitais de Elevação para a obtenção de observações em superfície real. Em seus resultados, a geometria mais complexa e que apresentou algum erro, mesmo que mínimo, em todos os testes foi a semi-esfera. Por isso a sua escolha na validação dos métodos de mapeamento em superfície real e planimétrica deste estudo.

A semi-esfera utilizada e suas dimensões podem ser observadas na figura 31.

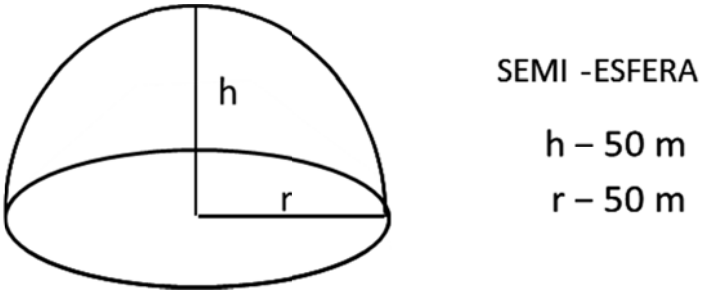


Figura 31: Dimensões da semi-esfera – forma geométrica utilizada na validação.

Fonte: Fernandes (2004).

Segundo Fernandes (2004), esta forma foi apresentada planimetricamente, através de isolinhas de altura, representando curvas de nível de um mapeamento plano-altimétrico. Essas isolinhas apresentaram três eqüidistâncias diferentes, simulando a representação de três escalas distintas (Figura 32).

- Eqüidistância de 1m – escala de 1:2000
- Eqüidistância de 5m – escala de 1:10000
- Eqüidistância de 10m – escala de 1:25000

Figura 32: Isolinhas da semi-esfera, nas três eqüidistâncias diferentes, simulando a representação de três escalas distintas. Fonte: Adaptado de Fernandes (2004).

Ainda de acordo com este autor (Fernandes, *op. cit.*), estas representações foram elaboradas no programa AutoCAD e posteriormente exportado para o ARCVIEW 3.2, onde foi possível associar os valores de altura para cada linha e o ponto. A criação das isolinhas da semi-esfera envolveu uma série de cálculos, onde o raio de cada isolinha, em função do centro da figura foi definido pela equação 3:

(3) $$r = R \cos (\text{arcsen } \Delta h/h)$$

Onde:

r = raio a determinar.

R = raio total da semi-esfera = 50m.

Δh = variação de altura.

H = altura da semi-esfera = 50m.

Desta forma, foram criados três MDE de grade regular retangular (GRID), utilizando o módulo TOPOGRID, um para cada eqüidistância de isolinha, sendo definido o tamanho de pixel de acordo com a acuidade visual de 0,2mm de cada escala (Tabela 6). A escolha deste método de geração de MDE se refere ao fato do APP 1.0 trabalhar com a estrutura matricial (*raster*), que é a mesma do MDE, evitando possíveis problemas de propagação de erro em face da necessidade de conversão de arquivos se fosse utilizado a grade irregular triangular.

Tabela 3 – Tamanhos dos *pixels* considerados para cada escala (adaptada de Fernandes,2004)

Escala	**Eqüidistância (m)**	**Área do *Grid* (m^2)**	**Resolução (m)**
1:2.000	1	0,16	0,4
1:10.000	5	4	2
1:25.000	10	25	5

Os arquivos utilizados na elaboração dos MDEs da semi-esfera foram:

- Polígono – circunferência correspondente a área da semi-esfera (com raio de 50 metros).
- Linha – curvas de nível com eqüidistâncias de 1 metro, 5 metros e 10 metros de acordo com cada escala.
- Ponto – origem e ponto de altitude de 50 metros da semi-esfera.

Após elaboração dos MDEs relativos a semi-esfera para cada escala em formato GRID no ArcGIS 9.3®, estes foram convertidos para ASCII, formato do APP 1.0. No

programa foram simuladas três delimitações com áreas de influência de 50 metros, uma para cada modelo gerado e todas tendo o ponto de maior altitude da semi esfera como centro de delimitação. Isso foi feito com o intuito de simular uma área de nascente em uma superfície acidentada e irregular como se apresenta a forma da semi-esfera.

Foram utilizadas duas estratégias para validar o algoritmo de delimitação do APP 1.0, estas foram:

- utilização do polígono da base da semi-esfera, que possui raio de 50 metros para validar o mapeamento em superfície planimétrica (SP);

- utilização de uma série de cálculos trigonométricos para descobrir o raio em superfície planimétrica de uma área de influência de 50 metros delimitada em superfície real para validar o método de delimitação em superfície real (SR).

Os cálculos trigonométricos utilizados na validação da delimitação em superfície real do APP 1.0 foram os seguintes:

1. Conhecer os valores de altura (h), raio (r) e arco (s) da semi esfera (Figura 33).

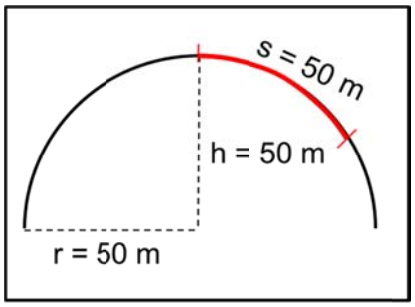


Figura 33: Demonstração do raciocínio da primeira fase da elaboração da validação.

2. Calcular o ângulo interno em relação ao arco de 50 metros (Figura 34).

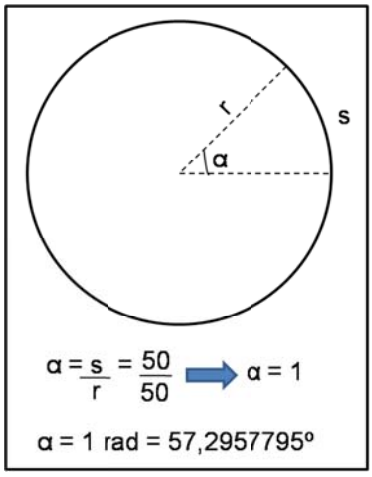


Figura 34: Demonstração do raciocínio da segunda fase da elaboração da validação.

3. Descobrir a distância em superfície planimétrica de uma delimitação de 50 metros em superfície real (Figura 35).

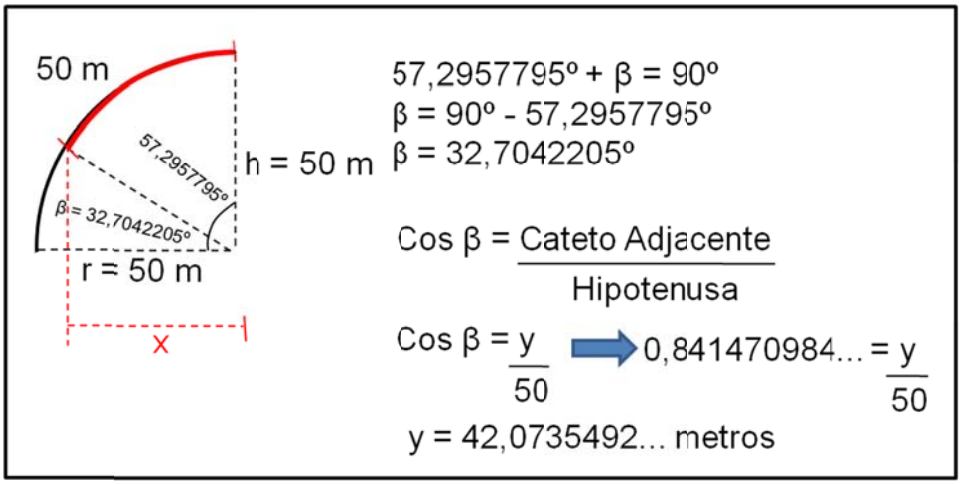


Figura 35: Demonstração do raciocínio da terceira fase da elaboração da validação.

Através dos cálculos trigonométricos utilizados para descobrir o raio em superfície planimétrica de uma área de influência de 50 metros delimitada em superfície real na semi-esfera, chegou-se a uma circunferência com raio de 42,0735492... . Esta circunferência foi utilizada na validação da delimitação em superfície real. A figura 36 demonstra em diferentes perspectivas os valores envolvidos na validação em SP e SR.

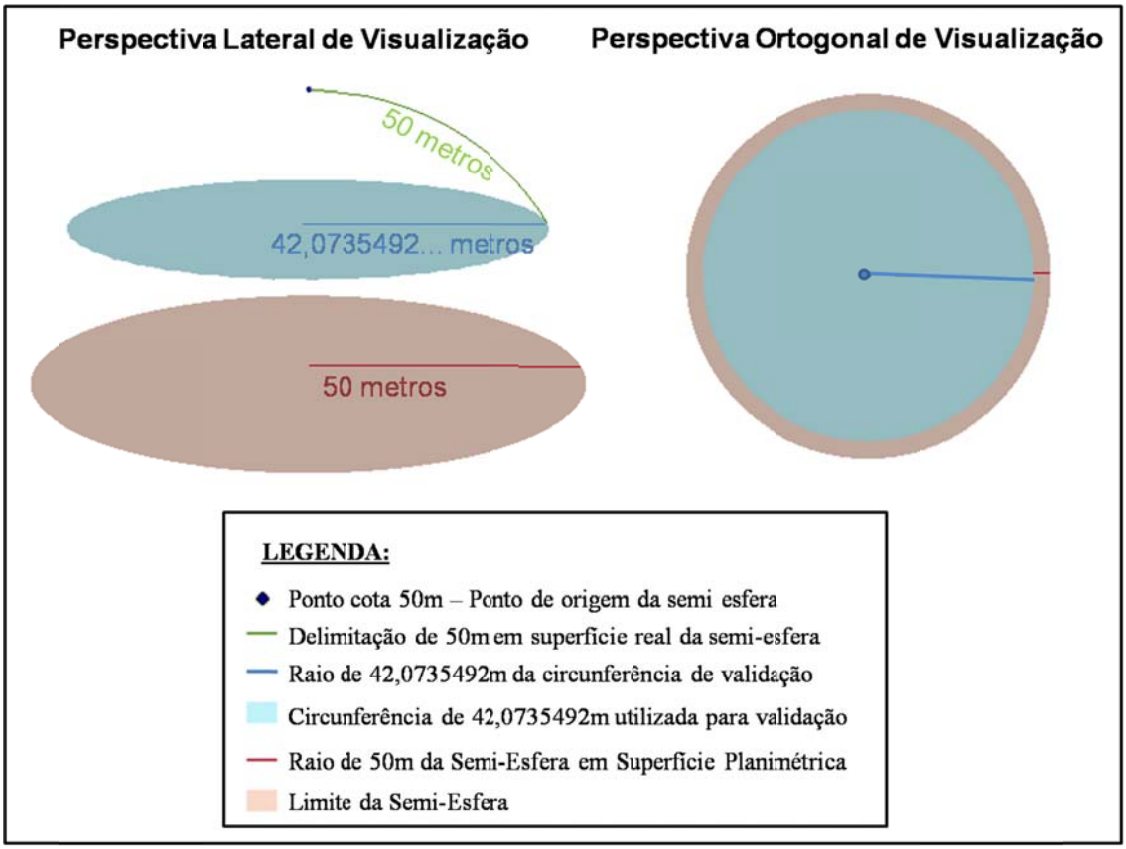


Figura 36: Área limite da semi-esfera e circunferência utilizada para validação.

4.6. Elaboração do Mapa de Área Vegetada

Como dito anteriormente, o Mapa de área vegetada foi realizado utilizando-se do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) presente no InterIMAGE (versão 1.27) para que fossem detectadas as áreas de dossel vegetacional, sendo esta separada das outras classes: sombra e não vegetadas.

O InterIMAGE é um programa multi-plataforma de código aberto que vem sendo desenvolvido pelo Laboratório de Visão Computacional (LVC) do Departamento de Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) e pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI) e Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

De acordo com Buckner *et al*. (2001), o InterIMAGE é baseado no aplicativo GeoAIDA que foi desenvolvido pelo Instituto de Tecnologia da Informação da Universidade de Hannover, Alemanha. Desta forma, ele herdou deste programa a sua característica funcional básica, além de estruturas de conhecimento e mecanismos de controle.

Porém, o InterIMAGE apresenta uma funcionalidade de representação de conhecimento e operadores de processamento de imagem posteriormente adicionados, além de uma nova interface gráfica (InterIMAGE, 2011).

O processo de interpretação de imagens adotado pelo InterIMAGE é baseado e guiado por uma descrição hierárquica estruturada em uma rede semântica (Costa *et al.*, 2008). A rede semântica é representada por "nós-folha" que possuem operadores associados que se destinam a identificar objetos correspondentes aos conceitos representados pelos nós da rede semântica.

A rede semântica criada para elaborar o mapa de área vegetada foi bem simples, visto que este mapa possui apenas três classes: área vegetada, sombra e áreas não vegetadas (englobando áreas urbanizadas, com vegetação rasteira, solo exposto, afloramento rochoso, corpos d'água, sombra, entre outros). A figura 37 demonstra a rede semântica elaborada, assim como os operadores e parâmetros utilizados para identificar e definir cada classe.

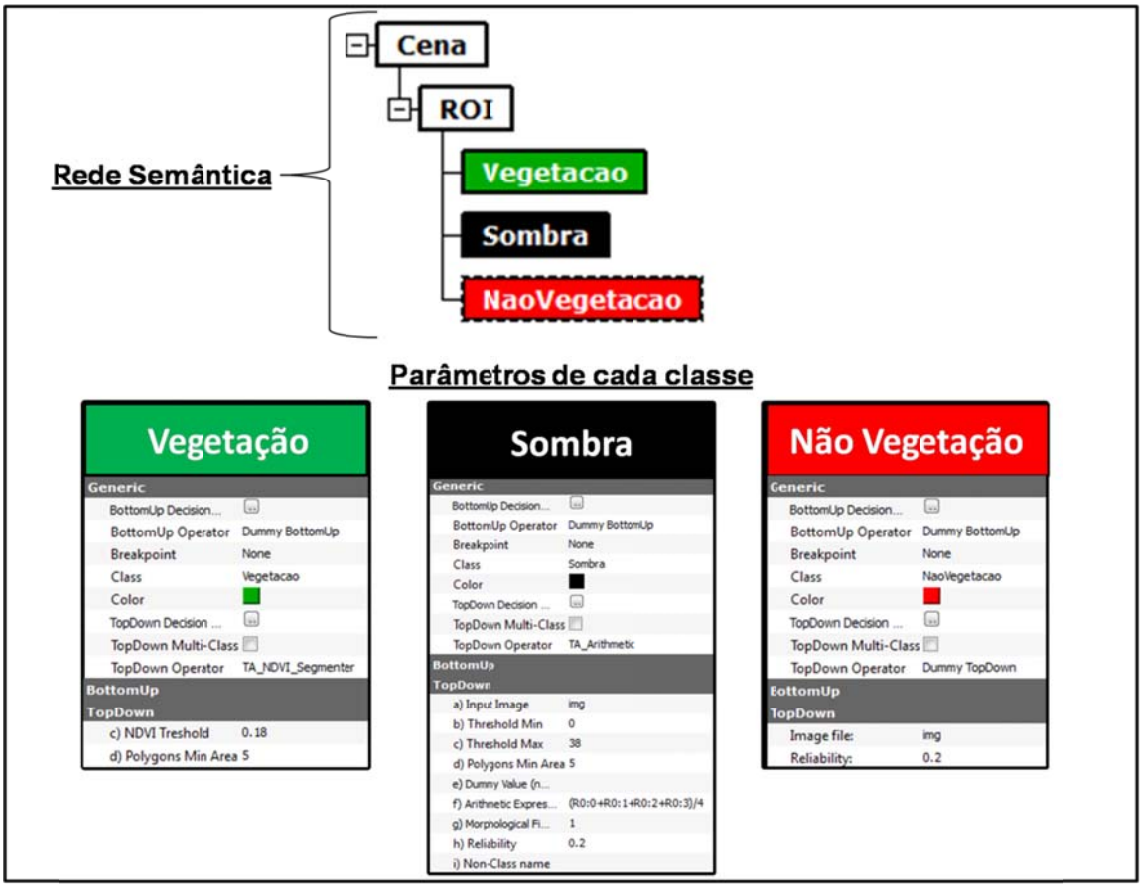


Figura 37: Esquema ilustrativo da rede semântica e os operadores e parâmetros utilizados para identificar e definir cada classe do mapa de área vegetada.

A rede semântica utilizada possui um “nó” e três filhos, um relacionado a cada classe do mapa. Para destacar as áreas vegetadas, foi utilizado o operador de segmentação NDVI com limiar 0,18. Já para diferenciar as áreas de sombra, foi utilizado um operador aritmético que faz a média das 4 bandas, sendo determinado limiar máximo de 38. Ambas as classes descritas utilizaram área mínima para designar um polígono de 5 pixels. Por fim, para caracterizar as áreas não vegetadas, foi utilizado o operador *Dummy* que classificou todo o resto da imagem como área não vegetada.

Para realizar este procedimento no InterIMAGE foi necessário recortar a área em três partes, tomando o cuidado de ter pequenas áreas de sobreposição, além de um limite considerável para além da área de estudo. Isso porque este programa possui uma limitação relacionada ao tamanho da matriz importada. Cada matriz passou a ter tamanho aproximado de 3.500 linhas por 3.000 colunas. A figura 38 demonstra a divisão da área de estudo para realizar este procedimento.

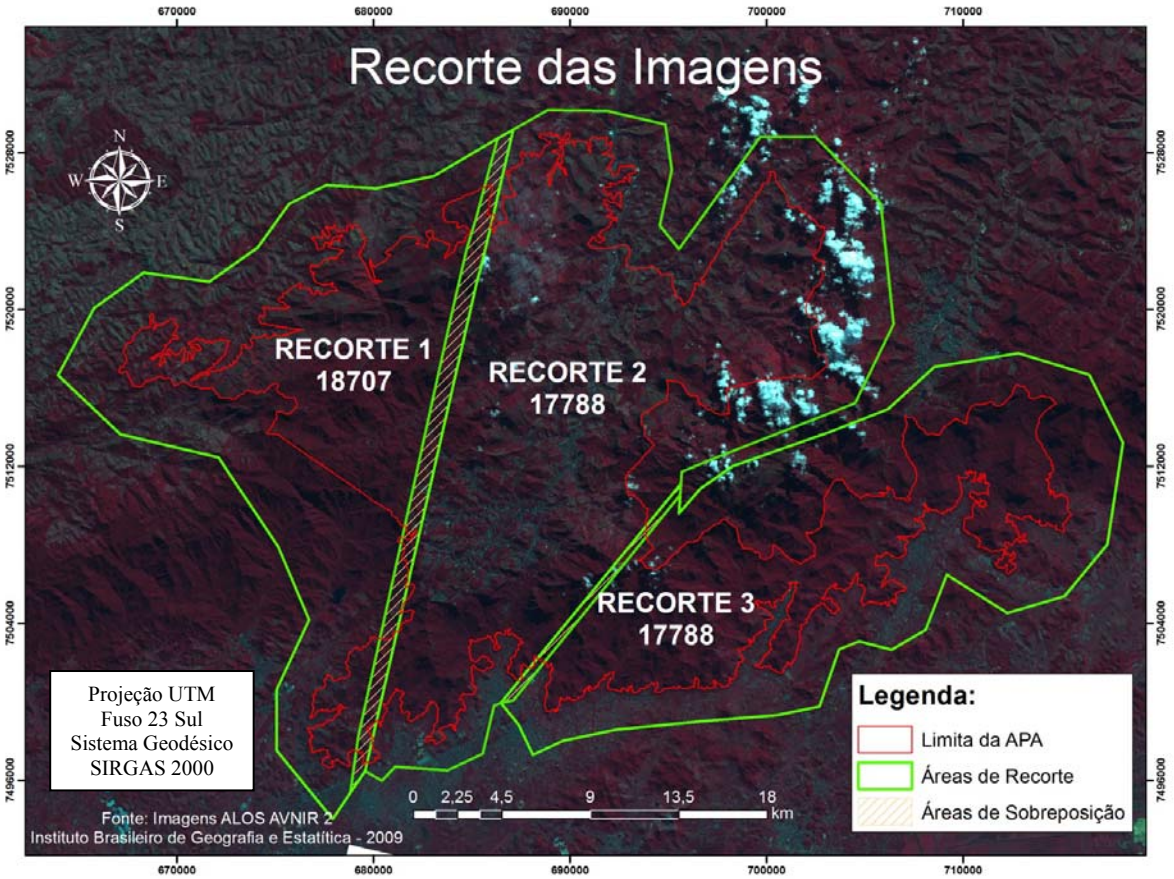


Figura 38: Mapa com os recortes elaborados na área de estudo para possibilitar a classificação da mesma no InterIMAGE.

Durante o processo de elaboração do mapa de área vegetada foram realizados trabalhos de campo para validação do mapeamento. Nestes foram visitados diferentes pontos próximos a áreas onde existiam dúvidas quanto a classe de uso. Algumas destas áreas foram potencialmente classificadas como vegetadas, mas possuíam localização, forma e vizinhança característica de áreas com afloramento rochoso.

Os materiais de campo utilizados foram: dois carros, bússola digital, carta imagem da área de estudo com informações das bases cartográficas, câmeras fotográficas digitais e navegadores Mio com programa ArcPad 7.0 instalado, possuindo as ortofotos e bases cartográficas da área de estudo (Figura 39).

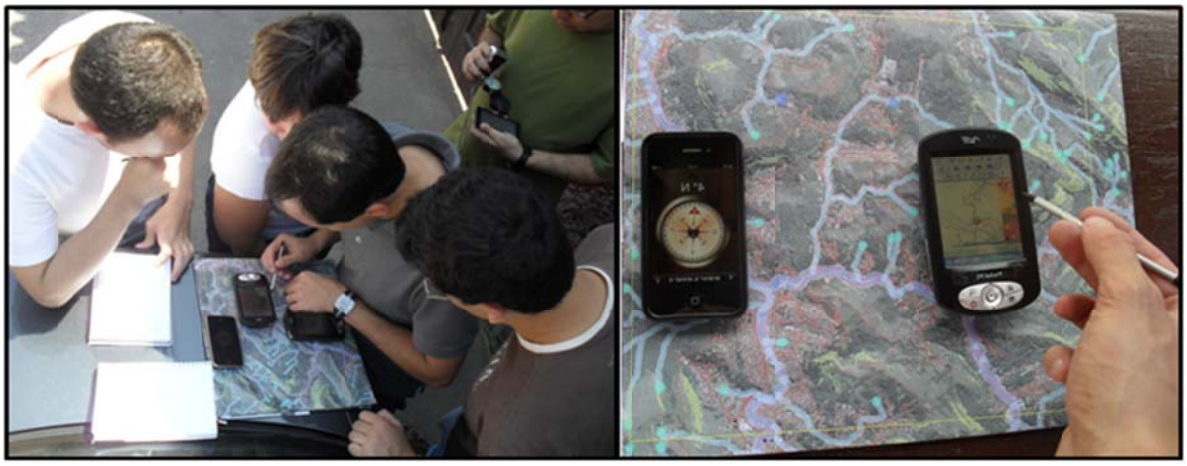


Figura 39: Imagem do trabalho de campo e parte dos materiais utilizados.

Dentre os conflitos encontrados, destacam-se áreas de cultivo que foram classificadas como vegetadas em função destas estarem em um estágio avançado de plantio. Porém, sua forma bem definida cooperou para que esta fosse diferenciada manualmente das áreas vegetadas.

O mapa relativo ao trajeto de campo, assim como os pontos visitados e o uso validado nessas áreas pode ser observado na figura abaixo (Figura 40).

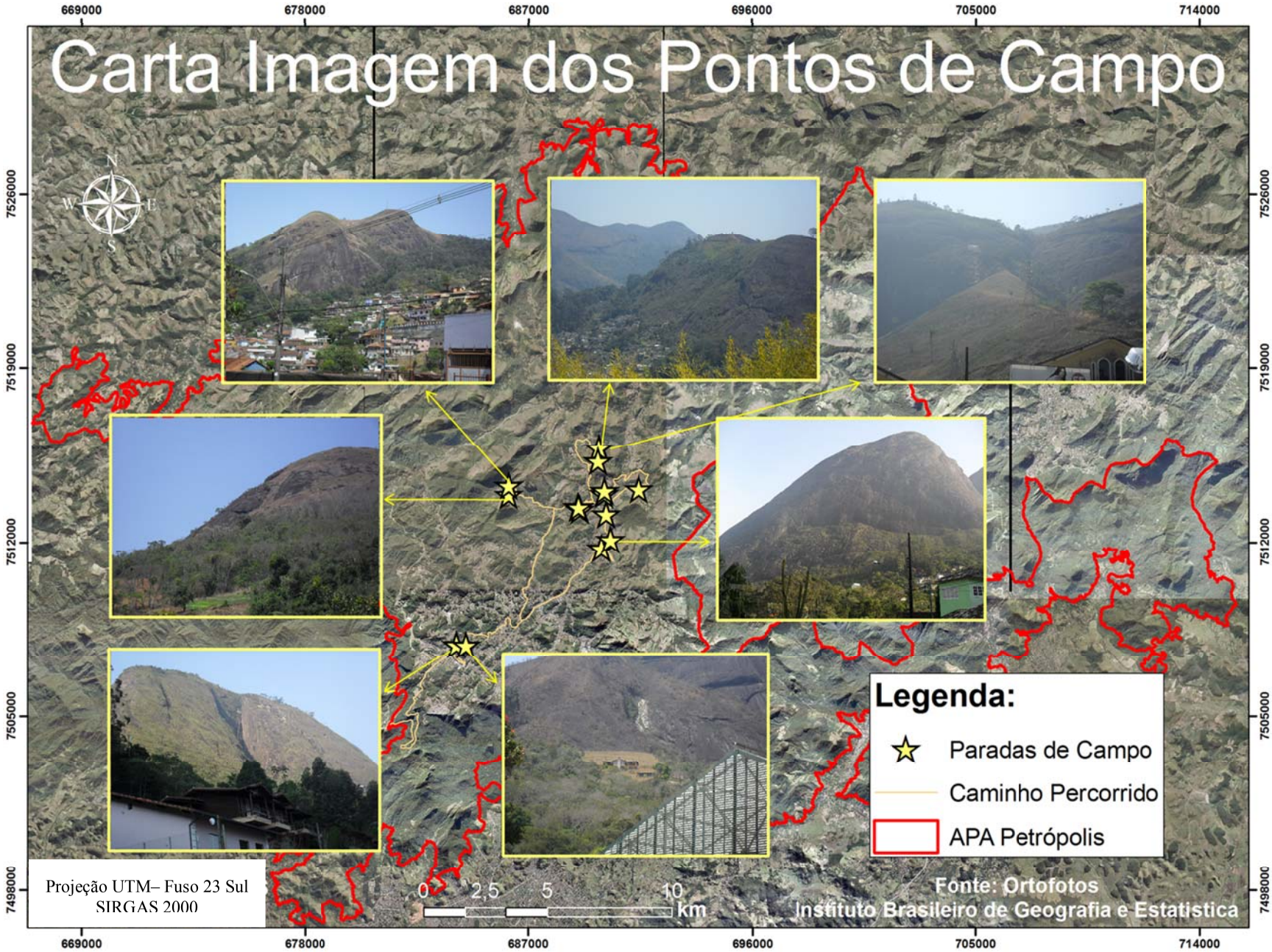


Figura 40: Mapa dos pontos visitados em campo com imagens de algumas áreas visitadas para constatação/validação da categoria de uso

Vale ressaltar que, de acordo com Ponzoni & Shimabukuro (2007), o ideal para a geração de imagens de índice de vegetação é realizar a transformação dos números digitais das imagens em valores físicos como radiância ou reflectância bidirecional aparente, pois a não conversão dos números digitais pode implicar em erro grave. Este erro está relacionado ao fato de os números digitais não estarem em uma mesma escala radiométrica nas diferentes bandas, ou seja, um determinado valor de número digital em uma determinada imagem de uma banda espectral específica não corresponde à mesma intensidade de radiação medida ou representada pelo mesmo valor de número digital em outra imagem de outra banda espectral. Desta forma, a razão estaria sendo feita com dados que representariam coisas diferentes por estarem em escalas diferentes.

Porém, após realização de diferentes testes com diferentes operadores e parâmetros, constatou-se visualmente que os valores e operadores determinados para definir as classes tiveram significativo sucesso na classificação automatizada para a área, sendo feita apenas 2% de edições e correções do mapeamento automático de toda área de estudo.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo está dividido em quatro sub-capítulos que apresentam todos os resultados desta pesquisa, sendo eles: os cálculos de área em superfície planimétrica e superfície real da área da APA, das APPs delimitadas em SP e do mapeamento de áreas vegetadas; a validação dos métodos de mapeamento do APP 1.0; as comparações nas delimitações das APPs provenientes deste programa; e a avaliação do estado de conservação das APPs nas diferentes delimitações realizadas.

É importante ressaltar que todos os valores relativos apresentados neste capítulo têm como referência a SP. Sendo assim, quando os valores de mensuração relativos de diferença entre SP e SR se apresentam positivos, significa que houve um incremento de área de análise em SR, quando negativo houve um decréscimo de área.

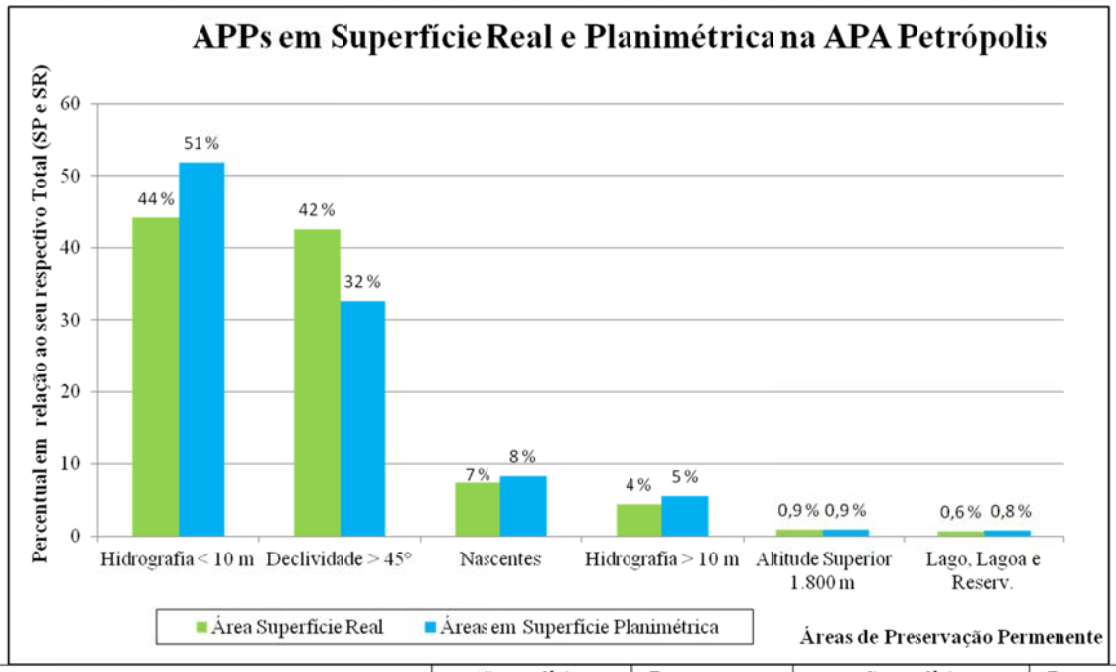
5.1. Cálculo de Área em Superfície Planimétrica e Superfície Real

Para realizar o cálculo de área em superfície planimétrica e superfície real foi utilizado o modelo TIN, de grade irregular triangular, com interpolador de ajuste linear e a triangulação de Delaunay com restrições. Sua utilização para a realização do cálculo de área está relacionado aos resultados obtidos por Fernandes (2004). Isso porque de acordo com estudos deste autor, este é o melhor método para cálculo de áreas em superfície real para regiões de alta declividade, como é o caso da área de estudo.

A primeira comparação realizada entre os cálculos de área em superfície planimétrica e superfície real foi para toda a área de estudo. De acordo com o IBAMA/MMA (2007) a Área de Proteção Ambiental de Petrópolis possui uma área planimétrica de aproximadamente 595,22 km². De acordo com os cálculos realizados neste estudo a área planimétrica da APA é 596,07 km², sendo que em superfície real, este valor aumenta 16,52% passando para aproximadamente 694,53 km². A tendência do aumento da área em superfície real permanece para todas as outras análises, porém em proporções diferenciadas.

Outra análise realizada, diz respeito a observação da ordem de grandeza das APPs mapeadas na área de estudo. Ou seja, neste estudo foram mapeadas diferentes áreas de preservação permanente em superfície planimétrica no formato vetorial, sendo elas: nascentes, lagos, lagoas e reservatórios, cursos d'água com largura menor que 10 metros e maior que 10 metros (até 50 metros), áreas com declividade superior a 45º e

altitude superior a 1.800 metros. Utilizando estes mapeamentos, procurou-se averiguar o comportamento destas áreas mapeadas na APA Petrópolis. A figura 41 demonstra o valor relativo de cada APP em relação a área total destas na APA Petrópolis.



Áreas de Preservação Permanente/Cálculo de Área	Superfície Real (m²)	Porcentagem em SR (%)	Superfície Planimétrica (m²)	Porcentagem em SP (%)
Curso d'água com largura menor que 10 metros	68350026,46	44,1	61061924,85	51,9
Declividade maior que 45°	65894114,91	42,5	38361191,43	32,6
Nascentes	11529381,31	7,5	9786384,66	8,3
Curso d'água com largura maior que 10 metros	6778804,61	4,4	6482423,84	5,5
Altitude Superior 1.800 metros	1335818,84	0,9	1029437,84	0,9
Lago, Lagoa e Reservatório	999815,91	0,6	968515,11	0,8
Total	154887962,05	100	117689877,74	100

Figura 41: APPs em Superfície Real e Superfície Planimétrica na APA Petrópolis.

Através desta analise, pode-se constatar que independente da forma de cálculo (SR ou SP) as maiores áreas de APPs foram as de cursos d'água com largura até 10 metros e declividade superior a 45º, seguidas das áreas de nascentes, cursos d'água com largura maior que 10 metros e até 50 metros, altitude superior a 1.800 metros e lago, lagoas e reservatórios.

Outro ponto importante está relacionado a mudança no percentual de área de cada APP quando mensurada em superfície planimétrica e em superfície real. Ou seja, nos cálculos em superfície planimétrica, a APP de cursos d'água com largura até 10 metros possui mais de 50% do total das APPs dentro da APA Petrópolis, sendo que a segunda APP com maior percentual de área, declividade superior a 45º, apresenta apenas 32,6%. Porém, ao realizar esta mesma observação em superfície real, o valor

percentual da primeira se apresenta em 44,1%, muito próximo da segunda que agora apresenta 42,5%.

Ainda analisando as áreas de preservação permanente, a figura 42 demonstra a diferença de área encontrada nas observações em superfície real e superfície planimétrica para cada APP mapeada.

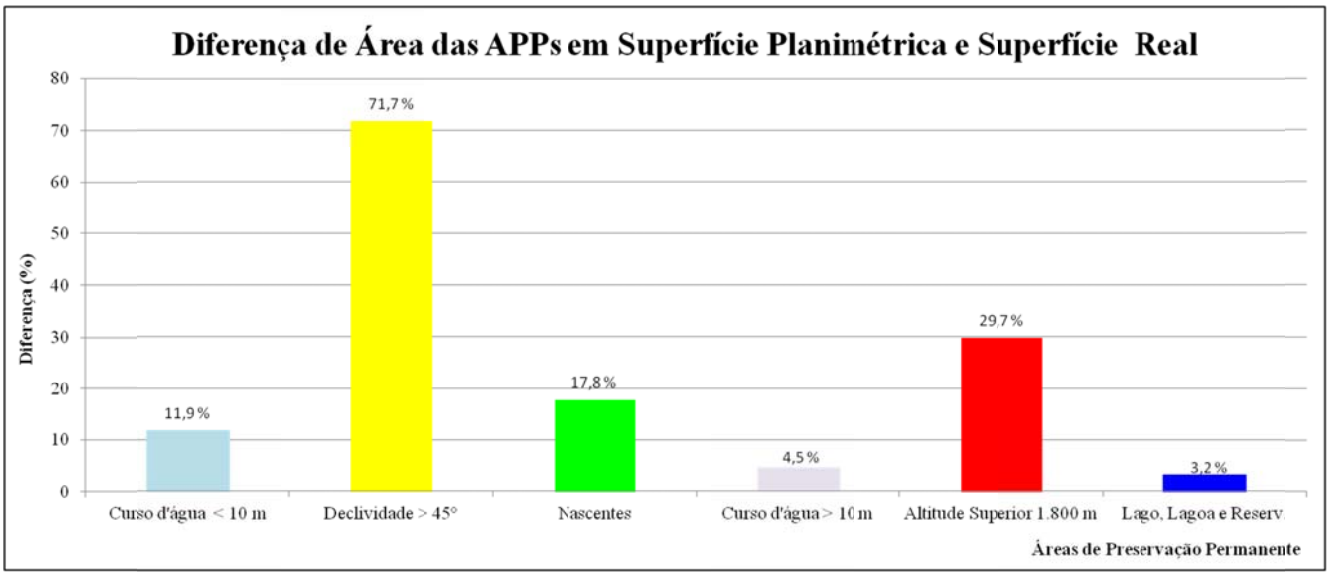


Figura 42: Diferença dos cálculos de área em SP e SR das áreas de preservação permanente.

A ordem crescente das diferenças de área das APPs foi: Declividade superior a 45º, Altitude superior a 1.800 metros; Nascentes; Cursos d'água com largura até 10 metros; Cursos d'água com largura maior que 10 metros e até 50 metros; e por fim lago, lagoas e reservatórios.

A diferença é mais significativa de acordo com a localização geográfica das APPs. Portanto, as áreas de preservação permanentes situadas em locais de comportamento morfológico mais acidentado, ou seja, com maior declividade (APPs de declividade superior a 45°, altitude superior a 1.800 metros e a maioria das áreas de nascentes), possuem uma diferença de área maior (Figura 43).

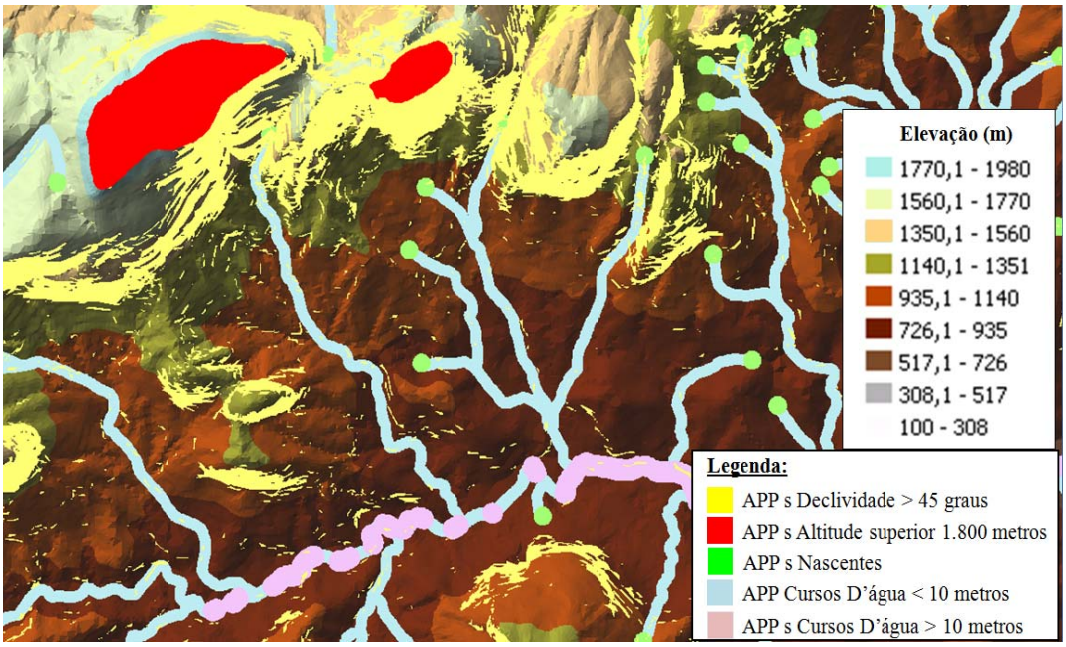


Figura 43: Demonstração das APPs situadas em regiões mais acidentadas.

Desta forma, a diferença de área será mais significativa em função da localização da APP do que em razão de sua maior ocorrência na área de estudo, como é o caso das APPs de cursos d'água com largura até 10 metros.

Em função da delimitação das APPs se sobreporem em alguns casos (Figura 44), foi realizado a união destas para realizar o cálculo de área em SP e SR.

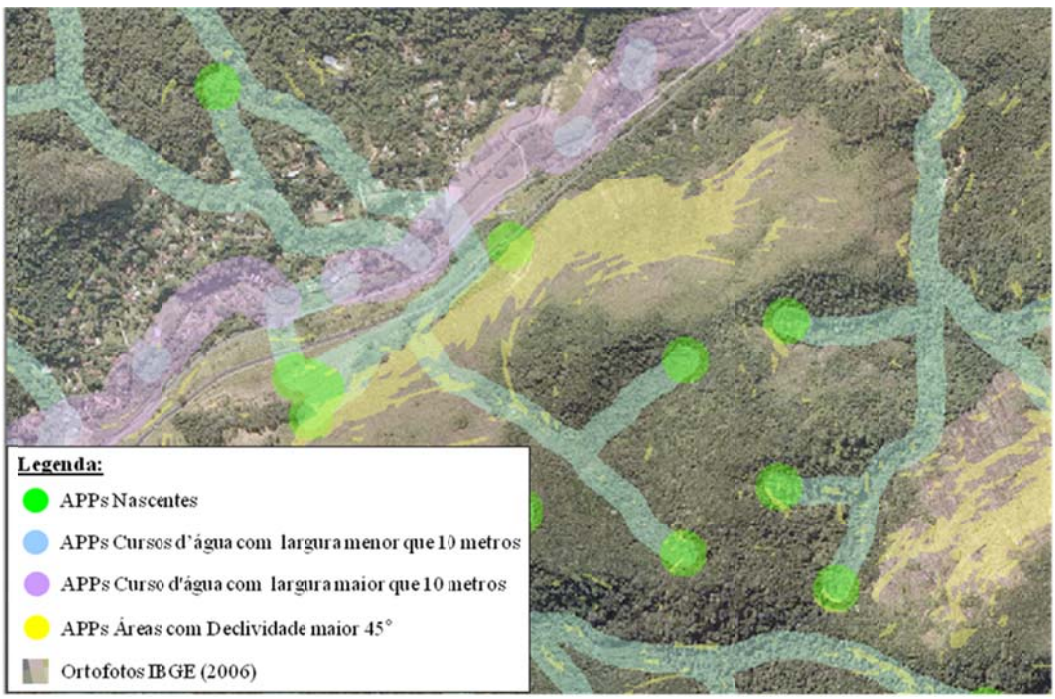


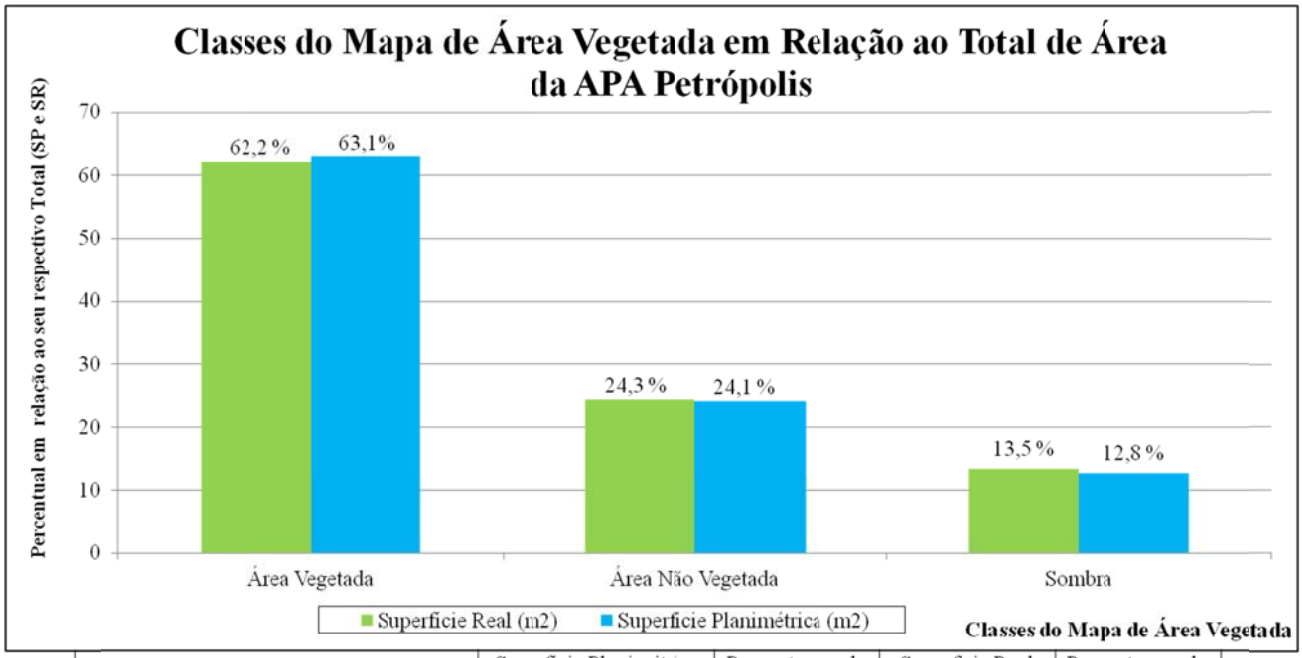
Figura 44: Demonstração da sobreposição de algumas áreas de APPs.

Como resultado desta operação, obteve-se um resultado de 107 km^2 no cálculo em superfície planimétrica (18% do total da área da APA em SP) e 141 km^2 em superfície real (20,3% do total de área da APA em SR). A diferença de área da superfície real para a superfície planimétrica foi de 31,2% (Tabela 4).

Tabela 4: Porcentagem do total de APPs em relação a área da APA Petrópolis.

Cálculos e Percentuais	Superfície Real (m^2)	Percentual – Relação a APA SR (%)	Superfície Planimétrica (m^2)	Percentual – Relação a APA SP (%)	Diferença SP – SR (%)
Total de APPs	141069974,86	20,3	107516691,72	18,0	31,2

A penúltima análise utiliza-se das classes do Mapa de Área Vegetada para as observações em SP e SR. A figura 45 apresenta os valores de área de cada classe em função da área total da APA calculada para a respectiva superfície de análise. Em um primeiro momento percebe-se que a classe dominante na APA é a área vegetada, com 62,2% (em SR) e 63,1% (em SP) do total. Em seguida aparecem as classes de área não vegetada, com 24,3% em SR e 24,1% em SP e sombra, com 13,5% (em SR) e 12,8% (em SP) do total de área da APA.



Classes do Mapa de Área Vegetada	Superfície Planimétrica (m^2)	Porcentagem do Total (%)	Superfície Real (m^2)	Porcentagem do Total (%)
Área Vegetada	376366778,20	63,1	428034831,29	62,2
Área Não Vegetada	143799983,66	24,1	167605874,88	24,3
Sombra	76343977,82	12,8	92923728,06	13,5

Figura 45: Classes do Mapa de Área Vegetada em relação à área da APA Petrópolis.

É possível perceber que não ocorreu uma diferença significativa na proporcionalidade de área de cada classe em SP e SR em relação ao total da APA em SP e SR, respectivamente. Outra análise realizada com esses dados foi a diferença da área em SR para SP das classes do Mapa de Área Vegetada (Tabela 5).

Tabela 5: Diferença da Área em SP para SR das classes do Mapa de Área Vegetada.

Classes do Mapa de Área Vegetada	Superfície Planimétrica (m^2)	Superfície Real (m^2)	Diferença SP – SR (%)
Área Vegetada	376366778,20	428034831,29	13,7
Área Não Vegetada	143799983,66	167605874,88	16,5
Sombra	76343977,82	92923728,06	21,7

A diferença mais significativa foi de 21,7%, nas áreas de sombra, seguida por 16,5% nas áreas não vegetadas e 13,7% nas áreas vegetadas. As áreas de sombra estão relacionadas a áreas de maior declividade, por isso ocorre uma maior diferença de área nessa classe. Já a classe de áreas não vegetadas, como apresentado no sub-capítulo 4.6 inclui os afloramentos rochosos, que se caracterizam por estarem localizados em áreas de maior altitude e acentuada declividade, o que intensifica o diferencial do cálculo de área (Figura 46).

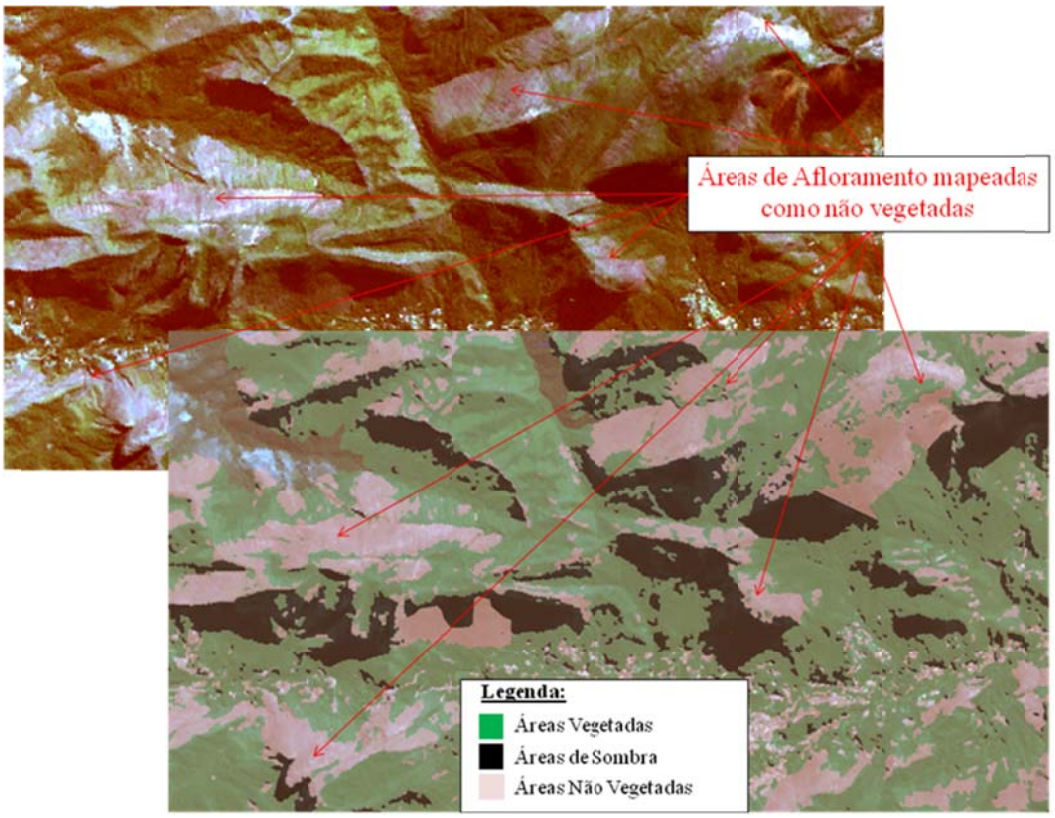
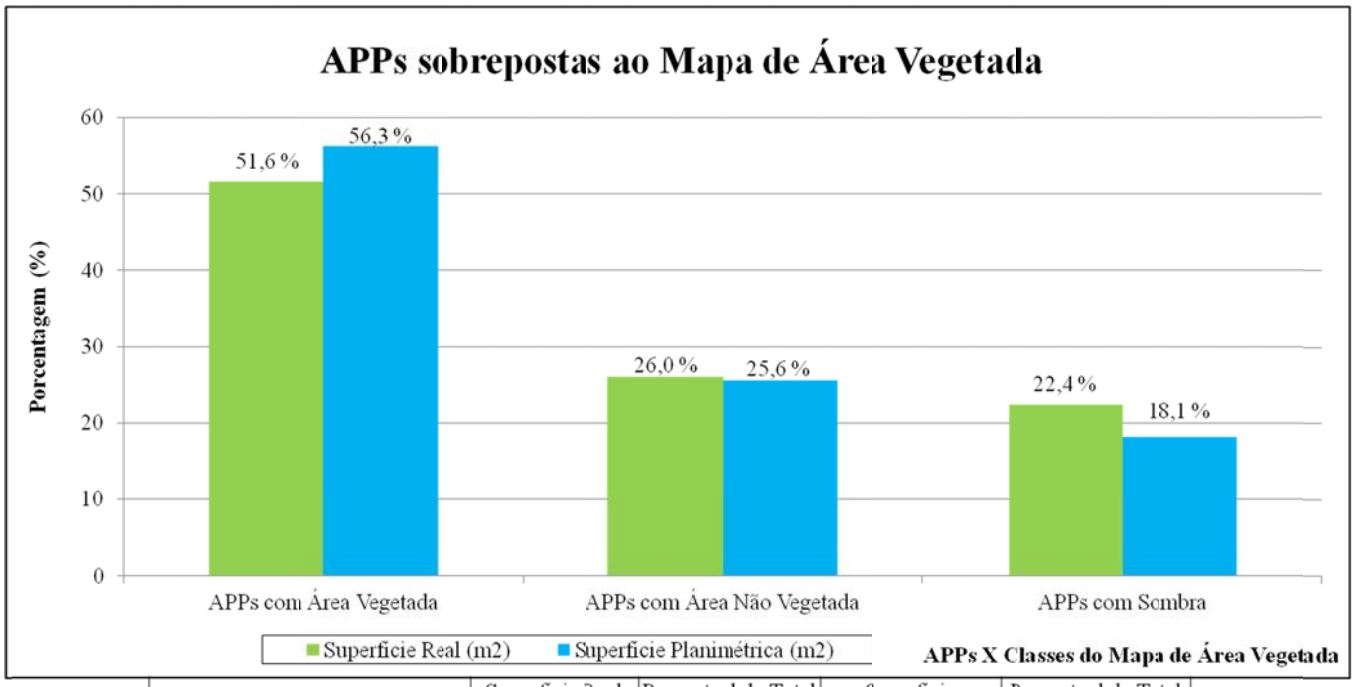


Figura 46: Demonstração da localização das áreas de sombra e não vegetadas.

A última análise deste sub-capítulo está relacionada às observações em SP e SR das APPs sobrepostas as classes do Mapa de Área Vegetada (Figura 47). A figura 47 apresenta os valores de área de cada classe em função da área total da APA calculada para a respectiva superfície de análise.



Classes do Mapa de Área Vegetada	Superfície Real (m²)	Percentual do Total das APPs SR (%)	Superfície Planimétrica (m²)	Percentual do Total das APPs SP (%)
APPs com Área Vegetada	72377991,4844	51,6	60182017,6649	56,3
APPs com Área Não Vegetada	36532412,7539	26,0	27343406,3606	25,6
APPs com Sombra	31405872,2427	22,4	19370766,1370	18,1

Figura 47: APPs sobrepostas às classes do Mapa de Área Vegetada.

Inicialmente, percebe-se que aproximadamente metade das áreas de APPs se apresentam conservadas (51,6% em SR e 56,3% em SP). Sendo que cerca de 26% (em SR) a 25,6% (SP) possuem algum tipo de uso diferente de vegetação. O restante está relacionado às áreas de sombra, com 22,4% em SR e 18,1% em SP.

Em relação à diferença de área em Superfície Real e Superfície Planimétrica, percebe-se que as APPs situadas em áreas de sombra possuem a maior diferença (62%), seguido das APPs situadas em áreas não vegetadas (33%) e vegetadas (20%) (Tabela 6).

Tabela 6: Diferença da Área em SP para SR das APPs sobrepostas com as classes do Mapa de Área Vegetada.

Classes do Mapa de Área Vegetada	Superfície Planimétrica (m^2)	Superfície Real (m^2)	Diferença SP – SR (%)
APPs com Área Não Vegetada	27343406,3606	36532412,7539	33,6
APPs com Área Vegetada	60182017,6649	72377991,4844	20,2
APPs com Sombra	19370766,1370	31405872,2427	62,1

Como constatado na figura 42 (página 65) as APPs que tiveram diferença de área mais significativa foram as de declividade superior a 45 graus. Essas, em sua maioria, estão situadas em áreas de relevo acidentado, alta declividade, sendo na maioria das situações áreas de afloramento rochoso. Por isso as classes do mapa de área vegetada relacionadas a esta APP são as áreas de sombra e não vegetadas. Isso explica a predominância destas no percentual de diferença de área em SP e SR na sobreposição do mapeamento das APPs com o Mapa de área vegetada. A figura abaixo ilustra a predominância dessas classes na APP de declividade (Figura 48).

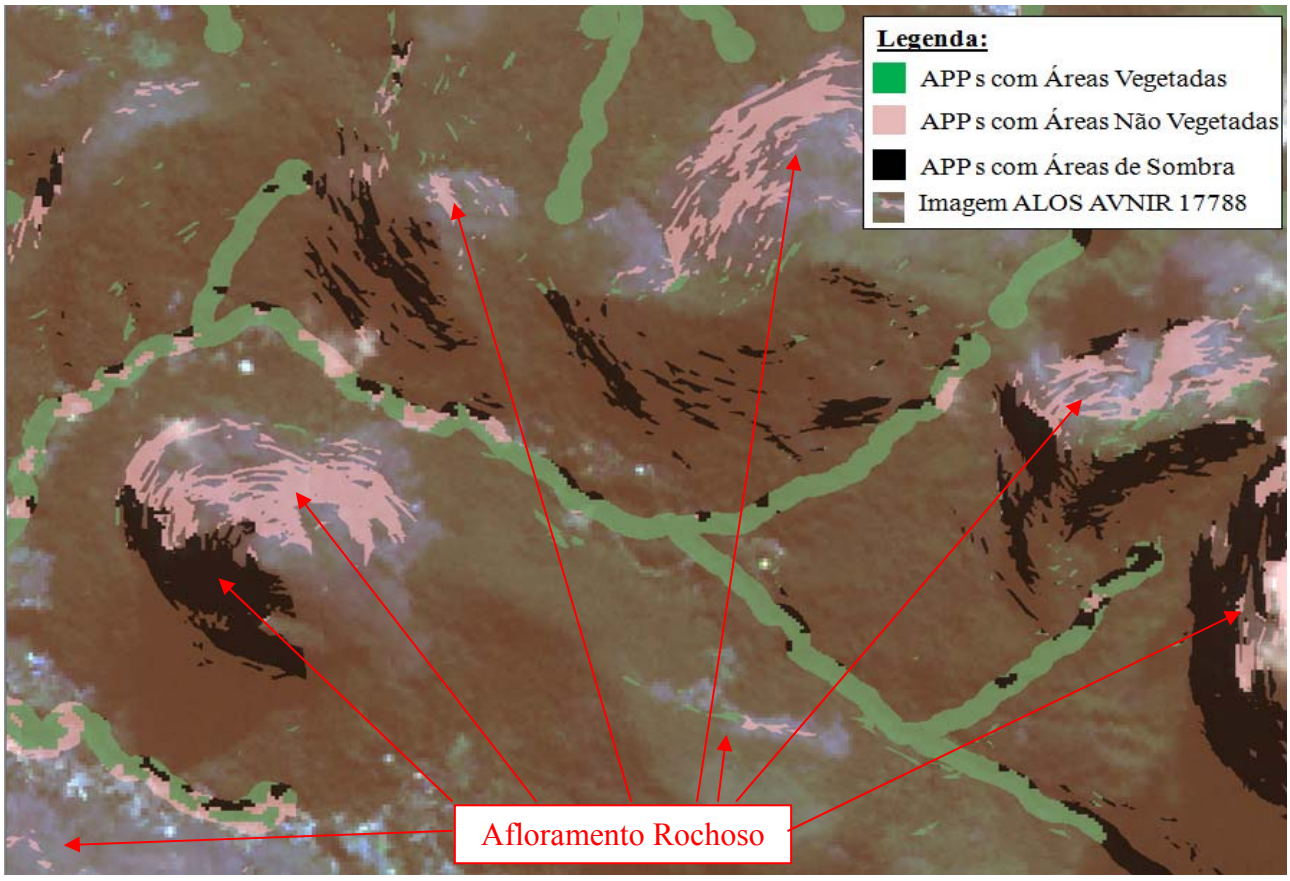


Figura 48: Demonstração das APPs em áreas vegetadas e das APPs em áreas de sombra situadas em regiões mais acidentadas da área de estudo.

5.2. Validação dos Métodos de Mapeamento do Programa APP 1.0.

Como mencionado anteriormente, esta pesquisa buscou desenvolver seu próprio método de delimitação das áreas de preservação permanente em superfície planimétrica e superfície real através do programa APP 1.0. Deste modo, é primordial a validação deste de forma que se compreendam suas potencialidades e limitações.

O subcapítulo 4.5 desta dissertação explicou como foram elaboradas e calculadas cada feição de validação. Nele foram apresentados: o círculo delimitador da semi-esfera (raio de 50 metros), que é o validador da delimitação em superfície planimétrica; e o círculo de raio 42,0735492 metros como o validador do método de delimitação em superfície real.

Será utilizado o cálculo de área em superfície planimétrica para validar ambos os mapeamentos, ou seja, sabendo o valor do raio dos círculos utilizados para validação, é possível calcular matematicamente suas áreas em superfície planimétrica através da equação 4 (π vezes o raio ao quadrado):

(4) $$\text{Área do Círculo} = \pi \times r^2$$

Onde:
π = 3,1415927
r = raio dos círculos validadores

Desta forma, as áreas de cada círculo são:

- Círculo validador do Mapeamento em Superfície Planimétrica (r =50 m)

$\pi \times r^2 \Rightarrow 3{,}1415927 \times 50^2 \Rightarrow 3{,}1415927 \times 2.500 \Rightarrow \underline{7853{,}98175 m^2}$

- Círculo validador do Mapeamento em Superfície real (r = 42,0735492 m)

$\pi \times r^2 \Rightarrow 3{,}1415927 \times 42{,}0735492^2 \Rightarrow 3{,}1415927 \times 1770{,}1835422 \Rightarrow \underline{5561{,}19569410213\ m^2}$

Nesta etapa de validação, foram geradas seis delimitações no APP 1.0. Sendo três em superfície planimétrica, para cada escala (1:2.000, 1:10.000 e 1:25.00) (Figura 49) e as outras três em superfície real, também para cada escala de análise (Figura 50).

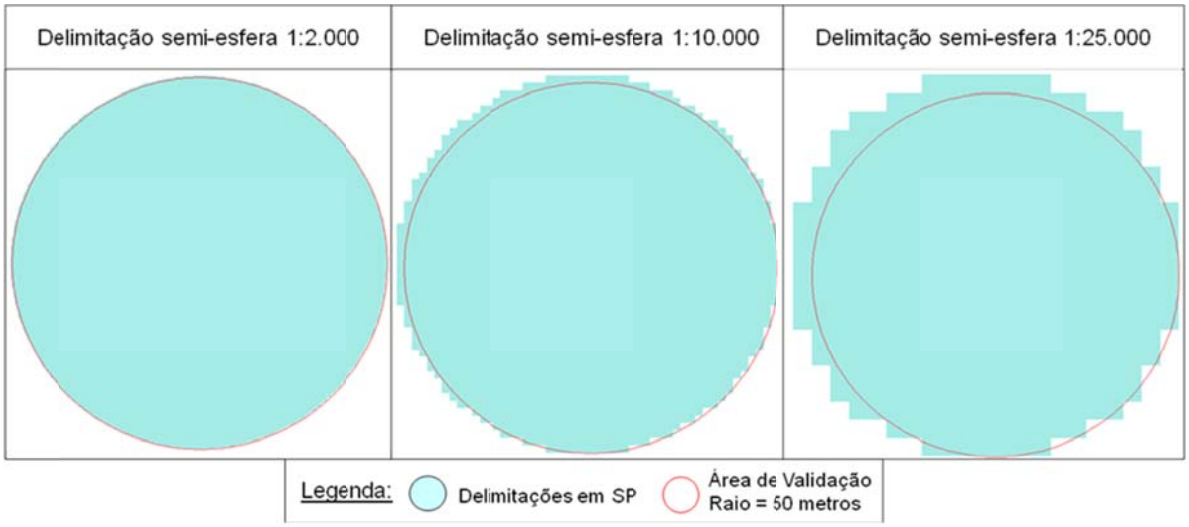


Figura 49: Sobreposição das áreas mapeadas em Superfície Planimétrica em cada escala com a área de validação – círculo de raio 50 metros.

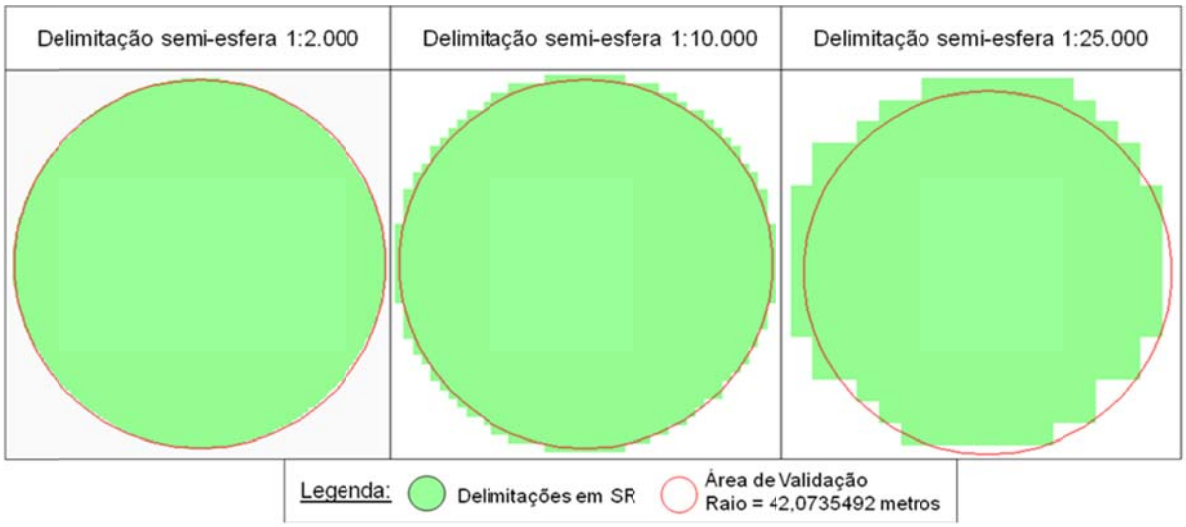
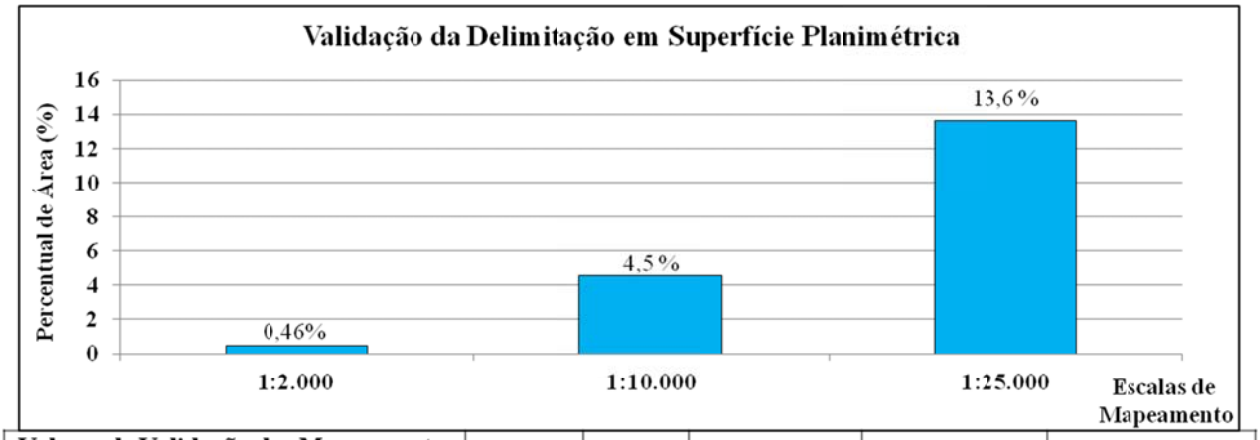


Figura 50: Sobreposição das áreas mapeadas em Superfície Real em cada escala com a área de validação – círculo de raio 42,0735492 metros.

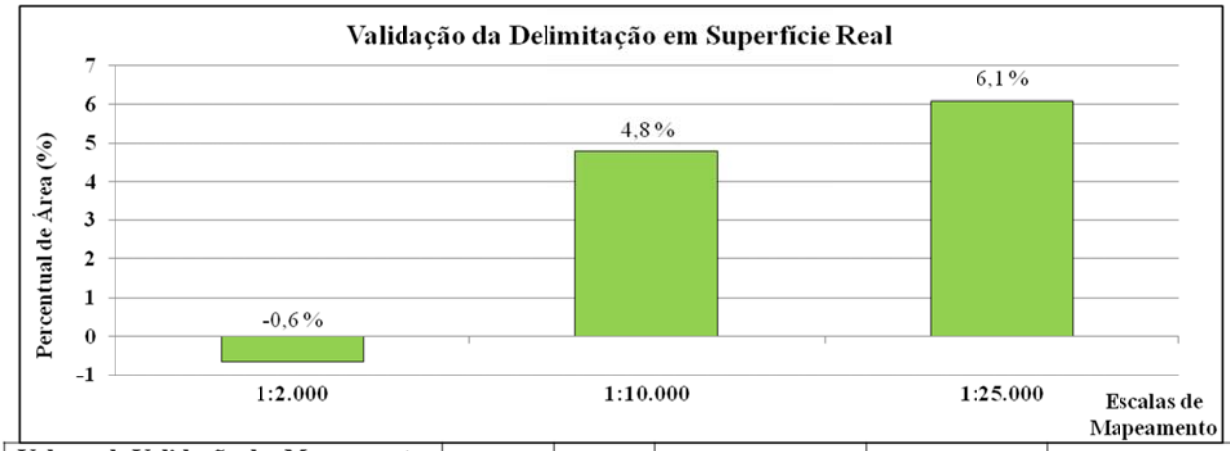
Os valores das áreas em superfície planimétrica dos círculos de validação, calculados matematicamente, serviram de referência na validação dos mapeamentos em SP (área 7853,98175m^2) e SR (área 5561,19569410213m^2) gerados pelo APP 1.0.

Para chegar ao valor de área das feições delimitadas no APP 1.0, foi multiplicado o número de pixels existentes na delimitação com a resolução ao quadrado de cada uma delas. As figuras 51 e 52 a seguir mostram os valores encontrados em cada escala nas validações em superfície planimétrica e superfície real, respectivamente. O percentual demonstrado em cada figura está relacionada a diferença de área encontrada entre as áreas validadoras e as delimitações.



Valores da Validação dos Mapeamentos em Superfície Planimétrica	Resolução	Nº Pixels	Resultado (m²)	Subestimou (%)	Superestimou (%)
Área Matematicamente Calculada da Circunferência	-	-	7853,98175	-	-
Delimitação SP APP1.0 1:2.000 (Raster Res. 40cm) 1,6 m x nº pixels	0,4	49315	7890,4	-	0,4%
Delimitação SP APP1.0 1:10.000 (Raster Res. 2m) 4 m x nº pixels	2	2053	8212	-	4,5%
Delimitação SP APP1.0 1:25.000 (Raster Res. 5m) 25 m x nº pixels	5	357	8925	-	13,6%

Figura 51: Validação dos mapeamentos da semi-esfera em Superfície Planimétrica nas três escalas.



Valores da Validação dos Mapeamentos em Superfície Real	Resolução	Nº Pixels	Resultado (m²)	Subestimou (%)	Superestimou (%)
Área Matematicamente Calculada da Circunferência	-	-	5561,19569410213	-	-
Delimitação SR APP1.0 1:2.000 (Raster Res. 40cm) 1,6 m x nº pixels	0,4	34530	5524,8	0,6 %	-
Delimitação SR APP1.0 1:10.000 (Raster Res. 2m) 4 m x nº pixels	2	1457	5828	-	4,8%
Delimitação SR APP1.0 1:25.000 (Raster Res. 5m) 25 m x nº pixels	5	236	5900	-	6,1%

Figura 52: Validação dos mapeamentos da semi-esfera em Superfície Real nas três escalas.

De certa forma, os erros encontrados em SP e SR se apresentaram com um padrão em cada escala. Ou seja, tanto em SP quanto em SR o percentual dos erros nas escalas de 1:2.000 e 1:10.000 tiveram um valor próximo, que pode estar relacionado a utilização da estrutura matricial, que tende a uma generalização do dado.

Apenas na escala 1:25.000 existiu uma disparidade, pois o valor de erro encontrado em superfície planimétrica foi praticamente o dobro do encontrado em superfície real. Este fato demonstra que o algoritmo de delimitação em superfície planimétrica precisa ser aprimorado. Outro aspecto importante, diz respeito ao padrão de comportamento na validação. Quanto maior a escala, menor o erro encontrado.

5.3. Comparações das Delimitações em Superfície Planimétrica e Superfície Real

As figuras 53 e 54 demonstram as delimitações realizadas pelo APP 1.0 em Superfície Planimétrica e Superfície Real das APPs.

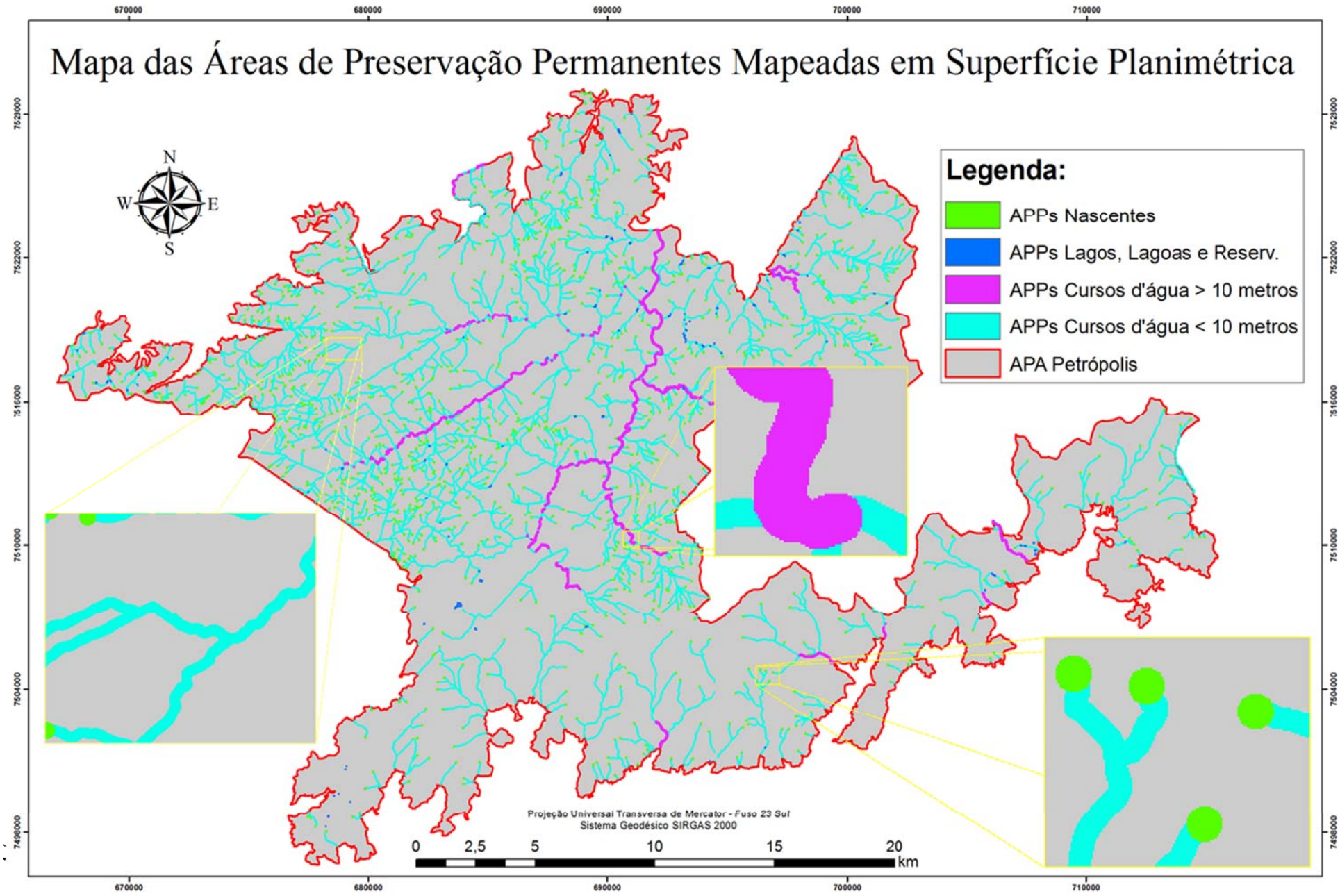


Figura 53: Mapa da delimitação das APPs em Superfície Planimétrica.

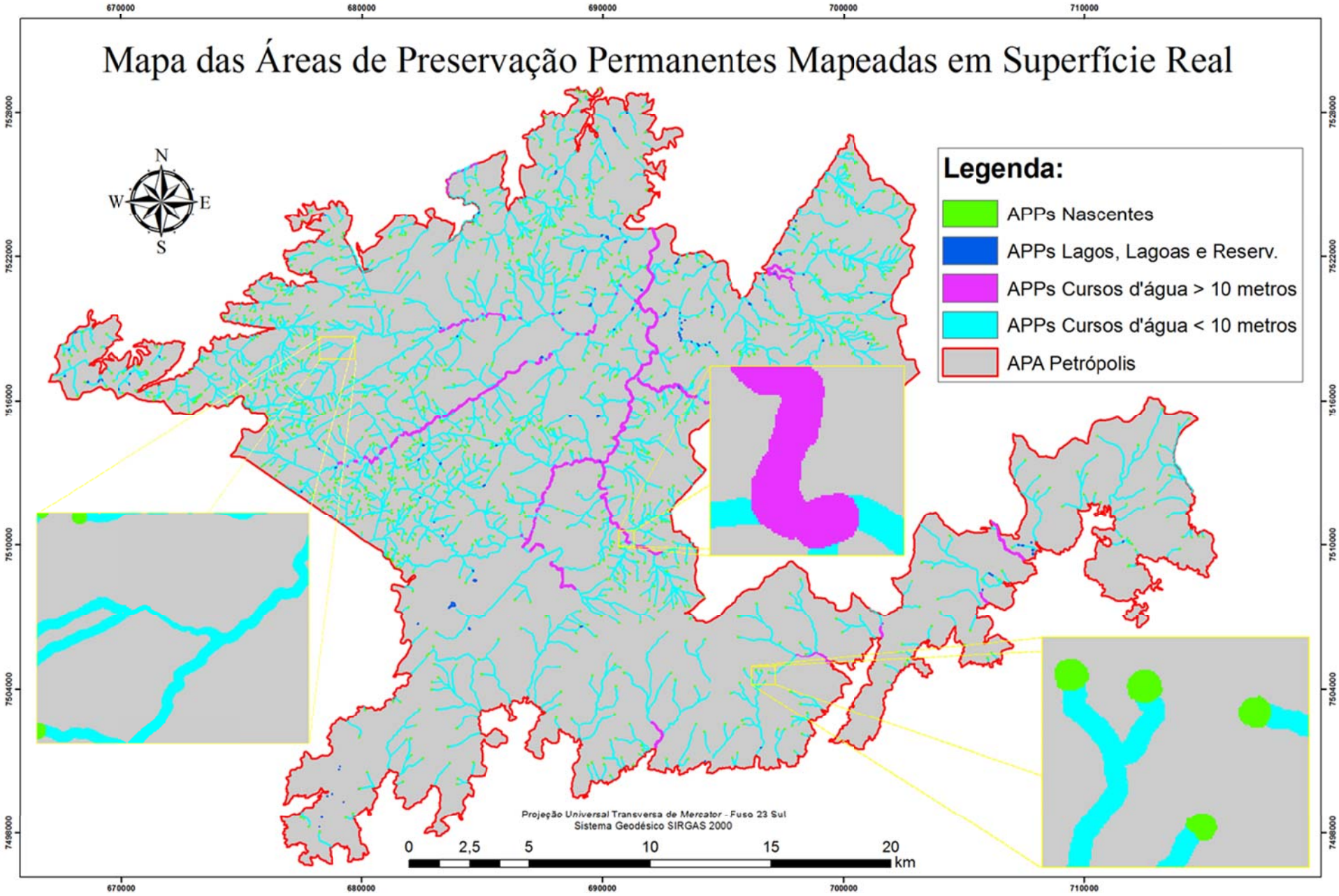


Figura 54: Mapa da delimitação das APPs em Superfície Real.

As comparações entre as delimitações em SP e SR realizadas no APP 1.0 também utilizaram o raciocínio do cálculo de área pela contagem de *pixels*. A figura 55 apresenta os resultados encontrados na comparação destes mapeamentos.

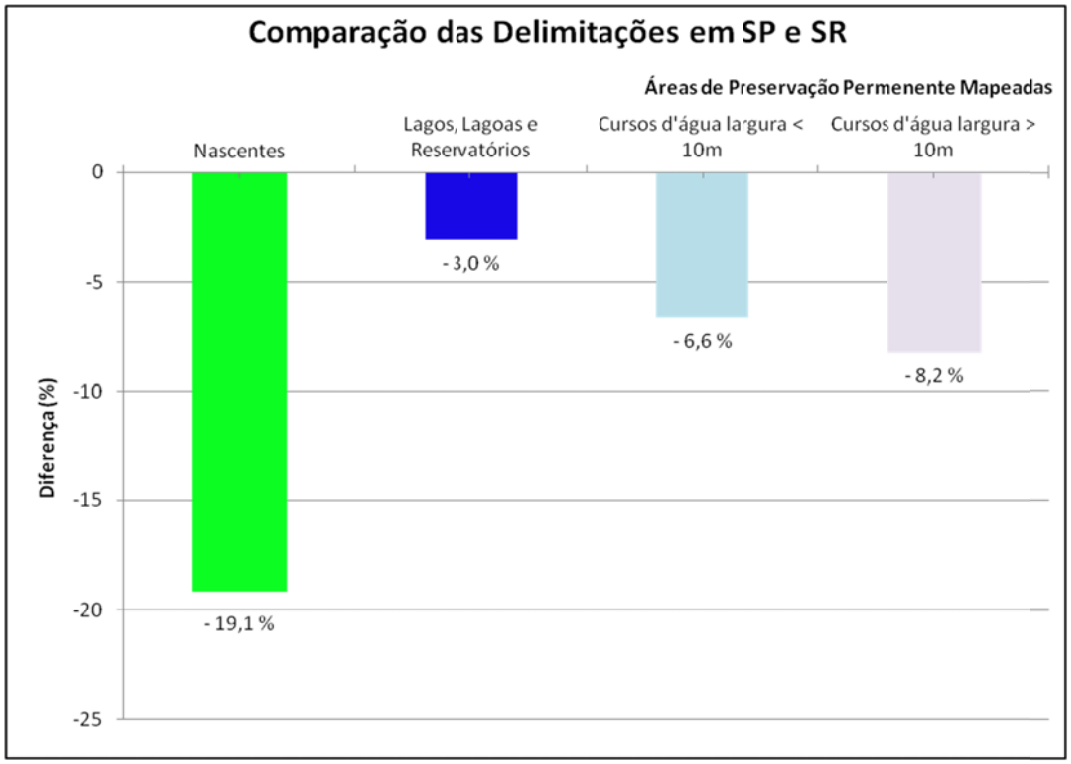


Figura 55: Comparação dos mapeamentos em SP e SR.

Todas as APPs apresentaram um decréscimo de área mapeada em SR, sendo que a diferença mais significativa é relativa às áreas de nascentes. Já as que apresentaram menor diferença foram as APPs de lagos, lagoas e reservatórios. Através da analise dos dados e da sobreposição dos mapeamentos com o comportamento morfológico da APA, observa-se que as áreas de nascentes são as que se encontram em regiões mais morfologicamente acidentadas, sendo justamente esta APP a detentora da maior diferença. Por outro lado as APPs de lagos, lagoas e reservatórios, estão localizadas em áreas mais planas e por isso possuem a menor diferença entre os mapeamentos. As figuras abaixo procuram demonstrar exemplos das distintas delimitações em cada APP (Figuras 56, 57, 58, 59).

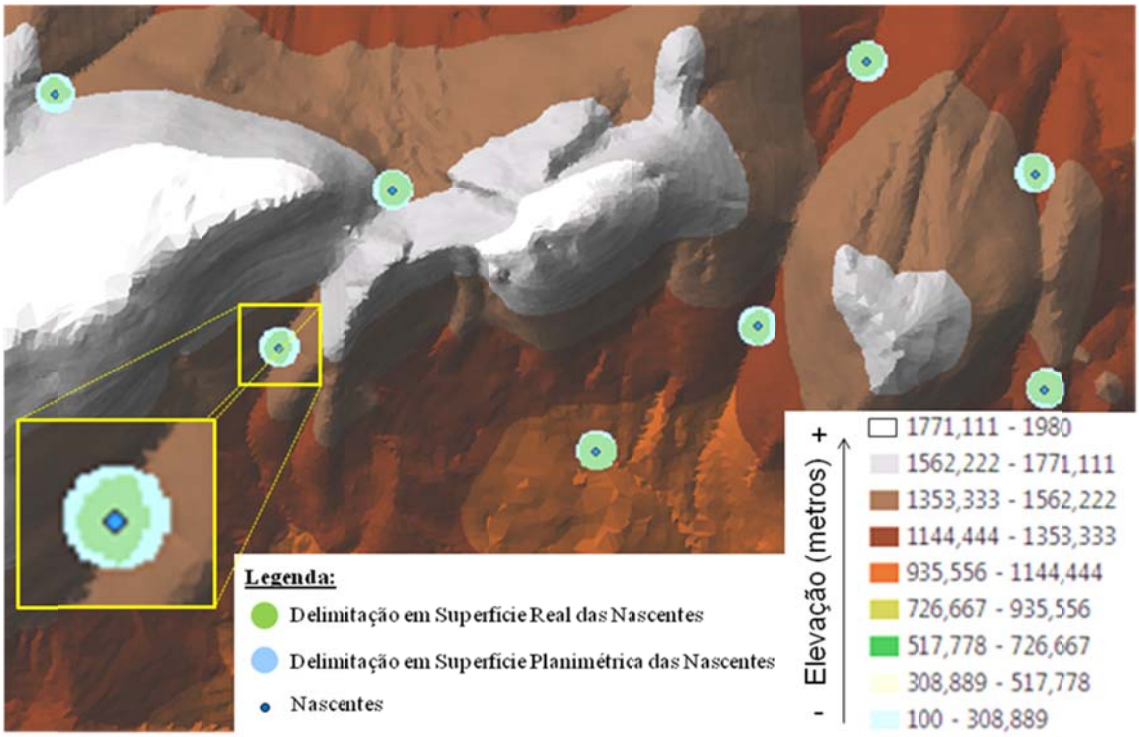


Figura 56: Sobreposição entre as delimitações em SP e SR das APPs de Nascentes.

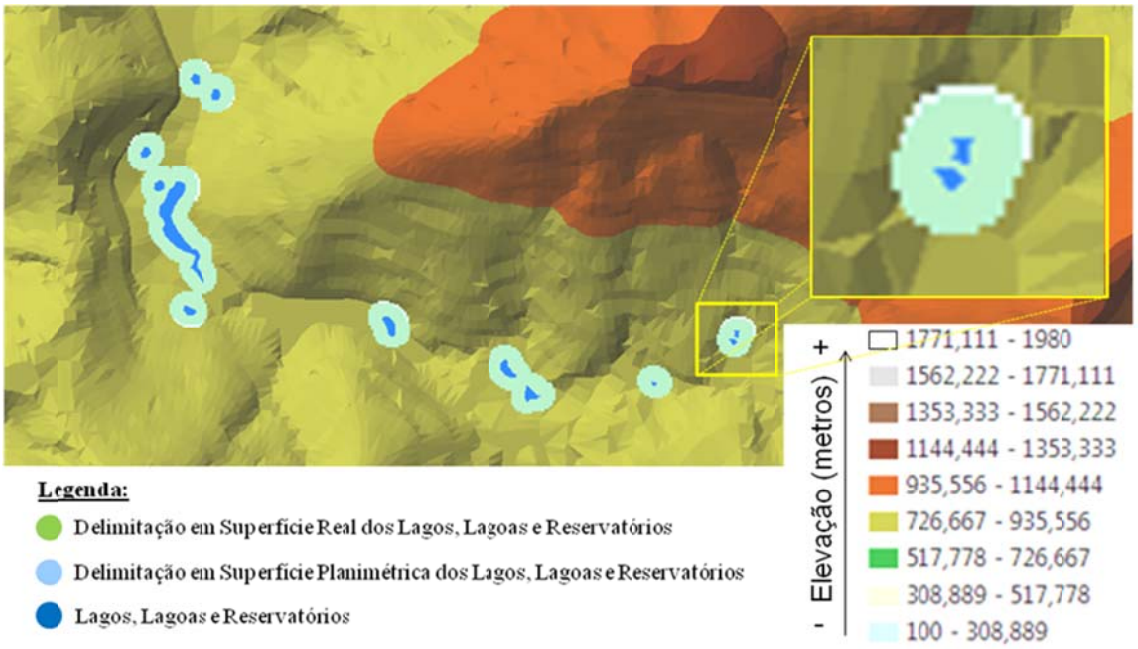


Figura 57: Sobreposição entre as delimitações em SP e SR das APPs de Lagos, Lagoas e Reservatórios.

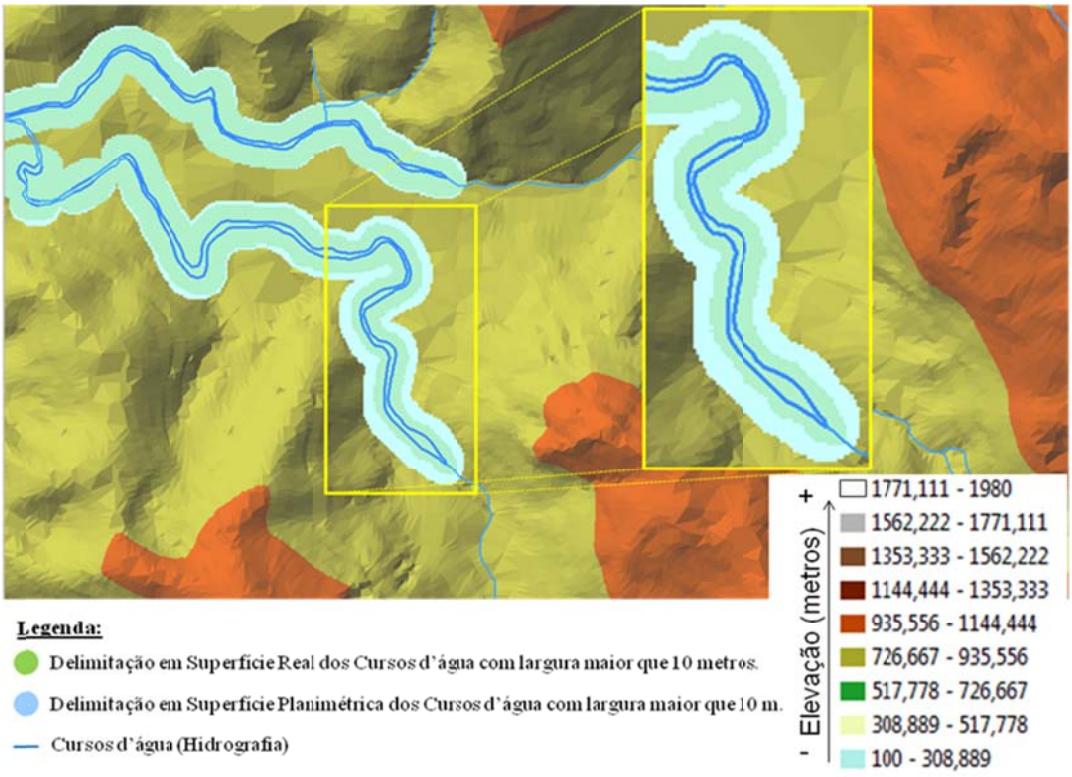


Figura 58: Sobreposição entre as delimitações em SP e SR das APPs dos Cursos d'água com largura maior que 10 metros.

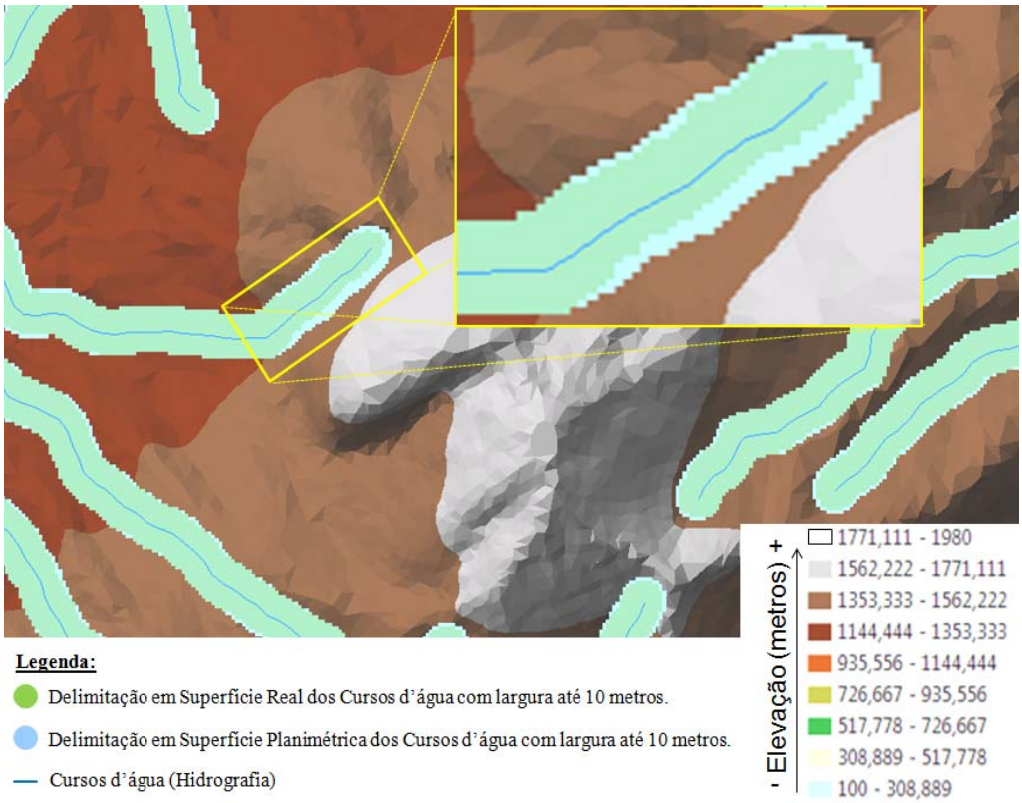


Figura 59: Sobreposição entre as delimitações em SP e SR das APPs dos Cursos d'água com largura até 10 metros.

Estes resultados acompanham, de certo modo, o apresentado nas diferenças existentes entre os cálculos de área, já que as áreas com diferença maior e menor na comparação dos mapeamentos foram as mesmas. Porém, percebe-se uma inversão no posicionamento das duas categorias de APPs de cursos d'água, como mostra a tabela abaixo (Tabela 7).

Tabela 7: Comparação entre as diferenças do cálculo de área e mapeamentos das APPs.

Ordem	Valor (%)	Ordem Crescente da Diferença do Cálculo de Área das APPs SP - SR	Ordem Crescente da Diferença nos Mapeamentos das APPs SP - SR	Valor (%)	Ordem
1º	71,5%	Declividade maior que 45º	-	-	-
2º	29,7%	Altitude Superior a 1.800 m	-	-	-
3º	17,8%	Áreas de Nascentes	Áreas de Nascentes	- 19,1%	1º
4º	11,9%	Cursos d'água largura < 10m	Cursos d'água largura > 10m	- 8,1%	2º
5º	4,5%	Cursos d'água largura > 10m	Cursos d'água largura < 10m	- 6,6%	3º
6º	3,2%	Lago, Lagoa e Reservatório	Lago, Lagoa e Reservatório	- 3%	4º

Essa inversão pode estar relacionada a uma possível compensação ocasionada por uma maior extensão de área de influência das APPs de Cursos d'água com largura maior que 10 metros (50 metros de área de influência). Ou seja, esta é 60% maior que a das APPs de Cursos d'água com largura menor que 10 metros (30 metros de área de influência).

Como as áreas das APPs mapeadas se sobrepõem em muitos casos, optou-se também por realizar a sobreposição do mapeamento de todas as APPs em Superfície Planimétrica e em Superfície Real para compará-las em sua totalidade (Tabela 8), sendo constatada uma diferença de aproximadamente - 7,5%.

Tabela 8: Diferença do Total das Delimitações em SP X SR.

Comparação do Total das Delimitaões SP X SR	Nº pixels	Diferença (%)
Delimitação de Todas as APPs em SR	2952644	- 7,5%
Delimitação de Todas as APPs em SP	3175531	-

5.4. Estado de Preservação das APPs nos diferentes Mapeamentos

A figura 60 demonstra o Mapa de Área Vegetada elaborado por esta pesquisa.

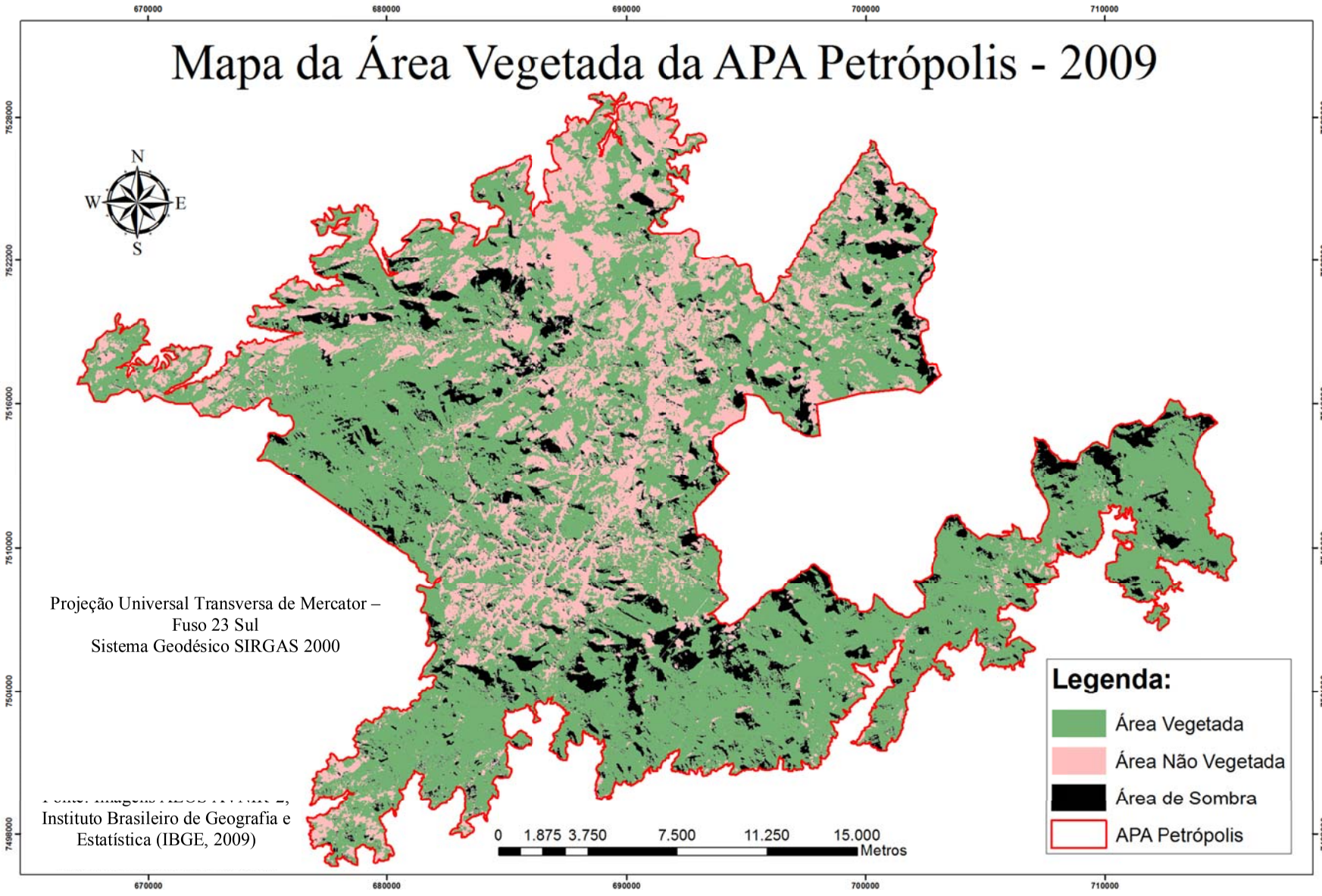
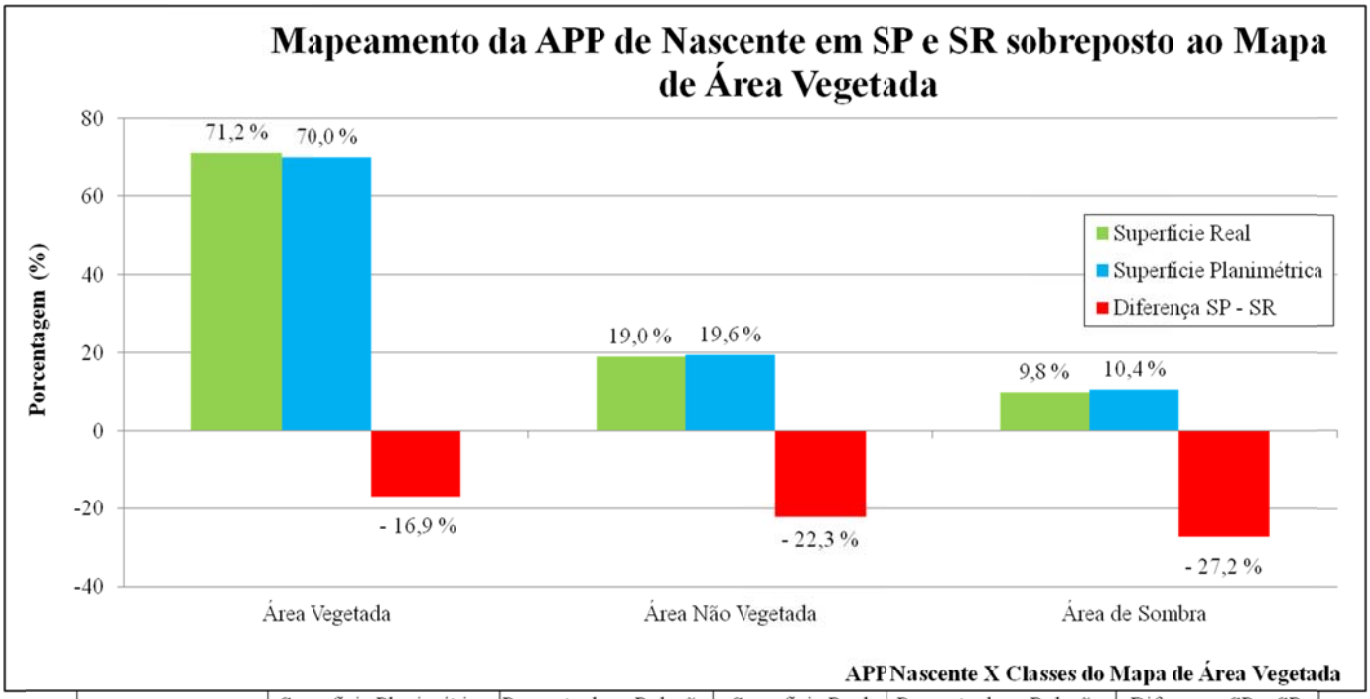


Figura 60: Mapa de Área Vegetada da APA Petrópolis.

Para as análises deste sub-capítulo, foi necessário converter o mapa de área vegetada do formato vetorial para *raster*, definindo o mesmo tamanho de pixel dos outros mapas utilizados na pesquisa (5 metros).

As primeiras análises estão relacionadas à sobreposição do mapeamento de cada APP com o Mapa de Área Vegetada. Desta forma, as próximas quatro análises demonstram as classes do mapa de área vegetada de cada APP em SP e SR, em função da área total calculada para a respectiva superfície de análise, além das diferenças na delimitação destes mapeamentos.

A figura 61 apresenta os valores relativos ao mapeamento das APPs de nascentes.



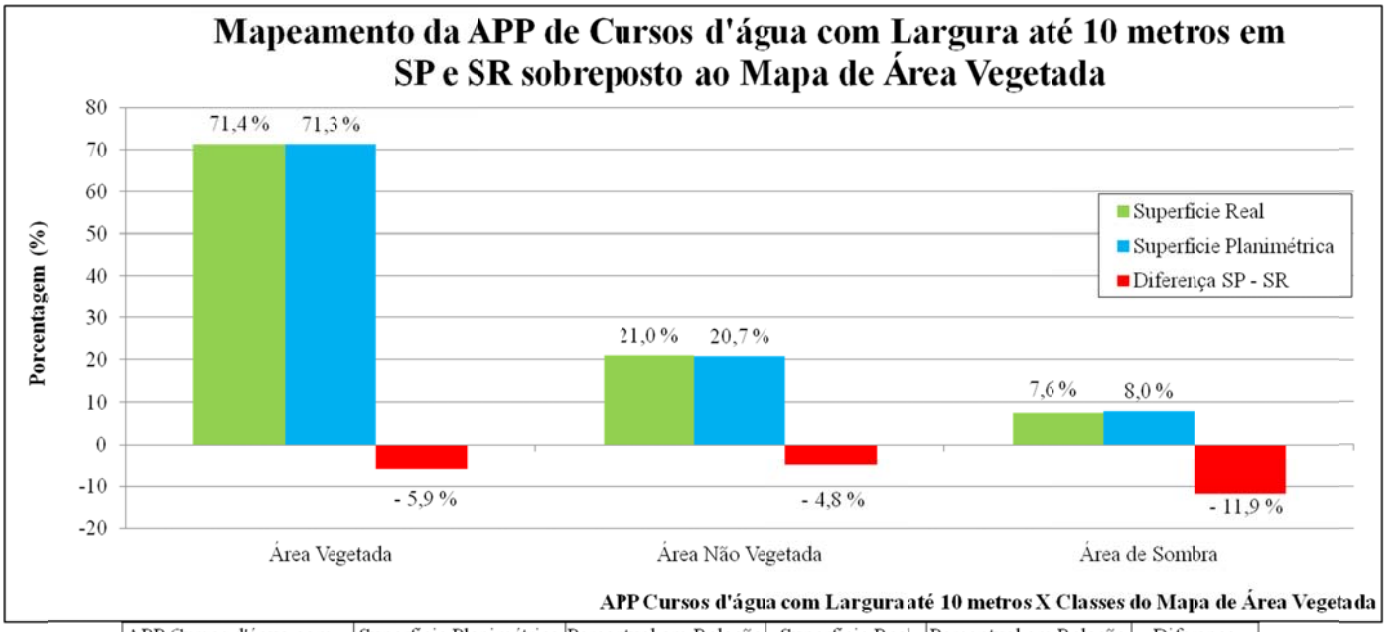
APP Nascente	Superfície Planimétrica (nº de Pixels)	Percentual em Relação ao Total SP (%)	Superfície Real (nº de Pixels)	Percentual em Relação ao Total SR (%)	Diferença SP – SR (%)
Área Vegetada	307802	70,0	263348	71,2	- 16,9
Área Não Vegetada	85833	19,6	70198	19,0	- 22,3
Área de Sombra	45813	10,4	36009	9,8	- 27,2

Figura 61: Mapeamento da APP de nascente em SP e SR sobreposto ao Mapa de Área Vegetada.

A primeira constatação está relacionada a um comportamento padrão da distribuição das classes em ambos os mapeamentos. A classe com percentual mais significativo é de área vegetada, demonstrando uma aparente conservação deste tipo de APP. Percebeu-se diferenças significativas entre os mapeamentos com percentual de até

-27,2% nas áreas de sombra e -22,3% na área não vegetada. Essa maior diferença se explica pela localização geográfica das áreas de nascentes. Estas foram associadas a inícios de canais de primeiro ordem, ou seja, localidades com alta declividade.

O resultado encontrado para as APPs de cursos d'água com largura até 10 metros pode ser visualizado através da figura 62.

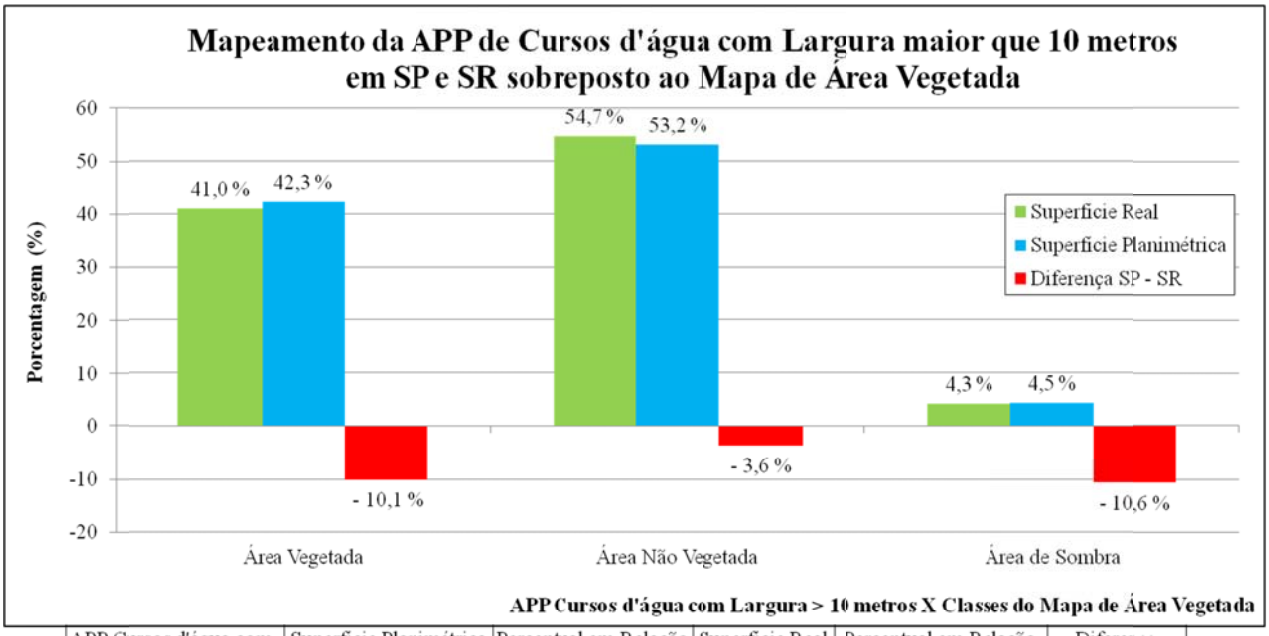


APP Cursos d'água com Largura até 10 metros	Superfície Planimétrica (nº Pixels)	Percentual em Relação ao Total SP (%)	Superfície Real (nº Pixels)	Percentual em Relação ao Total SR (%)	Diferença SP – SR (%)
Área Vegetada	1958024	71,3	1849239	71,4	- 5,9
Área Não Vegetada	568925	20,7	542674	21,0	- 4,8
Área de Sombra	219957	8,0	196549	7,6	- 11,9

Figura 62: Mapeamento da APP de cursos d'água com largura até 10 metros em SP e SR sobreposto ao Mapa de Área Vegetada.

Assim como o constatado nas APPs de nascentes, nas APPs de cursos d'água com largura até 10 metros, percebeu-se um comportamento padrão da distribuição das classes em ambos nos mapeamentos em SP e SR e também um significativo percentual de área vegetada. Porém, as diferenças entre os mapeamentos não foram tão significantes como nas APPs de nascentes, sendo -11,9% a maior diferença relativa a áreas de sombra.

O resultado encontrado para as APPs de cursos d'água com largura maior que 10 metros pode ser visualizado através da figura 63.

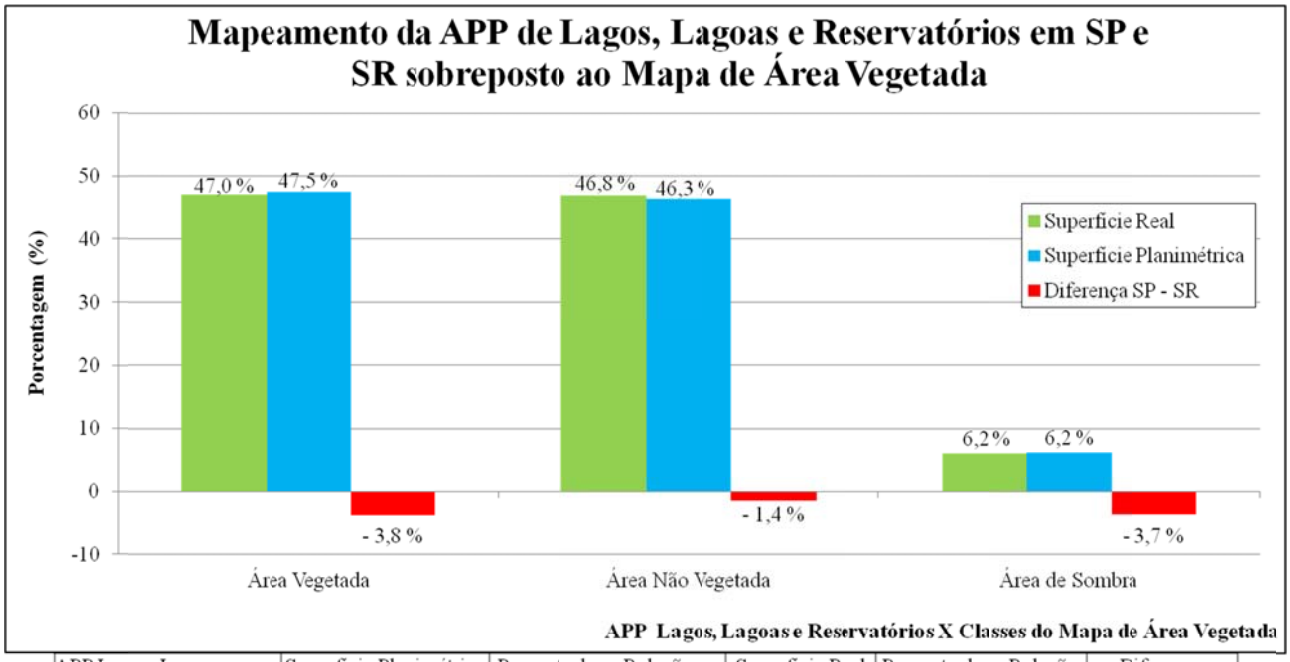


APP Cursos d'água com Largura > 10 metros	Superfície Planimétrica (nº Pixels)	Percentual em Relação ao Total SP (%)	Superfície Real (nº Pixels)	Percentual em Relação ao Total SR (%)	Diferença SP – SR (%)
Área Vegetada	118826	42,3	107924	41,0	- 10,1
Área Não Vegetada	149592	53,2	144361	54,7	- 3,6
Área de Sombra	12565	4,5	11353	4,3	- 10,6

Figura 63: Mapeamento da APP de cursos d'água com largura maior que 10 metros em SP e SR sobreposto ao Mapa de Área Vegetada.

Nas APPs de cursos d'água com largura maior que 10 metros percebeu-se um comportamento similar na distribuição das classes em ambos os mapeamentos. Porém, diferente das outras APPs analisadas até agora, o percentual de área não vegetada nesta é superior as demais classes, atingindo cerca de 53,2% a 54,7%, em SP e SR respectivamente. Este maior percentual de área não vegetada pode estar associado a localização desses cursos d'água, pois estes estão, em sua maioria, situados em áreas menos declivosas, mais planas e desta forma mais propícias a ocupação humana. As diferenças entre os mapeamentos chegaram a -10% nas áreas de sombra e áreas vegetadas.

O resultado encontrado para as APPs de cursos d'água com largura maior que 10 metros pode ser visualizado através da figura 64.

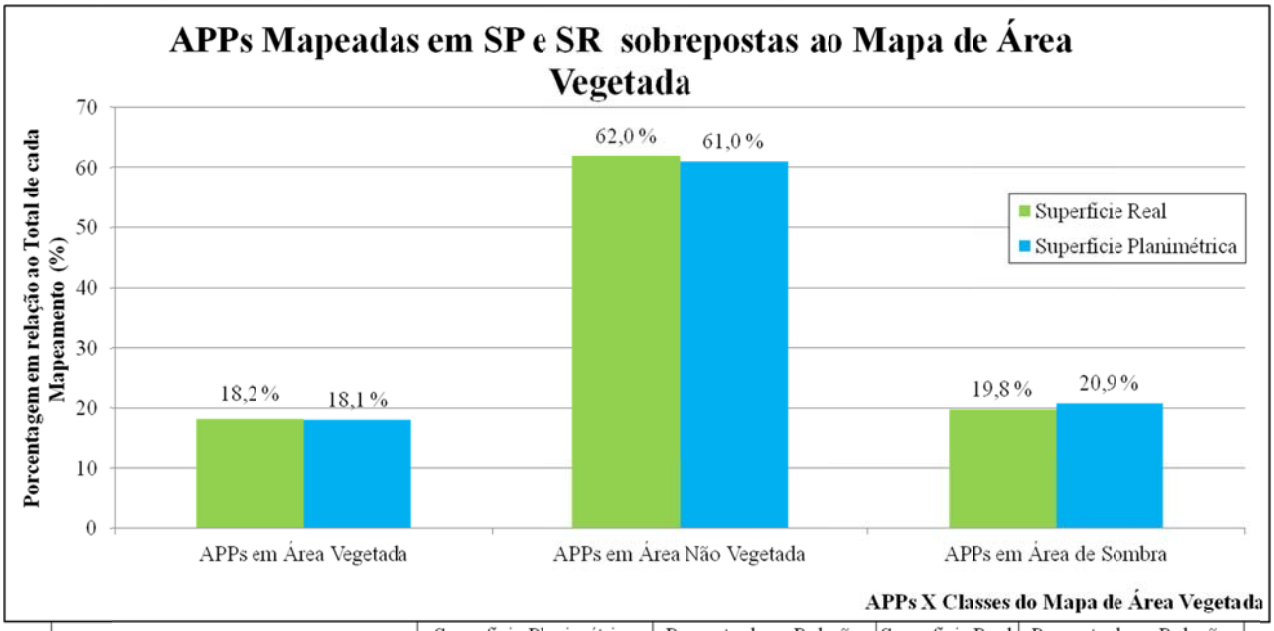


APP Lagos, Lagoas e Reservatórios	Superfície Planimétrica (nº Pixels)	Percentual em Relação ao Total SP (%)	Superfície Real (nº Pixels)	Percentual em Relação ao Total SR (%)	Diferença SP– SR (%)
Área Vegetada	18487	47,5	17316	47,0	- 3,8
Área Não Vegetada	18015	46,3	17760	46,8	- 1,4
Área de Sombra	2420	6,2	2334	6,2	- 3,7

Figura 64: Mapeamento da APP de lagos, lagoas e reservatórios em SP e SR sobreposto ao Mapa de Área Vegetada.

Assim como nas outras três APPs avaliadas, nas APPs de lagos, lagoas e reservatórios não se verificou grandes mudanças na distribuição das classes dos mapeamentos em SP e SR. Por outro lado, diferente dos outros três mapeamentos, este apresenta um maior equilíbrio entre as classes de área vegetada e não vegetada. Este mapeamento, como já era de se esperar, apresentou a menor diferença entre os mapeamentos em SR e SP. Isso ocorre devido ao posicionamento destas APPs em áreas mais planas.

Posteriormente, como já mencionado no sub-capítulo 5.1, como as áreas de APPs se sobrepõem em determinadas situações, foi realizada a união de todas as APPs mapeadas em SP e em SR. Estes dois mapeamentos foram sobrepostos ao mapa de área vegetada. Os cálculos presentes na figura 65 mostram o estado de conservação das APPs nesta outra forma de análise nos diferentes mapeamentos.

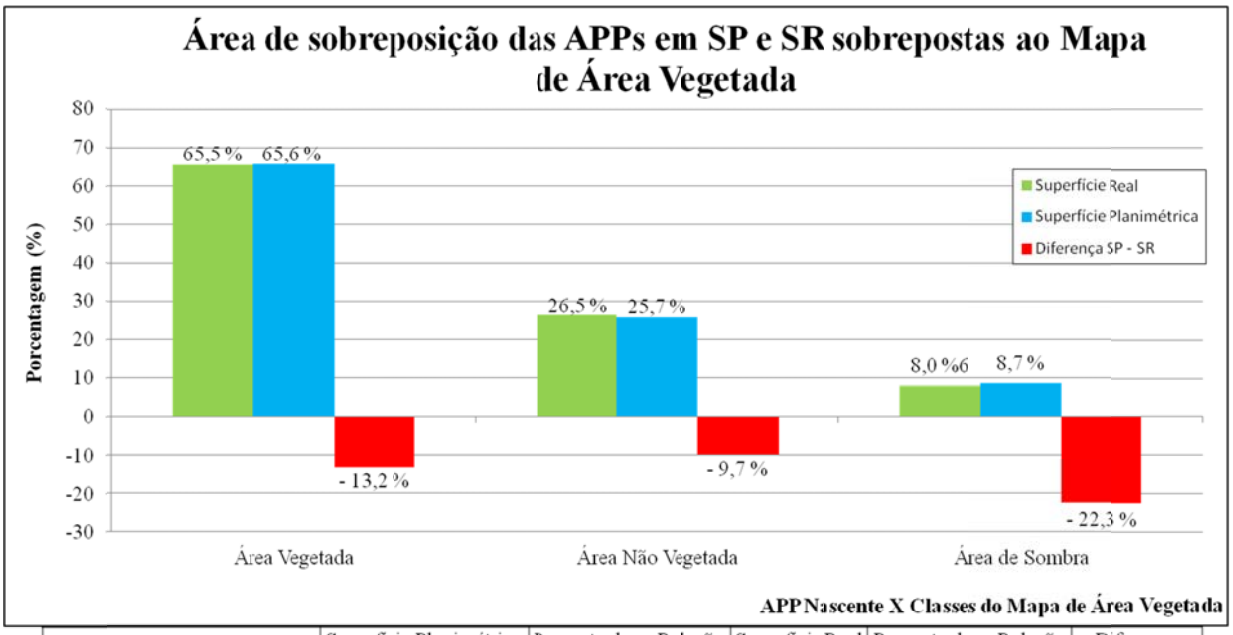


Total de APPs x Mapa de Área Vegetada	Superfície Planimétrica (nº Pixels)	Percentual em Relação ao Total SP (%)	Superfície Real (nº Pixels)	Percentual em Relação ao Total SR (%)
APPs em Área Vegetada	216656	18,1	202939	18,2
APPs em Área Não Vegetada	729746	61,0	690614	62,0
APPs em Área de Sombra	249457	20,9	220671	19,8

Figura 65: Mapeamentos em SP e SR sobrepostos ao Mapa de Área Vegetada.

Através da figura 65, percebe-se que não existiu nenhuma diferença significativa no que diz respeito ao comportamento de cada classe de APPs mapeada em SP e SR com as classes de área vegetada. Por outro lado, ao analisar as APPs em conjunto, após a união dos mapeamentos, ocorre uma inversão de percentual existente entre as classes, ou seja, percebe-se um percentual maior de área não vegetada. O constatado vai de encontro à análise individual de cada APP, pois nesta, três das quatro APPs analisadas apresentavam um percentual maior de área vegetada do que não vegetada.

Para compreender o resultado desses dados, buscou-se analisar as áreas sobrepostas das APPs (Figura 66).

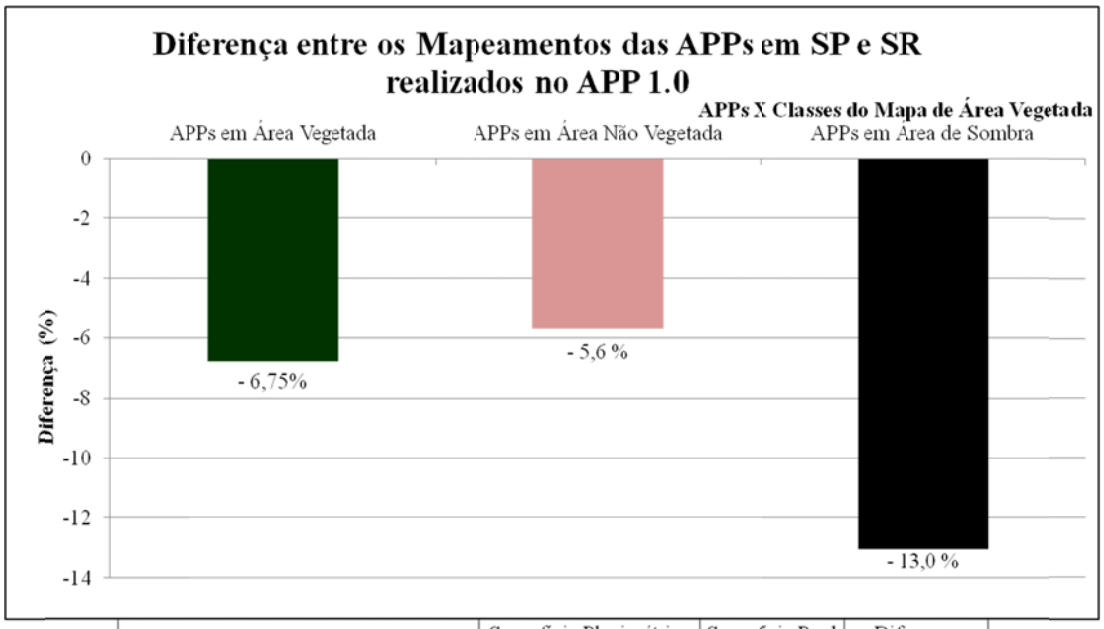


Área de Sobreposição das APPs	Superfície Planimétrica (nº de Pixels)	Percentual em Relação ao Total SP (%)	Superfície Real (nº de Pixels)	Percentual em Relação ao Total SR (%)	Diferença SP – SR (%)
APPs em Área Vegetada	236319	65,6	208683	65,5	- 13,2
APPs em Área Não Vegetada	92559	25,7	84322	26,5	- 9,7
APPs em Area de Sombra	31298	8,7	25574	8,0	- 22,3

Figura 66: Área de sobreposição das APPs em SP e SR sobrepostas ao Mapa de Área Vegetada.

Através desta análise fica claro o porquê da inversão de percentual existente na comparação das APPs individualizadas (predominou as áreas vegetadas) e o total de APPs (sendo mais significativa a classe de área não vegetada). Ou seja, a maioria das áreas de sobreposição estão relacionadas às áreas vegetadas (65%) e estas nas analises individualizadas das APPs foram contabilizadas repetidamente.

Por fim, foi avaliada a diferença entre os mapeamentos em SR e SP provenientes da junção das APPs. A figura 67 demonstra este resultado.



Total de APPs x Mapa de Área Vegetada	Superfície Planimétrica (nº Pixels)	Superfície Real (nº Pixels)	Diferença SR - SP (%)
APPs em Área Vegetada	216656	202939	- 6,7
APPs em Área Não Vegetada	729746	690614	- 5,6
APPs em Area de Sombra	249457	220671	- 13,0

Figura 67: Diferença entre os Mapeamentos das APPs em SP e SR realizados no APP 1.0.

Assim como nos mapeamentos analisados anteriormente, na diferença percentual do mapeamento de todas as APPs em SR e SP, a maior diferença de delimitação em superfície planimétrica para superfície real foi na área de sombra (-13%). Em seguida, a área vegetada (-6,7%) e não vegetada (-5,6%). O que reforça as diferentes leituras que estes mapeamentos podem levar.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1. Conclusões

Conseguiu-se com êxito realizar o mapeamento das APPs no formato vetorial em superfície planimétrica, utilizando estes para cálculos de área em SP e SR. Em todas as analises, a área calculada em superfície real foi superior da calculada em superfície planimétrica. As diferentes observações demonstram percentuais de quantificação distintos das APPs dentro da APA Petrópolis, com diferenças que variaram de 3% a 71%. Sendo que, de forma conjunta, as áreas de APP quando calculadas sem SR tiveram um acréscimo de 31,2% em relação a SP.

Algumas observações em superfície real se mostraram interessantes. Isso porque, de acordo com o Decreto n.º 41.844, de 4 de maio de 2009, que estabelece definições técnicas para alocação do percentual a ser distribuído aos municípios em função do ICMS Ecológico, tanto a parcela da área protegida, quanto o seu grau de conservação são fatores de avaliação para a distribuição deste imposto aos municípios. Vale ressaltar, que essa diferença será menor para municípios situados em condições geomorfológicas distintas dos trechos pertencentes a APA Petrópolis, o que sugere que os municípios com condições semelhantes aos encontrados na APA são prejudicados em função da não consideração das observações em superfície real.

Desta forma, os cálculos realizados para os municípios ocupados pela APA seriam diferentes se fosse levada em consideração as análises em superfície real, pois houve um acréscimo de área da APA em 16,52% e incremento de área vegetada de 13,7%. O percentual de área vegetada pode ser ainda mais significativo, pois houve um acréscimo de 21,7% de área de sombra e há de se considerar que provavelmente algum percentual desta está relacionado à área vegetada. A quantificação das classes do mapa de área vegetada em diferentes observações (SP e SR) demonstra as distintas percepções que se pode ter a respeito do valor de uma área vegetada em determinada região.

Ao analisar o cálculo de área em SP e SR das classes do Mapa de área Vegetada, percebe-se uma forte matriz vegetacional na APA, pois esta classe ocupa em SR aproximadamente 63% do total da APA. No cálculo de área em SR de todas as APPs juntas (mapeadas no formato vetorial) percebe-se um percentual de 50% destas em áreas vegetadas. Um ponto relevante nesta análise é que se fossem mapeadas e consideradas

as APPs de topo de morro e linhas de cumeada, acredita-se que o percentual de APPs em área vegetada seria maior.

Porém, ao avaliar conjuntamente as áreas de APPs mapeadas em SR e SP no APP 1.0 encontra-se um resultado de apenas 18% destas em área conservada. A diferença entre esta avaliação e a apresentada anteriormente, é que na primeira são consideradas as APPs de declividade superior a 45 graus e altitude superior a 1.800 metros, pois estas foram delimitadas no formato vetorial, já a segunda não considera estas APPs. De certo modo é justificável o fato destas áreas elevarem a percepção de conservação das APPs ao serem consideradas na análise, pois são áreas de difícil acesso e instalação humana.

As APPs delimitadas em SR mais conservadas são as de nascentes e cursos d'água com largura até 10 metros. Isso se explica já que estas estão relacionadas a inícios de canais de primeira ordem e canais de primeira ordem, respectivamente. Ou seja, estão localizadas em áreas mais acidentadas e declivosas, de difícil acesso e interferência humana. Por outro lado, as APPs mais degradadas de lagos, lagoas e reservatórios e de cursos d´água com largura entre 10 e 50 metros estão localizadas em áreas mais planas. A forma de analisar as APPs individualmente pode mascarar o real estado de conservação destas áreas, pois ao analisá-las levando em consideração uma única vez suas áreas de sobreposição, os resultados podem mostrar outra realidade.

É válido destacar que as diferenças de área e de delimitação das APPs nas duas observações aumentam conforme a localização geográfica destas. Ou seja, quanto maior for a predominância de área em regiões de alta declividade, maiores serão as diferenças de área e de delimitação.

Foram verificadas significativas diferenças nas delimitações entre os mapeamentos em superfície planimétrica e superfície real. Nas APPs de nascentes, por exemplo, chegou-se a um decréscimo de área em SR de 19% em relação a SP. A diferença total, levando em consideração todas as áreas de APPs, inclusive as áreas incomuns entre elas, foi de 7,5%.

Outro resultado importante foi a constatação das diferentes leituras que estes geram. Foram calculadas diferenças que variaram de 5,6% a 13% nas analises de sobreposição das APPs com o Mapa de Área Vegetada. Ou seja, isso demonstra que o

que antes parecia estar dentro de uma área de preservação permanente, em função do mapeamento adotado, pode, na verdade, não estar.

Ressalta-se que o percentual de 13% relativo as áreas de sombras mapeadas poderiam modificar algumas interpretações que foram realizadas já que não se sabe ao certo o tipo de cobertura dessas áreas.

Espera-se que os dados e resultados gerados por essa pesquisa sejam um importante instrumento no contexto de atualização da legislação ambiental relacionado a delimitação das APPs. Sendo também uma considerável contribuição nas demandas por estratégias de conservação e recuperação de ecossistemas, à medida que, o mapeamento auxilia os profissionais responsáveis pela fiscalização dessas áreas e também o órgão competente a gerir e intermediar os diferentes conflitos existentes na área de estudo relacionados às APPs.

6.2. Recomendações

O presente estudo não realizou cálculos comparativos de área em superfície real das APPs localizadas em propriedades rurais existentes na APA Petrópolis. Essa analise se mostra importante já que estando essas localizadas em áreas declivosas, os resultados seriam dispares aos cálculos em superfície planimétrica e isso interfere diretamente no estabelecimento das Reservas Legais.

Cabe ressaltar que, uma das limitações do presente trabalho está relacionada a não distinção das APPs situadas em áreas urbanas e áreas rurais. Esta análise seria fundamental na medida que possibilita incrementar a análise destas nas reservas legais e ainda realizar uma análise separada do comportamento destas em áreas urbanas. Esta comparação do comportamento das APPs em áreas rurais e urbanas seria interessante já que acredita-se que os limites de APPs em áreas urbanas não deveriam ser os mesmo que em áreas rurais. Desta forma, recomenda-se este tipo de análise para trabalhos futuros.

É importante destacar que para determinação de áreas de influência (*buffer*), seria mais recomendada a utilização de uma estrutura vetorial. Isso porque, provavelmente, trabalhando com essa estrutura de dados seria obtida uma maior precisão, exatidão nas delimitações. Esta pesquisa buscou formas de desenvolver aplicações que delimitassem as áreas de preservação permanente em superfície real no

formato vetorial alterando o algoritmo de delimitação do *buffer* existente no programa gratuito e aberto QuantumGIS 1.7.0. Porém esta solução ainda está em desenvolvimento.

De uma forma geral, o programa elaborado (APP 1.0) obteve bons resultados em sua função de delimitação em superfície real e superfície planimétrica frente a validação de uma forma geométrica bastante complexa. Seus resultados se mostraram mais eficientes nas delimitações em superfície real, sendo passível de utilização em outras Unidades de Conservação. Seu algoritmo de delimitação em superfície planimétrica requer aperfeiçoamento, já que apresentou um percentual de erro de aproximadamente 13% na validação para a escala de 1:25.000.

Porém, seria necessário aprofundar sua validação realizando testes para outras escalas e também utilizando formas geométricas mais simples. Outro ponto importante em relação a este programa é validar e utilizar seu outro método de delimitação de APP em superfície real, o que utiliza dados de declividade ao invés de diferença altimétrica. A utilização de medições em campo para validação do mapeamento em superfície real também é recomendado para trabalhos futuros.

Outro ponto importante está relacionado as analises do estado de conservação das APPs, caso fosse realizado um mapa de uso e cobertura da terra detalhado, seria possível identificar mais elementos, pois se trabalharia com um maior número de classes e isso potencializaria as analises sobre o comportamento existente nas APPs.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Ahrens, Sérgio. 2003. O "Novo" Código Florestal Brasileiro: Conceitos Jurídicos Fundamentais. *VIII Congresso Florestal Brasileiro.* São Paulo, SP.

Ahrens, Sérgio. 2005. O Código Florestal brasileiro e o uso da terra: histórico, fundamentos e perspectivas (Uma Síntese Introdutória). *Revista dos Direitos Difusos*, v.6, n.31, p. 81-102.

Aspinall, R.J. 1999. GIS and landscape conservation. *In: Geographical Information Systems*, org. by GOODCHILD, M.F.; MAGUIRE, D.J. & RHIND, D.W.; Ed. John Wiley & Sons, New York, 2º ed., pp. 967 - 980.

Bertalanffy, L. von. 1968. *General System Theory: Foundations, Development, Applications*. Revised edition. New York: George Braziller.

Blaschke, T. & kux, H. J. H. 2007. Sensoriamento Remoto e SIG avançados – novos sistemas sensores: métodos inovadores. São Paulo: Oficina de Textos, 2ª Ed. 303 p.

Bonham-Carter, G. F. 1996. *Geographic Information Systems for Geoscientists - Modelling with GIS*. Kindlington: Pergamon Press, 2º ed., 400 p.

Borges, L. A. C. 2008. *Aspectos técnicos e legais que fundamentam o estabelecimento das áreas de preservação permanente (APP)*. Tese de doutorado. Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG. 192p.

Brasil. *Ementa Constitucional nº 32 de 11 de setembro de 2001*. Altera dispositivos dos arts. 48, 57, 61, 62, 64, 66, 84, 88 e 246 da Constituição Federal, e dá outras providências.Disponível em: <http://www010.dataprev.gov.br/sislex/paginas/30/2001/32.htm>. Acesso em: setembro de 2010.

BRASIL. Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Brasília. Acesso em: 21 de junho de 2009. Disponível em: <http://www.concar.ibge.gov.br/indexf7a0.html?q=node/41>.

Brasil. *Decreto nº 23.793, de 23 de janeiro de 1934*. Institui o Código Florestal. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: <http://www.jusbrasil.com.br/legislacao/116688/decreto-23793-34>. Acesso em: novembro de 2009.

Brasil. *Decreto nº 4.340 de 22 de agosto de 2002*. Regulamenta artigos da Lei no 9.985, de 18 de julho de 2000, que dispõe sobre o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/D4340.htm>. Acesso em: setembro de 2009.

Brasil. *Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965*. Institui o Novo Código Florestal (com alterações introduzidas pela Lei 7.803, de 18 de julho de 1989 que altera a redação da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e revoga as Leis nºs 6.535, de 15 de junho de 1978 e 7.511, de 7 de julho de 1986). Diário Oficial da União, Brasília, DF (1965). Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L4771.htm>. Acesso em: novembro de 2008.

Brasil. *Lei nº 7.511, de 7 de Julho de 1986*. Altera dispositivos da Lei 4771, de 15 de Setembro de 1965, que instituiu o código florestal. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L7511.htm>. Acesso em: novembro de 2010.

Brasil. *Lei nº 7.803, de 18 de Julho de 1989*. Altera a redação da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e revoga as Leis nºs 6.535, de 15 de junho de 1978, e 7.511, de 7 de julho de 1986. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L7803.htm>. Acesso em: outubro de 2010.

Brasil. *Lei nº 9.985, de 18 de Julho de 2000*. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9985.htm>. Acesso em: novembro de 2010.

Brasil. *Medida Provisória nº 2.166-67, de 23 de agosto de 2001*. Regulamenta o inciso II dos § 1º e o 4º do art. 225 da Constituição, os art. 1º, 8º alínea j, 10, alínea c, 15 e 16, alíneas 3 e 4, da Convenção sobre a Diversidade Biológica, dispõe sobre o acesso ao patrimônio genético, a proteção e o acesso ao conhecimento tradicional associado, a repartição de benefícios e o acesso à tecnologia e transferência de

tecnologia para a sua conservação e utilização, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/licenciamentoo/legislacao/federal/med_provissoria/2001_Med_Prov_2166_67.pdf>. Acesso em: Setembro de 2010.

Brasil. *Projeto de Lei Nº 3225, de 2008*. Altera e acresce dispositivos à Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.camara.gov.br/sileg/Prop_Detalhe.asp?id=389968>. Acesso em: Fevereiro de 2010.

Brasil. *Projeto de Lei, 3517/08.* Flexibiliza os limites de áreas de preservação permanente (APP) localizadas no perímetro urbano. Disponível em: < http://noticias.ambientebrasil.com.br/exclusivas/2008/08/08/39926-exclusivo-sos-mata-atlantica-analisa-projeto-de-lei-que-da-aos-municipios-poder-de-alterar-limites-de-apps.html>. Acesso em: Fevereiro de 2010.

Brasil. *Projeto de Lei, 4006/08. autorizaria os Estados e o Distrito Federal a regularem a utilização das áreas de florestas ou outras formas de vegetação situadas nas margens de rios, lagos, lagoas ou reservatórios d´água naturais ou artificiais, quando se tratar de áreas urbanas. Disponível em:* < http://pt.shvoong.com/law-and-politics/enviromental-law/2074901-novo-projeto-autoriza-estados-regular/>. Acesso em: Fevereiro de 2010.

Brasil. *Projeto de Lei, 4619/09.* Determina as condições para a recomposição das áreas de preservação permanente (APP) desprovidas total ou parcialmente de vegetação nativa dentro de propriedades rurais. *Disponível em:* <http://www.fiemg.org.br/admin/BibliotecaDeArquivos/Image.aspx?ImgId=23070&TabId=5552>. Acesso em: Fevereiro de 2010.

Brasil. *Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002*. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Disponível em:<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html>. Acesso em setembro de 2009.

Brasil. *Resolução CONAMA Nº 302, de 20 de Março de 2002*. Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. Disponível em:

<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30202.html>. Acesso em outubro de 2009.

Brasil. 1998. *Manual Técnico de Convenções Cartográficas (1ª parte) – T 34 - 700.* Brasília: Ministério da Defesa - Exército Brasileiro.

Brasil. 2006. Mapeamento da Cobertura Vegetal do Bioma Mata Atlântica, ano base 2002. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. *Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica (Probio).* Convênio UFRJ / IESB / UFF. Projeto Integrado para Mapeamento da Cobertura Vegetal do Brasil na escala 1:250.000.

Buckner, J.; Pahl, M.; Stahlhut, O. & Liedtke, C. E. 2001. GEOAIDA - Aknowledge-based automatic image data analyzer for remote sensing data. In: ICSC Congress on Computational Intelligence Methods and Applications2001 - CIMA 2001, Bangor, Wales, UK. Proceedings of the Congresson Computational Intelligence Methods and Applications 2001 - CIMA2001 (CD-ROM).

Burrough, P.A. & Mcdonnell, R.A. 1998. *Principles of Geographical Information Systems.* Oxford University Press, New York, 2º ed., 333 pp.

Callicott, J. B.; Crowder, L. B. & Mumford, K. 1999. Current Normative Concepts in Conservation. Conservation Biology, 13 (1): 22-35.

Câmara, G. & Medeiros, J. S. 1998. Princípios Básicos em Geoprocessamento. *In: Sistema de Informações Geográficas*. Aplicações na Agricultura. Brasília, Embrapa – SPI/Embrapa – CPAC, p. 03 – 12.

Camargo, L. H. R. 2005. *A ruptura do meio ambiente: conhecendo as mudanças ambientais do planeta através de uma nova concepção da ciência: a geografia da complexidade*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 204 p.

Carvalho, M. S., Pina, M. de F. de. & Santos, S. M. 2000. *Conceitos básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia aplicados à saúde.* Brasília. Organização Panamericana da Saúde/ Ministério da Saúde, 124 p.

Christofoletti, A. 1999. *Modelagem de sistemas ambientais.* 1ª edição. São Paulo: Editora Edgard Blücher.

Costa, G. A. O. P.; Pinho, C. M. D.; Feitosa, R. Q.; Almeida, C. M.; Kux, H. J. H.; Fonseca, L. M. G. & Oliveira, D. 2008. InterIMAGE: Uma plataforma cognitiva

open source para a interpretação automática de imagens digitais. Revista Brasileira de Cartografia – RBC, nº 60/4, p.331-337.

Cruz, C. B. M. 2000. *As bases operacionais para a modelagem e implementação de um banco de dados geográficos em apoio à gestão ambiental - um exemplo aplicado à bacia de Campos, RJ.* Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Depto. de Geografia, IGEO/UFRJ, 394 p.

Dean, W. 1996. *A ferro e fogo: A história e a devastação da Mata Atlântica Brasileira*. São Paulo, Companhia das Letras, 449p.

ESRI - Environmental Systems Research Institute. Help on line. Disponível em: <http://resources.esri.com/arcgisdesktop/>. Acesso em abril de 2010.

ESRI - Environmental Systems Research Institute. Spatial Analyst Tool – How to Path Distance Work. Local Help. Disponível em: <C:\Program Files\ ArcGIS\Desktop10.0\help\spatial_analyst_toolbox.chm>. Acesso em Dezembro de 2011.

ESTRUTURAR. 2005. *Programa de Monitoramento da Mata Atlântica da APA Petrópolis: Mapeamento de Vegetação e Uso do Solo*. Setembro de 2005.

Felgueiras, C. A. 1997. *Apostila do Curso de Modelagem Digital de Terreno e Aplicações*. São José dos Campos, INPE, 48 p.

Felgueiras, C. A. & Câmara, G. 1999. Modelagem Numérica de Terreno. In: Câmara, G.; Davis, C.; Monteiro, A.M.V. (org.) Introdução à ciência da geoinformação. São José dos Campos: INPE, 1999. Cap. 7. Disponível em: http://www.dpi.ipne.br/livros.php. Acesso em: 28 de Novembro de 2010.

Fernandes, M.C. 2004. *Desenvolvimento de Rotina de Obtenção de Observações em Superfície Real: Uma Aplicação em Análises Geoecológicas.* Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Depto. de Geografia, IGEO/UFRJ, 263f.

Fernandes, M.C. 2009. Discussões conceituais e metodológicas do uso de geoprocessamento em análises geoecológicas In: *Questões metodológicas e novas temáticas na pesquisa geográfica*.1 ed.Rio de Janeiro : Publit, , p. 280-299.

Fernandes, M.C. & Menezes, P. M. L. 2005. Comparação entre métodos para geração de MDE para a obtenção de observações em superfície real no maciço da Tijuca-RJ. *In: Revista Brasileira de Cartografia*, nº 57 (2), pp. 154 - 161.

Forman, R.T.T. 1995. *Land mosaics: the ecology of landscapes and regions.* Cambridge University press, 631p.

Forman, R.T.T. & Godron, M. 1986. Overall structure. *In: Landscape Ecology.* New York: wiley, cap. 6, pp. 191 - 221.

FUNDAÇÃO COPPETEC. 2002. Plano de proteção de mananciais e sustentabilidade do uso do solo. *Projeto de Gestão dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.* Agência Nacional das Águas (ANA).

Garbrecht, J. & Martz, L. W. 2000. Digital elevation model issues in water resources modeling. *In: MAIDMENT, D.; DJOKIC, D. (Eds). Hydrologic and hydraulic modeling support with geographic information systems.* Redlands: Environmental Systems Research Institute, p.1-28.

Hott, M.C.; Guimarães, M. & Miranda, E. E. 2005. Um método para a determinação automática de áreas de preservação permanente em topos de morros para o Estado de São Paulo. *In: Anais Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.* Goiânia: INPE, Artigos, p. 3061-3068.

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. 2007. *Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental da Região Serrana de Petrópolis.* Brasília, 489 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE. 2006. *Ortofotos Projeto Rio de Janeiro 1:25.000.* Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/ortofoto/Projeto_RJ25/TIF/>. Acesso em: Setembro 2010.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE. 2010. *Imagens ALOS AVNIR-2, CD 1 ALAV2A177884050 de 29 de Julho de 2009, CD 2 ALAV2A187074050 de 27 de Maio de 2009.*

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE. 2012. Modelo TOPODATA, folha 22-435ZN. Disponível em: < http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>. Acesso em 12 março de 2010.

InterIMAGE – DPI wiki. Disponível em: <http://wiki.dpi.inpe.br/doku.php?id=interimage>. Acesso em 20 nov.2011.

Jordan, C.F. 1969. Derivation of leaf area index form quality of light on the forest floor. Ecology, 50:663-666.

Lang, S. & Blaschke, T. 2009. *Análise da Paisagem com SIG.* Tradução Hermann Kux. São Paulo. Oficina de Textos, 424p.

Klink, H. 1974. Geoecology and natural regionalization - bases for environmental research. *In: Applied Sciences and Development*. Institute for Scientifc Co-operation. vol. 4, pp. 48 - 73.

Meirelles, M.S. P. 1997. *Análise Integrada do Ambiente através de Geoprocessamento – Uma proposta Metodológica para Elaboração de Zoneamentos.* Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em Geografia, Departamento de Geografia, IGEO/UFRJ, 280p.

Menezes, P.M.L. 2000. *A interface Cartografia-Geoecologia nos estudos diagnósticos e prognósticos da paisagem: um modelo de avaliação de procedimentos analítico-integrativos.* Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Depto. de Geografia, IGEO/UFRJ, 208 f.

Miceli, B.S. 2010. *Avaliação de métricas da paisagem baseadas em observações em superfície real para a análise de fragmentação florestal*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Depto. de Geografia, IGEO/UFRJ.

Milaré, Edis. *Direito do ambiente: doutrina, jurisprudência, glossário. 5ª. edição reformulada, atualizada e ampliada.* Editora Revista dos Tribunais. São Paulo, SP. 2007. 1280p.

Monteiro. C.A.F. 1978. Derivações antropogênicas dos geossistemas terrestres no Brasil e alterações climáticas: perspectivas agrárias e urbanas ao problema da elaboração de modelos de avaliação. *Anais do Simpósio Sobre a Comunidade Vegetal, como Unidade Biológica, Turística e Econômica*. São Paulo: ACIESP, pp. 43-74.

Moreira, M. A. 2001. *Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de aplicação*. São José dos Campos: INPE. 250 p.

Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C. G., Fonseca, G. A. B., Kent, J. 2000. *Biodiversity hotspots for conservation priorities*. Nature 403: 853-858.

Naveh, Z. & Lieberman, A. 1993. *Landscape Ecology: Theory and Application*, 2nd Ed. New York. Springer Verlag, 265 p.

Neiva, S. A. 2009. *As áreas de preservação permanente no Brasil: a percepção de especialistas*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, 119f.

Pagani, Y. V. 2003. O processo de gestão ambiental participativa e voluntária na APA Petrópolis. In*: Gerenciamento de Áreas de Proteção Ambiental no Brasil.* Curitiba: Fundação O Boticário.

Ponzoni, J. F. & Shimabukuro, Y. E. 2007. Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação. São José dos Campos, São Paulo. Editora Parêntese.

Reis, R.B. 2008. *Mapeamento das áreas de preservação permanentes (APP) como subsídio à elaboração de estratégias de conservação e recuperação – Estudo de caso na APA do rio São João/Mico-Leão-Dourado.* Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Depto. de Geografia, IGEO/UFRJ. 120f.

Ribeiro, C. A. A. S; Soares, P.V; Oliveira, A. M. S; & Gleriani, J. M. 2005. O Desafio da Delimitação de Áreas de Preservação permanente. *In: Revista Árvore, Sociedade de Investigações Florestais.* Viçosa, v. 29, n. 2, p.203-212.

Risser, P.G.; Karr, J.R. & Forman, R.T.T. 1984. *Landscape ecology: directions and approaches*. Illions Natural History Survey Special Publications 2.

Rodriguez, J. M. M.; Silva, E. V.; Cavalcanti, A. P. B. 2007. *Geoecologia das Paisagens: Uma visão geossistêmica da análise ambiental.* Fortaleza, Edições UFC, 222p.

Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Schell, J. A. & Deering, D. W. 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3. Proceedings. Washington, v.1, Sec.A, p.309-317.

Serigatto, E. M. 2006. *Delimitação automática das áreas de preservação permanentes e identificação dos conflitos de uso da terra na bacia hidrográfica do Rio Sepotuba - MT.* Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Viçosa, 203f.

Sousa, G. M. 2009. *Mapeamento Geoecológico da Potencialidade à Ocorrência de Incêndios no maciço da Pedra Branca/RJ – Rio de Janeiro.* Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 143 fls.

Souza, L. G.; Sousa, G. M. de; Coura, P. H. F & Fernandes, M. C. F. 2009. Avaliação de Modelos Digitais de Elevação para Estudos Geoecológicos no Maciço da Pedra Branca, Rio de Janeiro, Brasil. In: Anuário do Instituto de Geociências, Universidade federal do Rio de Janeiro, v. 32-1, p. 21-33.

Tabarelli, M.; Pinto, L. P.; Silva, J. M. C.; Hirota, M. M.; Bedê, L. C. 2005. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. *In: MEGADIVERSIDADE*, v. 1, n. 1.

Toutin, T. 2006. Comparison of 3D physical and empirical models for generating DSMs from stereo HR images. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Bethesda, v.72, n.5, p.597-604.

Troll, C. 1939. *Luftboldplan und ökologische bodenforschung.* Zeistscrift der Gesellschaft fúr Edkunde zer Berlin, p.p. 241-298.

Viana, E. C. 2004. *Análise jurídico-dogmática da legislação florestal e do direito ao ambiente frente à função social da propriedade*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 169p.

Wikipédia. 2010. Distância Euclidiana. Disponível em: < http://pt.wikipedia.org/wiki/Dist%C3%A2ncia_euclidiana>. Acesso em 20 nov.2011.

Xavier da Silva, J. 2000. Geomorfologia, análise ambiental e geoprocessamento. *In: Revista Brasileira de Geomorfologia*, Rio de Janeiro, R.J., ano 1(1): 48 - 58.

Zonneveld, I. S. 1972. *Textbook of Photointerpretation*, Vol 7. Chapter 7: Use of aerial photointerpretation in Geography and Geomorphology. ITC. Enschede.

ANEXO 1

APP 1.0

Link para Download:

Versão 6 – http://dl.dropbox.com/u/3069130/APP_1.0_v6.rar

Versão 5 – http://dl.dropbox.com/u/3069130/APP_1.0_v5.rar

Versão 4 – http://dl.dropbox.com/u/3069130/APP_1.0_v4.rar

Versão 3 – http://dl.dropbox.com/u/3069130/APP_1.0_v3.rar

Versão 2 – http://dl.dropbox.com/u/3069130/APP_1.0_v2.rar

Versão 1 – http://dl.dropbox.com/u/3069130/APP_1.0_v1.rar

ANEXO 2

Documentação do Programa APP 1.0 v3

APP – Área de Preservação Permanente 1.0

Documentação do Código Fonte

Nome da Aplicação: APP – Área de Preservação Permanente 1.0

Data da Compilação: 08/11/2011

Desenvolvedor: Tiago Badre Marino / Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal do Rio de Janeiro e Laboratório de Geoprocessamento Aplicado da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Ambiente de Desenvolvimento: Borland Delphi 5

Entradas:

- Mapa de Superfícies Líquidas, nos formatos Bitmap 24 bits (.BMP) ou TIFF (.TIF), com arquivo auxiliar de coordenadas BPW/TFW.

Figura 1 - Exemplo de Mapa de Superfícies Líquidas no formato Bitmap (BMP)

```
5.5000000000
0.0000000000
0.0000000000
-5.5000000000
667235.0497008970
7528978.3671705583
```

Figura 2 - Exemplo de arquivo auxiliar (BPW), contendo informações de georreferenciamento do Mapa de Superfícies Líquidas

- Mapa de Modelo Digital de Elevação (MDE), no formato ASCII (.TXT ou .ASC).

```
ncols         8812
nrows         440
xllcorner     667013,30478875
yllcorner     7526625,5955193
cellsize      5,5
NODATA_value  -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
-9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999 -9999
```

Figura 3 - Exemplo de arquivo de Modelo Digital de Elevação (MDE) no formato txt

Saída: De acordo com o tipo de processamento selecionado é possível gerar dois tipos de mapas resultantes do processamento:

- APP com MDE: Processa a geração de Área de Preservação Ambiental no entorno da superfície líquida levando em conta o valor Z, provido pelo MDE, ou seja, considerando a elevação do terreno.
- APP sem MDE: Processa a geração de Área de Preservação Ambiental no entorno da superfície líquida **SEM LEVAR EM CONTA** o valor Z, provido pelo MDE, ou seja, **DESCONSIDERANDO** a elevação do terreno.

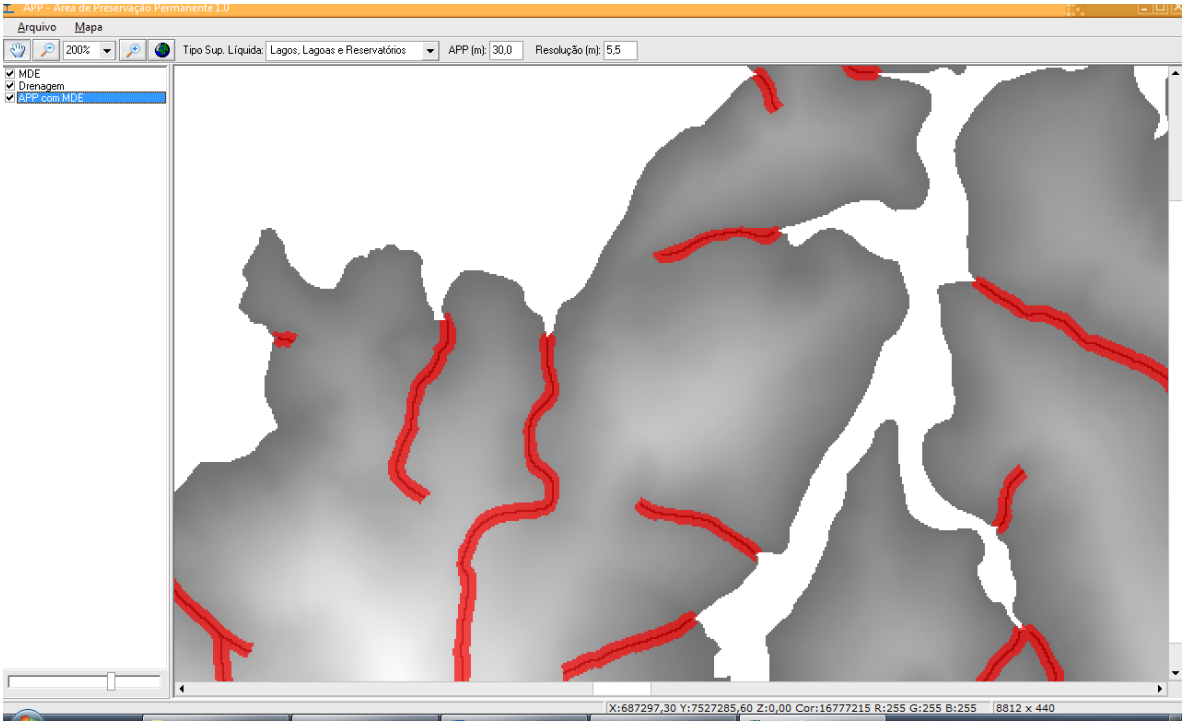


Figura 4 - Mapa resultante do Processo de geração de APP com MDE

Os mapas resultantes do processamento podem ser exportados para arquivo nos formatos ASCII (.ASC) ou Bitmap (.BMP), este último também gera o arquivo auxiliar (.BPW) com informações de georreferenciamento do mapa.

Processamento: A seguir, apresenta-se o algoritmo gerador do mapa resultante a partir das entradas.

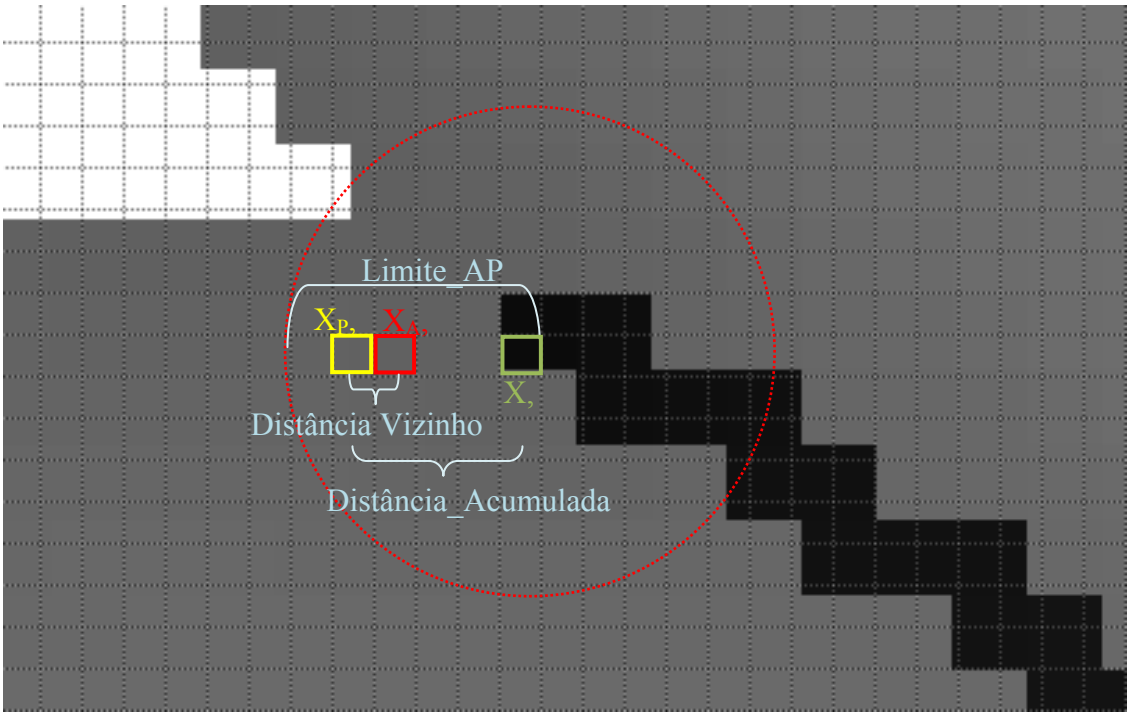


Figura 5 - Diagrama de processamento do algoritmo

ANEXO 3

Código do Programa APP 1.0 v3

```
procedure TFMPrincipal.Processar_APP(Com_MDE: Boolean);
var X, Y, Cor_DNG , Cor_Fundo, Posicao, i : Integer;
    Distancia_Acumulada, Distancia_Vizinho, degInRad, Limite_APP,Resolucao,hP,hA : Real;
    XA, YA, XP, YP : Real;
    IncX, IncY, YAInt, XAInt, XPInt, YPInt : Integer;
begin
  // Limite APP Drenagem varia em função da largura do rio
  // Registrando a distância limite (em metros) na variável Limite_APP
  Limite_APP := StrToFloat(EDAPP.Text);
  // Resolucao do mapa
  Resolucao := StrToFloat(EDResolucao.Text);
  // Registrando o indice do Layer Drenagem na variável Posicao
  Posicao := TOC.Items.IndexOf('Drenagem');
  // Registrando a cor de fundo do mapa de Sup. Líquida.  Assumo que sempre o
  // primeiro pixel do mapa Sup. Líquida(pixel 0,0) não é drenagem, ou seja,
  // é a cor de fundo.  Ao processar, o algoritmo só pinta APP em pixels
  // diferentes de Cor_Fundo, ou seja, pixels de Sup. Líquida
  Cor_Fundo := IMIMagem.Layers[Posicao].Bitmap.VclBitmap.Canvas.Pixels[0,0];
  // Adicionando novo layer, que apresentará o resultado do processamento
  IMIMagem.LayersAdd;
  // Este layer apresentará as mesmas dimensões do Layer
  // Sup. Líquidas(Drenagem)
  IMIMagem.Layers[IMIMagem.LayersCount - 1].Bitmap.VclBitmap.Height :=
IMIMagem.Layers[Posicao].Bitmap.VclBitmap.Height;
  IMIMagem.Layers[IMIMagem.LayersCount - 1].Bitmap.VclBitmap.Width :=
IMIMagem.Layers[Posicao].Bitmap.VclBitmap.Width;
  // Será usada uma matriz para registrar os pixels que serão pintado no mapa resultante.
  // A matriz será inicializada com 0 (False) e receberá 1 (True) toda vez que o pixel da coordenada
  // precisar ser marcado como ponto de buffer.  Isto agiliza bastante o processo.
  // Ao final a imagem será percorrida, e o pixel correspondente pintado
  for Y := 0 to Pred(IMIMagem.Layers[IMIMagem.LayersCount - 1].Bitmap.VclBitmap.Height) do
  begin
    for X := 0 to Pred(IMIMagem.Layers[IMIMagem.LayersCount - 1].Bitmap.VclBitmap.Width) do
    begin
      MAPP[X,Y] := False;
    end;
    Pinta_Progresso('1/3 - Inicializando Matriz APP...',Y,
                IMIMagem.Layers[IMIMagem.LayersCount - 1].Bitmap.VclBitmap.Height - 1);
  end;
  // Transforma todo o layer do resultado como transparente (Color = 0)
  // Só serão opacos os pixels que representarão APP
  IMIMagem.Layers[IMIMagem.LayersCount - 1].Bitmap.AlphaChannel.Canvas.Brush.Style := bsSolid;
  IMIMagem.Layers[IMIMagem.LayersCount - 1].Bitmap.AlphaChannel.Canvas.Brush.Color := 0;
  IMIMagem.Layers[IMIMagem.LayersCount - 1].Bitmap.AlphaChannel.Canvas.FillRect(
    Rect(0,0,
        Pred(IMIMagem.Layers[IMIMagem.LayersCount - 1].Bitmap.VclBitmap.Width),
        Pred(IMIMagem.Layers[IMIMagem.LayersCount - 1].Bitmap.VclBitmap.Height)
        )
  );
  // Estou criando um Bitmap de 1 Bit porque só preciso de uma cor para representar o buffer. Agiliza o
processo
  IMIMagem.Layers[IMIMagem.LayersCount - 1].Bitmap.VclBitmap.PixelFormat := pf1bit;
  // Coloca Layer resultante como invisível para agilizar o processamento
  IMIMagem.Layers[IMIMagem.LayersCount - 1].Visible := False;
  // Iniciar a iteração para cada linha (Y) do mapa de Sup. Líquida
```

```
 // desde a extremidade superior (0) até extremidade inferior (Altura-1)
 for Y := 0 to IMIMagem.Layers[Posicao].Bitmap.VclBitmap.Height - 1 do
 begin
  // Para cada linha, realização iteração para cada coluna (X)
  for X := 0 to IMIMagem.Layers[Posicao].Bitmap.VclBitmap.Width - 1 do
  begin
   // Vou verificar se estou passando por um PIXEL diferente do Fundo (Cor_Fundo)
   // Caso seja, significa que estou em um pixel de sup. líquida pois considera-se
   // que este mapa apresenta apenas duas classes (cores): Sup. Líquida e não Sup. Líquida (Fundo)
   if (MDNG[X,Y] = True) then
   begin
    // Verificando se o pixel da Sup. Líquida é de borda
    // Basta verificar se AO MENOS UM pixel no entorno do atual não é Sup. Líquida
    if (MDNG[X + 1,Y    ] = False) or
       (MDNG[X + 1,Y + 1] = False) or
       (MDNG[X,    Y + 1] = False) or
       (MDNG[X - 1,Y + 1] = False) or
       (MDNG[X - 1,Y    ] = False) or
       (MDNG[X - 1,Y - 1] = False) or
       (MDNG[X    ,Y - 1] = False) or
       (MDNG[X + 1,Y - 1] = False) then
     begin
       // Descobri que o Pixel atual é de borda.
       // Então vou processar um teste radial, variando de 0 a 360 graus
       for i := 0 to 360 do
       begin
         // Fato de conversão entre graus e radianos.
         // Faço isso porque as funções cos e sin usam parâmetros em radianos
         degInRad := i*PI/180;
         // Em cada pixel, inicio a distância (em metros) como 0 e vou acumulado a cada teste do pixel
vizinho
         Distancia_Acumulada := 0;
         XA := X;
         YA := Y;
         XPInt :=  X;
         YPInt :=  Y;
         XP := X;
         YP := Y;
         // Para cada angulo será verificada a distância real (com MDE) entre
         // um pixel e seu vizinho.  Esta distância será acumulada na variável
         // Distancia, e vou andando na direção radial até que a Distancia
         // acumulada seja maior que a distância limite da APP
         // os demais condicionais (XP >=0) and .... são para garantir que os
         // testes nunca transpassarão os limites do mapa analisado
         while (Distancia_Acumulada <= Limite_APP) and (XP >= 0) and
              (XP <= IMIMagem.Layers[Posicao].Bitmap.VclBitmap.Width) and
              (YP >= 0) and (YP <= IMIMagem.Layers[Posicao].Bitmap.VclBitmap.Height) do
         begin
           // Registrando o pixel atual na matriz.  Se entrou neste while é porque
           // Este pixel está dentro da condição, onde a distância deste pixel até
           // o pixel origem do teste ainda é menor do que a distância limite da APP
           MAPP[XPInt,YPInt] := True;
           // X e Y anteriores passarão a o X e Y atual respectivamente
           // Desta forma avanço o teste para o pixel vizinho, na direção do ângulo atual
           XA := XP;
           YA := YP;
           // XP é o X vizinho ao XA, na direção do ângulo atual.  Vou avançar para ele para verificar
           // a distância entre estes dois e somar ao acumulado até o XA
           XP := XP + cos(degInRad);
           YP := YP + sin(degInRad);
```

```
          XPInt := Round(XP);
          YPInt := Round(YP);
          XAInt := Round(XA);
          YAInt := Round(YA);
          // Pegano a altura do XA (hA) e de seu vizinho, XP (hP) para fazer o cálculo Pitágora nas 3
dimensões
          hP := MDTM[XPInt,YPInt];
          hA := MDTM[XAInt,YAInt];
          // Caso proceda o algoritmo sem levar em conta, vou igualar as alturas sempre.
          // Assim o algoritmo não leverá em conta o MDE
          if not (Com_MDE) then
          begin
            hP := 1;
            hA := 1;
          end;
          // Acumula-se a distância do pixel atual até o pixel origem do teste
          // somado à distância do pixel atual ao seu vizinho
          Distancia_Vizinho :=Round(Sqrt (Sqr(XP*Resolucao - XA*Resolucao)+Sqr(YP*Resolucao -
YA*Resolucao)+Sqr(hP - hA)));
          Distancia_Acumulada := Distancia_Acumulada + Distancia_Vizinho;
         end;
       end;
      end;
    end;
   end;
   // Pintanto barra de progresso a cada iteração de Y (de 0 a Altura-1)
   Pinta_Progresso('2/3-Processando geração APP para Sup.
Líquidas',Y,IMIMagem.Layers[Posicao].Bitmap.VclBitmap.Height - 1);
  end;
  // Pintando o mapa resultante em função dos valores da matriz MAPP
  for Y := 0 to Pred(IMIMagem.Layers[IMIMagem.LayersCount - 1].Bitmap.VclBitmap.Height) do
  begin
    for X := 0 to Pred(IMIMagem.Layers[IMIMagem.LayersCount - 1].Bitmap.VclBitmap.Width) do
    begin
      // Caso o valor do elemento MAP[X,Y] seja verdadeiro (1), pinto com a cor preta (0)
      if (MAPP[X,Y]) then
      begin
        IMIMagem.Layers[IMIMagem.LayersCount - 1].Bitmap.VclBitmap.Canvas.Pixels[X, Y] := 0;
        IMIMagem.Layers[IMIMagem.LayersCount - 1].Bitmap.AlphaChannel.Canvas.Pixels[X, Y] := 255;
      end;
    end;
    Pinta_Progresso('3/3 - Preenchendo mapa APP a partir da matriz...',Y,
       IMIMagem.Layers[IMIMagem.LayersCount - 1].Bitmap.VclBitmap.Height - 1);
  end;
  // Retorna o Layer resultanto para Visível
  IMIMagem.Layers[IMIMagem.LayersCount - 1].Visible := True;
  // Escrevendo o tipo de mapa resultante no painel de layers
  if Com_MDE then
    TOC.Items.Add('APP com MDE - ' + EDAPP.Text + ' mts')
  else
    TOC.Items.Add('APP sem MDE - ' + EDAPP.Text + ' mts');
  // Colocando o layer resultante como ativo
  TOC.ItemIndex := TOC.Items.Count - 1;
  TOC.Checked[TOC.Items.Count - 1] := True;
  // Colocando transparência do layer resultante para 100/255
  IMIMagem.Layers[IMIMagem.LayersCount - 1].Transparency := 100;
  IMIMagem.Refresh;
  // Fim do Processamento de APP para Sup. Líquidas
end;
```