

**Universidade Federal de Minas Gerais  
Instituto de Geociências  
Programa de Pós-Graduação  
Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais**

**Esperança de Lacerda Peixoto**

**CARACTERIZAÇÃO E PERSPECTIVAS DO  
PARQUE ESTADUAL DO RIO DOCE – MG:  
UMA ABORDAGEM A PARTIR DE IMAGENS DE  
SENSORIAMENTO REMOTO E  
FOTOGRAFIAS HEMISFÉRICAS DE DOSSEL**

**Belo Horizonte**

**2012**

Esperança de Lacerda Peixoto

CARACTERIZAÇÃO E PERSPECTIVAS DO  
PARQUE ESTADUAL DO RIO DOCE – MG:  
UMA ABORDAGEM A PARTIR DE IMAGENS DE  
SENSORIAMENTO REMOTO E  
FOTOGRAFIAS HEMISFÉRICAS DE DOSSEL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Philippe Maillard

Co-orientador: Prof. Dr. Francisco Barbosa

Belo Horizonte

2012

FOLHA DE APROVAÇÃO

Dedico este trabalho aos meus pais,  
Maria do Carmo e José Peixoto.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Maria do Carmo e José Peixoto, pelo apoio e dedicação, por acreditarem no meu potencial e me incentivarem a dar o meu melhor e ir sempre mais longe. Vocês são meu espelho.

À minha irmã, Maria Clara, que me inspira com sua inteligência e torna meus dias mais alegres com seu riso.

Ao Paulo Guimarães que me ajudou no campo e que soube ser compreensivo nesta reta final. Obrigada pelo amor e pela companhia.

Ao Prof. Dr. Sérgio Donizete Faria, que como coordenador do Programa de Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais soube ser profissional, enérgico e ao mesmo tempo, sereno. Sua atuação nesta etapa final foi essencial.

Ao Prof. Dr. Philippe Maillard, que de uma forma ou de outra, me fez descobrir que sou capaz de realizar muitas coisas, inclusive este mestrado. Obrigada pelas idas a campo para a coleta de dados e pelo empréstimo de equipamentos. Quem sabe tenhamos outra oportunidade de trabalhar juntos, desta vez, em melhores condições.

Ao Prof. Dr. Francisco Barbosa, que me acolheu e disponibilizou sua biblioteca particular, dados e contatos do PELD. Obrigado por abrir o ICB para mim, pela atenção, pelos livros presenteados. Nesta etapa final você foi fundamental e seu entusiasmo, sem dúvida, me fortaleceu.

Ao Prof. Dr. André Hirsch, um dos melhores professores que conheço, que me acompanhou na caminhada acadêmica, e teve sempre seu ombro amigo motivador, me inspirando e abrindo minha cabeça. Eu te devo muito mesmo!

Aos familiares e amigos pelos conselhos, companhia e por participarem dos momentos de *stress*, relaxamento ou reflexão. Aos colegas de mestrado, por termos dividido salas de aula e de estudo, por trabalharmos juntos, por estarmos na mesma caminhada, por compartilharmos alegrias e angústias; em especial à Júnia, Valéria, Adílio e Ribas. Aos meus irmãozinhos: Ivan, Thiago, Priscillinha, Daniel, Carlos, Renata, Luiz, Taís e Mocotó. Todos os papos, os lanches “em família”, as ajudas urgentes... a convivência foi muito importante! Ivan, obrigada pelo livro e pelas dicas, mesmo antes de sermos colegas de mestrado. Thiago, *merci beaucoup pour m'aider toujours*. Renata, agradeço especialmente a você, por manter contato e pelo empurrão final! Aos meus amigos biólogos (vocês são muitos...) por todas as longas conversas filosóficas nos Butecos da Bio, de uma forma ou de outra, vocês ajudaram a

concretizar muitas das idéias inseridas neste estudo. Aos amigos do CISV, espalhados pelo mundo todo, por estarmos juntos construindo alternativas para um mundo melhor, para a paz através das amizades interculturais. Lara, *ma soeur*. Émilie, *ma amie*. *Les filles de Lyon*, Céline, Roxane, Mathilde e Emilie, *du coup, merci!* Hortaliças, obrigada por tudo! Aline, obrigada pelas fofocas descompromissadas! Muzzi, meu agradecimento especial pela ajuda nas análises estatísticas! Valeu! Albert Luciano e Andrea Viana, que me emprestaram seus ouvidos. Vocês me deram fôlego extra em momentos decisivos. Agradeço muito.

Aos professores, que transmitiram seus conhecimentos, principalmente ao Prof. Dr. Marcos Timbó e ao Prof. Dr. Bernardo Gontijo, que participaram da banca examinadora do seminário e da defesa, contribuindo para meu crescimento acadêmico.

À Maria Paula, a melhor secretária! Sua organização é invejável. À Graça e ao Marcelo por serem tão solícitos e trabalharem com tanta alegria. Vocês são um presente que o laboratório de Limnologia me deu.

Ao Prof. Dr. Anthony Rylands, que como profissional, mas, sobretudo como amigo, me aconselhou na escolha deste caminho. Aos pesquisadores: Evelise Fragoso, que dividiu suas experiências, textos e a mesma paixão pela Biologia. Estendo o agradecimento a sua equipe de trabalho. Thiago Metzker, que contribuiu com sua experiência e sugestões. Marco Otávio, que me ensinou mais do que imagina sobre minha área de estudo. Glauco França, João Stehmann, André Hirsch e demais pesquisadores do PELD – *site 4*, que compartilharam comigo seus dados de campo, sem os quais este estudo não seria tão rico.

Ao Instituto Estadual de Florestas, IEF – MG, por apoiar as pesquisas nos Parques Mineiros e por me confiarem a Licença de Pesquisa e o uso das imagens de satélite. Em especial à Janaína e Denise, pela presteza.

Ao Parque Estadual do Rio Doce, PERD, por ter se tornado encantador objeto de estudo. Em especial ao Marcus Vinícius de Freitas e à Lúcia Morais, que contribuíram muito com o projeto. Não poderia deixar de agradecer ao Cláudio e Xanda, muito bons vizinhos, ao Canela, excelente guia, Geovane, Marquinhos, André, Tião e todos os demais funcionários do Parque, que direta ou indiretamente colaboraram com as visitas de campo. Obrigada por tudo, pessoal!

A ARCELOR MITAL, que permitiu a visita nas áreas de plantio de eucalipto da região, disponibilizou dados e funcionários.

Finalmente agradeço à FAPEMIG, que me concedeu uma bolsa de Mestrado, importante incentivo as novas gerações de pesquisadores deste país.

A todos que de uma forma ou de outra participaram desta etapa da minha vida.

*“L'arbre tout seul, à quoi sert-il ?”*  
Jacques Charpentreau

*“The answer, my friend, is blowin' in the wind...”*  
Bob Dylan

## RESUMO

A Mata Atlântica, importante bioma caracterizado pela elevada biodiversidade e endemismos, é formada por um conjunto de ecossistemas florestais e ecossistemas associados. Apesar de sua magnitude, este *hotspot* encontra-se extremamente ameaçado, pois se calcula que 93% de sua formação original já foi devastada. O desmatamento e a conversão de mata primitiva em outros tipos de cobertura continuam reduzindo a floresta nativa e é no pequeno percentual de Mata Atlântica que ainda resta em Minas Gerais que se encontra o Parque Estadual do Rio Doce (PERD), considerado o maior remanescente contínuo do bioma no estado, abrigando boa parte dos lagos que compõem o sistema lacustre do médio Rio Doce, terceiro maior do país. Ecossistemas florestais sujeitos a altos graus de fragmentação e de isolamento dos remanescentes, como é o caso da Mata Atlântica do vale do médio Rio Doce, estão especialmente susceptíveis a um processo severo de redução de biodiversidade e os elevados níveis de endemismo agravam a situação. A classificação da cobertura vegetal e usos do solo do PERD e entorno pelo método de classificação manual, a partir de imagens de satélite de alta resolução IKONOS, amplia a compreensão da matriz da paisagem na qual a Unidade se insere. Estas imagens oferecem grande acurácia e alto nível de detalhes, que refletem na qualidade dos mapas temáticos produzidos. Nos trópicos, a floresta é um mosaico de estágios sucessionais com limites imprecisos e pode ser necessária a classificação mais refinada deste tipo de cobertura vegetal. A técnica de fotografia hemisférica de dossel, que utiliza objetiva grande angular *fisheye*, vem sendo empregada nos estudos de estrutura do dossel e de transmissão de luz na floresta. A classificação deste tipo de imagem, através do *software* GLA, permite a diferenciação dos tipos de cobertura vegetal florestal, inclusive dos estágios sucessionais de Mata Atlântica. Os produtos extraídos desta classificação podem ser utilizados como informação auxiliar na diferenciação de tipos florestais e a partir deles foi possível a proposição de um modelo preliminar de cobertura vegetal florestal, que diferencia áreas de mata nativa em variados estágios sucessionais, áreas de plantio de eucalipto e áreas mistas. Ainda que preliminar, o modelo proposto mostra-se adequado para a diferenciação dos tipos de cobertura vegetal considerados. O aumento da amostra e a adequações no uso da técnica possibilitarão aprimoramento do modelo. As perspectivas de observação da região abordadas são iniciativas pioneiras. Os resultados alcançados nesta dissertação fornecem elementos e contribuições que poderão viabilizar o direcionamento de esforços de pesquisa e de ações governamentais, importantes para a conservação e o manejo da Mata Atlântica.

## ABSTRACT

The Atlantic Forest, an important biome characterized by high biodiversity and endemism, is formed by a group of forest ecosystems forests and associated ecosystems. Despite its magnitude, this hotspot is extremely threatened, since it is estimated that 93% of its original formation has been devastated. Deforestation and conversion of primitive forest in other types of cover are still reducing the native forest and is at the small percentage of the Atlantic Forest that remains in Minas Gerais which the Rio Doce State Park (PERD) is located, considered the largest continuous patch of this biome in the state, containing many of the lakes of the middle Rio Doce lake system, the third largest in the country. Forest ecosystems with high degrees of fragmentation and isolation of remnants, such as the Atlantic Forest of the middle Rio Doce valley, are especially susceptible to a severe process of biodiversity reduction and the high levels of endemism turns it even worse. The land cover and uses classification of PERD and surrounding from high-resolution satellite images, like IKONOS, using manual methods, expands the understanding of the landscape matrix in which the Park is located. This type of image provides high accuracy and high detail levels, what reflects into the produced thematic maps' quality. In the tropics, the forest is a mosaic of successional stages with imprecise limits and it may require a more refined vegetation cover classification. The canopy hemispherical photograph technique, that uses wide-angle fisheye lens, has been used in many canopy structure and forest light transmission studies. The classification of this type of image, through GLA software, allows the differentiation between forest vegetation classes, including successional stages of Atlantic Forest. The extracted products may be used as auxiliary information in the differentiation of forest types and from them was possible to propose a preliminary model of forest vegetation cover, which differentiates native forest in different successional stages, eucalyptus plantation and mixed areas. Although it is preliminary, the proposed model seems to be adequate for the differentiation of the considered classes. A sample increase and an adequacy of technique use will allow improvement of the model. The observation prospects approached are pioneer initiatives. The results achieved in this research provide insights and contributions that will enable the targeting of research efforts and government actions, both important to Atlantic Forest management and conservation.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES E TABELAS

FIGURA 1 – A Mata Atlântica no Brasil

(Fonte: SOS Mata Atlântica, 2010);

FIGURA 2 – A Mata Atlântica em Minas Gerais

(Fonte: SOS MATA ATLÂNTICA, 2010, p. 16 e 17);

FIGURA 3 – Mapa de localização do Parque Estadual do Rio Doce (PERD);

FIGURA 4 – Mapa altimétrico do PERD e entorno;

FIGURA 5 – Vista panorâmica da região, apresentando o relevo “Mar de Morros”

(Fonte: MOVIMENTO PRÓ-RIO DOCE, 2009);

FIGURA 6 – Fluxograma de atividades desenvolvidas nesta pesquisa;

FIGURA 7 – Mapa de cobertura vegetal e usos do solo do PERD produzido por Hirsch (2003);

FIGURA 8 – Mapa de cobertura vegetal e usos do solo produzido pelo IEF – MG (2008).

FIGURA 9 – Mosaico das imagens IKONOS (2007) do PERD e entorno, com composição RGB falsa cor (4, 3, 2) com 2 m de resolução espacial, construído no ER Mapper;

FIGURA 10 – Técnica da fotografia hemisférica de dossel em campo;

FIGURA 11 – Modelagem da direção norte nas fotografias hemisféricas de dossel;

FIGURA 12 – Adaptação do “Relógio do Sol” e “cruzeta”;

FIGURA 13 – Exemplo de modelagem do norte geográfico na fotografia 046, comprovando a realização correta do registro das direções cardeais.

FIGURA 14 – Esquema utilizado para escolha da projeção de distorção *Stereographic Equal Angle*;

FIGURA 15 – Exemplo do teste realizado para escolha do *color plane* na fotografia 059;

FIGURA 16 – Exemplo de correção realizada com a ferramenta *draw* na fotografia 044;

FIGURA 17 – Resultados das utilidades do GLA para a fotografia 059, de dez/2010, a título de exemplo;

FIGURA 18 – Mapa de cobertura vegetal e usos do solo do PERD e entorno;

FIGURA 19 – Mapa de localização das fotografias de registro das feições classificadas no PERD e entorno;

FIGURA 20 – Mapa de localização das fotografias de registro das feições classificadas no PERD e entorno;

FIGURA 21 – Mapa de localização das fotografias hemisféricas de dossel, com os pontos amostrais das regiões central e oeste;

FIGURA 22 – Mapa de localização das fotografias hemisféricas de dossel, com os pontos amostrais das regiões sul e sudeste;

FIGURA 23 – Cálculos, gráfico de probabilidade normal e histograma de resíduos da regressão simples “Tipo de Cobertura” versus “% Canopy Open”;

FIGURA 24 – Cálculos, gráfico de probabilidade normal e histograma de resíduos da regressão simples “Tipo de Cobertura” versus “LAI 4Ring”;

FIGURA 25 – Cálculos, gráfico de probabilidade normal e histograma de resíduos da regressão simples “Tipo de Cobertura” versus “LAI 5Ring”;

FIGURA 26 – Cálculos, gráfico de probabilidade normal e histograma de resíduos da regressão simples “Tipo de Cobertura” versus “Total Shortwave Extraterrestrial Radiation”;

FIGURA 27 – Cálculos, gráfico de probabilidade normal e histograma de resíduos da regressão simples “Tipo de Cobertura” versus “Above Total”;

FIGURA 28 – Cálculos, gráfico de probabilidade normal e histograma de resíduos da regressão simples “Tipo de Cobertura” versus “Radiation Transmitted Total”;

FIGURA 29 – Cálculos, gráfico de probabilidade normal e histograma de resíduos da regressão múltipla *Stepwise*;

FIGURA 30 – Cálculos da regressão múltipla com as variáveis selecionadas pelo método *Stepwise* que levaram à proposição do modelo;

QUADRO 1 – Características espectrais das imagens geradas pelo satélite IKONOS-II  
(Fonte: EMBRAPA, 2010);

QUADRO 2 – Estudos PELD – *site* 4 selecionados para validação da diferença entre áreas preservadas e impactadas no médio Rio Doce e entre estágios sucessionais de Mata Atlântica da região;

QUADRO 3 – Trilhas percorridas para o registro das fotografias hemisféricas de dossel e respectivos pontos de amostragem;

TABELA 1 – Diversidade e Endemismo da Mata Atlântica Brasileira  
(Fonte: SOS MATA ATLÂNTICA, 2011);

TABELA 2 – Resultados dos cálculos executados pelo *software* GLA.

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

**CNPq:** Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

**ILTER:** *International Long Term Ecological Research Program*

**GIS:** *Geographic Information System* (SIG – Sistemas de Informações Geográficas)

**GLA:** *Gap Light Analyser (software)*

**GPS:** *Global Positioning System* (Sistema de Posicionamento Global)

**IBAMA:** Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

**IBGE:** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**IC:** Iniciação Científica

**IEF – MG:** Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais

**INMET:** Instituto Nacional de Meteorologia

**INPE:** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**LV:** Latossolo Vermelho-Amarelo

**LAI:** *Leaf Area Index* (IAF – Índice de Área Foliar)

**MCT:** Ministério da Ciência e Tecnologia

**MDT:** Modelo Digital de Terreno

**MG:** Minas Gerais

**MMA:** Ministério do Meio Ambiente

**MS:** Multiespectral

**Msc:** Mestrando(a)

**ND:** Número Digital

**PAN:** Pancromática

**PELD:** Programa Brasileiro de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração

**PELD – site 4:** quarto sítio do PELD, PERD e entorno, no vale do médio Rio Doce, MG

**PERD:** Parque Estadual do Rio Doce

**PIB:** Produto Interno Bruto

**P-valor:** Nível Crítico Amostral ou Nível Descritivo Amostral; “significância” estatística de um teste

**R:** Coeficiente de Correlação Amostral

**R<sup>2</sup>:** Coeficiente de Determinação Amostral

**R<sup>2</sup> adj:** Coeficiente de Determinação Amostral Ajustado

**REM:** Radiação Eletromagnética

**RGB:** padrão de composição colorida no espectro visível, vermelho (R), verde (G) e azul (B)

**SAD69:** *South American Datum* proposto em 1969

**SEMAD - MG:** Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais

**SIF:** Sociedade de Investigações Florestais

**SR:** Sensoriamento Remoto

**TEAM:** *Tropical Ecology Assessment and Monitoring Networks* (No Brasil – Ecologia, Avaliação e Monitoramento de Florestas Tropicais)

**UC:** Unidade de Conservação

**UTM:** Universal Transversal de Mercator

**VIF:** *Variance Inflation Factor* (Fator de Inflação da Variância)

**WGS84:** *World Geodetic System* proposto em 1984

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
1.1	Objetivo geral .....	17
1.2	Objetivos específicos .....	17
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	18
2.1	O Bioma Mata Atlântica .....	18
2.1.1	Parque Estadual do Rio Doce e entorno .....	23
2.1.1.1	Programa Brasileiro de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração – <i>site</i> 4 .....	30
2.1.1.2	Projeto Ecologia, Avaliação e Monitoramento de Florestas Tropicais .....	32
2.1.1.3	Convenção Ramsar de Terras Úmidas .....	33
2.2	Sensoriamento Remoto .....	33
2.2.1	Imagens de Satélite .....	34
2.2.1.1	Imagens IKONOS .....	36
2.2.2	Cartografia Temática .....	37
2.3	Fotografias Hemisféricas de Dossel .....	41
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	43
3.1	Dados Secundários .....	46
3.2	Dados Primários .....	54
3.2.1	Classificação das Imagens IKONOS .....	54
3.2.2	Classificação da Fotografias Hemisféricas de Dossel .....	59
3.2.3	Produção de Mapas Temáticos .....	71
3.2.4	Análise Estatística .....	71
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	73
4.1	Mapas Temáticos .....	73
4.2	Modelo de Cobertura Vegetal Florestal .....	80
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	96
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	98
<b>7</b>	<b>ANEXOS</b> .....	104

## 1 INTRODUÇÃO

A imensa faixa territorial do Brasil que se estende do Rio Grande do Sul ao Piauí é configurada por diferentes formas de relevo, paisagens, características climáticas e pela multiplicidade cultural da população nela residente. No entanto, há um aspecto comum que confere unidade a toda essa região: a Mata Atlântica, uma das mais fragmentadas e destruídas florestas do planeta, mas ao mesmo tempo, uma das mais ricas em diversidade de paisagens, fauna, flora e culturas humanas, sendo considerada o bioma com a biodiversidade mais ameaçada do planeta (SOS MATA ATLÂNTICA, 2011).

Classificada como um conjunto de fisionomias e formações florestais, a Mata Atlântica se distribui em faixas litorâneas, florestas de baixada, matas interioranas e campos de altitude, localizadas nas regiões mais populosas do país. A ação humana, devido à sua pressão de ocupação e aos impactos de suas atividades, se configura como a maior ameaça ao já precário equilíbrio da biodiversidade nestes locais (LAGOS & MULLER, 2007).

O desmatamento e a conversão de mata primitiva em outros tipos de cobertura, como agricultura, pastagens e monoculturas de eucalipto continuam reduzindo a floresta nativa e é no pequeno percentual deste bioma que ainda resta em Minas Gerais que se encontra o Parque Estadual do Rio Doce (PERD), considerado o maior remanescente contínuo do bioma no estado, abrigando boa parte dos lagos que compõem o sistema lacustre do médio Rio Doce (IEF – MG, 2008). A Unidade de Conservação (UC) está localizada no Vale do Aço, o maior parque siderúrgico nacional, que abriga também inúmeras áreas de monocultivo de eucalipto para abastecimento da indústria siderúrgica, madeireira e de celulose. No entorno do Parque podem também ser encontradas pequenas propriedades agrícolas, muitas áreas de pasto, manchas de Mata Atlântica em diferentes estágios de sucessão e as demais lagoas características da região.

Ecossistemas florestais sujeitos a altos graus de fragmentação e de isolamento dos remanescentes, como é o caso da Mata Atlântica do vale do médio Rio Doce, estão especialmente susceptíveis a um processo severo de redução de biodiversidade (RELATÓRIO PELD – *site* 4, 2002). Os elevados níveis de endemismo, frequentemente registrados nesse bioma, agravam a situação, dado que espécies raras ou de distribuição restrita tendem a ser eliminadas com maior facilidade, como consequência da redução do *habitat* disponível (RELATÓRIO PELD – *site* 4, 2005, p. 307).

A intensa pressão antrópica no entorno do Parque, além da própria dinâmica natural de clareiras no mesmo, resultou em diversas transformações dessa paisagem, formando um mosaico de diferentes estágios sucessionais (SIF, 1990b). É fundamental monitorar este remanescente, visto que abriga vasta biodiversidade em suas florestas, principalmente as secundárias, extremamente importantes como reserva de diversidade genética, estoque de carbono e nutrientes e reguladoras do ciclo hidrológico (VIEIRA *et al.*, 2003).

A avaliação do uso do solo em função de suas potencialidades e limitações ecológicas, entre outros fatores, é indispensável, tendo-se como referência a sustentabilidade dos recursos naturais (LINO & DIAS, 2003). A caracterização das principais formações florestais do PERD é considerada prioritária para o Instituto Estadual de Florestas<sup>1</sup> (IEF – MG, 2009), e possibilitará a análise de relações ecológico-espaciais. Além disso, a caracterização da cobertura vegetal e usos do solo do seu entorno ampliará a compreensão da matriz da paisagem na qual a Unidade se insere.

Com o avanço tecnológico, fotos aéreas e imagens de satélite começaram a ser utilizadas em estudos ambientais, permitindo avaliação mais rápida e eficiente, necessária às ações de fiscalização e tomadas de decisão, principalmente no âmbito da legislação ambiental (CINTRA, 2007). As imagens de satélite são ferramentas de alto potencial para a caracterização da paisagem e monitoramento de sua transformação e os produtos do Sensoriamento Remoto (SR) minimizam muito os custos deste processo (RIBEIRO, 2007), no entanto, ainda são poucos os estudos ecológicos que fazem uso potencial de imagens de satélite de alta resolução, como as imagens IKONOS.

Estas imagens são indicadas para estudo em escala local e possibilitam compreensão refinada tanto do padrão de cobertura do espaço quanto do grau de alteração deste padrão ao longo do tempo (ANTUNES, 2003 *apud* CINTRA, 2007).

As leis e resoluções que tratam da Mata Atlântica (BRASIL, 1986a; 1986b; 1993; 1996; 2006; 2007a e 2007b) apresentam os dispositivos legais que asseguram a preservação e manejo deste bioma, além de distinguir seus diferentes estágios sucessionais. Elas prevêm a fiscalização das áreas do território nacional cobertas por este tipo de floresta, no entanto as ações são restritas, fato que poderia ser revertido com o aumento do uso de imagens de satélite (RIBEIRO, 2007). Apesar da existência destes dispositivos, o não cumprimento

---

<sup>1</sup> Autarquia vinculada à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), responsável pela preservação e conservação da vegetação, desenvolvimento sustentável dos recursos naturais renováveis, pesquisa em biomassa e biodiversidade, inventário florestal e mapeamento da cobertura vegetal do estado. Propõe e executa as políticas florestais, de pesca e de aquíicultura sustentável e administra as unidades de conservação estaduais.

dessas normas é frequente e por isso, entender e agir nestes locais são estratégias vitais para a manutenção da biodiversidade.

Deste modo, a utilização do SR e do Geoprocessamento como ferramentas de mapeamento e monitoramento de perturbações antrópicas e naturais, aliadas às supervisões em campo, representarão grandes avanços na compreensão entre os padrões expostos nas imagens de satélite à realidade da paisagem local (RODRIGUES *et al.*, 2003). O uso das imagens IKONOS permite aperfeiçoamento nos estudos já realizados no médio Rio Doce, visto que não há registros do uso deste tipo de imagens no PERD e sua zona de amortecimento. O alto nível de detalhes e a grande acurácia oferecidos por estas imagens possibilitam planejamento para atuação mais específica na região, a fim de aprimorar a localização, distribuição e área de abrangência das pesquisas e otimizar a fiscalização das áreas ameaçadas.

Outra abordagem possível para entender a estrutura florestal da região é o uso de fotografias hemisféricas de dossel. As fotografias hemisféricas de dossel podem ser aplicadas desde o nível local de caracterização ecológica da estrutura do dossel até o monitoramento microambiental local. Esta técnica possibilita a caracterização do estado de conservação da floresta através do estudo da distribuição das clareiras e da transmissão de luz no sub-bosque, como indicativos de qualidade ambiental (RICH, 1990). O resultado é um registro permanente da geometria de abertura do dossel, além dos cálculos de Índice de Área Foliar (IAF), quantidade de luz transmitida direta e difusa, entre outros, possibilitando o manejo e a conservação da floresta. Recentemente desenvolvidas, as técnicas de análise digital destas imagens permitem o processamento de um grande número de amostras de maneira mais precisa e eficaz, resultando em tabelas com as medidas individuais de todas as variáveis, podendo ser usadas na proposição de modelos matemáticos explicativos acerca da realidade local.

Apesar de aparentemente óbvia, a diferença entre áreas de Mata Atlântica e de monocultivos de eucalipto pode ser sutil, dependendo do relevo e da orientação das encostas nas quais estas coberturas estão localizadas; por isso em alguns casos, pode haver confusão entre estas classes. A diferenciação da cobertura vegetal florestal em áreas de mata nativa, mista e de eucaliptais no PERD e entorno através de modelos matemáticos é um novo passo, e possibilita descrição mais rápida destes ambientes, fornecendo subsídios para a preservação e recuperação, além de permitir maior precisão na caracterização de seu estado de conservação.

## 1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem a finalidade de mapear as classes de cobertura vegetal e usos do solo do PERD e seu entorno a partir de imagens de satélite de alta resolução através de técnicas de vetorização manual, apoiada em vistorias *in loco* e a partir de técnicas de fotografia hemisférica de dossel através de técnicas de análise digital para a proposição do modelo preliminar de cobertura vegetal florestal, abrangendo os diferentes estágios sucessionais de Mata Atlântica e eucaliptais em diferentes graus de maturação.

## 1.2 Objetivos Específicos

Especificamente, objetiva-se:

- Produzir mapa de localização dos estudos do quarto sítio do Programa Brasileiro de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD – *site* 4) realizados entre 2000 e 2007;
- Selecionar, dentro PELD – *site* 4, estudos que permitam a comparação entre as áreas preservadas em diferentes estágios sucessionais do PERD e as áreas impactadas do seu entorno, comprovando as diferenças ecológicas entre estes locais;
- Caracterizar a cobertura vegetal e usos do solo do PERD e entorno a partir de imagens de satélite IKONOS do ano de 2007 e das observações realizadas em campo em 2009 e 2010;
- Diferenciar os tipos de cobertura vegetal florestal, principalmente os estágios sucessionais da Mata Atlântica, com o auxílio de fotografias hemisféricas de dossel e de imagens de satélite de alta resolução;
- Produzir mapas temáticos de localização, altimetria, classificação da cobertura vegetal e usos do solo do PERD e entorno;
- Propor modelo preliminar de cobertura vegetal florestal que permita distinção entre matas nativa (Mata Atlântica), exótica (eucalipto) e mista, incluindo os estágios sucessionais da primeira.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica deste trabalho, abordando os temas relevantes para o desenvolvimento da pesquisa, reunidos durante o levantamento bibliográfico. São descritos os objetos de estudo e as ferramentas utilizadas para compreendê-los, apresentando as informações disponíveis acerca dos mesmos.

### 2.1 O Bioma Mata Atlântica

A Mata Atlântica, importante bioma caracterizado pela elevada biodiversidade e endemismos (HAFFER, 1974), é um domínio com múltiplas fitofisionomias, descritas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística<sup>2</sup> (IBGE, 1991), formado por um conjunto de ecossistemas florestais e ecossistemas associados (LINO & DIAS, 2003). Originalmente se estendia por mais de 1.362.548 Km<sup>2</sup>, o que corresponde a cerca de 15% do território nacional, atravessando 17 estados brasileiros, avançando a fronteira e atingindo o Paraguai e a Argentina (GALINDO-LEAL & CÂMARA, 2003). A exploração da Mata Atlântica brasileira começou com a chegada dos portugueses, em 1500, cujo interesse principal era a extração da preciosa madeira do pau-brasil (SOS MATA ATLÂNTICA, 2008). Apesar de sua magnitude, o bioma encontra-se extremamente ameaçado, pois se calcula que 93% de sua formação original já foi devastada (LINO, 2002 *apud* LINO & DIAS, 2003), conforme apresentado na FIG. 1.

No Brasil, a população humana exerce enorme pressão de ocupação, visto que 62% da população, em torno de 110 milhões de pessoas, ocupam essa região, dependendo da conservação destes remanescentes para a garantia do abastecimento de água, regulação climática, proteção de encostas e fertilidade do solo, alternativas econômicas sustentáveis, entre outros serviços ambientais (SOS MATA ATLÂNTICA, 2008). Neste Domínio encontram-se a maioria das cidades e os empreendimentos mais dinâmicos da economia brasileira, que respondem por aproximadamente 70% do PIB nacional (LINO *et al.* 2003).

---

<sup>2</sup> Fundação pública da administração federal brasileira criada em 1934 com atribuições ligadas às geociências e estatísticas sociais, demográficas e econômicas.

### Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica 2008-2010

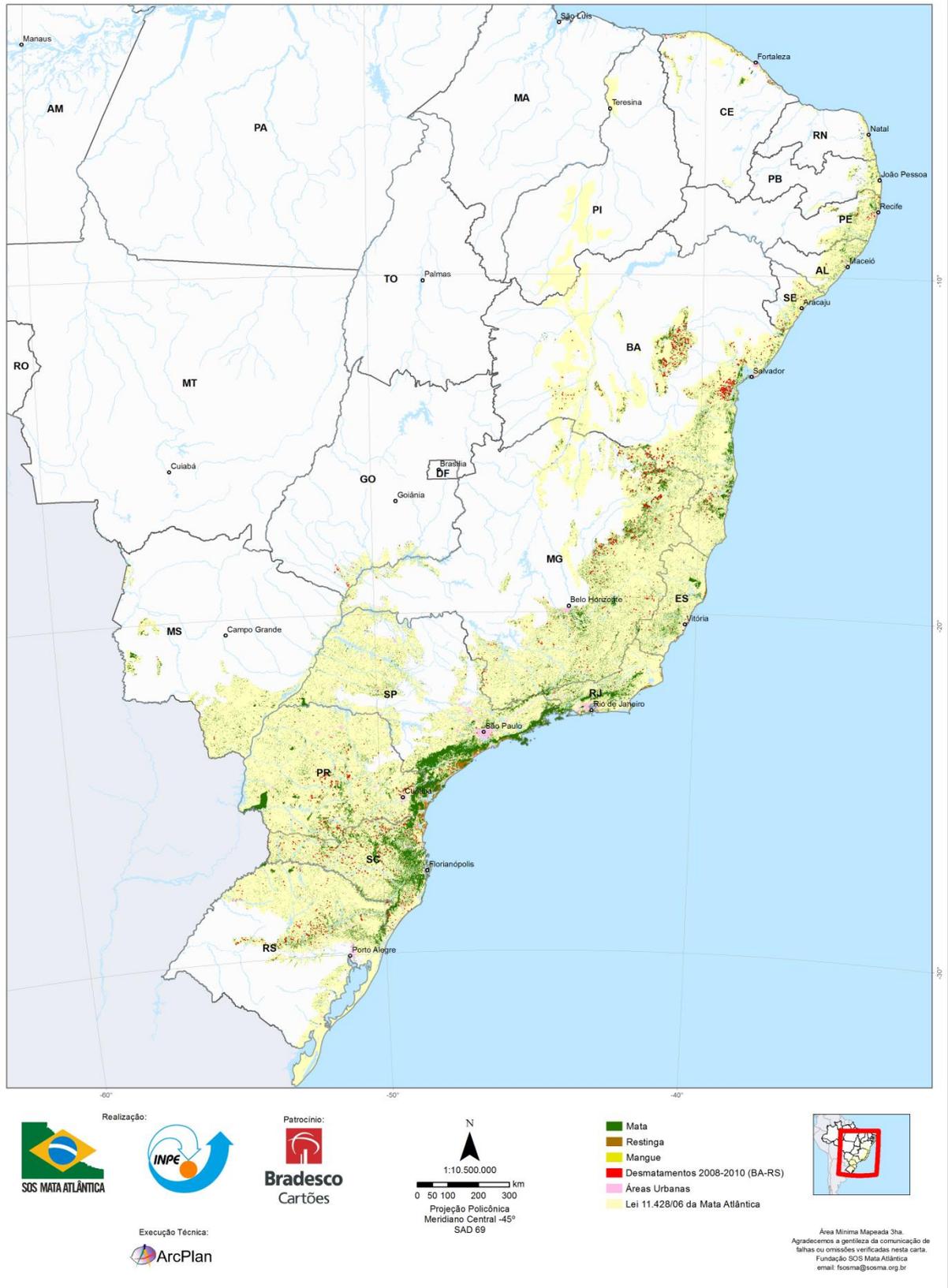


FIGURA 1 – A Mata Atlântica no Brasil.

Em amarelo claro, a cobertura original do bioma (em 1500), em verde os remanescentes atuais, em vermelho, os desmatamentos identificados entre 2008 e 2010 e em rosa as zonas urbanas.

Fonte: SOS Mata Atlântica, 2010.

A Mata Atlântica abriga um dos maiores contingentes de biodiversidade do mundo, caracterizada pelo elevado número de espécies raras e endêmicas, em muitos casos, ameaçadas de extinção. O bioma detém o maior número de espécies de plantas lenhosas (angiospermas) por hectare (450 no sul da Bahia), além de recordes de quantidade de espécies e endemismo em vários outros grupos de plantas (SOS MATA ATLÂNTICA, 2011). Abriga também 383 das 633 espécies de animais ameaçadas de extinção no Brasil, de acordo com o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis<sup>3</sup> (IBAMA) (LINO & DIAS, 2003). A *Conservation International*<sup>4</sup> (CI) reconhece a ameaça de extinção e o alto grau de endemismo do Domínio Mata Atlântica, considerando-o um dos 34 *hotspots* para a conservação da biodiversidade mundial. Para qualificar uma região como um *hotspot* são exigidos dois critérios: a região deve conter pelo menos 1.500 espécies de plantas vasculares endêmicas (mais de 0,5% do total do mundo) e estar seriamente ameaçada (MYERS *et al.*, 2000). As estimativas de diversidade biológica e de endemismo da Mata Atlântica são apresentadas na TAB. 1.

TABELA 1  
Diversidade e Endemismo da Mata Atlântica Brasileira

<b>Grupo Taxonômico</b>	<b>Espécies</b>	<b>Espécies Endêmicas</b>	<b>% de Endemismo</b>
Plantas	20.000	8.000	40%
Mamíferos	261	55	21,07%
Aves	1.020	188	18,43%
Répteis	197	60	30,45%
Anfíbios	340	90	26,47%
Peixes	350	133	38%

Fonte: SOS MATA ATLÂNTICA, 2011

Diversos estudos e as subsequentes atualizações das listas de espécies ameaçadas disponibilizadas pelo MMA a cada ano apontam que o número de espécies ameaçadas de extinção vem aumentando de maneira alarmante, o que torna a irreversibilidade da situação cada vez mais grave.

<sup>3</sup> Autarquia federal vinculada ao Ministério do Meio Ambiente (MMA). É o órgão executivo responsável pela execução da Política Nacional do Meio Ambiente, desenvolvendo diversas atividades para a preservação e conservação do patrimônio natural, inclusive realizando estudos ambientais, exercendo o controle e a fiscalização sobre o uso dos recursos naturais e concedendo licenças ambientais para empreendimentos de impacto nacional.

<sup>4</sup> Organização privada, sem fins lucrativos, que desenvolve projetos de conservação e uso sustentado da biodiversidade em inúmeros países.

A Fundação SOS Mata Atlântica<sup>5</sup>, em parceria com o Instituto de Pesquisas Espaciais<sup>6</sup> (INPE), divulgou em maio de 2010 o “Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica”, apresentando os dados parciais de desmatamentos do bioma, no período 2008-2009 (SOS MATA ATLÂNTICA, 2010a). O levantamento já cobriu 94.912.769 ha, correspondentes a 72% do território nacional abrangidos pelo mesmo, segundo a Lei da Mata Atlântica (BRASIL, nº 11.428/2006).

Minas Gerais possui 27.235.854 ha de área dentro do Domínio da Mata Atlântica (FIG. 2a) que correspondem a 46% do estado, dos quais apenas 2.624.626 ha são remanescentes florestais do bioma, ou seja, 9,64%. Entre 2008 e 2010 o estado perdeu 12.524 ha (0,47%) de Mata Atlântica (FIG. 2b), sendo considerada crítica a situação mineira (SOS MATA ATLÂNTICA, 2010a).

---

<sup>5</sup> Organização não-governamental, privada, sem fins lucrativos, que desenvolve projetos de conservação ambiental, produção de dados, mapeamento e monitoramento da cobertura florestal do Bioma, campanhas, estratégias de ação na área de políticas públicas, programas de educação ambiental e restauração florestal, voluntariado, desenvolvimento sustentável e proteção e manejo de ecossistemas.

<sup>6</sup> Instituto que promove e executa estudos, pesquisas científicas, desenvolvimento tecnológico e capacitação de recursos humanos, nos campos da Ciência Espacial e da Atmosfera, das Aplicações Espaciais, da Meteorologia e da Engenharia e Tecnologia Espacial, bem como em domínios correlatos, conforme as políticas e diretrizes definidas pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT).

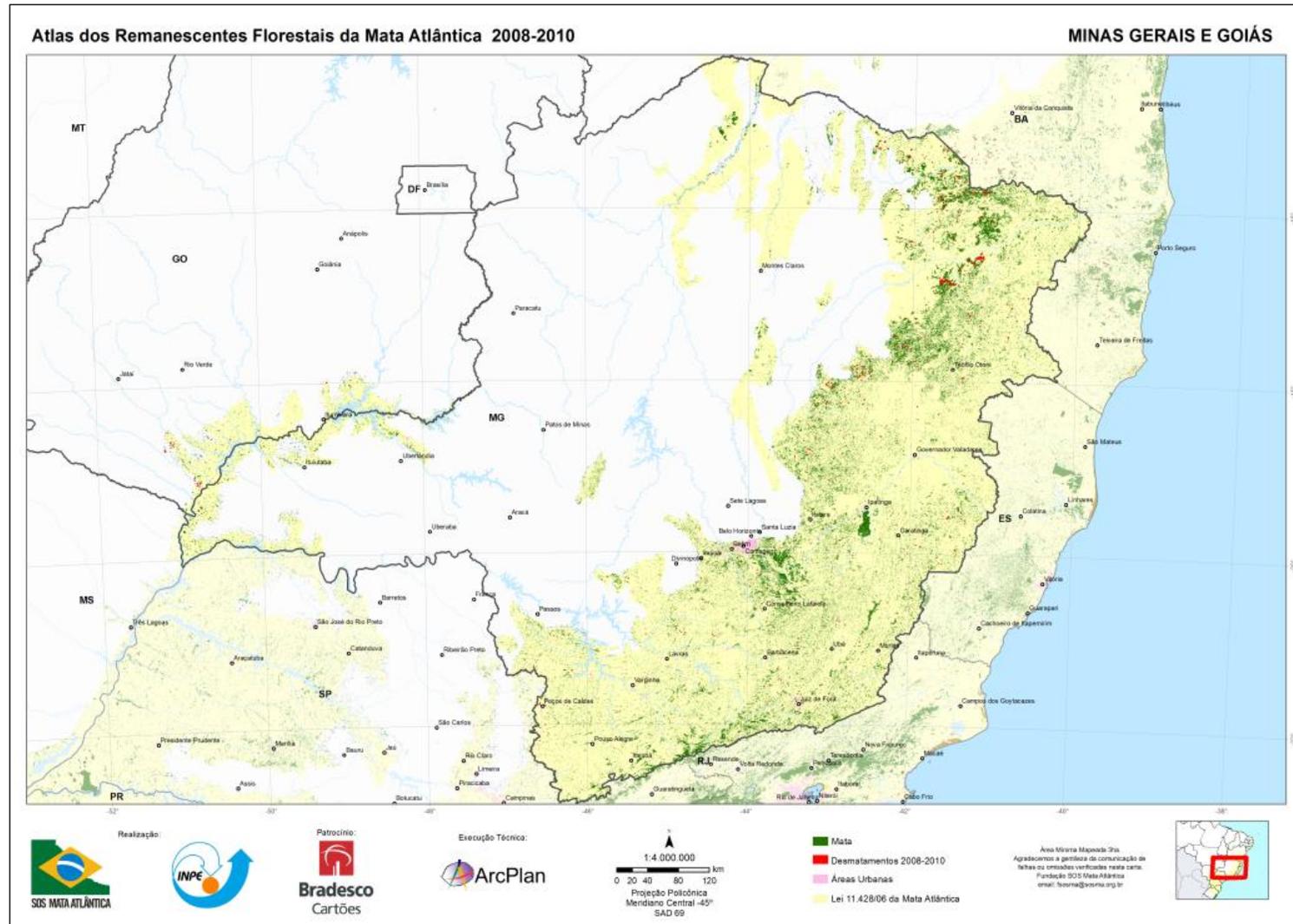


FIGURA 2 – A Mata Atlântica em Minas Gerais.

Em amarelo claro, a cobertura original do bioma (em 1500), em verde os remanescentes atuais, em vermelho, os desmatamentos identificados entre 2008 e 2010 e em rosa as zonas urbanas.

Fonte: SOS MATA ATLÂNTICA, 2010

### 2.1.1 Parque Estadual do Rio Doce e entorno

A cobertura vegetal original da região se constituía na Mata Atlântica, hoje restrita ao PERD e a diversos fragmentos menores e isolados (RELATÓRIO PELD – *site* 4, 2002). A partir da década de 40, as atividades de indústrias de madeira e celulose, siderúrgicas e suas práticas de reflorestamento empresarial com espécies do gênero *Eucalyptus*, assim como a agropecuária, tornaram o Vale do Aço não só o maior parque siderúrgico nacional, mas também imprimiram uma acelerada experiência de degradação ambiental (IEF – MG, 2008). Ainda não há uma estimativa confiável da taxa de redução da biodiversidade terrestre regional (diversidade *gama*), causada pela atividade antrópica (RELATÓRIO PELD – *site* 4, 2003). No entanto, o vale do Rio Doce possui apenas 3% do total da área do bioma, abrigando 60% da sua biodiversidade, com 148 espécies mamíferos, 393 espécies de aves, 142 espécies arbóreas e 37 espécies de anfíbios, o que caracteriza a alta diversidade da região (FONSECA, 1997 *apud* RELATÓRIO PELD – *site* 4, 2000).

Na bacia do Rio Doce, a pecuária representa cerca de 78 a 80% do usos dos solos, enquanto a silvicultura industrial soma cerca de 3% da área total da bacia. A pecuária é extensiva, com uso do fogo para o manejo de pastagens, enquanto a agricultura, em sua maior parte, é de subsistência (BRITO *et al.*, 1997 *apud* RELATÓRIO PELD – *site* 4, 2000). A silvicultura, que ocupa grandes áreas do entorno do PERD, destina-se a suprir as demanda de madeira para fabricação de celulose e, em menor escala, de carvão vegetal para siderurgia (BARBOSA *et al.*, 1997 *apud* RELATÓRIO PELD – *site* 4, 2005). Acompanhando os monocultivos de eucalipto, a região apresenta ainda extensas baterias de fornos que produzem carvão vegetal e estendem-se muitas estradas, principalmente as de terra, para o manejo das plantações e escoamento da produção. A cultura de eucalipto (*Eucalyptus sp.*), devido ao seu rápido crescimento e à múltipla utilização de sua madeira, tem sido amplamente adotada nos programas de reflorestamento. Entretanto, estudos apontam que este cultivo inibe o crescimento de espécies nativas (RELATÓRIO PELD – *site* 4, 2000 – 2007).

O PERD, um dos últimos fragmentos de Mata Atlântica do estado de Minas Gerais, foi criado em 14 de julho de 1944, pelo Decreto-Lei nº 1.119 (MINAS GERAIS, 1944), e sob administração do IEF – MG desde 1962.

O Parque está localizado no trecho médio da bacia do Rio Doce, em Minas Gerais, limitado a leste pelo Rio Doce e ao norte pelo Rio Piracicaba, possuindo 35.973 ha (BARBOSA & MORENO, 2002), abrange parte dos municípios de Timóteo, Marliéria e

Dionísio, conforme demonstrado na FIG.3. Situa-se na “Depressão Interplanáltica do Vale do Rio Doce”, importante feição fisiográfica do sudeste brasileiro, que compreende uma depressão alongada, com cerca de 200 Km de comprimento e 50 Km de largura, orientada em uma direção geral NNE-SSW (MELLO, 1997 *apud* IEF – MG, 2008). Nela destaca-se uma faixa com cerca de 20 km de largura e 80 km de comprimento, acompanhando o curso do Rio Doce, caracterizada pela presença de vales entulhados de sedimentos, na qual se encontram os corpos lacustres que compõem o sistema lacustre do médio Rio Doce (IEF – MG, 2008), o terceiro maior do país (158 lagos), conforme demonstra a FIG. 4. Estes lagos apresentam dimensões variadas, alcançando comprimentos máximos próximos a 5 Km e áreas de até 4 Km<sup>2</sup> (TUNDISI & SAIJO, 1997), nos mais variados estágios de evolução (BARBOSA & MORENO, 2002; MOVIMENTO PRÓ-RIO DOCE, 2009). Suas formas, predominantemente digitadas, comprovam a sua origem ligada a antigas drenagens afogadas, originadas pela paleo-drenagem do Rio Doce (RELATÓRIO PELD – *site* 4, 2003). Dentro do PERD encontram-se 42 lagoas naturais, que ocupam 6% (aproximadamente 2.100 ha) de sua área (IEF – MG, 2008).

A Unidade de Conservação abriga milhares de espécies vegetais, centenas de aves, répteis, anfíbios, peixes e mamíferos, entre eles diversos roedores e espécies raras de primatas; portanto representa uma importante contribuição para a manutenção da biodiversidade regional, considerando-se o grau de devastação da região, particularmente a alta taxa de perda da cobertura vegetal, resultando na ameaça de extinção de várias espécies (BERNARDES *et al.*, 1990 *apud* RELATÓRIO PELD – *site* 4, 2003).

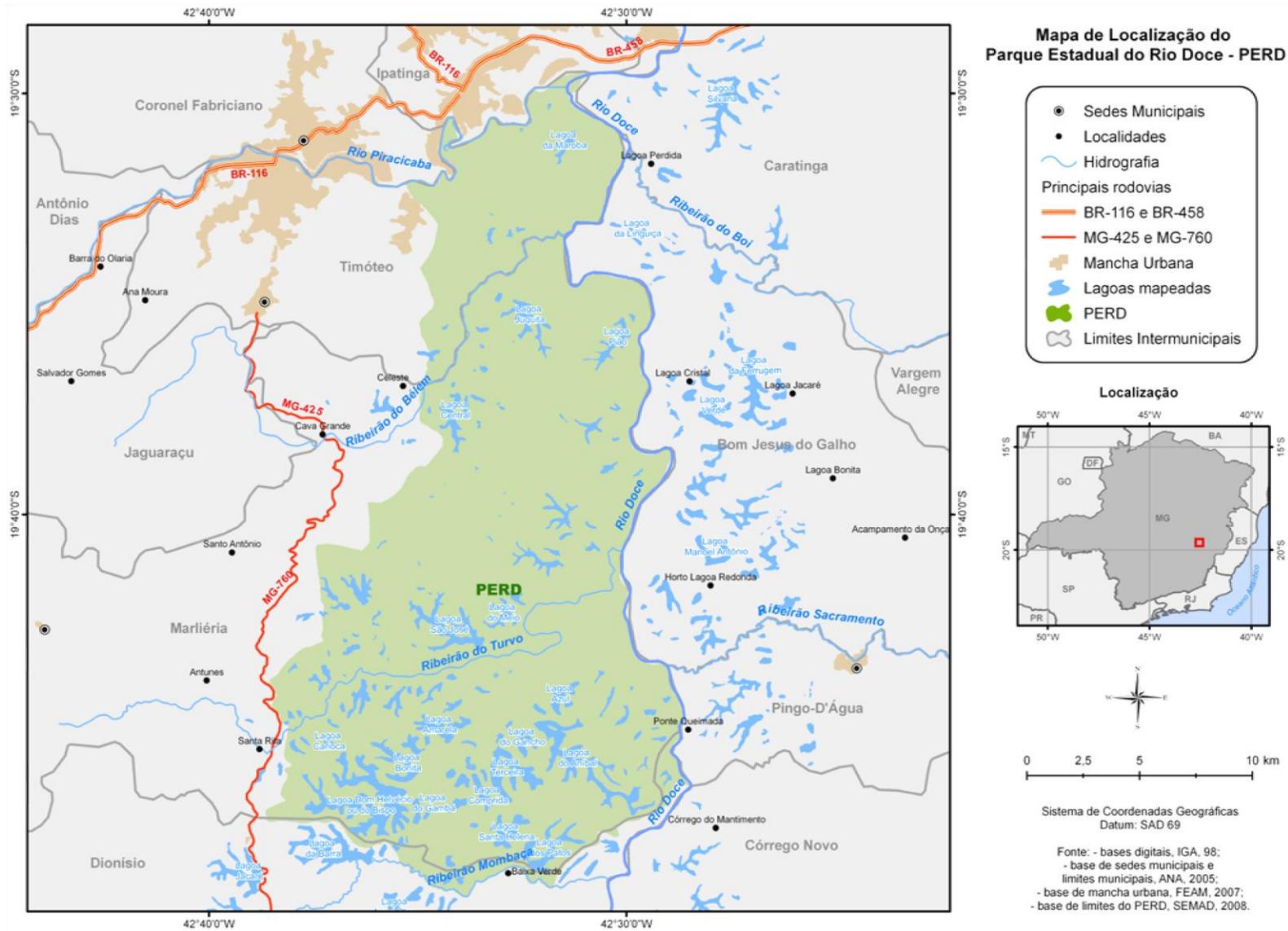


FIGURA 3 – Mapa de localização do Parque Estadual do Rio Doce (PERD).

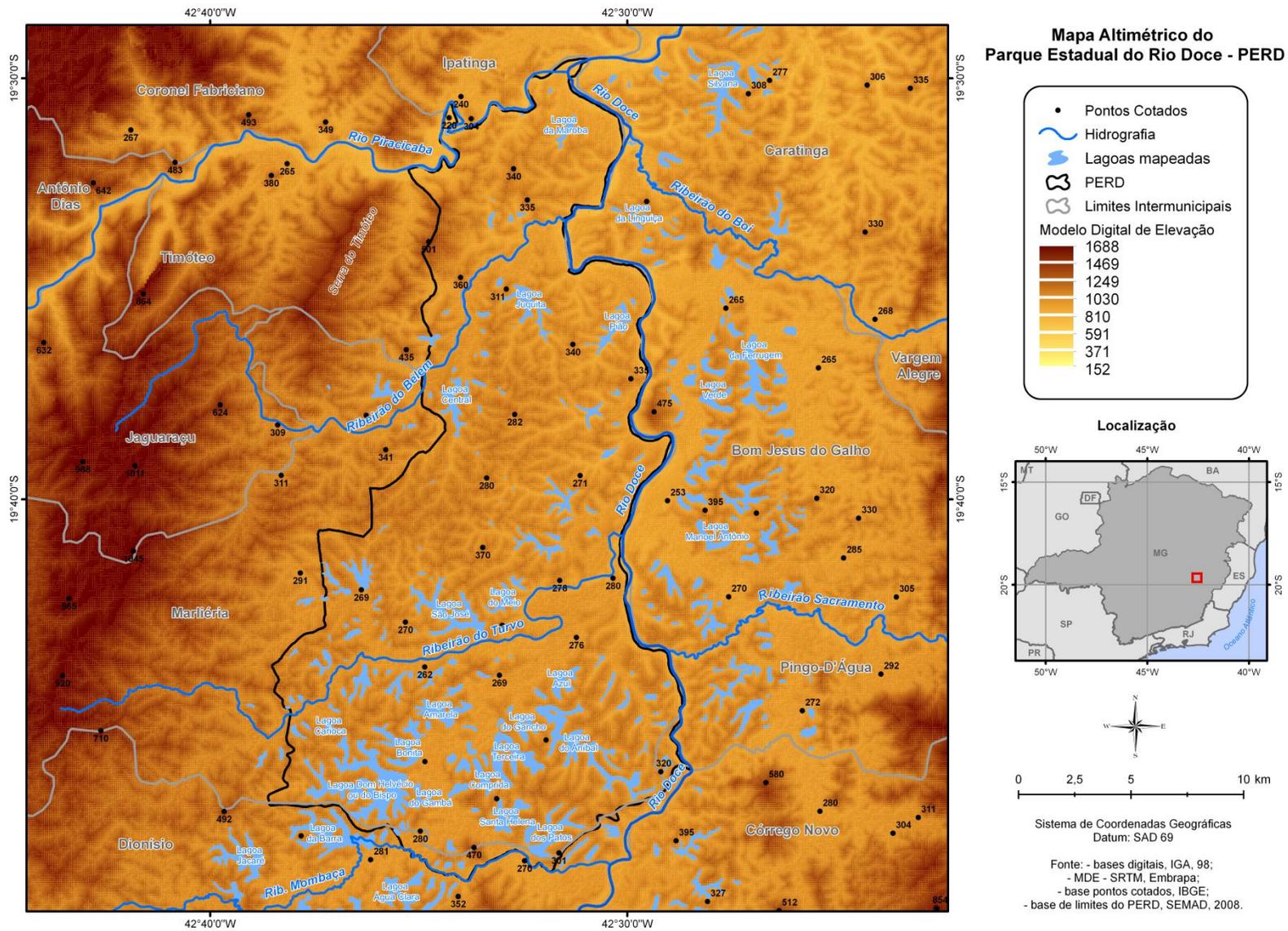


FIGURA 4 – Mapa altimétrico do PERD e entorno.

De acordo com o Movimento Pró-Rio Doce<sup>7</sup> (MOVIMENTO PRÓ-RIO DOCE, 2009), para o PERD, o total de mamíferos citado em literatura chega 77 espécies, sendo 49 de mamíferos não voadores e 28 de voadores (Chiroptera), o que representa cerca de 30% de todas as espécies de mamíferos da Mata Atlântica. Destas, 11 constam na “Lista de Espécies Ameaçadas do IBAMA” (IBAMA, 2003) e na “Lista de Espécies Ameaçadas de Minas Gerais” (FUNDAÇÃO BIODIVERSITAS, 2005). A lista mineira apresentada pela Fundação Biodiversitas<sup>8</sup>, revisada em 2008, aponta ainda um total de 45 espécies sob risco de extinção, cerca de 17% do total de espécies do estado. O Parque é considerado área prioritária para a conservação dos muriquis-do-norte (*Brachyteles hypoxanthus*), categorizada como Criticamente em Perigo de Extinção pela “Lista de Espécies Ameaçadas do IBAMA” (IBAMA, 2003). A Unidade de Conservação abriga uma população destes primatas que é considerada uma das maiores e mais bem estruturada das 12 conhecidas (MOVIMENTO PRÓ-RIO DOCE, 2009).

Segundo o Plano de Manejo (IEF – MG, 2008), a flora do PERD apresenta aproximadamente 1100 espécies, sendo 7 delas presentes na “Lista da Flora Ameaçada de Extinção do Brasil” (MMA, 2008) e 14 na lista mais recente, feita pelo estado (FUNDAÇÃO BIODIVERSITAS, 2005). Considerando-se somente o estrato arbóreo da vegetação, são encontradas no Parque cerca de 150 espécies de árvores por hectare, sendo inúmeras destas também ameaçadas de extinção (MOVIMENTO PRÓ-RIO DOCE, 2009).

O PERD apresenta um complexo padrão de tipos vegetacionais, ocasionado por diferenças edáficas, diferenças no histórico de impactos antrópicos e pela fragmentação natural devida ao grande número de lagos presentes no seu interior (RELATÓRIO PELD – site 4, 2002). Conforme nova classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal (IBGE, 1991), a vegetação é do tipo “Floresta Estacional Semidecidual Submontana”, de porte arbóreo, sujeita à dupla estacionalidade climática, tropical chuvosa no verão seguida por estiagens acentuadas no inverno, caracterizada por um percentual de árvores caducifólias entre 20 e 50% na época seca (LINO & DIAS, 2003). De acordo com Gilhuis (1986), podem ser identificadas pelo menos 10 categorias vegetacionais no Parque, mas Silva (1996 *apud* RELATÓRIO PELD – site 4, 2002), ao fazer uma revisão dos estudos

---

<sup>7</sup> Movimento voluntário de iniciativa civil de preservação do PERD.

<sup>8</sup> Organização Não-Governamental sediada em Belo Horizonte (MG) que visa a conservação da natureza brasileira e promove ações de caráter técnico-científico desde 1989, sendo considerada como referência no levantamento e aplicação do conhecimento científico para a conservação da diversidade biológica, desenvolvendo projetos que visam a interação entre o meio ambiente e o ser humano, buscando meios de conciliar a conservação da natureza e o desenvolvimento econômico e social.

botânicos realizados na Unidade sugeriu uma readequação para a nomenclatura utilizada por Gilhuis (*op. cit.*), de forma a adequá-la aos termos mais apropriados e usuais, que se encontra descrita por Veloso *et. al.* (1991).

Embora quase todo o PERD seja constituído de vegetação em bom estado de conservação, apenas 8,4% é considerada “Mata Primária” e boa parte da vegetação é “Mata Secundária”, tendo se desenvolvido após a ocorrência de queimadas, principalmente na década de 60 (RELATÓRIO PELD – *site* 4, 2005, p. 232). Esta é uma área prioritária para conservação no estado, na categoria especial, sendo o seu entorno classificado também como área prioritária na categoria alta, por conter a zona de amortecimento do Parque (FUNDAÇÃO BIODIVERSITAS, 2005).

Na zona de amortecimento do PERD, os problemas ambientais foram intensificados pela expansão populacional e ocupação antrópica, realizadas quase sempre de forma desordenada (RELATÓRIO PELD – *site* 4, 2003). O despejo dos resíduos nos rios e córregos da região e a estocagem inadequada dos resíduos sólidos colocam em risco a saúde humana e ameaçam a qualidade da água do lençol freático (RELATÓRIO PELD – *site* 4, 2006).

Segundo o Movimento Pró-Rio Doce (2009), a Unidade também apresenta grande relevância para as questões ligadas ao aquecimento global e ao sequestro de carbono. Em ciclos naturais, os estoques de carbono são regulados pela dinâmica da vegetação através das taxas de mortalidade, recrutamento e volume de crescimento. As quantificações já realizadas no Parque indicam que a média de carbono estocado nas áreas de floresta avançada é de 134 ton.ha<sup>-1</sup>, enquanto o estoque médio da floresta em regeneração é de 69 ton.ha<sup>-1</sup> (METZKER *et al.*, 2011). Segundo estes autores, calcula-se que o PERD mantém, em seu estoque arbóreo, um total aproximado de 3,8 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>. É importante ressaltar que este estrato ainda possui um sequestro de carbono médio líquido de 1,2 ton.ha.ano<sup>-1</sup>, devido ao crescimento anual da comunidade arbórea. Isso quer dizer que além do estoque constante, a UC ainda possui capacidade de incrementar cerca de 38 mil toneladas de carbono por ano (METZKER *et al.*, 2011). Este valor é caracterizado como sequestro florestal de carbono, pois representa a quantidade de carbono que a vegetação do PERD retira da atmosfera e agrega ao seu estoque, prestando um serviço ambiental de amenização climática.

O relevo caracteriza-se pela presença de colinas (FIG. 5), com topos nivelados (conhecido como relevo de “mar de morros”), o qual se estende pelas porções leste e sul do estado de Minas Gerais (MELLO, 1997 *apud* IEF – MG, 2008). Segundo o Plano de Manejo (IEF – MG, 2008), no PERD prevalecem duas formas de relevo: as colinas, em sua maioria convexas, originadas da dissecação fluvial de superfícies de aplainamento (datadas do

Terciário Superior e Pleistoceno), e as planícies. As classes de relevo encontram-se assim distribuídas: ondulado (21,1%); fortemente ondulado (39,9%) e montanhoso (34,1 %) (SIF, 1990a).



FIGURA 5 – Vista panorâmica da região, apresentando o relevo “Mar de Morros”.  
Fonte: MOVIMENTO PRÓ-RIO DOCE, 2009.

Os tipos de solo são classificados como Latossolos Vermelho-Amarelos (LV) álicos ou distróficos, associados a cambissolos, tendo um horizonte C siltoso e muito profundo (RELATÓRIO PELD – *site* 4, 2000). Há graves problemas de erosão devido ao desmatamento das áreas de relevo energético e das práticas primitivas de manejo de pastagens e áreas agrícolas, acelerando a degradação do solo na região (IEF – MG, 2008).

Apesar de variar com a altitude, o clima da região é classificado pelo método de Köppen como Aw<sup>9</sup>, ou seja, “Tropical Úmido Mesotérmico de Savana”, com invernos secos e verões chuvosos, sendo a temperatura média do mês mais frio superior a 18 °C e a precipitação do mês mais seco inferior a 60 mm. A estação chuvosa ocorre de outubro a março e a seca de abril a setembro (TUNDISI & SAIJO, 1997).

A precipitação anual total varia entre 1400 mm nas elevações e 1100 mm nas baixadas. As temperaturas médias anuais da região variam de 21 °C a 23 °C e as médias das temperaturas anuais máximas são iguais a 28 e 29 °C, enquanto as médias das temperaturas anuais mínimas ficam entre 18 °C e 19 °C (RELATÓRIO PELD – *site* 4, 2000). Há entre 1900 a 2000 horas de insolação por ano e entre 200 a 250 mm deficiência hídrica anual do solo (ANTUNES, 1986 *apud* RELATÓRIO PELD – *site* 4, 2000).

---

<sup>9</sup> Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, os climas tropicais constituem a classe A e são caracterizados pela sazonalidade. Neste caso, a estação seca ocorre durante a época de Sol mais baixo e dias mais curtos, ou seja, o inverno (daí Aw, em que w é de *winter*, inverno em inglês).

#### 2.1.1.1 Programa Brasileiro de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração – *site 4*

O PERD, devido à sua importância em termos ecológicos, é uma UC que concentra muitas pesquisas, sejam elas em escala local ou regional.

O Programa Brasileiro de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD), uma iniciativa da comunidade científica juntamente com o CNPq<sup>10</sup>, tem como foco uma agenda de pesquisa integrada e é constituída de uma rede de *sites* selecionados representativos de vários dos principais ecossistemas brasileiros, contando com linhas especiais de financiamento. No plano internacional, este programa está inserido no *International Long Term Ecological Research Program* (ILTER), uma rede internacional que conta com a participação ativa e troca de experiências entre 21 países, para a qual 10 outros estão firmemente engajados no processo de desenvolvimento das próprias sedes nacionais e ainda outros 14 países que já expressaram interesse em integrar-se (SEELIGER *et al.*, 2002). O PELD tem o PERD como quarto sítio (*site 4*) de coleta de dados e o projeto, que completou 10 anos de desenvolvimento dos mais diversos estudos na região, acaba de iniciar uma nova década de estudos.

O projeto “Dinâmica biológica e a conservação da biodiversidade da Mata Atlântica do médio Rio Doce – MG” (Processo 520031/98-9), integrante do PELD, tem como objetivo geral o desenvolvimento de estudos ecológicos de longa duração voltados ao inventário e propostas de conservação da biodiversidade de grupos de organismos aquáticos e terrestres, considerando-se ainda os processos ecológicos responsáveis pela manutenção desta biodiversidade, os aspectos socioeconômicos da região, bem como um programa de educação ambiental, visando particularmente uma avaliação dos principais impactos antrópicos da bacia e sua discussão com os diferentes segmentos da sociedade, na busca de propostas de solução e subsídios para a conservação e uso sustentável dos recursos naturais da região (RELATÓRIO PELD – *site 4*, 2000-2007).

O projeto em questão reúne um conjunto de propostas de pesquisas ecológicas desenvolvidas no trecho médio da bacia do Rio Doce – MG, tendo o Parque como área-foco, com áreas complementares em seu entorno. A área de estudo inclui uma grande diversidade de ambientes, nos mais variados estágios de conservação, existindo desde locais sistematicamente alterados (plantios de *Eucalyptus sp.*, mineração/garimpo, siderurgia) até locais protegidos (Parque Natural do Caraça, Estação Biológica de Peti, Estação Biológica de

---

<sup>10</sup> Órgão ligado ao Ministério da Ciência e Tecnologia para incentivo à pesquisa no Brasil, que tem muitas agências de fomento estrangeiras e órgãos federais como parceiros.

Caratinga e Parque Estadual do Rio Doce), ampliando a oferta de oportunidades para estudos comparativos, básicos e aplicados. Nestes locais, uma avaliação da qualidade das águas, incluindo a diversidade da sua biota, é fundamental para a manutenção das atividades sócio-econômicas da região, além de fornecer elementos essenciais para a definição de políticas e propostas de recuperação, manejo e conservação dos ecossistemas envolvidos (RELATÓRIO PELD – *site 4*, 2002).

O projeto busca o desenvolvimento de pesquisas em áreas isentas do efeito de ações antrópicas, comparando-as com outras áreas do entorno, onde há diferentes atividades humanas sendo desenvolvidas. Nas áreas do entorno estão incluídas cidades e periferias, nas quais os aspectos sócio-econômicos e culturais e seus impactos sobre a diversidade biológica da região são analisados (RELATÓRIO PELD – *site 4*, 2007). O projeto enfatiza a quantificação e a avaliação da diversidade biológica (terrestre e aquática) deste que é o maior e um dos mais importantes remanescentes do estado (RELATÓRIO PELD – *site 4*, 2002).

O projeto se divide em seis áreas: Diversidade Genética, Diversidade Botânica, Diversidade Aquática, Diversidade Faunística, Sócio-economia e Educação Ambiental.

A equipe do projeto planejou suas atividades de pesquisa e monitoramento de modo a responder, basicamente, a duas questões integradoras das áreas componentes do projeto:

- O desmatamento no Médio Rio Doce e nas áreas de entorno do Parque Estadual do Rio Doce contribuiu e possivelmente ainda contribui para diminuir a biodiversidade regional?
- Aliada ao desmatamento, a introdução de espécies exóticas (ex. peixes, macrófitas) tem acelerado o processo de diminuição da biodiversidade regional? (RELATÓRIO PELD – *site 4*, 2002, p. 5 e 6)

Para responder estas questões, foram formuladas três hipóteses de trabalho:

- A biodiversidade do vale do Rio Doce está experimentando um processo de perda (alteração/modificação) em grau ainda desconhecido, embora perceptível;
- As grandes áreas remanescentes (terrestres e aquáticas) do vale do Rio Doce contribuem para a manutenção de parcela expressiva dessa biodiversidade;
- A biodiversidade do vale do Rio Doce ainda encontra condições de persistência, a longo prazo, apesar dos impactos verificados tanto nas áreas remanescentes como na matriz da paisagem, desde que estratégias de manejo e recuperação sejam implementadas. (RELATÓRIO PELD – *site 4*, 2002, p. 6)

Para a adoção de estratégias adequadas de manejo e recuperação é necessário, primeiro, conhecer o estado atual dos ecossistemas em estudo, particularmente sua biota e os processos básicos responsáveis pela sua manutenção (RELATÓRIO PELD – *site 4*, 2003). De acordo com os relatórios dos anos 2002 a 2007, para que estas hipóteses fossem testadas, era

fundamental que não houvesse interrupção nos estudos iniciados em 1999, “uma vez que somente após um longo período de tempo é possível concluir se está ou não havendo alterações e/ou modificações na biodiversidade desta área” (RELATÓRIO PELD – *site 4*, 2002, p. 6). No entanto, nem todos os estudos duraram todo o período considerado, alguns tiveram início tardio e outros foram precocemente encerrados. Mesmo assim, muitos pesquisadores conseguiram desenvolver estudos duradouros, que abrangeram, todo ou quase todo o período considerado, destacando-se neste sentido os estudos das áreas de Sócio-economia e de Educação Ambiental.

Anualmente são divulgados os relatórios que apresentam os resultados obtidos no ano anterior do projeto. Devido à complexidade e duração de cada estudo que compõe o projeto, os dados são, em geral, apresentados parcialmente ou mesmo de maneira resumida.

#### 2.1.1.2 Projeto Ecologia, Avaliação e Monitoramento de Florestas Tropicais

O projeto Ecologia, Avaliação e Monitoramento de Florestas Tropicais (TEAM), inserido no *Tropical Ecology, Assessment and Monitoring Networks*, visa monitorar os ecossistemas tropicais ao longo de toda a faixa tropical da Terra. Para tanto, cerca de 50 pontos de estudos foram criados em diversos países. No Brasil há 3 estações de monitoramento, no Pará (Estação Científica Ferreira Penna, Floresta Nacional Caxiuanã), no Amazonas (Reserva Florestal Adolpho Ducke) e em Minas Gerais (Parque Estadual do Rio Doce).

O principal objetivo deste projeto é monitorar, a longo prazo, diversos grupos da fauna e flora, além de variáveis ambientais. Com o uso de protocolos específicos são coletados dados sobre clima, solo, insetos, aves e mamíferos em diferentes áreas (*plots*) com 1 ha de área, representativas da região (TEAM, 2010). O projeto utiliza o Sistema de Informações Geográficas (SIG) e ferramentas como o SR com a finalidade de integrar os resultados a um banco de dados público sobre a biodiversidade das florestas tropicais, em constante atualização, tornando as pesquisas acessíveis a todos.

Atualmente a coleta de dados nos *plots* localizados no PERD está suspensa, possivelmente por interrupção do fomento aos protocolos, no entanto este assunto ainda é obscuro e tratado de maneira delicada entre a comunidade científica.

### 2.1.1.3 Convenção Ramsar de Terras Úmidas

Recentemente o PERD foi incluído na Lista Ramsar, gerida pela Convenção Ramsar<sup>11</sup> (*Ramsar Convention on Wetlands*). A Lista é um tratado internacional entre países para a conservação e o uso racional de zonas úmidas (RAMSAR CONVENTION ON WETLANDS, 2010). Com o reconhecimento, o Parque ganha importância internacional e amplia as possibilidades de investimento em sua área, inclusive para pesquisas. Além disso, a inclusão significa que o país precisa se comprometer a manter as características ecológicas da área, não permitindo alterações na dinâmica do sistema natural.

## 2.2 Sensoriamento Remoto

O Sensoriamento Remoto (SR) consiste na utilização conjunta de sensores avançados, equipamentos modernos para processamento de dados, aeronaves, espaçonaves, entre outros com o objetivo de se obter informações de um objeto sem, no entanto, ter contato físico com o mesmo (LILLESAND & KIEFER, 2000). Esta ferramenta permite o estudo do ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética (REM) e as substâncias que compõem o planeta em suas mais diversas manifestações (NOVO, 1998).

A finalidade básica do SR é adquirir informações sobre a superfície do planeta para mapeamento, avaliação e monitoramento dos recursos terrestres. A coleta de dados sobre o meio ambiente pode ocorrer *in loco* (diretamente no campo) ou remotamente. Os dados coletados em campo devem ser considerados como dados de referência terrestre (considerando os possíveis erros existentes) podendo ser utilizados para calibrar o sensor ou avaliar a precisão dos resultados finais. Uma grande vantagem do SR é obter informações de áreas extensas sem que os alvos sejam perturbados no momento da aquisição das informações (JENSEN, 2009), visto que a presença do homem *in loco* pode alterar as características do objeto ou fenômeno em estudo.

---

<sup>11</sup> A Convenção de Ramsar foi criada em 1971, na cidade iraniana de mesmo nome e reúne, em todo mundo, zonas úmidas de importância ecológica, as quais figuram entre os ambientes mais produtivos do mundo e são consideradas armazéns naturais de diversidade biológica. O Brasil aderiu à Convenção em 1993 e, com a inclusão do PERD, atualmente existem nove Sítios Ramsar no país.

No caso do SR ativo, o que torna possível a obtenção de dados é a radiação solar, visto que os sensores detectam a energia eletromagnética (FRANKLIN, 2001). O Sol emite radiação para o Universo e à medida que a REM atinge a superfície da Terra, os objetos terrestres refletem parte dessa energia de volta para o espaço. A REM que não é refletida é absorvida pelos objetos. As proporções de cada um destes processos dependem da natureza de cada superfície, dos comprimentos de onda e do ângulo de iluminação (BONNET, 2002). A REM refletida pelos objetos varia de acordo com suas características físicas, químicas e biológicas; portanto, cada objeto tem um padrão de reflexão nas diferentes faixas do espectro eletromagnético, o que é chamado de assinatura espectral. A fim de identificar e extrair informações dos produtos do SR é importante que se conheça o comportamento espectral dos objetos estudados (LILLESAND & KIEFER, 2000).

Sensores cada vez mais sofisticados medem a quantidade de energia eletromagnética refletida, transmitida ou emitida pelos objetos, apresentando seus registros em forma de algarismos, gráficos ou imagens. A extração das informações é realizada através de algoritmos matemáticos e estatística (JENSEN, 2009).

Podemos dizer que o SR é um método de coleta de informações sistemático ao considerarmos que o mesmo sensor registra o ambiente terrestre pela mesma perspectiva e em horários aproximados (nos diferentes dias) devido à órbita a qual percorre. Esta sistematização reduz as possíveis fontes de erro que venham a ser introduzidas nos levantamentos de campo (CINTRA, 2007).

### 2.2.1 Imagens de satélite

Diversos países ainda utilizam a fotografia aérea como informação base para a produção de mapas de ocupação e uso do solo (RIBEIRO, 2007). Embora este suporte de informação resulte em mapas bastante precisos, sua aquisição e foto-interpretação têm custos elevados e consomem muito tempo (LILLESAND & KIEFER, 2000). Outra desvantagem do uso fotografias aéreas é a inviabilização de estudos em datas anteriores à realização do sobrevoo para aquisição das imagens da área de interesse, visto que desta forma as mesmas não se encontrarão disponíveis.

As imagens de satélite vêm substituindo as fotografias aéreas neste sentido. As principais qualidades dos dados destas imagens estão relacionadas à forma de aquisição,

geralmente de cobrindo grandes áreas, de forma sistemática, em formato digital e a baixos custos se comparadas às fotografias aéreas (RIBEIRO, 2007). De acordo com Lillesand e Kiefer (2000), a substituição do tipo de informação base permite reduzir drasticamente o custo da produção de mapas temáticos devido não só ao menor custo desta, mas também pela possibilidade de utilização de métodos automáticos, em alternativa aos processos morosos e dispendiosos da interpretação visual. No entanto, há desvantagens na produção automática de mapas a partir de imagens de satélite, pois diferentes coberturas do solo podem possuir assinaturas espectrais semelhantes, apresentando confusão entre elas, ou mesmo pela impossibilidade de identificação de algumas classes ao nível do *pixel* (ASNER, 2004).

A informação espectral contida nas imagens de satélite constitui potencial fonte de dados para pesquisas que envolvem tanto estudos quantitativos como qualitativos da vegetação, seja em escala local, regional ou global (RIBEIRO, 2007). Assim, a escolha do tipo de imagem (sensor) está condicionada à finalidade analítica do mapa temático que será produzido. Em escalas locais são utilizadas imagens de alta resolução espacial, como por exemplo, as imagens IKONOS (descritas na seção 2.2.1.1 deste capítulo), em escalas regionais é comum a seleção de imagens SPOT<sup>12</sup> ou Landsat<sup>13</sup>, enquanto estudos em escalas globais recorre-se geralmente a imagens de satélites meteorológicos, como o NOAA/AVHRR<sup>14</sup> (RIBEIRO, 2007). Na produção cartográfica com determinadas especificações técnicas, como a escala, a unidade mínima e a nomenclatura, o sucesso da utilização das imagens depende tanto da adequabilidade do sensor escolhido quanto da metodologia utilizada, além das características da área de estudo e do maior ou menor sucesso na redução de perturbações introduzidas pela atmosfera e pela topografia (RIBEIRO, 2007).

Ribeiro (2007) analisou as potencialidades do uso de imagens de satélite no inventário florestal. Neste estudo o autor faz um levantamento bastante amplo dos métodos utilizados em muitos países, comparando-os e avaliando a eficácia, as vantagens e desvantagens de cada um deles.

---

<sup>12</sup> As imagens geradas pelos satélites SPOT ativos possuem entre 20 e 10 m de resolução espacial, dependendo da geração do satélite em questão.

<sup>13</sup> O programa Landsat, ativo desde 1972, pode gerar imagens que possuem entre 60 e 15 m de resolução espacial, dependendo da banda em questão.

<sup>14</sup> Com propósitos inicialmente meteorológicos, este sensor produz imagens com 1,1 Km de resolução espacial e pode captar dados termais da superfície terrestre.

### 2.2.1.1 Imagens IKONOS

No final da década de 90, um novo sensor orbital foi desenvolvido, produzindo imagens de alta resolução espacial. Apesar deste tipo de informação e detalhamento já estar disponível há muitos anos sob a forma de fotografia aérea, o lançamento do satélite IKONOS-II iniciou uma nova era do sensoriamento remoto, devido à alta resolução temporal, em escala global e a custos menores em relação à técnica utilizada anteriormente (SAWAYA *et al.*, 2003 *apud* CINTRA, 2007).

O satélite encontra-se orbitando a uma altitude de 680 Km, com inclinação de 98,1° em relação à linha do Equador, em órbita Sol-síncrona descendente com duração de 98 minutos, a uma velocidade de 7 Km/s. Em uma passagem do sensor é imageada uma área de 20.000 Km<sup>2</sup>, adquirindo cenas de 11 Km X 11 Km (CINTRA, 2007), com período máximo de revisita oferecido é de três dias para latitudes próximas a 40°, podendo ser ainda menor em latitudes superiores; sendo esta a característica que confere grande resolução temporal ao IKONOS. O sensor também é capaz de realizar visadas inclinadas e laterais para obtenção de imagens de forma mais ágil, mas também possibilita a geração de pares estereoscópicos (EMBRAPA, 2010).

O IKONOS possui sensores que operam no visível e infravermelho próximo e obtém imagens pancromáticas (PAN) e multiespectrais (MS) com resolução espacial de 1 m e 4 m, respectivamente (EMBRAPA, 2010). Portanto, as imagens geradas possuem grande resolução espacial, permitindo discriminação refinada dos alvos (objetos de 1 m<sup>2</sup> de área ou maiores) (CINTRA, 2007). É possível combinar imagens adquiridas no modo PAN com imagens MS para a geração de imagens coloridas com 1 m de resolução espacial fusionando as bandas, o que pode facilitar a interpretação visual e substituir, em muitos casos, o uso de fotografias aéreas, combinando as vantagens dos dois tipos de imagens (CINTRA, 2007). O satélite adquire os dois modos simultaneamente.

A aquisição, com profundidade radiométrica de 11 *bits* (2048 níveis de cinza), aumenta o poder de contraste e de discriminação das imagens, inclusive nas áreas de sombra. Antes do IKONOS, as imagens de satélite eram geralmente adquiridas com 8 *bits* (1 *byte*) ou 256 níveis de cinza (SAWAYA *et al.*, 2003 *apud* CINTRA, 2007).

A precisão cartográfica de localização é obtida através do processo de georeferenciamento das imagens. As faixas espectrais das bandas operadas pelo IKONOS encontram-se sistematizadas no QUADRO 1.

QUADRO 1  
Características espectrais das imagens geradas pelo satélite IKONOS-II

Nº da Banda	Faixa do Espectro	Região do Espectro	Resolução Espacial
1	0.45 - 0.52 $\mu\text{m}$	Azul	4 m
2	0.52 - 0.60 $\mu\text{m}$	Verde	4 m
3	0.63 - 0.69 $\mu\text{m}$	Vermelho	4 m
4	0.76 - 0.90 $\mu\text{m}$	Infravermelho próximo	4 m
5	0.45 - 0.90 $\mu\text{m}$	Pancromática	1 m

Fonte: EMBRAPA, 2010

Além das aplicações comerciais, o sensor IKONOS possui uma ampla aplicabilidade em trabalhos científicos que necessitam de dados e informações detalhadas da superfície terrestre. O satélite encontra-se operacional desde o início de janeiro de 2000, sendo operado pela SPACE IMAGING/GeoEye, que detém os direitos de comercialização das imagens (EMBRAPA, 2010).

Cintra (2007) utilizou imagens IKONOS para classificação de estágios sucessionais de Mata Atlântica no Parque Estadual da Pedra Branca – RJ, e obteve resultados bastante satisfatórios, sugerindo estratégias para reduzir a confusão entre classes (estágios) muito semelhantes.

Não há registros do uso de imagens de satélite de alta resolução, como as imagens IKONOS, para a região do médio Rio Doce. O uso destas imagens permite aprimoramento na verificação da cobertura vegetal e usos do solo do PERD e entorno em relação a outras imagens disponibilizadas gratuitamente pelo INPE e os respectivos mapas temáticos gerados a partir delas.

### 2.2.2 Cartografia Temática

Passados 30 anos desde o lançamento do primeiro satélite de Observação da Terra, não se pode dizer que exista uma metodologia padrão para produção automática, ou pelo menos semi-automática, de mapas a partir de imagens de satélite, apesar de haver métodos mais aceitos que outros (RIBEIRO, 2007). A cartografia temática, como parte do SR, reúne métodos para extrair e interpretar os dados das imagens de satélite (FRANKLIN, 2001). No entanto, segundo Jensen (2009), a maior parte dos projetos de produção de mapas de

ocupação do solo com base em imagens de satélite inclui os seguintes passos: (1) pré-processamento (correções, transformação de bandas), (2) processamento (extração de informação temática, integração de informação auxiliar) e (3) pós-processamento (avaliação da qualidade dos mapas produzidos). Estes passos são os mesmos seja para cartografia temática, seja para detecção remota quantitativa; a diferença entre as duas aplicações está na metodologia utilizada na extração das informações. Na cartografia temática, a maior parte dos métodos está baseada na análise visual ou na classificação espectral.

O pré-processamento tem como objetivo o georreferenciamento das imagens e a redução das distorções geométricas e radiométricas. Os erros geométricos podem ocorrer tanto pelas variações de altitude e velocidade do satélite, quanto pelos efeitos introduzidos pela distorção panorâmica, curvatura da Terra ou refração atmosférica (JENSEN, 2009). Os erros radiométricos podem ser introduzidos por defeitos nos instrumentos do sensor ou pelas condições atmosféricas, variações de iluminação da região imageada ou geometria da visão (LILLESAND & KIEFER, 2000).

A correção geométrica é normalmente realizada pelo ajustamento de um polinômio que converte as coordenadas da imagem (linhas e colunas) em coordenadas de um sistema de projeção (RIBEIRO, 2007). O polinômio é estimado com base nas coordenadas de um conjunto de pontos de controle identificados na imagem, seja em relação às coordenadas de um mapa topográfico, seja em relação às coordenadas registradas nestes pontos a partir de um levantamento de campo com aparelho GPS.

A correção radiométrica busca a eliminação dos fatores perturbantes que influenciam o valor de reflectância dos objetos: atmosfera, topografia, geometria de iluminação e de observação (LILLESAND & KIEFER, 2000). Esta correção tem como objetivo final, a conversão dos números digitais (NDs) de cada *pixel* em unidades de reflectância; números inteiros, correspondentes à superfície observada.

A extração de informação temática é a principal fase do processamento. A investigação relacionada à produção de mapas de cobertura vegetal e usos do solo a partir de imagens de satélite tem se concentrado nesta fase. Os métodos mais utilizados são a análise visual das imagens, a classificação automática de imagens e o processo semi-automático (CINTRA, 2007). As técnicas que vêm sendo desenvolvidas podem ser divididas em três grupos: (1) classificação ao nível do *pixel*, apenas com base na informação espectral; (2) classificação ao nível do *pixel* combinada com análise contextual e (3) análise de imagens orientada a objetos (LILLESAND & KIEFFER, 2000).

A análise visual de imagens orientada a objetos (agrupamento de *pixels*) consiste na segmentação da imagem, criando objetos para posterior classificação dos mesmos. A segmentação consiste na subdivisão da imagem em regiões homogêneas e uniformes em função de um determinado atributo da imagem (RIBEIRO, 2007); ou seja, identificação de áreas com a mesma classe de ocupação do solo e sua respectiva delimitação pelo usuário. O objetivo deste procedimento é somente realizar a subdivisão da imagem, sem efetuar a identificação ou classificação das unidades originadas. Segundo Jensen (2009), os principais métodos de segmentação incluem: (1) métodos baseados num limiar (*Thresholding* ou *Seuillage*), se o atributo usado é a intensidade dos níveis radiométricos; (2) métodos de segmentação textural, se o atributo é a textura e (3) métodos de segmentação por geração de aglomerados espectrais, se o atributo utilizado é a assinatura espectral dos elementos da imagem. Posteriormente, o analista pode associar informações a cada uma das unidades formadas, procedendo à classificação. Pelo fato de considerarmos objetos ao invés de *pixels* isolados, além da informação espectral, outras características podem ser associadas ao procedimento de classificação: forma, tamanho, textura, hierarquia e relações de vizinhança entre os objetos (RIBEIRO, 2007). Para aumento do sucesso no uso desta técnica é necessário selecionar a composição colorida (das bandas) que melhor possibilite a identificação das classes de interesse (JENSEN, 2009).

Após extrair as informações temáticas das imagens é realizada a interpretação desses dados, com o uso de diversas técnicas que possibilitam o reconhecimento e a avaliação dos tipos de cobertura vegetal e usos do solo encontrados em campo. A classificação é uma das técnicas mais difundidas. Esta metodologia extrai das imagens informações que permitem distinguir os tipos de ocupação do solo pela identificação de padrões nas diferentes feições. A classificação automática utiliza dados espectrais, fazendo uso dos valores dos *pixels* da imagem, possibilitando o mapeamento e a análise das áreas de interesse (LILLESAND & KIEFFER, 2000). Consiste, portanto, na utilização de algoritmos de classificação de padrões espectrais da imagem, que convertem os dados captados pelos sensores em classes de ocupação do solo (MATHER, 2004).

A classificação manual (realizada nesta pesquisa) consiste na vetorização manual dos limites entre as diferentes classes. Este método depende do conhecimento da área de estudo e estes dados prévios podem vir de levantamentos em campo ou mesmo do conhecimento prévio da região. Para o uso desta metodologia são necessários os seguintes passos: seleção das classes desejadas, delimitação das áreas cobertas por cada classe, escolha do rótulo de cada classe e produção do mapa temático final, com o resultado da classificação. O uso desta estratégia

mostra-se benéfico, pois seus resultados não apresentam os inconvenientes do aspecto “salpicado” (efeito “sal e pimenta”) de um mapa resultante da classificação ao nível do *pixel*, evitando-se assim operações de pós-processamento ou generalização (JENSEN, 2009). Atualmente, a análise visual de imagens é feita diretamente no computador, o que permite obtenção imediata dos produtos digitais.

Independentemente do método de classificação escolhido, a acurácia deste procedimento é influenciada pela resolução espacial da imagem, que depende do grau de detalhamento que pode ser alcançado pelo sensor (WULDER, 1998). O uso de imagens de satélite de alta resolução espacial possibilita a visualização de mais detalhes dos componentes encontrados em campo e, conseqüentemente, compreensão mais ampla do contexto no qual a área de estudo está inserida.

Informações auxiliares podem ser utilizadas para melhorar a discriminação de classes de ocupação do solo. Quanto mais difícil for a discriminação espectral das classes, maior será o melhoramento introduzido pela integração de informação auxiliar (CINTRA, 2007). Segundo Amaral *et al.* (2009), os dados auxiliares mais utilizados são derivados de modelos digitais de terreno (MDT), como altitude, declive e exposição; no entanto, outros tipos de dados também vêm sendo utilizados, como fatores ambientais (vento e insolação, por exemplo) que afetam a distribuição de vegetação.

A fase final do processo de produção cartográfica de cobertura vegetal e usos do solo deve ser a avaliação da qualidade dos mapas finais, atribuindo-lhes um índice de confiabilidade sempre que possível. Vários métodos têm sido propostos, mas o método mais comum é a comparação dos dados classificados com dados de referência que traduzam a “verdade do terreno”, obtidos no próprio terreno ou na interpretação de fotografias aéreas de resolução superior (LILLESAND & KIEFER, 2000). Este processo de validação dos mapas classificados inclui as fases de amostragem da população, identificação das áreas amostradas nos dados de referência e cálculo da matriz de erro e respectivos índices de precisão (RICHARDS, 2005).

A cartografia temática de ocupação e usos do solo é uma ferramenta indispensável nos estudos ambientais, na tomada de decisão, no planejamento do território e na definição de políticas de gestão de recursos naturais (RIBEIRO, 2007). De acordo com o autor, ela possibilita medir a extensão e a verificar a distribuição das classes de ocupação do solo, analisar a interação com outras classes, identificar locais próprios para desenvolvimento de determinadas atividades e planejar o futuro de uma região. Simultaneamente, estes dados servem de informação de base para a produção de informação mais complexa sobre outros

temas, como erosão do solo, impermeabilização, entre outros. As especificações técnicas (escala, unidade mínima e nomenclatura) dos mapas a serem produzidos dependem da finalidade dos mesmos.

Hirsch (2003) classificou a cobertura vegetal e os usos do solo do PERD e entorno a partir de imagens Landsat obtendo bons resultados, utilizados como referência em muitos estudos ecológicos da região.

### 2.3 Fotografias Hemisféricas de Dossel

Nos trópicos, a floresta é um mosaico de estágios sucessionais de limites imprecisos. Se for necessária a classificação mais refinada deste tipo de cobertura vegetal, para distinção de mais tipos florestais e seus respectivos estágios sucessionais (que podem apresentar diferenças muito sutis nas imagens de sensores remotos), outras técnicas auxiliares podem ser aliadas ao procedimento de classificação, como o exame da textura das copas, o uso de técnicas de classificação combinadas ou a escolha de outros sensores (WEISHEMPEL *et al.* 1998 *apud* FREITAS E SHIMABUKURO, 2007).

Amaral *et al.* (2009) realizaram um estudo comparativo com o objetivo de avaliar os métodos de classificação de imagens de satélite utilizados para o mapeamento de estágios de sucessão florestal. Neste estudo as foram avaliadas as imagens CBERS-2<sup>15</sup>, IRS-P6<sup>16</sup> e Quickbird<sup>17</sup>.

Sette (2009) realizou a distinção dos estágios sucessionais de Mata Atlântica em remanescentes florestais do sul da Bahia analisando texturas de imagens de alta resolução FORMOSAT<sup>18</sup>, conseguindo resultados bem sucedidos.

Atualmente a Fundação SOS Mata Atlântica, em parceria com o INPE, vem monitorando os remanescentes de Mata Atlântica através do uso de imagens de satélite em escala 1 : 50.000 (SOS MATA ATLÂNTICA, 2010).

Apesar de haver diversos estudos sobre os estágios sucessionais de Mata Atlântica e grande necessidade de monitor este bioma para ampliar e direcionar os esforços de

---

<sup>15</sup> Fruto de uma parceria Sino-Brasileira, este tipo de satélite produz imagens de resolução espacial que varia entre 160 m e 20 m, dependendo do sensor considerado.

<sup>16</sup> Satélite indiano capaz de produzir imagens com resolução espacial entre 56 m e 5,8 m, dependendo do sensor.

<sup>17</sup> Satélite de alta resolução que produz imagens com resolução espacial entre 60 cm e 2,8 m.

<sup>18</sup> Satélite chinês capaz de produzir imagens com resolução entre 2 m e 8 m, dependendo da banda considerada.

preservação, no Brasil ainda não há adoção de metodologia padrão para a diferenciação sucessional remota ou menos invasiva da floresta.

Neste trabalho optou-se pela adoção de uma técnica que aos poucos vem se destacando e se tornando recorrente em estudos de estrutura da vegetação de florestas ao redor do mundo: o uso das fotografias hemisféricas de dossel.

A fotografia hemisférica do dossel vem sendo amplamente utilizada nos estudos de estrutura do dossel e de transmissão de luz na floresta. O número, tamanho e localização das frestas no dossel de uma floresta influenciam diretamente na quantidade e intensidade de luz disponível no sub-bosque (FRAZER *et al.*, 1999). A quantidade e qualidade espectral desta energia solar incidente desenvolvem importante papel na determinação da abundância e da diversidade da vegetação do sub-bosque, da germinação e mortalidade das sementes, do desenvolvimento e composição das espécies do dossel arbóreo (CANHAM *et al.* 1988; GRAY & SPIES, 1996; WRIGHT *et al.*, 1997; NICOTRA *et al.*, *apud* FRAZER *et al.*, 1999). As condições de conservação da floresta relacionam-se diretamente com a riqueza e diversidade da fauna e flora nela encontradas. O estudo destes padrões vem sendo aprimorado, visto que o interesse por estas relações ecológicas tem aumentado.

Fotografias hemisféricas são imagens capturadas com câmera fotográfica, com o auxílio de uma objetiva grande angular do tipo “olho de peixe” (*fisheye*), que permite ângulo de visada de 180°. Nos estudos de estrutura vegetacional, esta lente possibilita a análise do dossel, sua altura, aparência, abertura, índice de área foliar, entre outras relações (FRAZER *et al.*, 1999). Este tipo de objetiva produz imagens circulares que capturam o tamanho, formato e localização das clareiras no dossel da floresta. Para tanto, a câmera deve ser posicionada paralelamente ao solo; isto é, a 0° de inclinação zenital.

Em cada ponto fotografado a coordenada é determinada com o auxílio de um aparelho GPS, o que permite precisão no georreferenciamento das informações, além de gravar dados, como horário e altitude, para serem anexados a cada fotografia no momento de seu processamento.

Os produtos extraídos destas imagens podem ser utilizados como informação auxiliar na diferenciação de tipos florestais, bem como na classificação dos estágios sucessionais de Mata Atlântica.

### 3 METODOLOGIA

As etapas desenvolvidas nesta pesquisa estão apresentadas no fluxograma de atividades (FIG. 6). Os dados são representados pelos cilindros de entrada. Os *softwares* utilizados estão representados pelos retângulos com pontas arredondadas cinza e os processos por retângulos. Os produtos intermediários produzidos estão representados por paralelogramos e foram utilizados como dados. Os produtos finais são representados por cilindros de saída. Os primeiros, dados, *softwares* e produtos intermediários, serão detalhados neste capítulo. Os últimos, produtos finais, serão detalhados no capítulo 4: Resultados e Discussão.

Para a classificação da cobertura vegetal e usos do solo do PERD e entorno foram utilizados os seguintes dados secundários:

- Sete imagens de satélite (“recortes”) IKONOS do ano de 2007, pré-registradas, cedidas pelo IEF – MG, com as bandas MS fusionadas a banda PAN para obtenção de resolução espacial de 1 m;
  - Base cartográfica com dados de diferentes fontes para compor um Banco de Dados do PERD e região;
  - Mapa de cobertura vegetal e usos do solo do PERD e entorno produzido por Hirsch (2003);
  - Mapa de cobertura vegetal e usos do solo do PERD e entorno disponibilizado no Plano de Manejo do Parque (IEF – MG, 2008);
  - Dados de estudos selecionados que compõem os relatórios anuais do PELD – site 4.
- Os dados primários utilizados nesta pesquisa foram:

- Comunicações orais de funcionários do IEF – MG, moradores da região e pesquisadores que desenvolvem estudos na UC;
- Pontos de controle registrados em campo com aparelho GPS de navegação (*Garmin CSX76* e *Garmin GPS III Plus*);
- Mosaico de imagens de satélite IKONOS-II com 2 metros de resolução espacial e composição colorida RGB falsa cor (4, 3, 2);
- Fotografias hemisféricas do dossel (em áreas de Mata Atlântica em diferentes estágios sucessionais dentro e fora do Parque e em áreas de plantio de *Eucalyptus sp.*) e seus respectivos produtos, como as *working images* transformadas e os resultados dos cálculos apresentados na tabela gerada;

- Imagens provenientes da documentação fotográfica realizada em campo.

Os *softwares* utilizados para processar estes dados foram:

- ER Mapper, versão 6.4;
- ArcGIS, versão 9.2;
- GLA, versão 2.0;
- Minitab, versão 16.

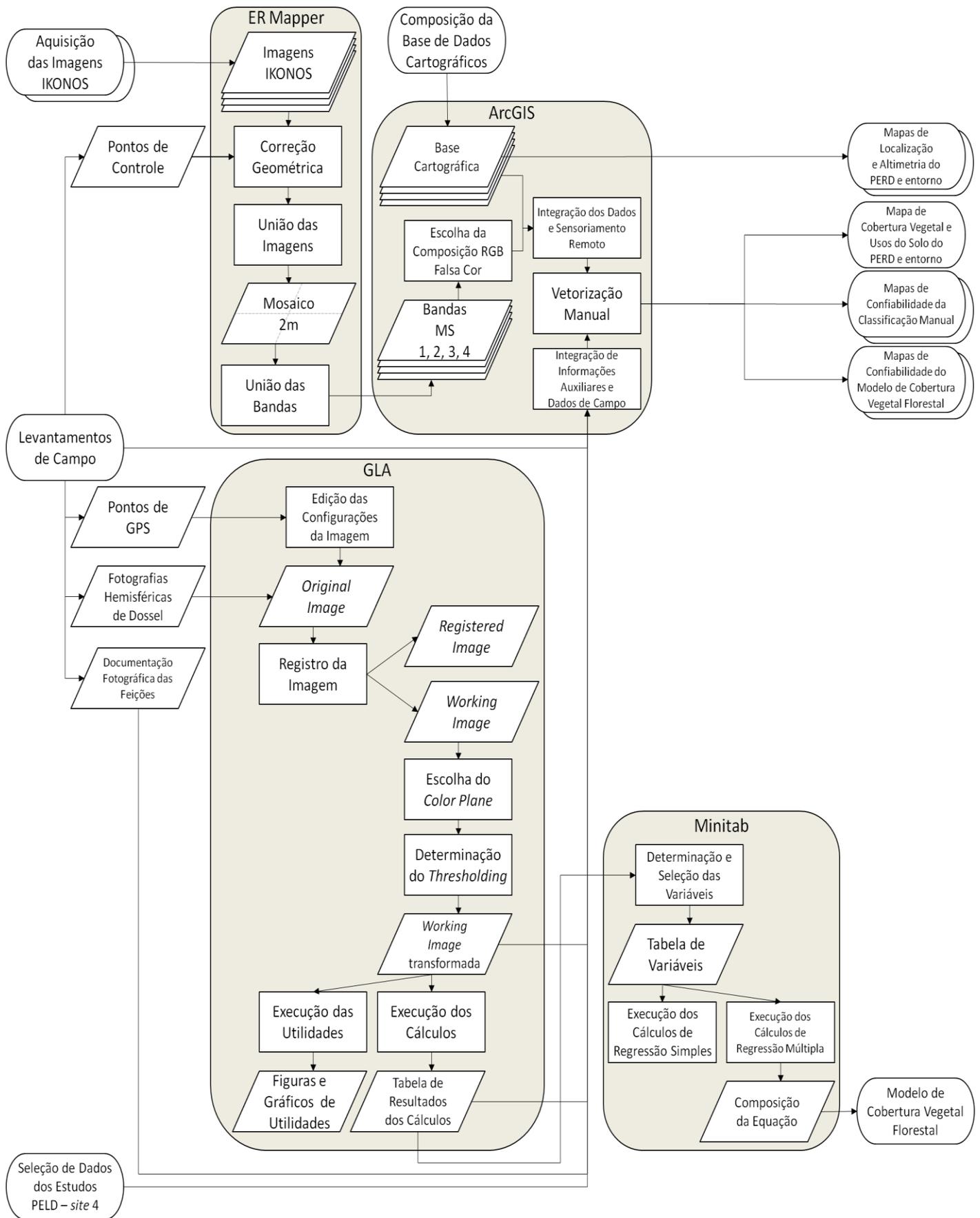


FIGURA 6 – Fluxograma de atividades desenvolvidas nesta pesquisa.

### 3.1 Dados Secundários

As imagens IKONOS da região foram cedidas pelo IEF-MG e já vêm tratadas e registradas. As coordenadas utilizadas são projetadas no sistema Universal Transversal de Mercator (UTM), na Zona 23 Sul. A projeção utilizada é o Sistema Geodésico Mundial de 1984 (WGS84). São ao todo sete “recortes” de imagens, restringindo-se ao Parque e sua zona de amortecimento. Estes “recortes” se devem, possivelmente, à redução dos custos de compra destas imagens pelo governo do estado, visto que o valor varia de acordo com a extensão da área de interesse (EMBRAPA, 2010). As partes excluídas (recortadas) aparecem cobertas de preto. As bandas MS das imagens cedidas vêm fusionadas com a banda PAN, gerando imagens com resolução espacial de 1 m.

A Base de Dados Cartográficos foi composta utilizando dados, arquivos e informações disponibilizados em domínios públicos. Entre eles: arquivos *shape* da cobertura original e atual do Domínio Mata Atlântica no Brasil, curvas de nível e outras informações altimétricas, limites municipais, localidades e limites do PERD, rede hidrográfica, arquivos *shape* das áreas urbanizadas de Timóteo e Coronel Fabriciano e das rodovias da região. As fontes das informações utilizadas são citadas nos respectivos mapas temáticos criados.

O mapa de cobertura vegetal e usos do solo da região, feito a partir de imagens Landsat, foi cedido por Hirsch (2003) e encontra-se apresentado na FIG. 7.

O mapa de cobertura vegetal e usos do solo da região apresentado no Plano de Manejo da Unidade (IEF – MG, 2008) encontra-se apresentado na FIG. 8.

Os dados obtidos nos relatórios anuais PELD – *site* 4, referentes ao período 2000 – 2007, foram selecionados de acordo com o grau de relevância das informações, além de verificação de sua liberação completa. Estudos que apresentavam resultados parciais ou incompletos foram descartados. Os estudos serviram como ferramenta de orientação para a delimitação das classes de ocupação do solo relevantes. Seus dados apontam as semelhanças e diferenças entre as áreas preservadas e impactadas da região e entre os estágios sucessionais de Mata Atlântica, comprovando a existência de diferenças ecológicas entre elas, além de dimensionar os graus de interferência antrópica na diversidade da região. Os estudos selecionados encontram-se esquematizados, cronologicamente, no QUADRO 2.

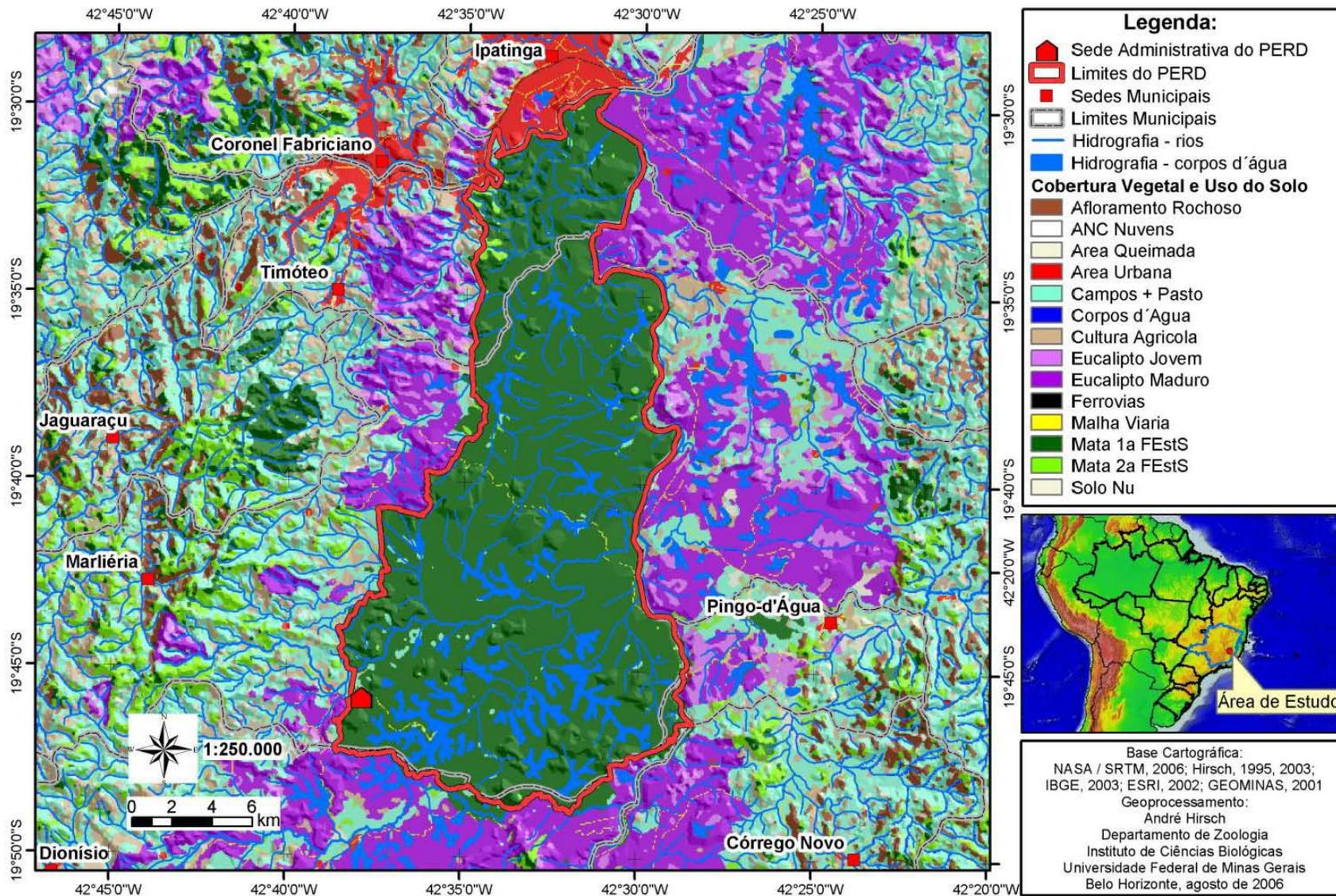
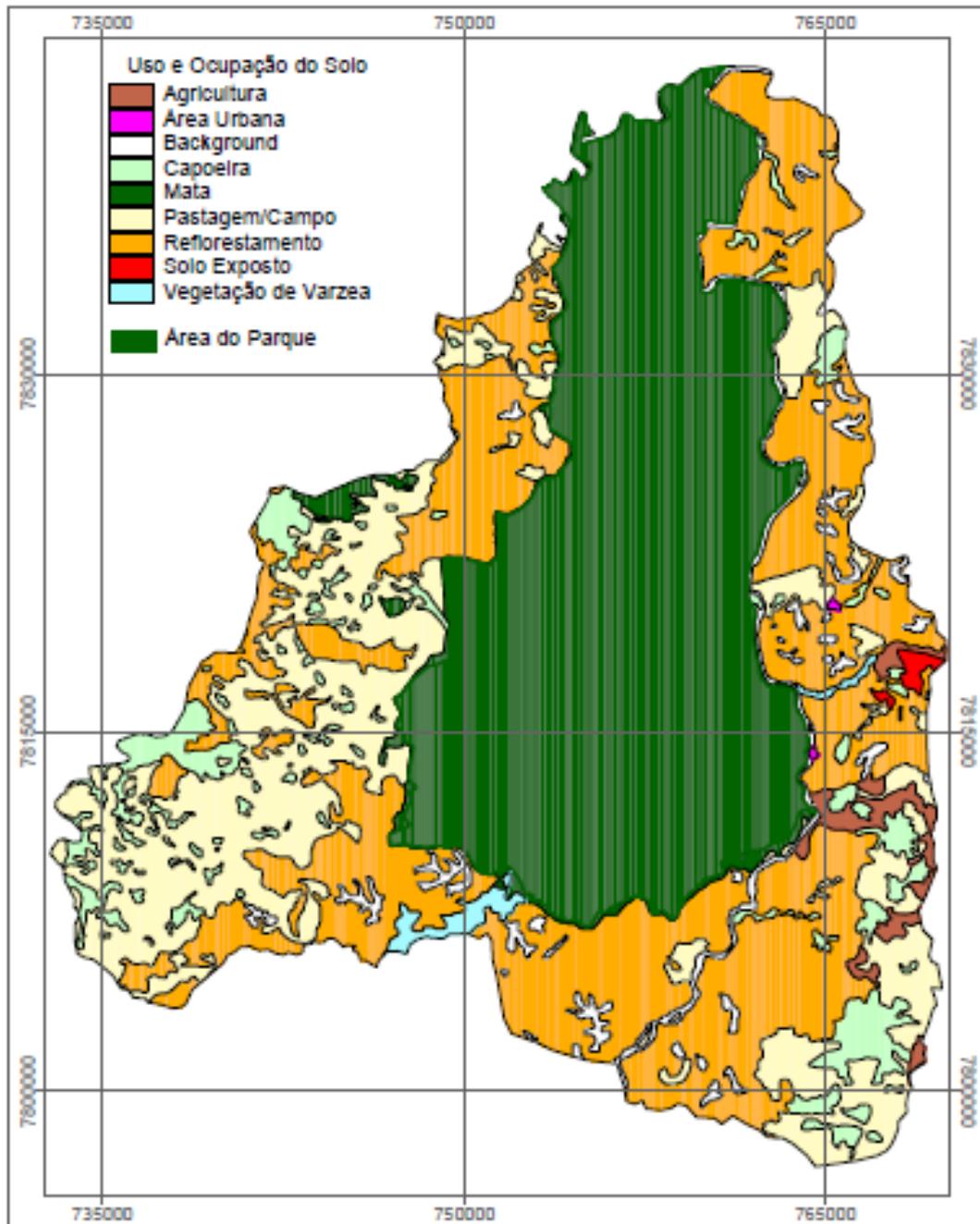


FIGURA 7 – Mapa de cobertura vegetal e usos do solo do PERD produzido por Hirsch (2003).



USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA ZONA DE AMORTECIMENTO DO PARQUE ESTADUAL DO RIO DOCE



FIGURA 8 – Mapa de cobertura vegetal e usos do solo produzido pelo IEF – MG (2008).

QUADRO 2

Estudos PELD – site 4 selecionados para validação da diferença entre áreas preservadas e impactadas no médio Rio Doce e entre estágios sucessionais de Mata Atlântica da região

(continua)

Título da Pesquisa	Pesquisadores	Ano	Grupo de Pesquisa
Mesofauna associada à decomposição de folhas de espécies arbóreas nativas de Mata Atlântica e de eucalipto em área de mata e de eucaliptal	Profa. Dra. Queila de S. Garcia Msc. Juliana de L. P. Rezende Júlia C. Coelho (Bols. IC)	1999 a 2000	Diversidade Botânica (Coord.: Queila de S. Garcia)
Variação sazonal na composição e abundância de famílias das subordens Brachycera e Cyclorrhapha (Diptera) do PERD – MG, com especial referência a família Stratiomyidae: 1. Levantamento de famílias de Brachycera e Cyclorrhapha (Diptera) e de espécies de Stratiomyidae em três áreas com diferentes tipos vegetacionais do PERD – MG 2. Entomofauna associada a <i>Heliconia episcopalis</i> : levantamentos de espécies e estudo do comportamento de insetos associados a manchas de <i>H. episcopalis</i> em duas áreas com diferentes formações florestais 3. Entomofauna associada a decomposição de pseudocaulos de <i>Heliconia episcopalis</i> com especial referência a <i>Merosargus sp.</i> 4. Levantamento e padrão de ocorrência diária de ordens de insetos e de Brachycera e Cyclorrhapha que ocorrem em manchas de <i>Heliconia episcopalis</i>	Téc. Resp.: Julio Cesar R. Fontenelle Coord.: Dr. Rogério P. Martins Estag.: Ana Paula V. Americano Cesar de S. C. Neto Eduardo Fabrícia Flávio S. de Castro Glenda Ivan Luiz L. Costa Julia C. Almeida Luana	1. 1999 a 2002 2. ... 3. 2001 4. 2001	Diversidade Faunística (Coord.: Rogério P. Martins)
Variação espaço-temporal de comunidades de pequenos mamíferos do PERD – MG	Gustavo Alberto B. da Fonseca Adriano Paglia	2000 a 2002	Diversidade Faunística (Coord.: Rogério P. Martins)
Avaliação da qualidade das águas na bacia do médio Rio Doce através de parâmetros ecotoxicológicos	Coord.: Arnola Cecília Rietzler Equipe: Débora N. Campos, Felipe Campos	2000 a 2002	Diversidade Aquática (Coord.: Francisco Barbosa)
Levantamento de famílias de Brachycera e Cyclorrhapha (Diptera) em três áreas com diferentes tipos vegetacionais do PERD – MG	Téc. Resp.: Julio Cesar R. Fontenelle Coord.: Dr. Rogério P. Martins Estag.: Cesar de S. C. Neto Eduardo Paschoaline Flávio S. de Castro Ivan Luiz L. Costa	2000 a 2003	Diversidade Faunística (Coord.: Rogério P. Martins)

(continua)

<b>Título da Pesquisa</b>	<b>Pesquisadores</b>	<b>Ano</b>	<b>Grupo de Pesquisa</b>
Composição florística e fitossociologia de uma área de Mata Atlântica do sudeste de Minas Gerais, Brasil	Prof. Dr. Alexandre Salino Prof. Dr. João Renato Stehmann Dra. Tereza Cristina S. Sposito Fernanda A. Carvalho (Bols. IC)	2001 a 2002	Diversidade Botânica (Coord.: Queila de S. Garcia)
Caracterização física e química de rios e lagos do trecho médio da bacia do Rio Doce – MG	Coord.: Francisco Barbosa Millôr G. Sabará Eq. Téc.: Maurício Petrúcio Raquel S. Mendes Wilma Carvalho Rodrigo Souza Fábio da C. Garcia Marcelo Augusto de R. Costa	2001 a 2002	Diversidade Aquática (Coord.: Francisco Barbosa)
Estudo comparativo da produtividade vegetal em solo preservado x solo impactado: 1. Crescimento de espécies vegetais na Mata Atlântica e ciclagem de nutrientes de suas liteiras na mata ciliar do Rio Doce	Profa. Dra. Maria Rita M. Scotti Profa. Dra. Nadja Maria H. de Sá Alexander Diego da Silva (Bols. IC)	2002	Diversidade Botânica (Coord.: Queila de S. Garcia)
Composição florística e fitossociologia de uma área de Mata Atlântica do sudeste de Minas Gerais, Brasil	Prof. Dr. Alexandre Salino Prof. Dr. João Renato Stehmann Profa. Dra. Tereza Cristina Sposito Msc. Glauco	2002	Diversidade Botânica (Coord.: Queila de S. Garcia)
Avaliação microbiológica de ambientes aquáticos no trecho médio da bacia do Rio Doce – MG (Caracterização dos indicadores microbiológicos de qualidade de água em quatro lagos do trecho médio da bacia do rio doce)	Coord.: Carlos Augusto Rosa Adriana Medeiros Beatriz Missagia	2002	Diversidade Aquática (Coord.: Francisco Barbosa)
Diversidade e estrutura genética de <i>Hymenaea courbaril</i> (jatobá-da-mata), através de marcadores de RAPD	Coord.: Maria Bernadete Lovato	2002 a 2003	Diversidade Genética (Coord.: Maria Bernadete Lovato)
Variabilidade genética em populações fragmentadas de <i>Dalbergia nigra</i> (jacarandá-da-bahia), utilizando marcadores RAPD	Coord.: Maria Bernadete Lovato	2002 a 2003	Diversidade Genética (Coord.: Maria Bernadete Lovato)
Diversidade genética e filogeografia de <i>Dalbergia nigra</i> (jacarandá-da-bahia) e <i>Hymenaea courbaril</i> (jatobá-da-mata), através de marcadores de DNA de cloroplasto (cpDNA)	Coord.: Maria Bernadete Lovato	2002 a 2003	Diversidade Genética (Coord.: Maria Bernadete Lovato)
Avaliação da qualidade das águas na bacia do médio Rio Doce através de parâmetros ecotoxicológicos	Arnola Cecília Rietzler, Débora Lobato, Raíssa de L. Guimarães	2002 a 2003	Diversidade Aquática (Coord.: Francisco Barbosa)

(continua)

<b>Título da Pesquisa</b>	<b>Pesquisadores</b>	<b>Ano</b>	<b>Grupo de Pesquisa</b>
Caracterização física e química de lagos e rios do médio Rio Doce – MG	Coord.: Francisco Barbosa Eq. Téc.: Millôr G. Sabará Maurício Petrúcio Raquel S. Mendes Rodrigo Souza Fábio da C. Garcia Marcelo Augusto de R. Costa	2003	Diversidade Aquática (Coord.: Francisco Barbosa)
Composição e abundância das abelhas do médio Rio Doce – MG	Coord. Téc.: Yasmine Antonini Estag.: Alexon de P. Lúcio Eva Gleide Silva Renzo A. Lanza	2003	Diversidade Faunística (Coord.: Rogério P. Martins)
Caracterização física e química de lagos e rios do médio Rio Doce – MG	Coord.: Francisco Barbosa Eq. Téc.: Millôr G. Sabará Maurício Petrúcio Raquel S. Mendes Rodrigo Souza Fábio da C. Garcia Marcelo Augusto de R. Costa	2004	Diversidade Aquática (Coord.: Francisco Barbosa)
Avaliação da qualidade das águas na bacia do médio Rio Doce através de parâmetros ecotoxicológicos.	Arnola Cecília Rietzler, Débora Lobato Raíssa de L. Guimarães	2004	Diversidade Aquática (Coord.: Francisco Barbosa)
Composição e abundância das abelhas do médio Rio Doce – MG	Coord. Téc.: Yasmine Antonini Estag.: Alexon de P. Lúcio Eva Gleide Silva Renzo A. Lanza	2004	Diversidade Faunística (Coord.: Rogério P. Martins)
Variação espaço-temporal de comunidades de pequenos mamíferos do “site” PELD do PERD – MG	Gustavo Alberto B. da Fonseca Adriano Paglia	2004	Diversidade Faunística (Coord.: Rogério P. Martins)

(continua)

<b>Título da Pesquisa</b>	<b>Pesquisadores</b>	<b>Ano</b>	<b>Grupo de Pesquisa</b>
Avaliação da qualidade das águas na bacia do médio Rio Doce através de parâmetros ecotoxicológicos	Arnola Cecília Rietzler, Débora Lobato Raíssa de L. Guimarães	2005	Diversidade Aquática (Coord.: Francisco Barbosa)
Caracterização física e química de lagos e rios do médio Rio Doce – MG	Coord.: Francisco Barbosa Eq. Téc.: Millôr G. Sabará Maurício Petrúcio Raquel S. Mendes Rodrigo Souza Fábio da C. Garcia, Marcelo Augusto de R. Costa	2005	Diversidade Aquática (Coord.: Francisco Barbosa)
Composição e abundância das abelhas do médio Rio Doce – MG	Coord. Téc.: Yasmine Antonini Estag.: Alexon de P. Lúcio Eva Gleide Silva, Renzo A. Lanza	2005	Diversidade Faunística (Coord.: Rogério P. Martins)
Variação espaço-temporal de comunidades de pequenos mamíferos do “site” PELD do PERD – MG	Gustavo Alberto B. da Fonseca Adriano Paglia	2005	Diversidade Faunística (Coord.: Rogério P. Martins)
Avaliação da qualidade das águas na bacia do médio Rio Doce através de parâmetros ecotoxicológicos	Arnola Cecília Rietzler, Débora Lobato Raíssa de L. Guimarães	2006	Diversidade Aquática (Coord.: Francisco Barbosa)
Variação espaço-temporal de comunidades de pequenos mamíferos do “site” PELD do PERD – MG	Gustavo Alberto B. da Fonseca Adriano Paglia	2006	Diversidade Faunística (Coord.: Rogério P. Martins)
Estudo da ictiofauna das lagoas Carioca e Gambazinho – médio Rio Doce – MG, visando a implantação experimental de um plano de manejo para as espécies invasoras	Msc. Evelise Fragoso Cíntia Aloísio Pelinson	2007	Diversidade Aquática (Coord.: Francisco Barbosa)

(conclusão)

<b>Título da Pesquisa</b>	<b>Pesquisadores</b>	<b>Ano</b>	<b>Grupo de Pesquisa</b>
Discriminação de diferentes tipos vegetacionais utilizando a composição e abundância de famílias de Díptera das subordens Brachycera e Cychlorrhapha, com especial referência a família Stratiomyidae e Bombyliidae	Téc. Resp.: Julio Cesar R. Fontenelle Coord.: Dr. Rogério P. Martins Estag: Cesar de S. C. Neto Eduardo Paschoaline Flávio S. de Castro Ivan Luiz L. Costa	2007	Diversidade Faunística (Coord: Rogério P. Martins)
Variação espaço-temporal de comunidades de pequenos mamíferos do “ <i>site</i> ” PELD do PERD – MG	Gustavo Alberto B. da Fonseca Adriano Paglia	2007	Diversidade Faunística (Coord.: Rogério P. Martins)

## 3.2 Dados Primários

### 3.2.1 Classificação das Imagens IKONOS

Antes de dar início à classificação manual, foi necessário unir os “recortes” das imagens cedidas. As etapas necessárias incluem idas a campo e processamento de dados para refino e interpretação dos dados.

Ainda que as imagens de satélite tenham vindo com registro prévio, foi realizada correção geométrica das mesmas através dos pontos de controle registrados em campo, utilizando o *software* ER Mapper (versão 6.4) e os resultados obtidos foram bastante satisfatórios. Este tratamento visou refinar o registro anterior. Os pontos de controle foram previamente selecionados nas imagens impressas e em abril de 2010 foi realizada uma inspeção *in loco* para o registro das coordenadas geográficas com auxílio de aparelho GPS de navegação (*Garmin CSX76*) nos locais selecionados, o que possibilitou verificação das características da paisagem e da estrutura vegetacional em algumas regiões do PERD e seu entorno, além de permitir a melhora no georreferenciamento das referidas imagens.

Primeiramente, cada imagem foi tratada individualmente, com a inserção dos respectivos pontos de controle. Em seguida foram feitos alguns ajustes manuais, utilizando o mesmo *software*, realizando-se apenas pequenas alterações na disposição para acerto visual em sua localização espacial. Estes ajustes foram feitos devido às diferenças em relação ao número e distribuição dos pontos de controle em cada uma das imagens, sendo que algumas possuíam mais pontos que outras, ao construir o mosaico, isto é, ao unir as imagens. A falta de pontos em uma determinada imagem pode impossibilitar sua correção, visto que o número mínimo de pontos para que este procedimento seja realizado pelo ER Mapper é quatro. A disposição de pontos na imagem também influencia a correção e o recomendado é que estejam bem distribuídos, abrangendo, o mais homogeneamente possível, áreas das bordas e do centro, de forma a diminuir qualquer tendência que o programa possa apresentar. No entanto, nem sempre é possível cumprir todas essas recomendações, seja devido à dificuldade de acesso aos locais, seja devido à presença de nuvens nas imagens.

Depois de construído mosaico, a imagem é salva no formato “.tif”, unindo as sete imagens e as quatro bandas MS (que vêm individualmente fusionadas a banda PAN, para ganho de resolução espacial) no mesmo arquivo. Além disso, optou-se pela redução da

resolução espacial da imagem de 1 m para 2 m, visando diminuir o volume de dados (“peso”) do arquivo final, o que possibilita aumento da agilidade (“velocidade”) de processamento de dados para proceder à classificação, utilizando o ArcGIS.

A interpretação visual e vetorização manual do mosaico foi realizada com o uso do *software* ArcGIS (versão 9.2), a partir das observações realizadas em campo. Neste programa, foi selecionada a composição colorida RBG falsa cor (4, 3, 2), ou seja, a banda 4 (infravermelho próximo) foi representada pela cor vermelha, a banda 3 (vermelha) foi representada pela cor verde e a banda 2 (verde) foi representada pela cor azul. Isto dá um aspecto pouco usual à imagem, pois a vegetação que normalmente vemos em tons de verde passa a ser vista em tons de vermelho, como demonstrado pela FIG. 9. Essa composição foi escolhida por enfatizar as áreas com cobertura vegetal, facilitando a identificação destas feições. O que diferencia os variados tipos de cobertura vegetal é o padrão exposto na imagem, como a tonalidade e a textura das copas das árvores nos remanescentes florestais, das lavouras, dos pastos ou dos monocultivos de eucalipto, que são diferentes entre si. As áreas cobertas por água aparecem bem escuras e as áreas que apresentam solo exposto apresentam cores claras, entre o azul claro e o branco. As áreas cobertas por nuvem apresentam-se brancas ou com aspectos de embaçamento, se a camada de nuvem for fina. As cidades, grandes ou pequenas, aparecem na imagem em diferentes tonalidades, dependendo do material dos telhados e da pavimentação, no entanto suas expressões na imagem são peculiares, geralmente geométricas e interligadas por malha viária.

Esta técnica de classificação consiste na criação de uma camada (*layer*) de polígonos vetorizados manualmente. Cada um dos polígonos é identificado com um rótulo, a sua classe. Outros dados podem ser adicionados a cada polígono, através da tabela de atributos desta classificação, como as espécies presentes, por exemplo. A janela de vetorização adotada foi de 1 : 5.000 (escala disponibilizada pelo *software* utilizado), conferindo grande detalhamento aos polígonos, desde os menores até os maiores; isto é, ao demarcar os limites de cobertura de cada classe, não há perda de detalhes entre os polígonos de diferentes tamanhos, uniformizando a qualidade do resultado final.

A vetorização, depois de concluída, é salva em um arquivo *shape*, no formato “.shp”, que pode ser usado em outros programas para diversas finalidades.

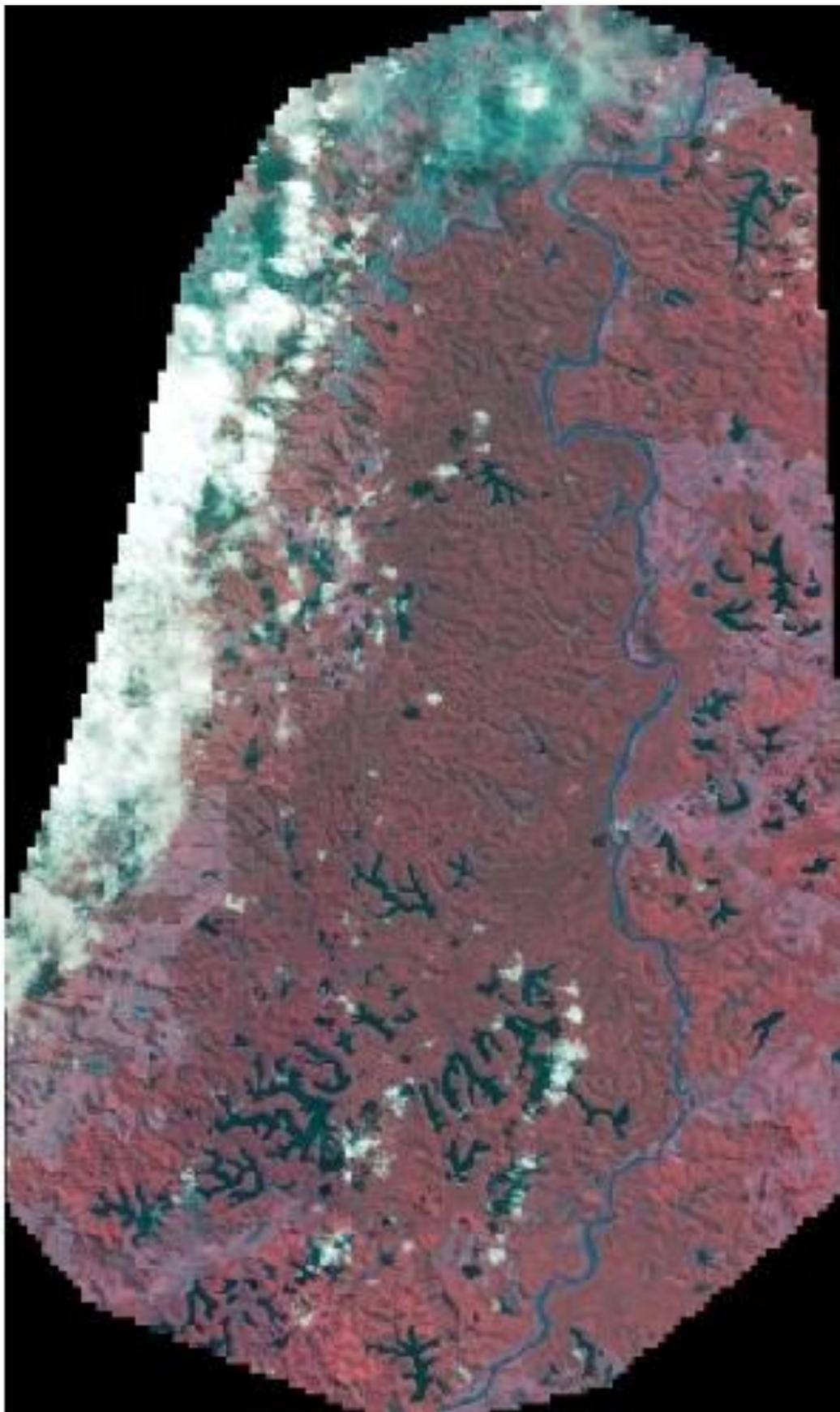


FIGURA 9 – Mosaico das imagens IKONOS (2007) do PERD e entorno, com composição RGB falsa cor (4, 3, 2) com 2 m de resolução espacial, construído no ER Mapper.

As classes identificadas neste mapeamento são as seguintes:

- “Mata Atlântica”, que compreende a “Floresta Estacional Semidecidual Submontana” encontrada na região, dentro e fora do PERD, em seus diversos estágios sucessionais (“Mata Primária”, “Mata Secundária Alta”, “Mata Secundária Média”, “Mata Secundária Média-Baixa”, “Mata Secundária Baixa”, “Mata em estágio inicial de regeneração”);
- “Eucalipto”, que compreende as áreas nas quais a vegetação natural primitiva foi substituída por monocultivos de *Eucalyptus sp.*, em diversos estágios de maturação, encontrados na região. Os cultivos podem ser renovados até 3 vezes ao longo de 21 anos, isto é, a cada sete anos a partir do plantio dos clones nos talhões, as árvores são cortadas mas é deixado o “toco” enraizado para as rebrotas. Pode também ser chamada de silvicultura ou reflorestamento. Todas essas feições encontram-se nesta classe, mesmo os talhões com plantio ou corte recentes (nos anos de 2006 ou 2007);
- “Fornos de Carvão”, que compreende as áreas nas quais a vegetação natural primitiva foi substituída por monocultivos de *Eucalyptus sp.* e que possuem estas baterias de carvão associadas para a produção de carvão vegetal certificado para as indústrias siderúrgicas da região. Estas áreas foram delimitadas e apresentam-se como áreas planas com a presença de círculos claros e equidistantes, dispostos em linha. Estes fornos produzem muita fumaça, que possivelmente interfere na qualidade da paisagem ao seu redor (riqueza e diversidade da fauna e flora);
- “Mata Mista”, que compreende as áreas nas quais a vegetação natural primitiva foi substituída por monocultivos de *Eucalyptus sp.* que posteriormente tiveram os talhões abandonados e o processo de regeneração da mata nativa ocorreu em graus diferenciados, mas que ainda apresentam indivíduos de eucalipto. Em geral estes indivíduos são mais velhos, de grande porte, sendo emergentes no dossel;
- “Pasto”, que compreende as áreas nas quais a vegetação natural primitiva foi substituída por pastagens, onde predomina a criação de gado leiteiro. Algumas destas áreas encontram-se abandonadas ou sub-aproveitadas, constituindo-se de cobertura graminóide rala com ou sem a presença de vegetação arbustiva. Outras áreas podem ainda ser, ora utilizadas como agricultura, ora como pasto, principalmente nas áreas de baixada;
- “Gramíneas”, que compreende as áreas nas quais a vegetação natural primitiva foi substituída por gramíneas, que foram identificadas e delimitadas, mas que o uso como

pastagem não pode ser comprovado, seja por não ter sido inspecionada em campo, seja por falta de identificação de outras estruturas, principalmente componentes que integram a classe “Zona Urbana”;

- “Agricultura”, que compreende as áreas nas quais a vegetação natural primitiva foi substituída por lavouras. Estas áreas agrícolas são usadas para cultivos temporários ou permanentes, passíveis de identificação nas imagens. Estas lavouras são encontradas de forma concentradas nas áreas de baixada, dispersas nas regiões urbanas periféricas, como agricultura de subsistência, e nas pastagens, para uso na alimentação do gado;
- “Zona Urbana”, que compreende as áreas nas quais a vegetação natural primitiva foi substituída por um conjunto de edificações e estruturas características da ocupação de aglomerados urbanos, estando incluídas categorias de uso residencial, comercial, industrial ou misto. Também foram consideradas feições pertencentes a esta classe: a malha viária (ruas e estradas, pavimentadas ou não), pontes, as habitações e diversas construções dispersas nas áreas rurais, inclusive dentro de outras classes, como estufas, currais e sedes de fazendas;
- “Linhas de Alta Tensão”, que compreende as torres e respectivas fiações que transportam a energia para a região. Na imagem estas estruturas não são visualizadas, mas sim extensas áreas posicionadas em linha, com cobertura graminóide, a nordeste do PERD;
- “Água”, que compreende todos os corpos d’água detectáveis nas imagens, incluindo os córregos, ribeirões e rios da região, as lagoas naturais do sistema lacustre do médio Rio Doce (nas quais a água encontra-se exposta) e os lagos artificiais gerados por barragens, para abastecimento ou piscicultura. Esta feição pode ser identificada pelas tonalidades escuras e pelos padrões expostos na imagem, os formatos, meandros e ondulações. Nela foram agrupadas as seguintes classes, inicialmente separadas: “Curso d’água” (cursos d’água não identificados), “Curso d’água – Rio Doce”, “Curso d’água – Rio Piracicaba”, “Curso d’água – Ribeirão do Turvo”, “Curso d’água – Ribeirão Mombaça”, “Curso d’água – Ribeirão Sacramento”, “Lagoas – tanques” e “Sistema Lacustre do Médio Rio Doce”. Pode haver vegetação associada aos cursos d’água e esta também foi considerada parte integrante desta classe nos casos em que não foi possível delimitá-la;

- “Banco de Areia”, que compreende os acúmulos de areia que ocorrem ao longo dos meandros dos rios e cursos d’água menores. Esta classe encontra-se exclusivamente associada às feições hidrográficas;
- “Sistema Lacustre do Médio Rio Doce”, que compreende os corpos lacustres que foram identificados e delimitados, sejam eles formações de brejo, cobertos por gramíneas ou macrófitas aquáticas, contendo ou não água exposta durante todo ou parte do ano;
- “Afloramento Rochoso”, que compreende as áreas nas quais os afloramentos de rocha atingem dimensões mapeáveis pela imagem, podendo ou não estar cobertas por vegetação rasteira, musgos e líquens, típicos destes ambientes. Podem estar associados aos cursos d’água ou encontrarem-se dispersos na região.
- “Área Não Sensoriada”, que compreende as áreas delimitadas nas imagens como diferentes das classes das áreas subjacentes, mas que não foram identificadas por não terem sido vistoriadas em campo e por não se assemelharem a nenhuma das demais classes. Algumas vezes, a cobertura destas áreas por finas camadas de nuvem pode ter impossibilitado a classificação. Áreas que apresentavam cobertura total por nuvens densas também foram inseridas nessa classe.

O mapa de cobertura vegetal e usos do solo do PERD e entorno produzido pela vetorização manual encontra-se apresentado no capítulo 4: Resultados e Discussão.

### 3.2.2 Classificação das Fotografias Hemisféricas de Dossel

No levantamento de realizado em março de 2010 foi possível visitar diversas localidades do PERD e entorno, tanto para as vistorias necessárias à classificação manual quanto para o registro dos diferentes estágios sucessionais da Mata Atlântica através da técnica de fotografia hemisférica de dossel. Em dezembro do mesmo ano foi realizada outra visita, com a mesma finalidade, visando cobrir áreas não inspecionadas anteriormente e o registro de feições e estágios sucessionais que não foram abrangidos no levantamento anterior, como as áreas de monocultivo de eucalipto.

As trilhas foram previamente escolhidas a fim de cobrir as diferentes feições, selecionando áreas onde os estágios sucessionais eram conhecidos (estudos anteriores). As

áreas selecionadas para a realização das trilhas encontram-se, em sua grande maioria, dentro do Parque, em áreas próximas à estrada que atravessa a Unidade, ligando Timóteo à Bom Jesus do Galho. Estas trilhas foram escolhidas por já estarem sendo usadas em outros estudos, ligando a estrada aos *plots* do projeto TEAM. Outras áreas cobertas estão nas regiões sul e sudoeste, dentro e fora do PERD. Alguns pontos inseridos em monocultivos de eucalipto também foram registrados para a comparação entre os resultados apresentados por este tipo de cobertura e a cobertura nativa da região, pois muitas vezes, dependendo da localização dos talhões e da orientação das encostas, as classes “Eucalipto”, “Mata Mista” e “Mata Atlântica” podem apresentar confusão.

Em cada trilha percorrida, as fotografias eram realizadas nos pontos amostrais, de modo a registrar desde a borda até o interior da mata, para percepção do “efeito de borda”. Em cada ponto fotografado foram registradas as coordenadas geográficas com auxílio de aparelho GPS de navegação (*Garmin CSX76 GPS* e *Garmin GPS III Plus*) como demonstrado na FIG. 10a.

Para a obtenção das fotografias hemisféricas de dossel foi utilizada câmera fotográfica digital Nikon D40x e objetiva *fisheye* Sigma 4,5mm. Não foi utilizado tripé, nivelador de inclinação (nível de bolha) ou trena, mas o uso destes acessórios é fortemente recomendado, por permitirem o posicionamento correto do equipamento fotográfico, como representado na FIG. 10b. Para todas as imagens considerou-se que a câmera foi posicionada paralelamente ao solo, a 0° de inclinação em relação ao zênite (posição ideal do equipamento fotográfico) e 1,70 m de altura. As direções da imagem devem ser anotadas e identificadas, como demonstrado na FIG. 10c. Desta forma foi obtida a imagem, como representado na FIG. 10d.

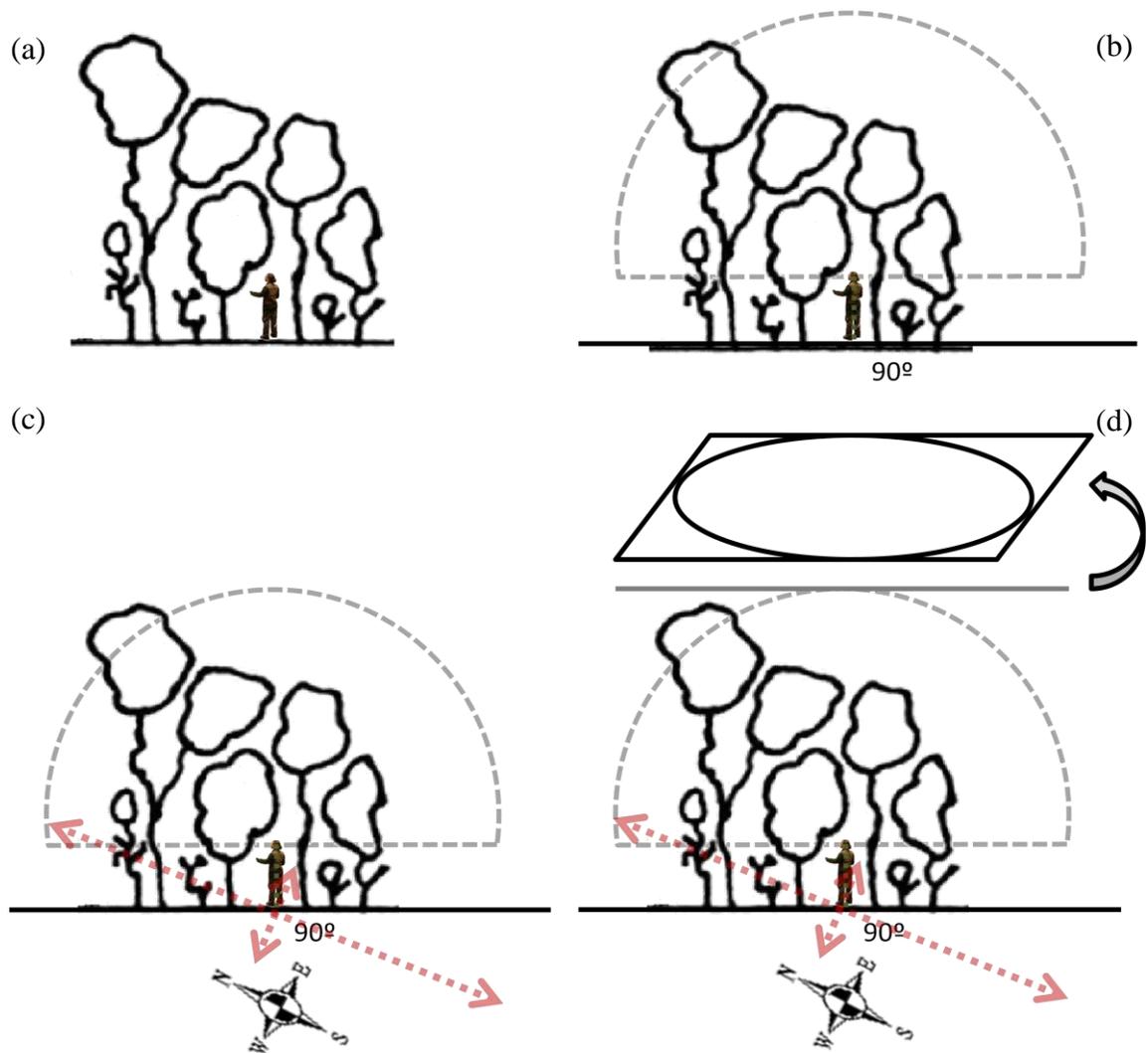


FIGURA 10 – Técnica da fotografia hemisférica de dossel em campo.

- (a) Escolha do ponto amostral e registro das coordenadas geográficas pelo pesquisador;
- (b) Posicionamento da câmera fotográfica. O semicírculo pontilhado representa o alcance da objetiva *fish-eye*;
- (c) Indicação das direções no ponto fotografado;
- (d) Obtenção da fotografia hemisférica do dossel, representadas de maneira ilustrativa.

As trilhas percorridas, o respectivo estágio sucessional, os pontos amostrais e sua localização generalizada em relação ao PERD encontram-se no QUADRO 3:

QUADRO 3

Trilhas percorridas para o registro das fotografias hemisféricas de dossel e respectivos pontos de amostragem

Nome da Trilha	Tipo florestal / Estágio Sucessional	Nº dos pontos GPS	Localização em relação ao PERD
Trilha Lagoa Central	Mata Atlântica / Primária	PT 014, PT 015 e PT 016	Centro-oeste
Trilha Lagoa Preta	Mata Atlântica / Primária	PT 024, PT 025 e PT 026	Centro-oeste
Trilha Campolina	Mata Atlântica / Primária	PT 047 e PT049	Centro-leste
Trilha Garapa Torta	Mata Atlântica / Secundária Alta	PT 018, PT 019, PT 020 e PT021	Centro-oeste
Trilha Lagoa Aníbal	Mata Atlântica / Secundária Alta	Fotografias não utilizadas	Centro-leste
Trilha Turfeira	Mata Atlântica / Secundária Média	PT Fe	Sudoeste
Trilha Mombaça-Turvo	Mata Atlântica / Secundária Média	PT 279 e PT 280	Sudoeste
Trilha Mata Fronteira	Mata Atlântica / Secundária Média	PT 100	Sudoeste
Trilha Lagoa Carioca	Mata Atlântica / Secundária Baixa	PT 107, PT 108, PT 109	Sudoeste
Trilha Lagoa Dom Helvécio-Gambá	Mata Atlântica / Secundária Baixa	PT A1	Sul
Trilha Mata Arcelor Mital	Mata Atlântica / Secundária Baixa	PT 87	Sul
Trilha Mata Mista	Mata Mista	PT 98	Sudoeste
Trilha talhão A Arcelor Mital	Eucaliptal / jovem, até 10 m	PT 88	Sul
Trilha talhão B Arcelor Mital	Eucaliptal / jovem, 10 a 15 m	PT 91	Sul
Trilha talhão C Arcelor Mital	Eucaliptal / jovem, 10 a 15 m	PT 95	Sul

O *software Gap Light Analyzer (GLA)* (versão 2.0) foi utilizado para processamento das imagens obtidas. Este *software* foi desenvolvido pela *Simon Fraser University* (Canadá) em conjunto com o *Institute of Ecosystem Studies* (Estados Unidos) (FRAZER *et al.*, 1999).

O primeiro passo neste programa é o registro do norte, seja ele geográfico ou magnético, na imagem. Este registro consta de indicar na janela aberta pelo programa (*original image*) onde está localizado o norte e a abrangência da imagem de floresta, descartando dos cálculos as partes que correspondem à objetiva, por exemplo. Isso permitirá o cálculo do caminho percorrido pelo Sol naquele ponto da floresta, indicando onde haverá maior incidência de raios solares e possibilitará a realização algumas compensações se o usuário desejar executar outros cálculos disponíveis.

Para as fotografias de março, a abrangência considerou o raio 500 a partir do ponto central 503 X 503 e, para as fotografias de dezembro, foi considerado o raio 500 com ponto central 1143 X 768. Estes números são correspondentes à localização do *pixel* central. Como o norte não foi identificado em campo no momento de nas fotografias, precisou ser modelado

posteriormente. Para tanto, foi utilizada uma “Rosa dos Ventos” modificada, com as direções norte e sul invertidas (aqui chamada de “cruzeta”), característica deste tipo de imagem, descrita por RICH (1990). Esta inversão se dá devido à perspectiva de observação do dossel, de baixo para cima (FIG. 11). Um “Relógio de Sol” simplificado deu lugar às direções leste-oeste (FIG. 12).

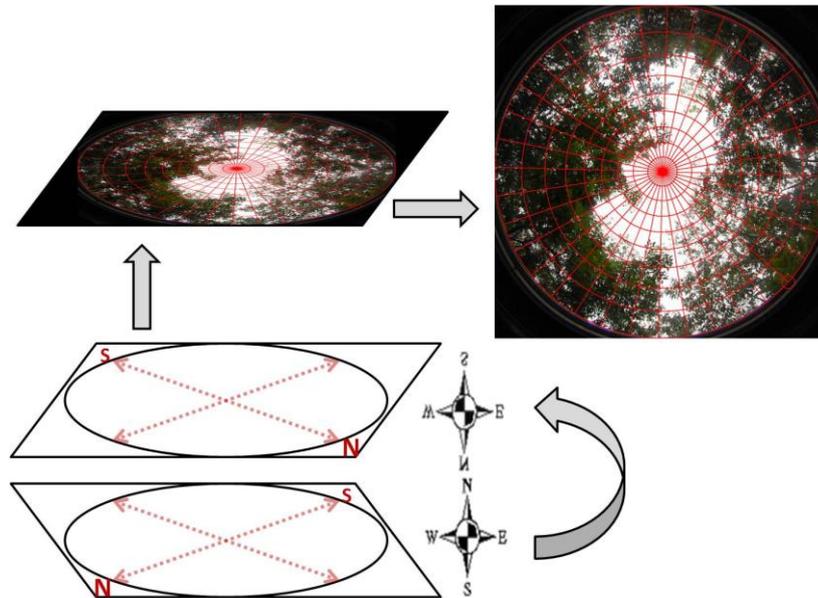


FIGURA 11 – Modelagem da direção norte nas fotografias hemisféricas de dossel. Observe que ao mudar a perspectiva de observação, as direções norte e sul se invertem na “Rosa dos Ventos”, como se olhássemos uma bússola transparente por baixo. No canto superior direito está a *registered image* e o norte geográfico é indicado pelo círculo vermelho na periferia inferior direita do *grid*.

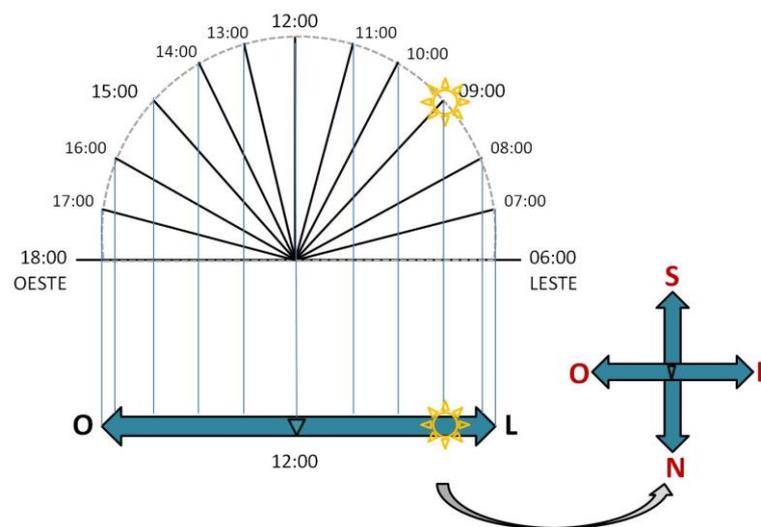


FIGURA 12 – Adaptação do “Relógio do Sol” e “cruzeta”. Alternativa utilizada para modelar o Norte a partir do horário e relativa posição Solar em cada fotografia.

De acordo com a posição do Sol na fotografia e com o horário registrado pelo GPS (e pela câmera fotográfica) e, estimou-se a direção norte. Um exemplo desta modelagem encontra-se na FIG. 13.

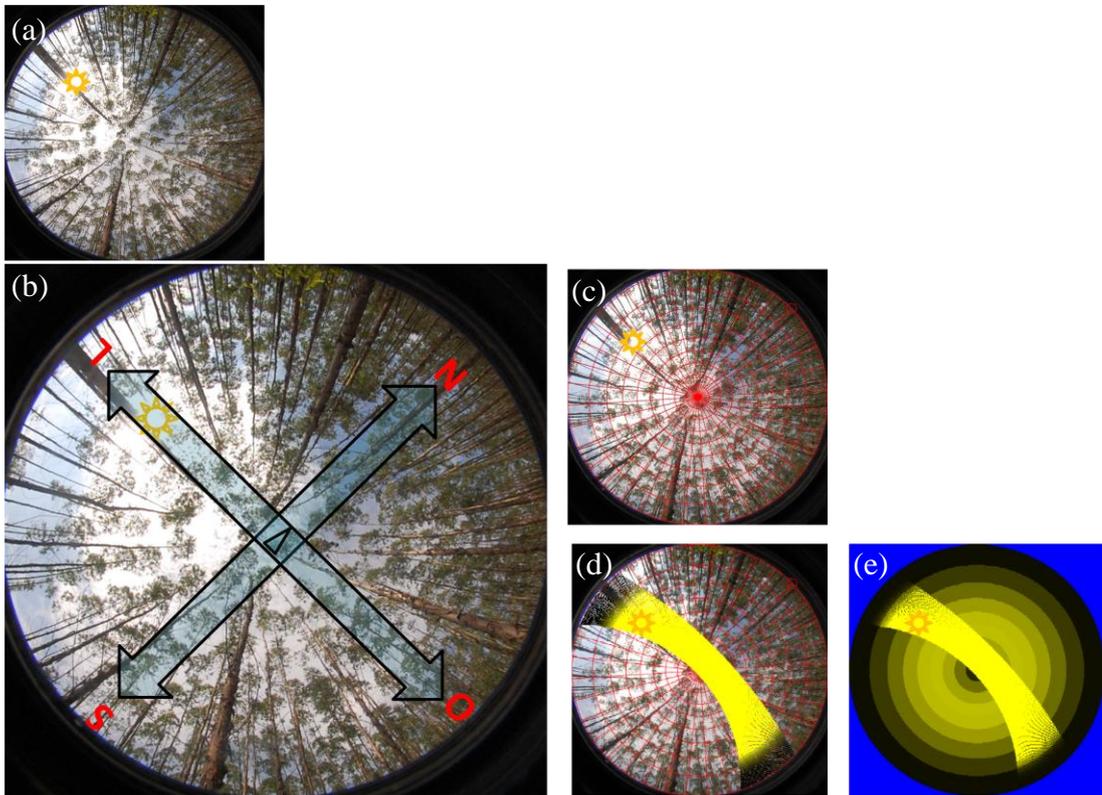


FIGURA 13 – Exemplo de modelagem do norte geográfico na fotografia 046, comprovando a realização correta do registro das direções cardeais.

- (a) identificação do Sol na imagem;
- (b) posicionamento da “cruzeta”;
- (c) determinação do Norte na *registered image*;
- (d) resultado da utilidade “*Plot Sunpath*”;
- (e) resultado da utilidade “*Display Sky-Region Brightness*”. que comprovam o registro correto.

Realizado o registro, o programa abrirá duas novas janelas, ambas com a imagem colorida e registrada, abrangendo somente a área de interesse: uma imagem registrada (*registered image*), que se manterá inalterada mesmo após a execução da classificação e dos cálculos e uma imagem de trabalho (*working image*), que será alterada e transformada durante os procedimentos realizados pelo usuário.

Em seguida procede-se a edição das configurações, quando o usuário deve inserir o máximo possível de informações acerca da realidade do local fotografado Na aba “*image*”: indicação do norte escolhido (foi definido o uso do norte geográfico) e da projeção de distorção (*Stereographic Equal Angle*). Na aba “*site*”: identificação do local (com o uso das coordenadas geográficas e da altitude), indicação da orientação adotada (inclinação

horizontal, 90°), indicação da interferência topográfica (nulo). Na aba “*resolution*”: determinação do *Suntrack* (*default* para a variável *Solar Step Time* e 01 de outubro e 31 de março para respectivo início e fim da *growing season*), escolha do *grid* (36 regiões de azimute e 9 regiões de zênite). Na aba “*radiation*”: indicação da fonte dos dados de radiação (modelado), inserção dos parâmetros do modelo (*default* para as variáveis *Solar constant*, *spectral fraction* e *beam fraction*; *cloudiness index* definido em 0,65 kt, de acordo com INMET<sup>19</sup>, 2010) e definição do modelo de iluminação do céu (*SOC model*, com definição *default* do *clear-sky transmission coefficient*).

O usuário deve editar as configurações do programa para cada imagem que for trabalhar, pois estes ajustes são considerados pelo *software* ao realizar os cálculos. Cada configuração completa pode ser salva para ser reutilização posterior; o que é vantajoso, visto que cada fotografia tem sua especificidade. As escolhas mencionadas acima se devem ao entendimento da realidade dos pontos amostrais. Há definições nas quais o *default* foi utilizado devido ao desconhecimento dos valores das variáveis em questão na região. A projeção escolhida baseou-se no raciocínio demonstrado na FIG. 14.

---

<sup>19</sup> Órgão federal de administração direta do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, que fornece informações meteorológicas através de monitoramento, análise e previsão do tempo e clima, concorrendo com processos de pesquisa aplicada para prover informações adequadas acerca de situações diversas que afetam, limitam ou interferem nas atividades cotidianas da sociedade brasileira.

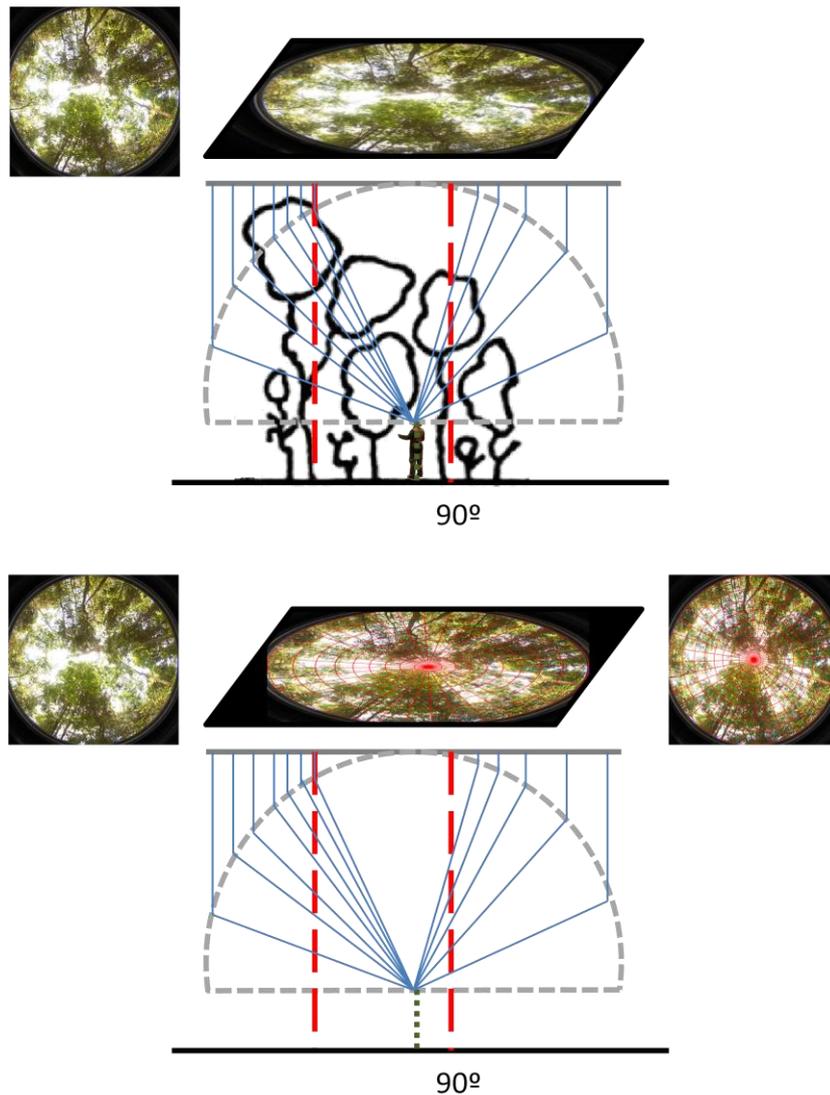


FIGURA 14 – Esquema utilizado para escolha da projeção de distorção *Stereographic Equal Angle*. O tamanho de cada região do *grid* é considerado como base para os cálculos executados pelo *software*.

Acertadas as configurações, pode-se escolher composição de cor da *working image*. Esta escolha pode ser feita pelo usuário de acordo com o que mais se ajustar aos seus objetivos, melhorando o contraste ou a ênfase de alguma informação de interesse, entre Vermelho (R – *Red*), Verde (G – *Green*) e Azul (B – *Blue*) ou mesmo a composição colorida completa (RGB – *Master*). Após a realização de alguns testes (FIG. 15), os resultados revelaram que a escolha do *color plane* interfere na definição do limiar e refino da imagem transformada. O plano azul mostrou-se mais adequado, visto que possibilita maior contraste visual entre as feições.

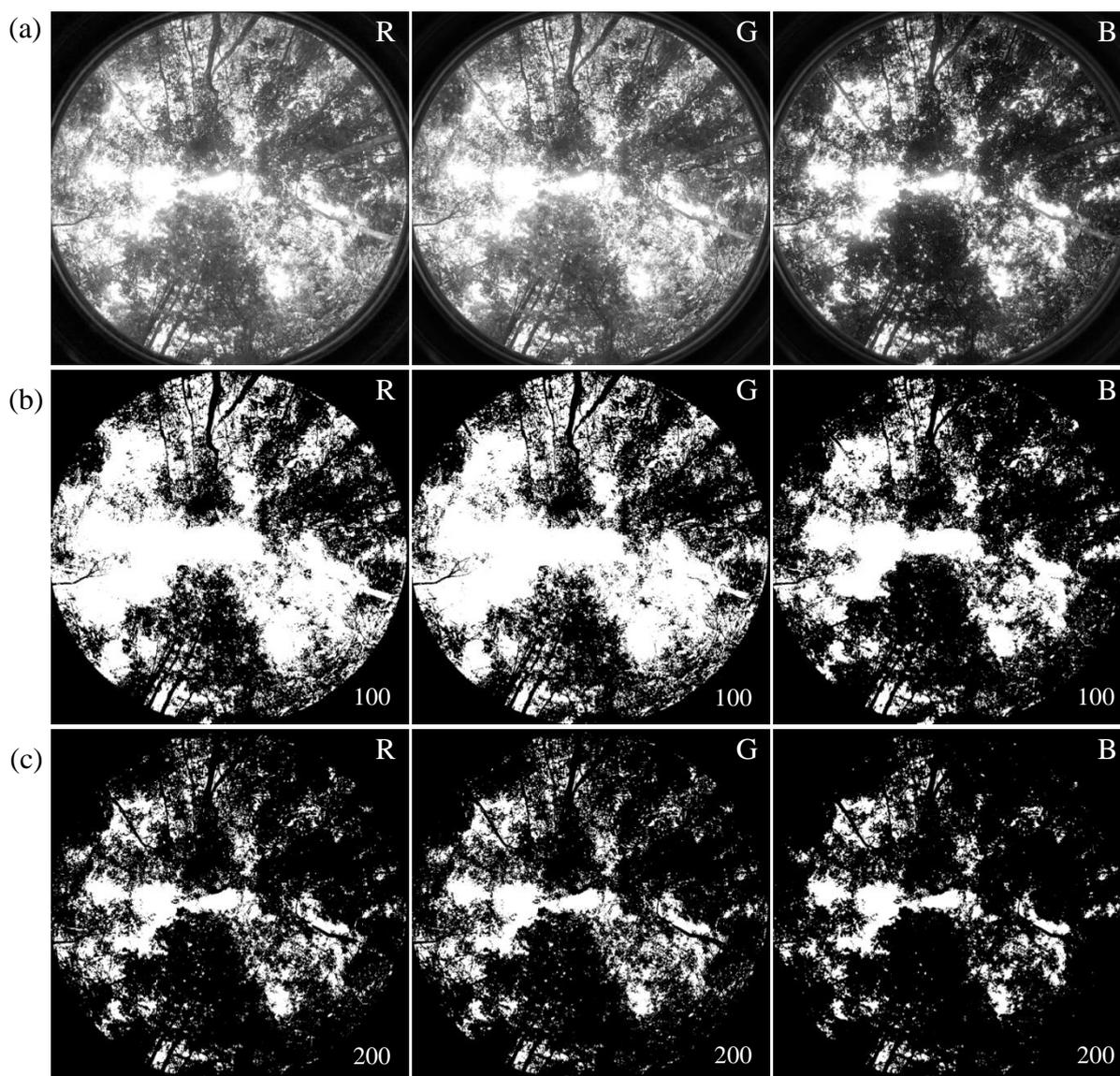


FIGURA 15 – Exemplo do teste realizado para escolha do *color plane* na fotografia 059.

- (a) *Working image* nos *color plane* vermelho, verde e azul respectivamente;
- (b) *Working image* transformada a partir dos respectivos *color plane*, com *threshold* 100, demonstrando o dossel subestimado pela classificação;
- (c) *Working image* transformada a partir dos respectivos *color plane*, com *threshold* 200, demonstrando melhora na estimativa de dossel pela classificação.

Na *registered image* pode ser exibida a grade circular (“*overlay Sky-region grid*”), com anéis e raios, que divide o céu em pequenas regiões e áreas de acordo com a projeção de distorção adotada, o que possibilita a análise do dossel anel a anel pelo *software*. O usuário pode ainda adotar o uso de uma máscara (“*overlay mask*”) que leva em consideração o relevo do local, se a topografia for acentuada e interferir na imagem (“*topographical shading*”), desta forma ele poderá ser suprimido no momento dos cálculos.

Após estas escolhas (*color plane* e *grid*) pode-se proceder a transformação da *working image* – *blue plane*, com a definição do limiar (*threshold image*) entre 0 e 255 (*pixel value*),

para a classificação dos *pixels* entre as classes “céu” e “não-céu”. Isso significa que o valor do pixel definido pelo usuário é o responsável por esta divisão, na qual o branco corresponde à abertura do dossel e entrada de luz (“céu”) e o preto corresponde ao próprio dossel, à vegetação e aos troncos (“não-céu”).

Se ainda assim restarem pontos na imagem nos quais a classificação não foi realizada corretamente, o usuário pode utilizar a função *draw*, “colorindo” de preto ou branco os *pixels* classificados equivocadamente. Estes erros ocorrem, em geral, devido à incidência dos raios solares diretamente na lente, se o horário de fotografia estiver entre 10 e 14:00, ou devido à reflexos muito fortes nas superfícies abaixo do dossel, em horários anteriores ou posteriores ao período acima indicado. A correção deve ser cuidadosa e realizada somente de acordo com a comprovação do equívoco, com auxílio da *registered image*, pois mesmo pequenas alterações são consideradas pelo GLA no momento dos cálculos, devendo ser indicada na tabela a ser gerada. A FIG. 16 apresenta um exemplo deste tipo de correção. Os limiares individuais estabelecidos para cada imagem e as indicações de modificação (correção) são apresentados no capítulo 4: Resultados e Discussão.

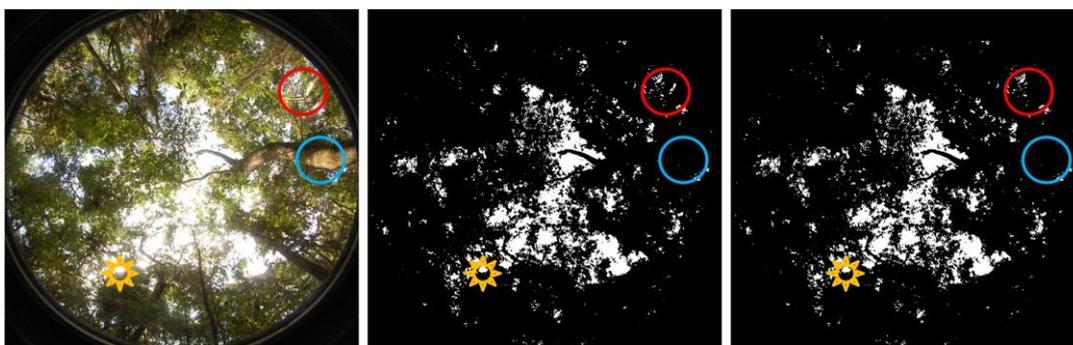


FIGURA 16 – Exemplo de correção realizada com a ferramenta *draw* na fotografia 044.

O sol amarelo indica a posição Solar. O círculo vermelho indica área com reflexo corrigida após a transformação da imagem e o círculo azul indica área com reflexo na qual não foi necessária correção. A última imagem é a considerada pelo GLA para os cálculos.

É somente neste ponto que o *software* permite a execução dos cálculos. Ao desempenhá-los, o programa gera automaticamente uma tabela cumulativa expondo os dados de todas as fotografias processadas, que depois que pode ser salva e manipulada de acordo com o interesse do usuário. Os campos desta tabela, original, são (traduzidos): “% de abertura do dossel”, “% de abertura do local” (igual ao anterior se uma máscara topográfica não foi utilizada), “índice de área foliar *4ring*” (0 – 60°), índice de área foliar “*5ring*” (0 – 75°), “unidade” (Mols m-2 d-1) , “RB” (*beam tilt factor*), “RD” (*diffuse tilt factor*), “radiação solar incidente total” e “quantidade de radiação transmitida”, “direta” e “difusa”, “acima” e “abaixo

do dossel”, considerando e desconsiderando o uso de uma máscara topográfica, além da “data” e “horário de processamento” das informações. Para este estudo, os campos de interesse são os que desconsideram o uso da máscara. Os resultados destes campos das fotografias utilizadas foram analisados para integrarem o modelo preliminar de diferenciação da cobertura vegetal florestal proposto e são apresentados no capítulo 4: Resultados e Discussão.

Após os cálculos, a *working image – blue plane* transformada e a *registered image* com *grid* de cada fotografia foram salvas para uso posterior, como informações auxiliares.

Algumas fotografias não puderam ser utilizadas, pois apresentavam problemas de fotometria (ajuste de entrada de luz na fotografia) ou mesmo indícios de sujeira na lente (pelo fato dos ambientes fotografados serem úmidos e estarmos sujeitos às condições climáticas). É preciso estar atento a estes detalhes para não serem gastos esforços de amostragem desnecessários.

O usuário tem ainda a possibilidade de executar outras utilidades do programa, ilustradas pela FIG. 17, como computar a radiação extraterrestre diária (FIG. 17a) e mensal (FIG. 17b) (“*compute extraterrestrial radiation*”), demonstrar o caminho do Sol na imagem (“*plot Sunpath*”) (FIG. 17c), exibir o brilho das regiões do céu de acordo com o modelo escolhido (“*display Sky-region brightness*”) (FIG. 17d), além do cálculo das frestas a partir de áreas iguais do céu, com uma nova grade de projeção das distorções (“*calculate equal-area gap fractions*”) (FIG. 17e), gerar gráficos demonstrando a irradiância Solar direta (FIG. 17f), difusa (FIG. 17g) e total (FIG. 17h) (“*plot Solar irradiance*”), as frações do céu e as frestas do dossel (“*plot Sky fractions*”) (FIG. 17i), a duração diária (FIG. 17j) e a frequência (FIG. 17l) da distribuição da incidência Solar (“*plot Sunfleck distribution*”). Estas utilidades foram realizadas para cada imagem utilizada, mas os resultados, no entanto, não são foco desta pesquisa. Futuramente os resultados obtidos por estas ferramentas poderão ser utilizados para aprimoramento da técnica e do modelo proposto, em estudos mais avançados e detalhados.

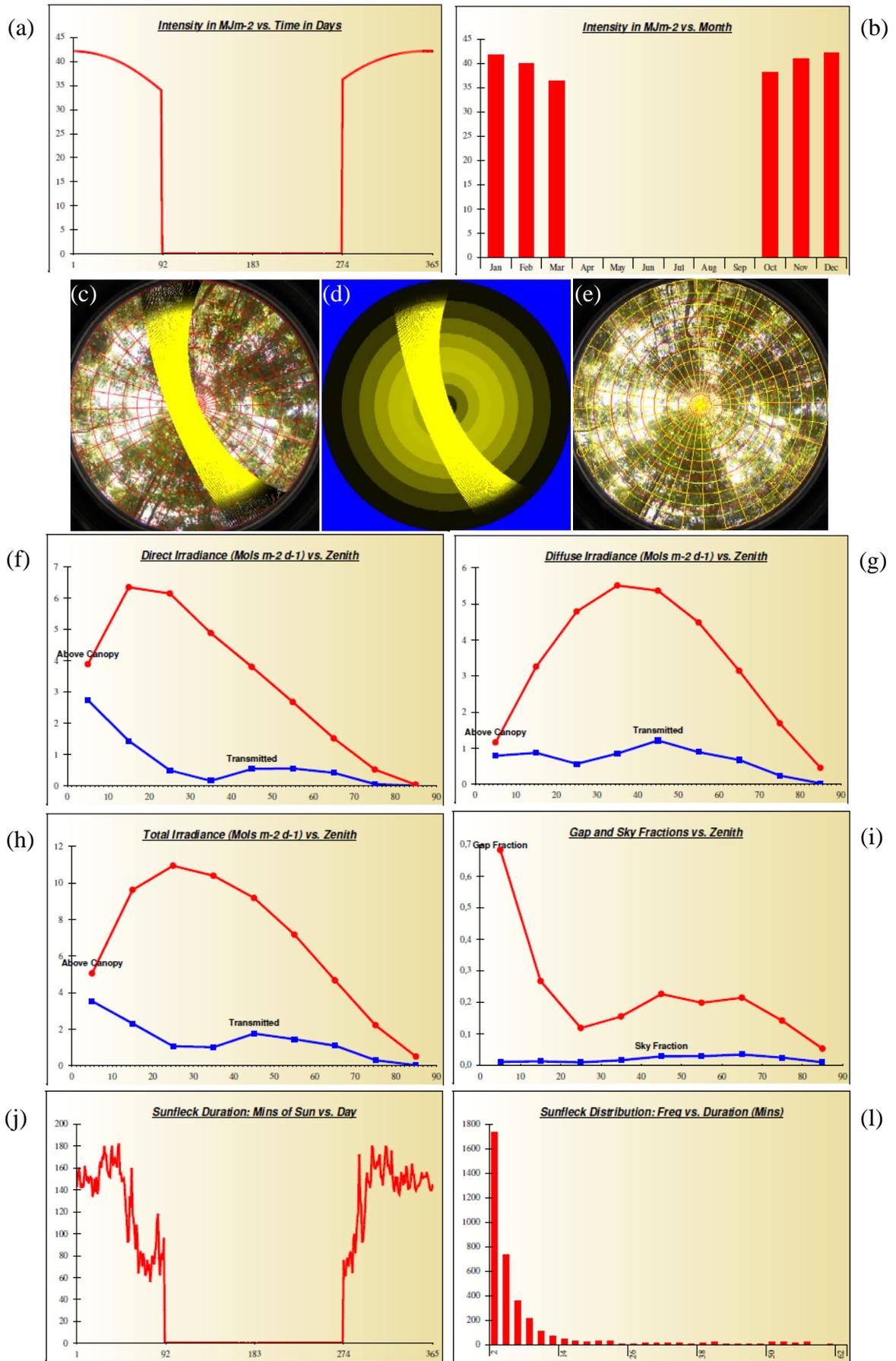


FIGURA 16 – Resultados das utilidades do GLA para a fotografia 059, de dez/2010, a título de exemplo.

Trata-se de uma ferramenta bastante completa e de uso recomendado para os estudos de estrutura das florestas (FRAZER *et al.*, 1999). Seus produtos finais podem ser instrumentos importantes no auxílio à diferenciação dos estágios sucessionais de Mata Atlântica, podendo ser usados como informações auxiliares na classificação destes tipos vegetacionais.

### 3.2.3 Produção de Mapas Temáticos

Todos os mapas temáticos foram confeccionados utilizando o *software* ArcGIS (versão 9.2), que disponibiliza ferramentas para construção dos *layouts*.

A partir da base cartográfica foram gerados os mapas de localização e altimetria do PERD e entorno, apresentados anteriormente, no capítulo 2: Revisão Bibliográfica.

Os graus de detalhamento espacial e espectral das imagens IKONOS permitem a reconstrução da cobertura vegetal e usos do solo da região e viabilizam a avaliação da interferência humana no PERD e entorno. O mapa da classificação manual produzido, encontra-se apresentado no capítulo 4: Resultados e Discussão. Neste mesmo capítulo encontram-se dois outros mapas, que identificam os locais vistoriados e apresentam fotografias de registro que comprovam as classes vetorizadas.

Os mapas que apresentam as fotografias hemisféricas utilizadas para a proposição do Modelo Preliminar de Cobertura Vegetal Florestal e os pontos amostrais, comprovando as feições e os estágios sucessionais encontrados, também são apresentados no capítulo 4: Resultados e Discussão.

### 3.3 Análise Estatística

Como o mapa de ocupação produzido manualmente não pode ser analisado estatisticamente, a confiabilidade do mesmo vem da experiência da analista e pode ser comprovada pelas fotos das feições registradas, com coordenadas geográficas, da região.

Para a proposição do Modelo Preliminar de Cobertura Vegetal Florestal em áreas de floresta nativa, mista e de eucaliptos do PERD e entorno, foram estabelecidas relações entre

os tipos de cobertura florestal e seu estágio sucessional e as fotografias hemisféricas de dossel, utilizando métodos estatísticos de correlação e regressão. Estes métodos permitem prever o tipo de mata e grau de sucessão a partir dos valores das variáveis resultantes das fotografias hemisféricas de dossel.

Foram avaliados os coeficientes de correlação entre as variáveis dos campos de interesse da tabela gerada pelo GLA com 95% de confiança.

Em seguida, as variáveis que tiveram correlação significativa foram relacionadas através de regressão simples. Gráficos foram elaborados para análise dos resultados. Finalmente, técnicas de análise de regressão múltipla foram aplicadas visando a criação de um modelo matemático para diferenciação dos tipos de cobertura florestal e estágio sucessional, pois uma única variável não foi suficiente para a proposição de um modelo.

A regressão múltipla é uma função estatística que relaciona duas ou mais variáveis com a finalidade de explicar uma variável em função de outras (CARVALHO & REIS, 2004). Os modelos de regressão estabelecem relações entre uma variável resposta (ou dependente) e variáveis explicativas (ou independentes), permitindo realizar previsões acerca do valor da variável resposta (HAIR *et al.*, 2005). No modelo preliminar proposto por esta pesquisa, o tipo de mata (e seu respectivo estágio sucessional, no caso de cobertura florestal nativa) foi considerado como variável resposta e os resultados dos cálculos realizados pelo GLA, como variáveis independentes.

Como no levantamento bibliográfico não foram encontrados estudos que estabelecessem esta relação, nem modelos de regressão pré-estabelecidos, o método *Stepwise* foi escolhido para selecionar as variáveis que melhor explicam a classe vegetacional a ser descrita. Esse método inclui no modelo, a cada passo, uma variável independente até encontrar a melhor combinação entre elas, gerando a equação de regressão (CARVALHO & REIS, 2004). O que determina a inclusão das variáveis é o coeficiente de correlação (R). Quando a inclusão de variáveis passa a diminuir o valor do coeficiente de determinação ajustado ( $R^2$  adj), o procedimento é encerrado, indicando a equação do modelo.

Os cálculos, gráficos gerados e o modelo preliminar proposto encontram-se descritos no capítulo 4: Resultados e Discussão.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados obtidos de acordo com a metodologia anteriormente descrita. Inicialmente será apresentado o mapa de cobertura vegetal e usos do solo do PERD e entorno produzido, inclusive os mapas com os registros fotográficos da paisagem que agregam confiabilidade à vetorização manual realizada. Também são apresentados os mapas com os pontos amostrais e fotografias hemisféricas de dossel, diferenciando os tipos de cobertura vegetal florestal encontrados na região. Devido ao grande número de detalhes, estes mapas foram impressos em páginas maiores, tamanho A3, para melhor visualização. Em seguida são relatados os resultados obtidos no GLA (apenas as variáveis de interesse), a partir das fotografias hemisféricas de dossel, que levaram a proposição do modelo de diferenciação de cobertura vegetal, além dos procedimentos estatísticos adotados e, finalmente, o modelo preliminar em questão. Os mapas produzidos também foram impressos em tamanho A2, e encontram-se no final desta dissertação, no capítulo 7: Anexos.

### 4.1 Mapas Temáticos

Os mapas de localização (FIG. 3) e de altimetria (FIG.4) foram apresentados anteriormente, no capítulo 2: Revisão Bibliográfica.

Os mapas apresentados a seguir são:

- Mapa de cobertura vegetal e usos do solo do PERD e entorno (FIG. 18) – classificação manual, com tabela apresentando a área total coberta por cada classe (em hectares) e respectivo percentual em relação à área total classificada;
- Mapas de localização das fotografias de registro das feições classificadas no PERD e entorno (FIG. 19 e 20);
- Mapas de localização das fotografias hemisféricas de dossel do PERD e entorno (FIG. 21 e 22);

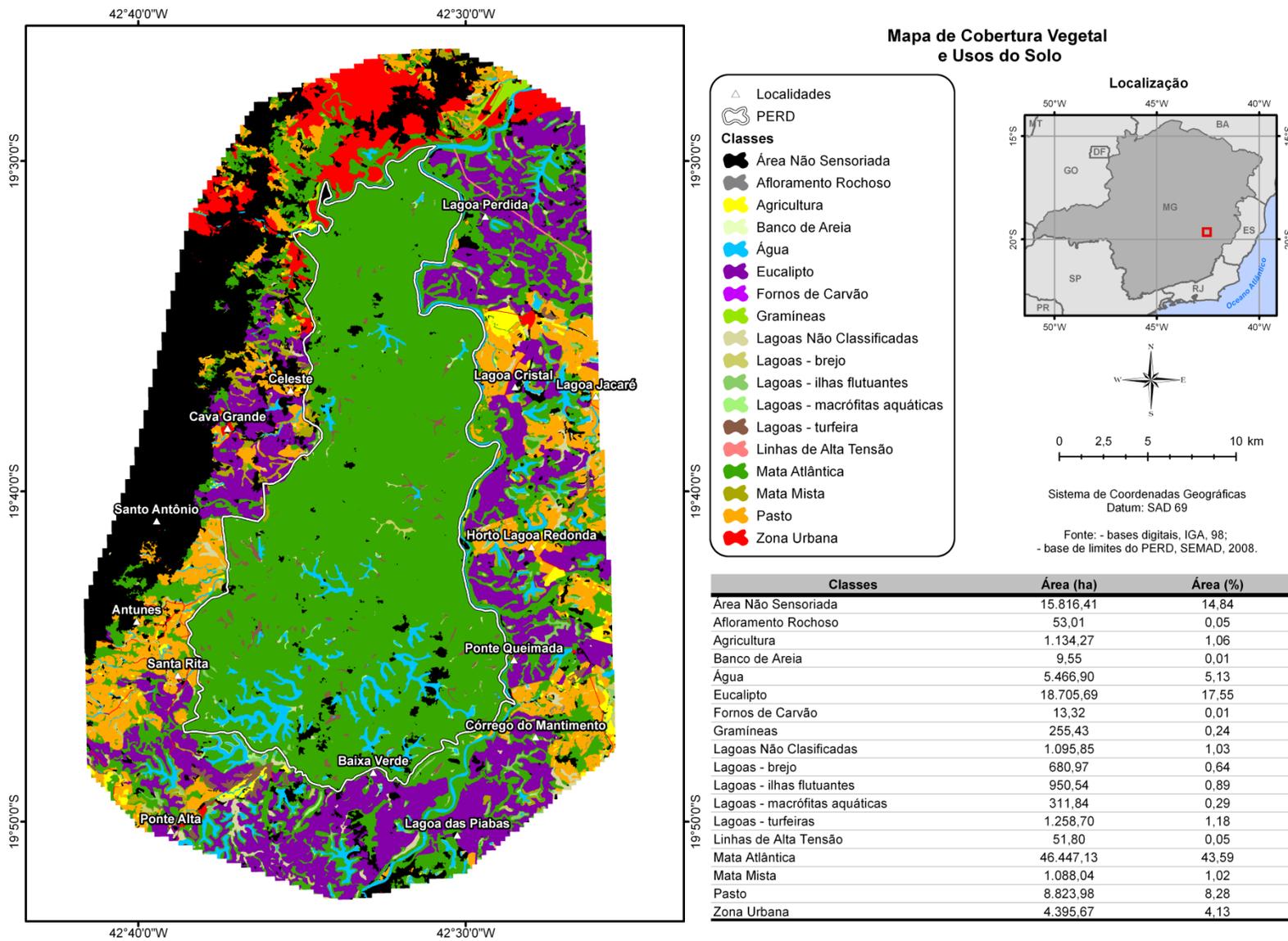


FIGURA 18 – Mapa de cobertura vegetal e usos do solo do PERD e entorno.

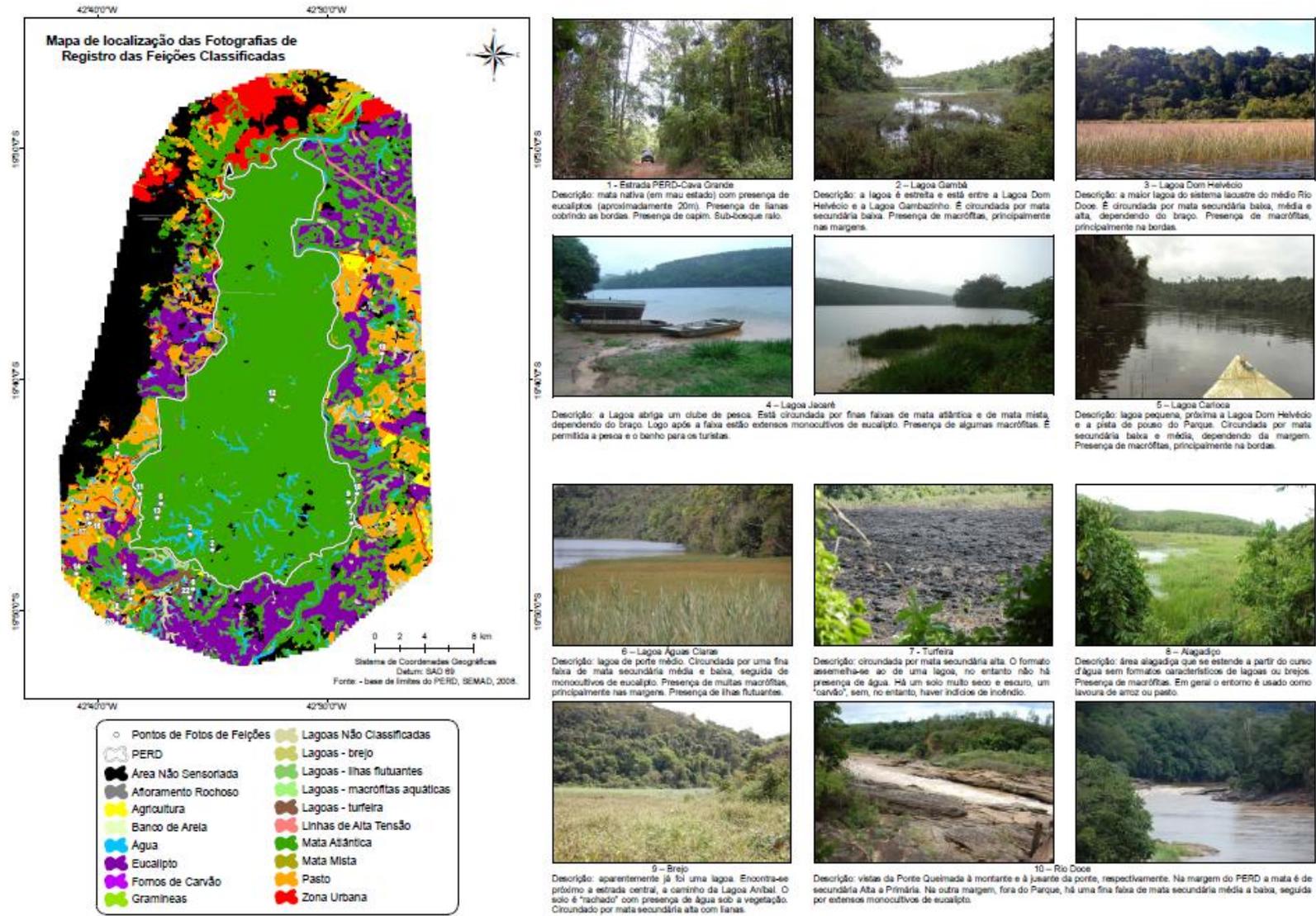


FIGURA 19 – Mapa de localização das fotografias de registro das feições classificadas no PERD e entorno.

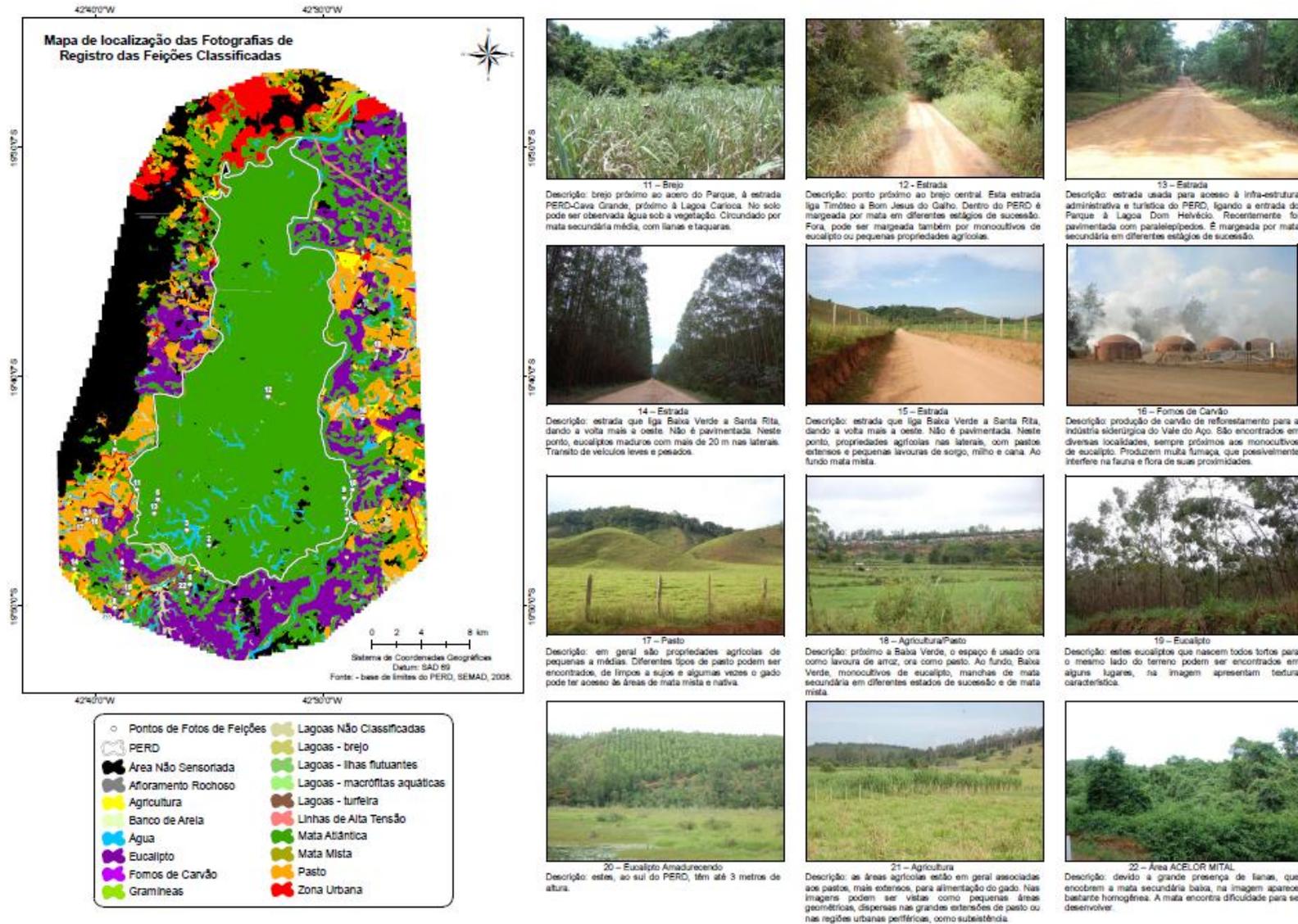


FIGURA 20 – Mapa de localização das fotografias de registro das feições classificadas no PERD e entorno.

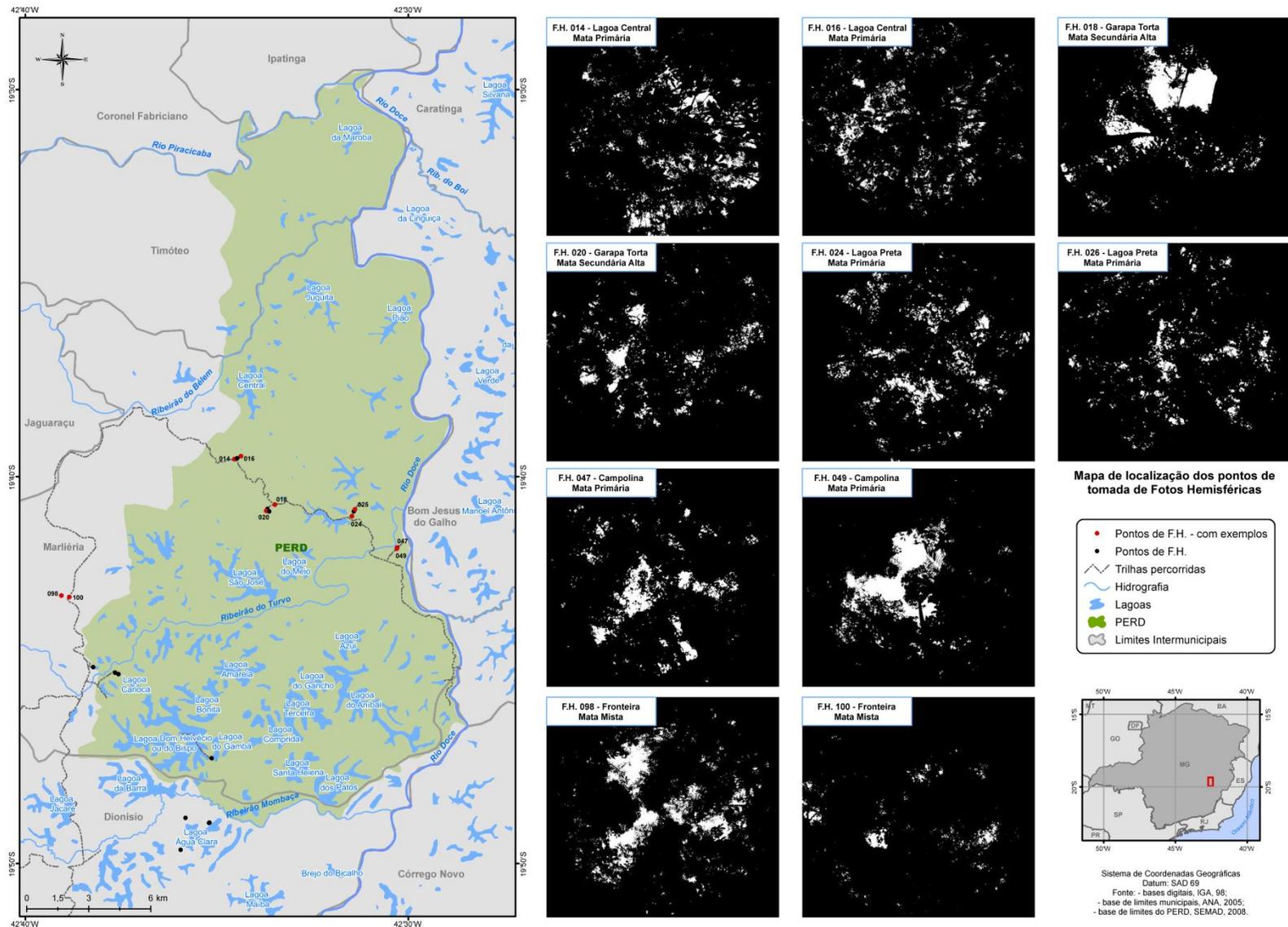


FIGURA 21 – Mapa de localização das fotografias hemisféricas de dossel, com os pontos amostrais das regiões central e oeste.

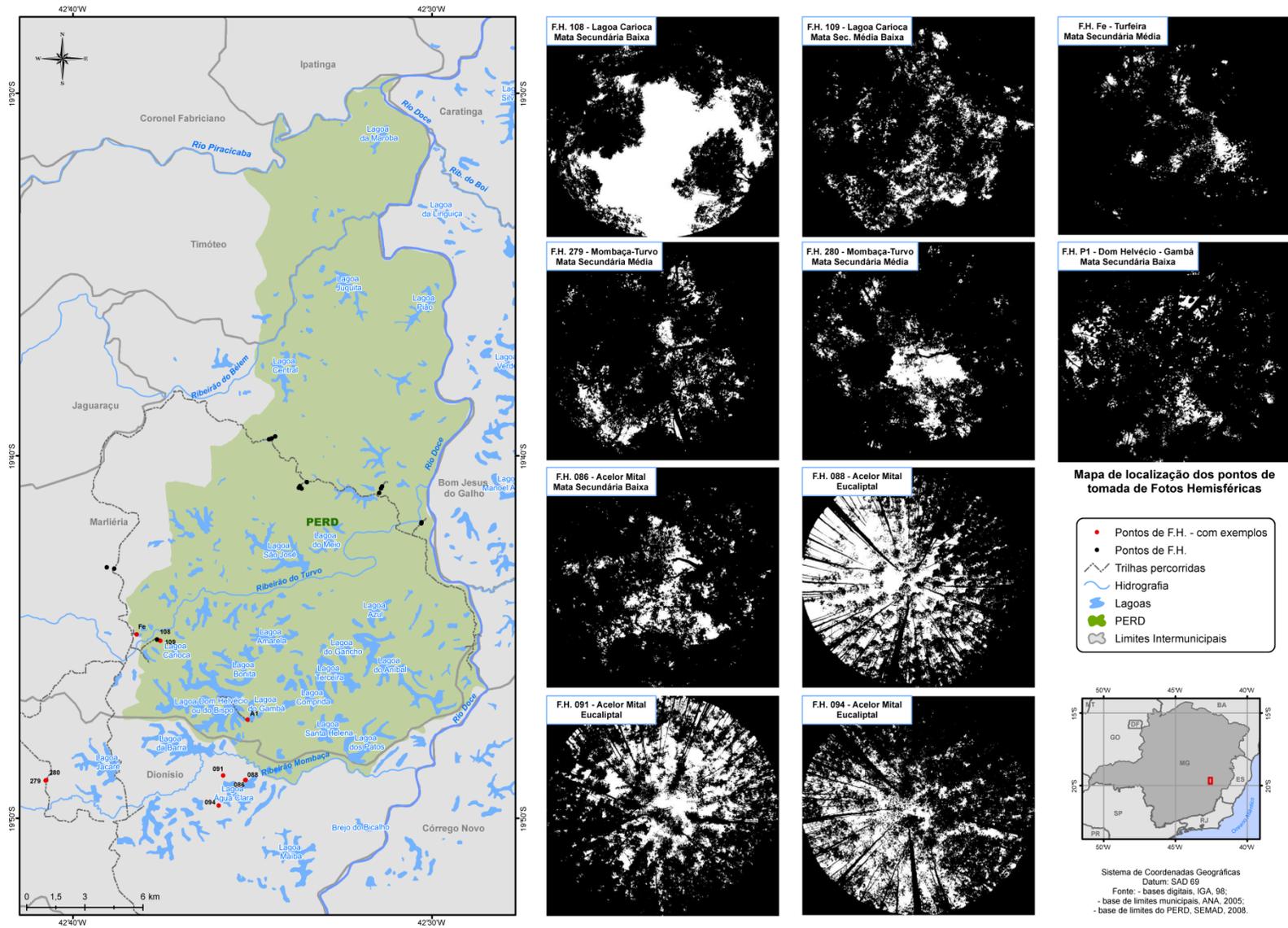


FIGURA 22 – Mapa de localização das fotografias hemisféricas de dossel, com os pontos amostrais das regiões sul e sudeste.

A comparação entre a classificação automática realizada por Hirsch (2003) e esta, demonstra que não há muitas discrepâncias no método adotado nesta pesquisa, no entanto, houve ganho de detalhes nos contornos das classes, devido ao aumento de resolução espacial da imagem fonte. A Mata Atlântica, no entanto, não pode ser classificada pelo método de vetorização manual e neste sentido, a classificação de Hirsch (2003) permanece superior.

A comparação entre a classificação apresentada pelo IEF – MG (2008) e esta demonstra que houve aprimoramento nos polígonos gerados, além de ampliar o número de classes consideradas. A Mata Atlântica, em ambas as classificações, permanece com o mesmo nível de detalhes.

A diferenciação dos estágios sucessionais de Mata Atlântica da região a partir das imagens IKONOS não foi realizada nesta pesquisa, pois não foi possível classificar os diferentes estágios pelo método de vetorização manual, visto que os limites entre estes estágios, quando observados desta perspectiva, são muito imprecisos. Este é um passo prioritário na continuação deste estudo, pois, se realizado de maneira apurada, este procedimento ampliará ainda mais a compreensão da dinâmica ecológica do PERD e seu entorno.

Outro mapa que inicialmente foi planejado é o mapa de localização dos estudos que compõem o PELD – *site* 4. Não foi possível concretizar este objetivo devido às dificuldades encontradas para reunir os dados cartográficos e as coordenadas geográficas dos estudos. Não há um protocolo padrão para a coleta destes dados e a maioria dos pesquisadores relatou desconhecer o uso correto do GPS de navegação, sem conseguir informar o *datum* e o tipo de coordenada coletados, bem como o erro no momento da obtenção dos pontos. Outro fator de impedimento foi a perda destes dados ao longo dos anos, sendo que muitos pesquisadores relataram não possuir mais os referidos arquivos, impossibilitando a localização exata dos estudos. Desta forma, o que foi possível ser feito foi um sistema de entrevistas informais com os pesquisadores dos estudos selecionados para que estes indicassem, nos mapas impressos, a localização aproximada das suas áreas amostrais, delineando as visitas a campo realizadas posteriormente.

Foi encaminhada sugestão para a coordenação da nova etapa de estudos PELD – *site* 4 que viabilize a criação deste mapa no futuro, com padronização da coleta destas informações, bem como centralização das mesmas em local único, apropriado, que funcione como um banco de dados cartográficos do projeto.

## 4.2 Modelo de Cobertura Vegetal Florestal

Os resultados dos cálculos realizados pelo GLA são apresentados na TAB. 2, correspondendo somente às variáveis de interesse das fotografias utilizadas, sendo as demais, omitidas. Foram adicionados campos, indicando o número da foto, o ponto de GPS referente ao ponto amostral, o tipo de cobertura vegetal representado e respectivo estágio sucessional.

Ao observar visualmente a tabela, nota-se que há variáveis que se modificam bastante entre as fotografias, enquanto há variáveis que praticamente não se alteram, apresentando o mesmo valor em fotografias consecutivas. Aparentemente a pequena variação nos campos “*Total Shortwave Extraterrestrial Radiation*” (A), “*Above Direct*” (B), “*Above Diffuse*” (C) e “*Above Total*” (D) pode ser devida a mudança de data (quando se alteram A e D), sazonalidade (quando se altera D) e a fatores não identificados (quando se alteram B e C). Estas observações são visuais, de padrões aparentes, no entanto, é a análise estatística que leva a conclusões mais precisas.

As análises estatísticas dessas variáveis permitiram a proposição deste modelo preliminar de cobertura vegetal florestal para áreas de floresta nativa (em variados estágios sucessionais), mista e de eucaliptos do PERD e entorno.

Os tipos de mata considerados como variável resposta (e respectivos valores) foram: “Mata Primária” (1), “Mata Secundária Alta” (2), “Mata Secundária Média” (3), “Mata Secundária Média-Baixa” (4), “Mata Secundária Baixa” (5) e “Eucaliptal” (6). Estes valores foram selecionados de maneira aleatória, para possibilitar a construção da equação de maneira simples, visto que as variáveis consideradas devem ser representadas numericamente.

A primeira etapa consistiu em avaliar a correlação linear entre os dados espectrais das fotografias com confiança de 95%. O coeficiente de correlação (R) é utilizado para determinar a relação entre as variáveis. Este coeficiente expressa a intensidade de relação linear entre duas variáveis; ou seja, quanto mais próximo de 1 (valores positivos ou negativos) for o R, mais forte é a relação entre elas (CARVALHO & REIS, 2004).

A segunda etapa consistiu em encontrar, através da regressão linear simples, a relação entre os tipos vegetacionais e as variáveis das fotografias hemisféricas. A regressão simples encontrou coeficientes de determinação ajustados ( $R^2$  adj) baixos, conforme demonstrado nas FIG. 23, 24, 25, 26, 27 e 28, que apresentam também os histogramas de resíduos com padrões pouco apropriados (formatos que não se assemelham a um “sino”, com ou sem *gaps*, espaços

entre as barras), e os gráficos de probabilidade normal, com pontos pouco ajustados às retas e presença de *outliers* (pontos que fogem muito à normalidade dos dados).

A FIG. 23 apresenta o gráfico de probabilidade normal com pontos pouco ajustados à reta e *outliers*, além disso, o histograma de resíduos apresenta distribuição quase normal, sem formato de “sino”. O valor do  $R^2$  adj desta regressão é 49,2%.

A FIG. 24 apresenta o gráfico de probabilidade normal com *outliers* e pontos um pouco melhor ajustados à reta, já o histograma de resíduos apresenta distribuição pouco normal, sem formato de “sino” e com *gaps*. O valor do  $R^2$  adj desta regressão é 43,9%.

A FIG. 25 apresenta o gráfico de probabilidade normal com pontos pouco ajustados à reta e muitos *outliers* e o histograma de resíduos não apresenta distribuição normal. O valor do  $R^2$  adj desta regressão é 46,0%.

A FIG. 26 apresenta o histograma de resíduos com distribuição quase normal, apresentando formato de “sino” e *gaps*, mas o gráfico de probabilidade normal apresenta um padrão indesejado, formando “chuvisco”, com *outliers*. O valor do  $R^2$  adj desta regressão é 69,3%.

A FIG. 27 também apresenta o gráfico de probabilidade normal com padrão indesejado, formando “chuvisco”, com *outliers*, já o histograma de resíduos apresenta distribuição normal, apresentando formato de “sino”, mas com muitos *gaps*. O valor do  $R^2$  adj desta regressão é 70,1%, o mais alto alcançado por este método.

A FIG. 28 apresenta o gráfico de probabilidade normal com pontos pouco ajustados à reta e *outliers*, além disso, o histograma de resíduos não apresenta distribuição normal, sem formato de “sino” e com a presença de um *gap*. O valor do  $R^2$  adj desta regressão é 40,4%, o mais baixo encontrado com o uso deste método.

Devido aos resultados pouco significativos, procedeu-se à regressão múltipla, para avaliar o aumento desse coeficiente após a inclusão de mais variáveis.

TABELA 2  
Resultados dos cálculos executados pelo *software* GLA

(continua)

Foto	Data Horário	Ponto	Tipo Florestal Estágio Sucessional	Pixel Value	% Canopy Open	LAI 4Ring	LAI 5Ring	Total Shortw. Extrat. Radiation	Above Direct	Above Diffuse	Above Total	Direct solar rad. transm.	Diffuse solar rad. transm.	Solar rad. transm. Total	% Transm. Direct	% Transm. Diffuse	% Transm. Total
309	05/03 16:03	PT A1	Mata Atlântica Secundária Baixa	215 mod.	7,43	3,3	2,88	461,96	29,84	29,84	59,67	1,38	2,36	3,74	4,62	7,92	6,27
310	05/03 16:03	PT A1	Mata Atlântica Secundária Baixa	200	10,63	2,77	2,3	461,96	29,84	29,84	59,67	5,26	4,5	9,76	17,63	15,09	16,36
329	06/03 08:43	PT 014	Mata Atlântica Primária	190	8,49	3,2	2,82	461,89	29,83	29,83	59,66	2,6	2,78	5,38	8,7	9,32	9,01
330	06/03 08:43	PT 014	Mata Atlântica Primária	180	13,75	1,99	2,23	461,89	29,83	29,83	59,66	7,7	6,07	13,77	25,8	20,35	23,07
331	06/03 08:43	PT 014	Mata Atlântica Primária	200 mod.	12,07	2,46	2,16	461,89	29,83	29,83	59,66	5	4,54	9,54	16,76	15,22	15,99
332	06/03 08:48	PT 015	Mata Atlântica Primária	200 mod.	9,63	3,35	2,59	461,89	29,83	29,83	59,66	6,28	4,12	10,39	21,04	13,8	17,42
333	06/03 08:48	PT 015	Mata Atlântica Primária	210 mod.	7,75	3,01	2,88	461,89	29,83	29,83	59,66	4,89	3,27	8,16	16,4	10,95	13,67
334	06/03 08:48	PT 015	Mata Atlântica Primária	190 mod.	9,37	3,06	2,57	461,89	29,83	29,83	59,66	3,88	3,05	6,93	13,01	10,22	11,61
337	06/03 08:57	PT 016	Mata Atlântica Primária	190	8,29	2,93	2,79	461,89	29,83	29,83	59,66	3,32	3,15	6,47	11,12	10,56	10,84
338	06/03 08:58	PT 016	Mata Atlântica Primária	200 mod.	6,93	3,29	2,92	461,89	29,83	29,83	59,66	0,9	2,35	3,25	3,03	7,88	5,45
339	06/03 08:58	PT 016	Mata Atlântica Primária	210 mod.	7,44	3,13	2,78	461,89	29,83	29,83	59,66	1,72	2,65	4,36	5,75	8,87	7,31
345	06/03 09:34	PT 018	Mata Atlântica Secundária Alta	190	13,2	2,07	2,31	461,9	29,83	29,83	59,66	3,28	5,88	9,16	11	19,7	15,35
346	06/03 09:49	PT 019	Mata Atlântica Secundária Alta	220 mod.	8,76	3,27	2,7	461,9	29,83	29,83	59,66	3,74	2,52	6,26	12,53	8,44	10,49
347	06/03 09:49	PT 019	Mata Atlântica Secundária Alta	210 mod.	7,58	3,38	2,82	461,9	29,83	29,83	59,66	2,85	2,3	5,16	9,56	7,72	8,64

(continua)

Foto	Data Horário	Ponto	Tipo Florestal Estágio Sucessional	Pixel Value	% Canopy Open	LAI 4Ring	LAI 5Ring	Total Shortw. Extrat. Radiation	Above Direct	Above Diffuse	Above Total	Direct solar rad. transm.	Diffuse solar rad. transm.	Solar rad. transm. Total	% Transm. Direct	% Transm. Diffuse	% Transm. Total
348	06/03 09:50	PT 019	Mata Atlântica Secundária Alta	210 mod.	8,2	2,84	2,67	461,9	29,83	29,83	59,66	4,15	3,4	7,55	13,92	11,38	12,65
349	06/03 09:57	PT 020	Mata Atlântica Secundária Alta	210 mod.	6,21	3,36	3,03	461,9	29,83	29,83	59,66	1,05	2,4	3,45	3,51	8,05	5,78
350	06/03 09:57	PT 020	Mata Atlântica Secundária Alta	240 mod.	4,38	3,82	3,51	461,9	29,83	29,83	59,66	1,95	1,67	3,62	6,52	5,6	6,06
351	06/03 09:57	PT 020	Mata Atlântica Secundária Alta	205 mod.	7,47	3,08	2,82	461,9	29,83	29,83	59,66	1,69	2,77	4,46	5,65	9,3	7,47
352	06/03 10:06	PT 021	Mata Atlântica Secundária Alta	200	12,14	2,87	2,33	461,9	29,83	29,83	59,66	5,73	5,26	10,99	19,21	17,65	18,43
353	06/03 10:07	PT 021	Mata Atlântica Secundária Alta	225	8,17	2,82	2,75	461,9	29,83	29,83	59,66	2,84	2,91	5,75	9,52	9,75	9,63
354	06/03 10:07	PT 021	Mata Atlântica Secundária Alta	205	10,53	2,75	2,37	461,9	29,83	29,83	59,66	6,79	4,44	11,22	22,75	14,87	18,81
355	06/03 10:08	PT 021	Mata Atlântica Secundária Alta	190 mod.	10,44	2,97	2,55	461,9	29,83	29,83	59,66	7,62	5,22	12,84	25,55	17,49	21,52
364	06/03 11:02	PT 024	Mata Atlântica Primária	215 mod.	6,39	3,8	3,02	461,9	29,83	29,83	59,66	4,4	3,13	7,54	14,76	10,5	12,63
365	06/03 11:02	PT 024	Mata Atlântica Primária	210 mod.	8,23	3,14	2,77	461,9	29,83	29,83	59,66	1,95	3,26	5,21	6,53	10,93	8,73
366	06/03 11:03	PT 024	Mata Atlântica Primária	200 mod.	8,14	2,86	2,75	461,9	29,83	29,83	59,66	3,95	3,64	7,58	13,23	12,19	12,71
367	06/03 11:12	PT 025	Mata Atlântica Primária	195	8,83	2,99	2,62	461,9	29,83	29,83	59,66	3,81	2,98	6,8	12,78	10	11,39
368	06/03 11:13	PT 025	Mata Atlântica Primária	190	8,37	2,91	2,79	461,9	29,83	29,83	59,66	3,92	3,77	7,7	13,15	12,65	12,9
370	06/03 11:17	PT 026	Mata Atlântica Primária	210 mod.	8,35	3,02	2,82	461,9	29,83	29,83	59,66	2,16	2,99	5,15	7,24	10,01	8,62
372	06/03 11:17	PT 026	Mata Atlântica Primária	220 mod.	5,81	3,8	3,16	461,9	29,83	29,83	59,66	3,35	2,5	5,85	11,23	8,38	9,8

(continua)

Foto	Data Horário	Ponto	Tipo Florestal Estágio Sucessional	Pixel Value	% Canopy Open	LAI 4Ring	LAI 5Ring	Total Shortw. Extrat. Radiation	Above Direct	Above Diffuse	Above Total	Direct solar rad. transm.	Diffuse solar rad. transm.	Solar rad. transm. Total	% Transm. Direct	% Transm. Diffuse	% Transm. Total
439	06/03 15:36	PT 047	Mata Atlântica Primária	215	9,35	2,86	2,69	461,9	29,83	29,83	59,66	4	4,61	8,61	13,4	15,45	14,43
440	06/03 15:36	PT 047	Mata Atlântica Primária	210 mod.	9,21	3,11	2,53	461,9	29,83	29,83	59,66	3,37	4,31	7,68	11,3	14,45	12,87
441	06/03 15:36	PT 047	Mata Atlântica Primária	215 mod.	8,47	3,53	2,89	461,9	29,83	29,83	59,66	6,9	4,38	11,28	23,14	14,68	18,91
442	06/03 15:40	PT 049	Mata Atlântica Primária	210	14,49	2,52	2,32	461,9	29,83	29,83	59,66	12,52	7,76	20,28	41,97	26	33,99
443	06/03 15:40	PT 049	Mata Atlântica Primária	220 mod.	8,65	3,07	2,69	461,9	29,83	29,83	59,66	3,98	3,4	7,38	13,33	11,4	12,37
006	13/12 12:25	PT Fe	Mata Atlântica Secundária Alta	210 mod.	6,07	3,23	2,97	461,93	29,83	29,83	59,67	1,66	2,54	4,2	5,57	8,51	7,04
019	13/12 15:46	PT 279	Mata Secundária Média Atlântica	210	9,45	3,26	2,55	461,97	29,84	29,84	59,67	5,35	3,36	8,71	17,94	11,25	14,59
020	13/12 15:51	PT 280	Mata Atlântica Secundária Média	205	15,22	2,62	2,08	461,97	29,84	29,84	59,67	9,91	7,61	17,52	33,21	25,5	29,36
021	13/12 15:52	PT 280	Mata Atlântica Secundária Média	220 mod.	16,49	2,68	2,14	461,97	29,84	29,84	59,67	12,82	8,8	21,62	42,97	29,51	36,24
044	14/12 08:44	PT 86 PT 87	Mata Atlântica Secundária Baixa	220 mod.	14,3	2,18	2,06	461,97	29,84	29,84	59,67	10,11	6,79	16,9	33,89	22,75	28,32
045	14/12 08:44	PT 86 PT 87	Mata Atlântica Secundária Baixa	215 mod.	9,66	2,78	2,57	461,97	29,84	29,84	59,67	5,19	3,53	8,72	17,39	11,84	14,62
046	14/12 08:47	PT 88	Eucaliptal	150 mod.	43,7	0,89	0,82	461,97	29,84	29,84	59,67	17,75	15,48	33,23	59,48	51,88	55,68
051	14/12 09:02	PT 91	Eucaliptal	120 mod.	34,88	1,12	1,02	461,97	29,84	29,84	59,67	14,18	13,2	27,38	47,53	44,23	45,88
052	14/12 09:03	PT 91	Eucaliptal	130 mod.	33,84	1,05	1,07	461,97	29,84	29,84	59,67	15,39	13,06	28,45	51,58	43,77	47,68
053	14/12 09:23	PT 94 PT 95	Eucaliptal	125 mod.	29,96	1,43	1,27	461,98	29,84	29,84	59,67	12,4	10,21	22,61	41,56	34,22	37,89

(conclusão)

Foto	Data Horário	Ponto	Tipo Florestal Estágio Sucessional	Pixel Value	% Canopy Open	LAI 4Ring	LAI 5Ring	Total Shortw. Extrat. Radiation	Above Direct	Above Diffuse	Above Total	Direct solar rad. transm.	Diffuse solar rad. transm.	Solar rad. transm. Total	% Transm. Direct	% Transm. Diffuse	% Transm. Total
055	14/12 12:11	PT 98	Mata Mista	140 mod.	13,69	2,06	2,04	461,92	29,83	29,83	59,67	9,26	5,91	15,17	31,05	19,81	25,43
056	14/12 12:11	PT 98	Mata Mista	190 mod.	14,83	2,03	1,92	461,92	29,83	29,83	59,67	6,79	6,28	13,07	22,75	21,07	21,91
059	14/12 12:21	PT 100	Mata Atlântica Secundária Média	220 mod.	16,92	2,18	1,85	461,92	29,83	29,83	59,67	6,41	6,1	12,51	21,49	20,46	20,97
060	14/12 12:21	PT 100	Mata Atlântica Secundária Média	210 mod.	15,05	2,38	2,08	461,92	29,83	29,83	59,67	2,21	4,65	6,87	7,42	15,59	11,51
061	14/12 12:22	PT 100	Mata Atlântica Secundária Média	220 mod.	2,29	4,94	4,38	461,92	29,83	29,83	59,67	0,8	0,75	1,55	2,7	2,51	2,6
070	15/12 07:29	PT 107	Mata Atlântica Secundária Baixa	180	31,98	1,11	1,17	461,94	29,83	29,83	59,67	24,57	15,27	39,84	82,35	51,2	66,77
071	15/12 07:30	PT 108	Mata Atlântica Secundária Baixa	190	47,26	0,93	0,73	461,94	29,83	29,83	59,67	20,94	18,73	39,68	70,2	62,79	66,5
072	15/12 07:35	PT 109	Mata Atlântica Secundária Média-Baixa	190	12,08	2,61	2,23	461,94	29,83	29,83	59,67	5,34	4,03	9,37	17,89	13,52	15,71

The regression equation is  
 Tipo de mata = 0,755 + 0,146 % Canopy Open

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0,7547	0,3280	2,30	0,026
% Canopy Open	0,14572	0,02052	7,10	0,000

S = 1,39718    R-Sq = 50,2%    **R-Sq(adj) = 49,2%**

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	98,453	98,453	50,43	0,000
Residual Error	50	97,605	1,952		
Total	51	196,058			

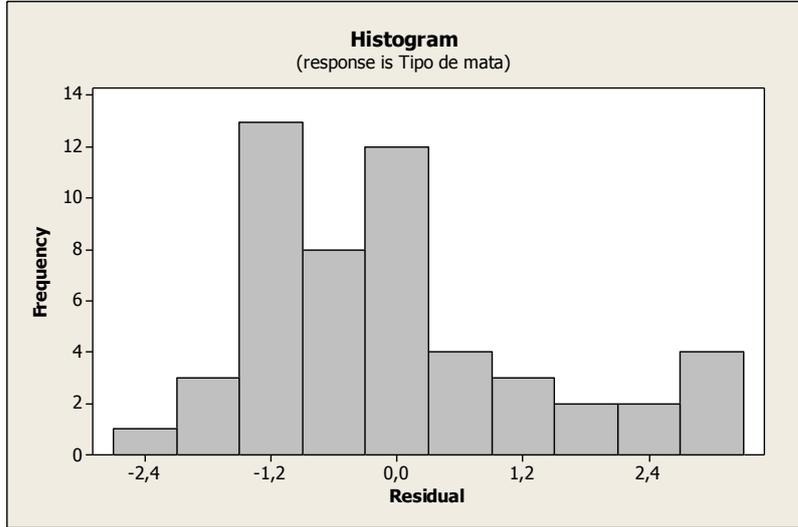
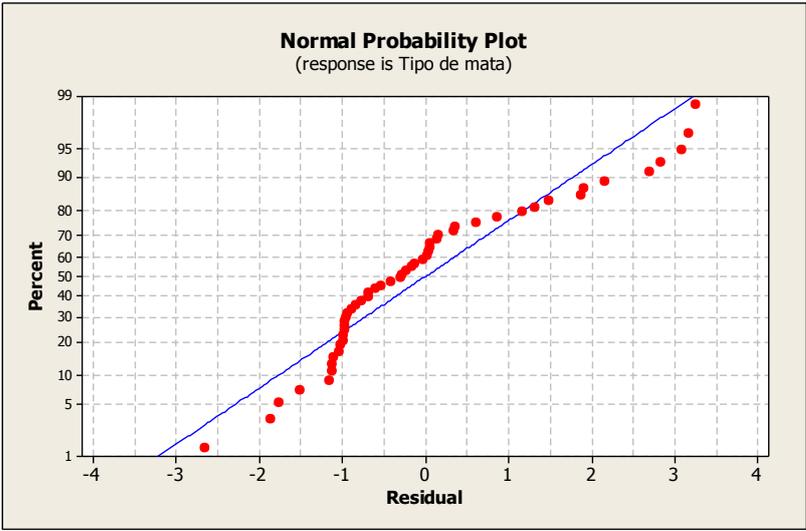


FIGURA 23 – Cálculos, gráfico de probabilidade normal e histograma de resíduos da regressão simples “Tipo de Cobertura” versus “% Canopy Open”.

The regression equation is  
 Tipo de mata = 7,17 - 1,65 LAI 4Ring

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	7,1741	0,7386	9,71	0,000
LAI 4Ring	-1,6529	0,2585	-6,39	0,000

S = 1,46873    R-Sq = 45,0%    **R-Sq(adj) = 43,9%**

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	88,200	88,200	40,89	0,000
Residual Error	50	107,858	2,157		
Total	51	196,058			

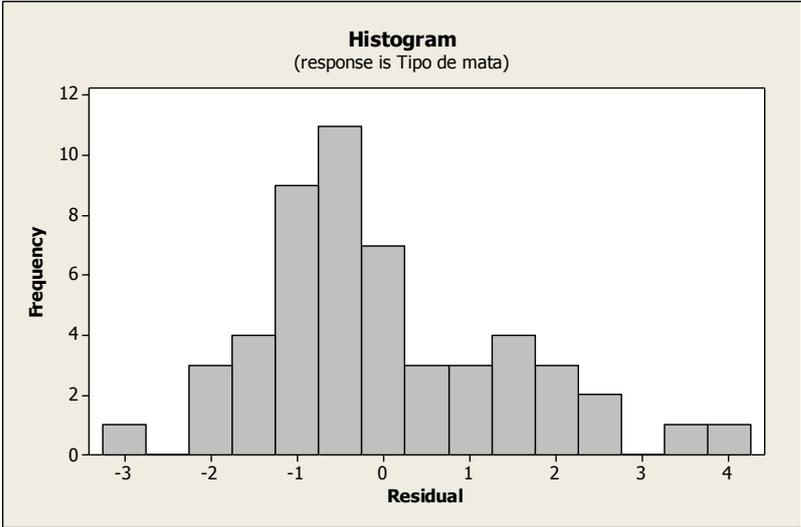
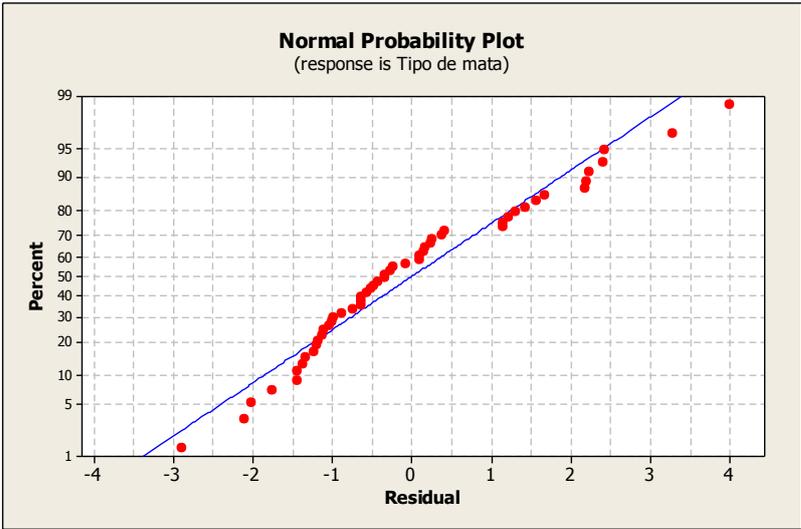


FIGURA 24 – Cálculos, gráfico de probabilidade normal e histograma de resíduos da regressão simples “Tipo de Cobertura” versus “LAI 4Ring”.

The regression equation is  
 Tipo de mata = 7,55 - 2,01 LAI 5Ring

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	7,5472	0,7628	9,89	0,000
LAI 5Ring	-2,0150	0,3019	-6,67	0,000

S = 1,44013    R-Sq = 47,1%    **R-Sq(adj) = 46,0%**

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	92,358	92,358	44,53	0,000
Residual Error	50	103,699	2,074		
Total	51	196,058			

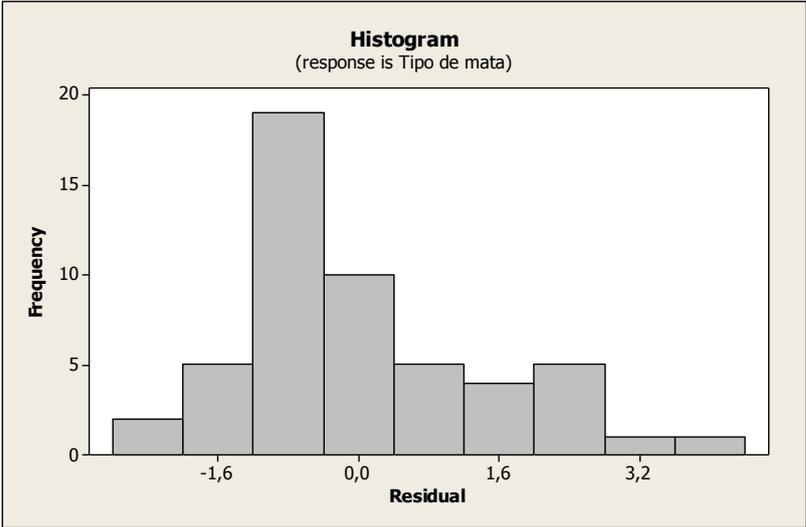
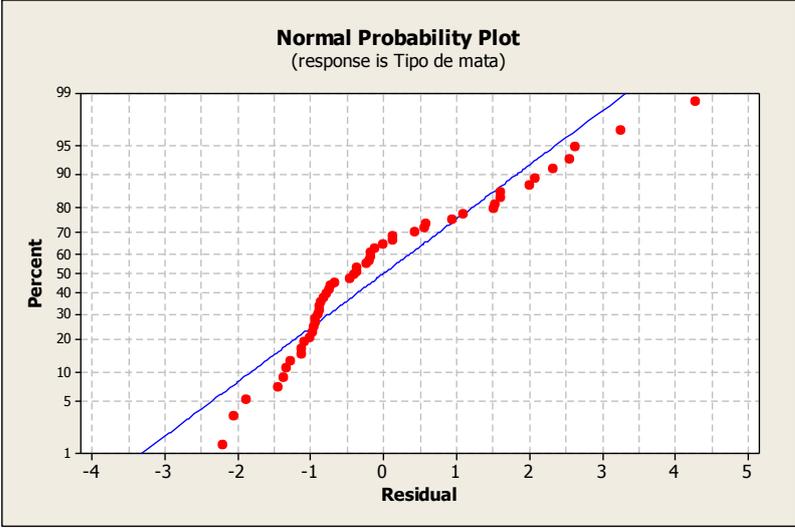


FIGURA 25 – Cálculos, gráfico de probabilidade normal e histograma de resíduos da regressão simples “Tipo de Cobertura” versus “LAI 5Ring”.

The regression equation is  
 Tipo de mata = - 25448 + 55,1 Total Shortwave

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-25448	2364	-10,77	0,000
Total Shortwave	55,097	5,117	10,77	0,000

S = 1,08699 R-Sq = 69,9% **R-Sq(adj) = 69,3%**

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	136,98	136,98	115,93	0,000
Residual Error	50	59,08	1,18		
Total	51	196,06			

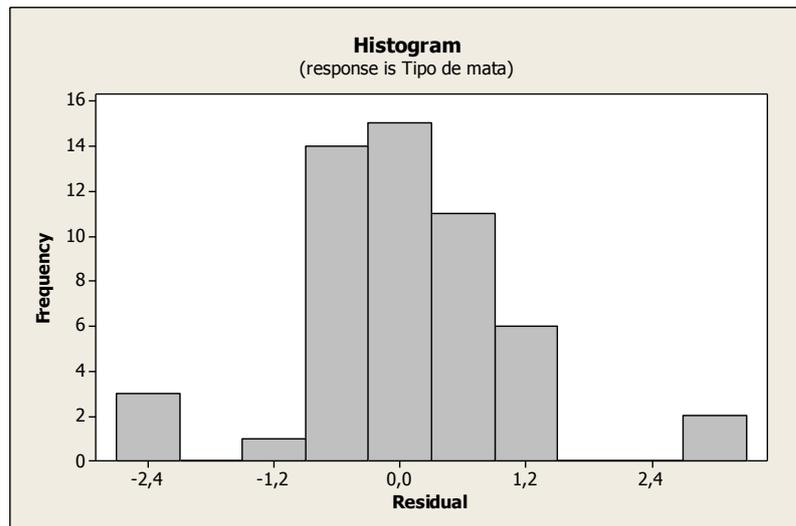
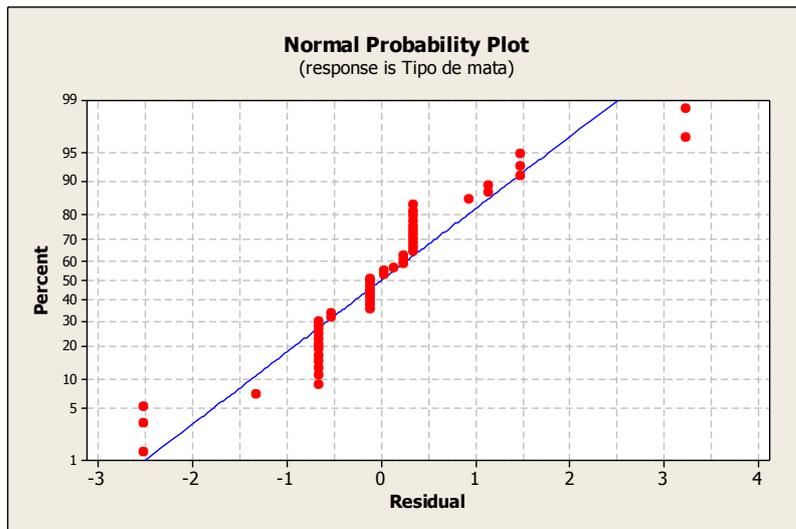


FIGURA 26 – Cálculos, gráfico de probabilidade normal e histograma de resíduos da regressão simples “Tipo de Cobertura” versus “Total Shortwave Extraterrestrial Radiation”.

The regression equation is  
 Tipo de mata = - 20022 + 336 Above Total

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-20022	1822	-10,99	0,000
Above Total	335,63	30,55	10,99	0,000

S = 1,07162    R-Sq = 70,7%    **R-Sq(adj) = 70,1%**

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	138,64	138,64	120,73	0,000
Residual Error	50	57,42	1,15		
Total	51	196,06			

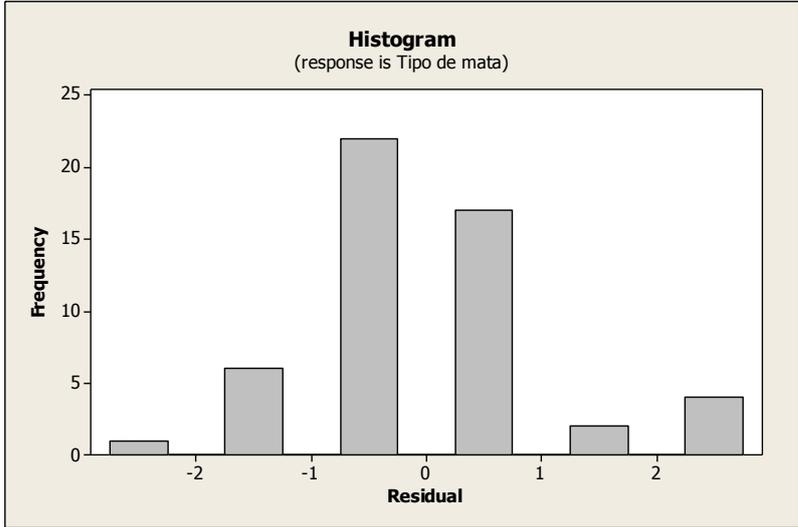
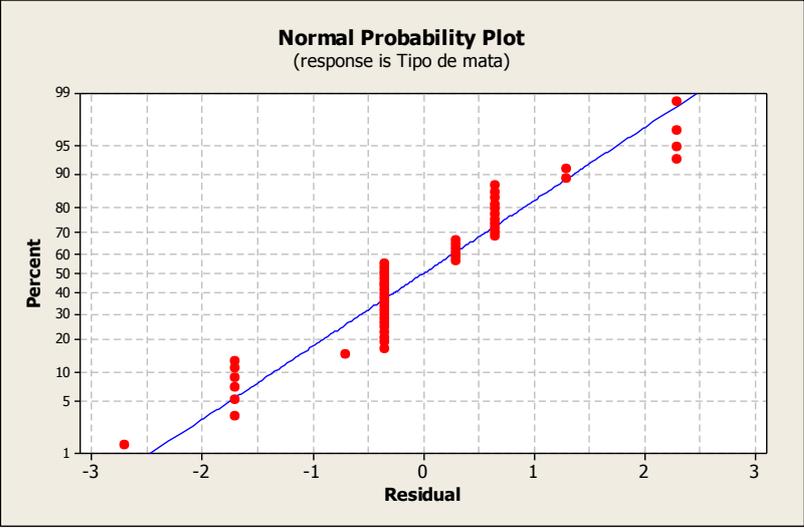


FIGURA 27 – Cálculos, gráfico de probabilidade normal e histograma de resíduos da regressão simples “Tipo de Cobertura” versus “Above Total”.

The regression equation is  
 Tipo de mata = 1,01 + 0,143 transmitted Total

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	1,0118	0,3436	2,94	0,005
trans Total	0,14286	0,02395	5,97	0,000

S = 1,51355 R-Sq = 41,6% **R-Sq(adj) = 40,4%**

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	81,516	81,516	35,58	0,000
Residual Error	50	114,542	2,291		
Total	51	196,058			

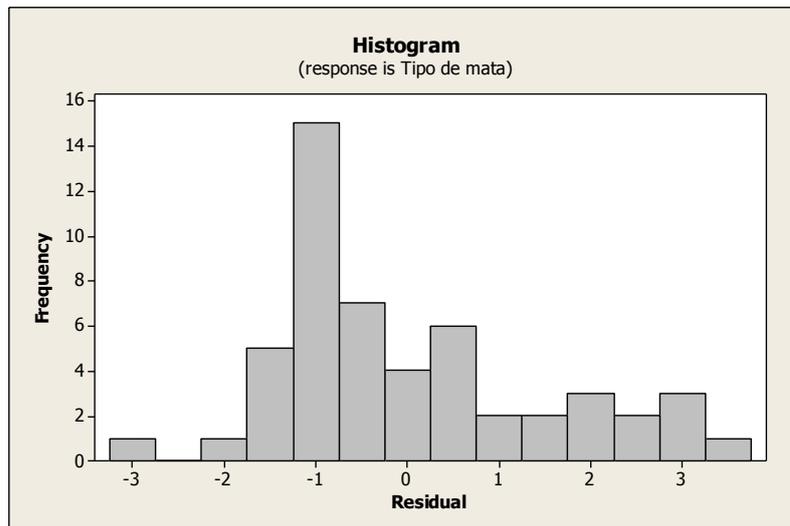
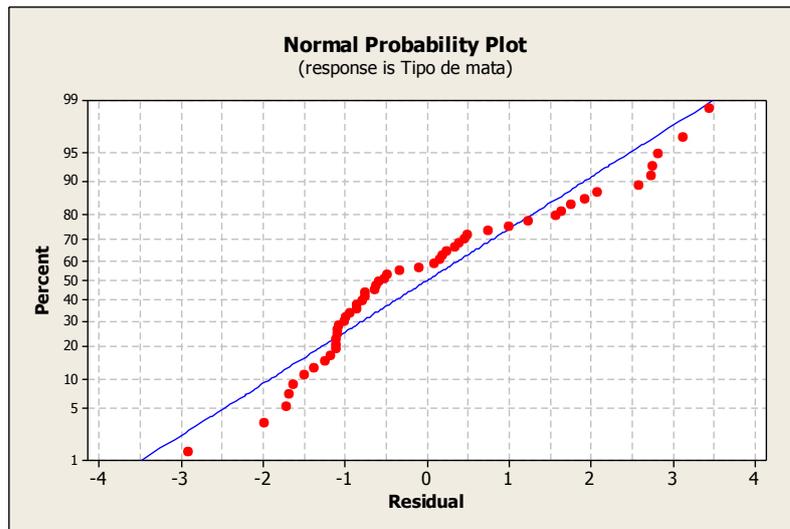


FIGURA 28 – Cálculos, gráfico de probabilidade normal e histograma de resíduos da regressão simples “Tipo de Cobertura” versus “Radiation Transmitted Total”.

A terceira etapa, regressão múltipla, utilizou o método *Stepwise* para seleção de variáveis. O método realizou a regressão com todas as amostras, considerando-as como variáveis explicativas e considerando o tipo de cobertura florestal como variável resposta.

A FIG. 29 apresenta os cálculos e gráficos gerados por este método. Os baixos P-valores demonstram a adequação das variáveis selecionadas. A regressão múltipla realizada posteriormente, apenas com as variáveis selecionadas, aponta o  $R^2$  adj com valor 81,42%, o que significa que este é o percentual do tipo de cobertura florestal que pode ser explicado pelas variáveis selecionadas (variáveis preditoras).

Resíduo é a diferença entre o valor real e o valor previsto da variável dependente (HAIR *et al.*, 2005). A FIG. 30 também demonstra que histograma de resíduos apresenta distribuição normal, com o formato aproximado ao de um “sino”, sem *gaps* como desejado. O gráfico de probabilidade normal foi construído para validar a distribuição normal apresentada, demonstrando que os pontos ajustam-se melhor à reta, mas ainda há *outliers*. A partir dos resultados, pode-se afirmar que os resíduos tendem à normalidade e sugerem independência.

Comparando os gráficos de probabilidade normal e o histograma da regressão múltipla com os da regressão simples apresentados, também pode ser percebida melhora no padrão exposto entre os pontos e a reta, pois além de se ajustarem melhor a ela, podem ser verificados menos *outliers*.

Alpha-to-Enter: 0,15 Alpha-to-Remove: 0,15  
 Response is Tipo de mata on 13 predictors, with N = 52

Step	1	2	3
Constant	-20022	-16062	-19357
Above Total	336	269	166
T-Value	10,99	9,42	3,26
P-Value	0,000	0,000	0,002
LAI 4Ring		-0,87	-0,79
T-Value		-4,93	-4,61
P-Value		0,000	0,000
Total Shortwave			20,4
T-Value			2,39
P-Value			0,021
S	1,07	0,885	0,845
R-Sq	70,71	80,43	82,51
<b>R-Sq(adj)</b>	<b>70,13</b>	<b>79,64</b>	<b>81,42</b>

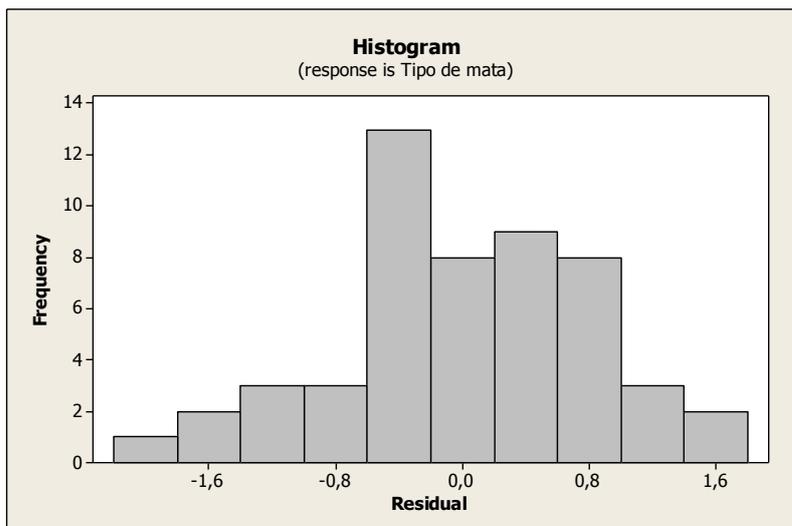
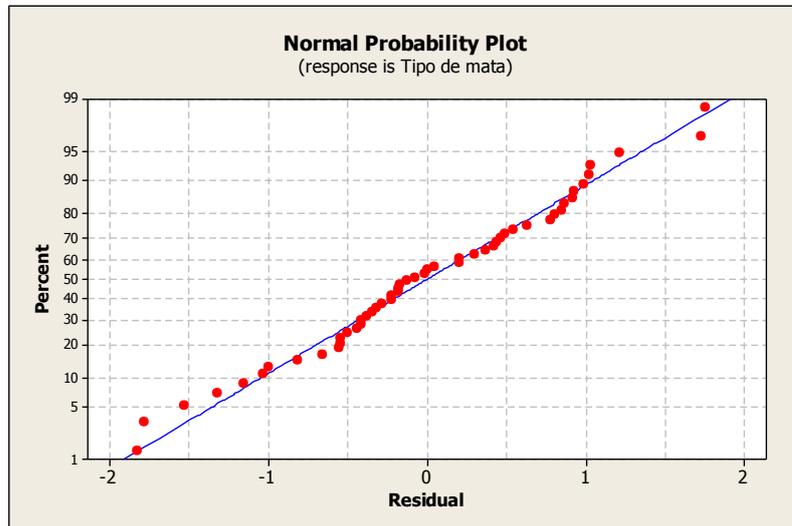


FIGURA 29 – Cálculos, gráfico de probabilidade normal e histograma de resíduos da regressão múltipla *Stepwise*.

O método *Stepwise* indicou a melhor equação possível para o modelo desejado, como apresentada na equação abaixo.

$$\text{Tipo de Floresta} = - 19357 + 166 \text{ Above Total} - 0,792 \text{ LAI 4Ring} + 20,4 \text{ Total Shortwave} \quad (\text{eq. 1})$$

onde:

Tipo de Floresta = cobertura vegetal florestal e respectivo estágio sucessional;

*Above Total* = quantidade de radiação incidente direta;

*LAI 4Ring* = Índice da área foliar efetivo integrado entre os ângulos 0-60° do zênite;

*Total Shortwave* = Radiação extraterrestre curta total.

A FIG. 30 apresenta os resultados dos cálculos realizados a partir da equação proposta.

Através da análise do Fator de Inflação da Variância (VIF – *Variance Inflation Factor*) indicado, é possível detectar se a multicolinearidade influencia as variáveis preditoras. Multicolinearidade é a dependência quase linear entre as variáveis independentes de um modelo de regressão múltipla (CARVALHO & REIS, 2004). Valores de VIF maiores que 5 indicam que os coeficientes de regressão estão sob influência da multicolinearidade. Como os VIF encontrados estão abaixo deste valor, pode-se concluir que a multicolinearidade não está influenciando esta regressão.

Para rejeitarmos a Hipótese Nula ( $H_0$ ), de que a variável não é adequada para integrar o modelo, e aceitarmos a Hipótese Alternativa ( $H_A$ ), de que a variável é adequada, os P-valores devem ser tão baixos quanto possível. Os valores apontados demonstram que a adoção destas variáveis preditoras é apropriada.

The regression equation is					
<b>Tipo de mata = - 19357 + 166 Above Total - 0,792 LAI 4Ring + 20,4 Total Shortwave</b>					
Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	-19357	2135	-9,07	0,000	
Above Total	166,43	51,00	3,26	0,002	4,481
LAI 4Ring	-0,7919	0,1718	-4,61	0,000	1,333
Total Shortwave	20,420	8,552	2,39	0,021	4,620
S = 0,845173    R-Sq = 82,5% <b>R-Sq(adj) = 81,4%</b>					
Analysis of Variance					
Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	161,770	53,923	75,49	0,000
Residual Error	48	34,287	0,714		
Total	51	196,058			

FIGURA 30 – Cálculos da regressão múltipla com as variáveis selecionadas pelo método *Stepwise* que levaram à proposição do modelo.

Este estudo fornece subsídios para o desenvolvimento de um estudo mais avançado, comparativo. O uso desta técnica demonstrou que as fotografias hemisféricas de dossel fornecem dados importantes para a diferenciação dos estágios sucessionais de Mata Atlântica e de outros tipos florestais, no entanto, o uso adequado desta técnica possibilitará o desenvolvimento de um modelo mais refinado de identificação dos estágios sucessionais e condições de conservação da floresta, podendo inclusive ser adicionadas as variáveis ecológicas dos estudos da região. Também poderão ser testadas com mais precisão a escolha do *color plane* mais adequado e a calibração ideal do equipamento fotográfico, para evitar problemas na determinação do *threshold* e diminuir a utilização da ferramenta *draw*.

O aumento da amostra e a captura das imagens nos horários mais apropriados (início da manhã e fim da tarde) também trarão melhora ao procedimento de classificação destas imagens. Além disso, a adequação dos dados a serem inseridos nas configurações de cada fotografia, as aproximando da realidade local, permitirá cálculos mais detalhados e precisos, sendo esperado que os resultados apresentem mais veracidade.

Outro aspecto que deve ser levado em consideração e que pode ser abordado mais especificamente é o efeito da sazonalidade nas fotografias. A mudança de estação pode ter interferido nos resultados encontrados nesta pesquisa. O acompanhamento destas mudanças na floresta ao longo do ano pode ajudar no entendimento de outros processos ecológicos.

Ainda que preliminar, o modelo proposto mostra-se adequado para a diferenciação dos tipos de cobertura vegetal considerados.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados dos estudos PELD – *site* 4 selecionados mostraram-se úteis no delineamento do estudo e comprovam a distinção ecológica entre as áreas amostradas; no entanto, através deles não foi possível produzir um mapa temático de localização destes (e dos demais estudos).

Segundo Metzger (2003), as análises das respostas espectrais das imagens, aliadas às visitas a campo, permitem correlacionar parâmetros espaciais a parâmetros ecológicos. Esta correlação possibilita a diferenciação das manchas de *habitat* em virtude de suas heterogeneidades e dos graus de fragmentação, isolamento e conectividade.

A classificação da cobertura vegetal e usos do solo do PERD e entorno a partir de imagens de satélite de alta resolução realizada nesta pesquisa abre uma nova perspectiva de compreensão da região, fornecendo subsídios à análise da relação entre *habitat*, diversidade e interferências antrópicas nesta área de estudo. O mapa produzido amplia o detalhamento nos contornos das classes consideradas e permite a identificação dos diferentes graus de perturbação e pode ser útil no direcionamento de estudos futuros que visem abranger estas fontes de ameaça à diversidade local. No entanto, através desta técnica não foi possível diferenciar os estágios sucessionais de Mata Atlântica encontrados na região. Ainda assim, para os tomadores de decisão, esta poderá ser uma ferramenta de análise influente.

Neste sentido, é importante lembrar que, além da estrutura da paisagem depender da resolução e da extensão da análise, devem ser observadas as diferentes escalas de percepção dessa paisagem pelas espécies e, portanto, deve ser considerada a especificidade quanto às necessidades de *habitat*, a capacidade de dispersão/locomoção, capacidade de suportar bordas, o tamanho do território, a taxa de reprodução, entre outras (METZGER, 2003, p.546).

O uso da técnica de fotografia hemisférica de dossel mostrou-se adequado para a diferenciação entre os tipos de cobertura vegetal florestal encontrados no PERD e entorno, ainda que haja ressalvas sobre o correto uso deste método, adequação às condições de coleta tropicais e ampliação da amostra (quantidade e temporalidade), trazendo melhora aos resultados expostos.

O modelo preliminar proposto, dadas as considerações discutidas, possibilita diferenciar áreas de floresta natural e artificial quando esta classificação não é possível visualmente, permitindo ainda a diferenciação da cobertura primitiva entre matas primárias e secundárias. Seu aprimoramento é essencial para que expresse maior veracidade destas

feições na região, sendo possível sua aplicação em outras áreas de estudo e sua modificação para inclusão de mais feições desse bioma e de outros tipos vegetacionais.

Percebe-se que existe um contraste claro entre as áreas dentro e fora do PERD, visto que apesar de apresentar diferentes estágios sucessionais, a Unidade apresenta-se como uma mancha mais homogênea do que seus arredores, permitindo que a vida silvestre animal e vegetal ainda perpetue sob menor influência antrópica dentro dela.

Esta é a primeira vez que o Parque é visualizado através de imagens a partir de duas perspectivas diferentes: o olhar de cima para baixo (pela ótica dos sensores do satélite IKONOS-II), percebendo a região da perspectiva externa, e o olhar de baixo para cima (pela ótica da objetiva *fisheye*), percebendo a floresta e seu entorno da perspectiva interna, dentro do ambiente estudado. A continuação deste trabalho deverá levar a união dos dois tipos de informações, gerando uma terceira e nova perspectiva de observação da área de estudo, o que, infelizmente, não foi possível no período considerado.

Esta pesquisa oferece contribuições e elementos que poderão viabilizar o direcionamento de esforços governamentais para a conservação e manejo da Mata Atlântica no estado de Minas Gerais e no Brasil.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, M. V. F.; SOUZA, A. L.; SOARES, V. P.; SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G. MARTINS, S. V.; FERNANDES FILHO, E. I.; LANA, J. M. Avaliação e Comparação de Métodos de Classificação de Imagens de Satélites para o Monitoramento de estádios de sucessão Florestal. Revista *Árvore*, v.33, n.3, p.575-582. Viçosa, Minas Gerais, 2009.

ASNER, G.P. *Remote Sensing for Natural Resources, Management and Enviromental Monitoring: Manual of Remote Sensing*. Wileyand Sons, 2004.

BARBOSA, F. A. R. & MORENO, P. Mata Atlântica e Sistema Lacustre do Médio Rio Doce. In: Os Sites e o Programa Brasileiro de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração. Eds. Seeliger, U.; Cordazzo, C., Barbosa, F. A. R. Belo Horizonte: 2002. pp. 69-81.

BRASIL. Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 22 de dezembro de 2006.

BRASIL. Resolução CONAMA, nº 2. Diário Oficial da União, Brasília, 10 de junho de 1986.

BRASIL. Resolução CONAMA, nº 20, de 18 de junho de 1986. Diário Oficial da União, 30 de junho de 1986.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 10, de 1 de outubro de 1993. Estabelece os parâmetros básicos para análise dos estágios de sucessão de Mata Atlântica. Diário Oficial da União, Brasília, 3 de novembro de 1993.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 3, de 18 de abril de 1996. Define vegetação remanescente de Mata Atlântica, com vistas à aplicação de Decreto nº 750, de 10 de fevereiro de 1993. Diário Oficial da União, Brasília, 25 de abril de 1996.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 388, de 23 de fevereiro de 2007. Dispõe sobre a convalidação das resoluções que definem a vegetação primária e secundária nos estágios inicial, médio e avançado de regeneração da Mata Atlântica para fins do disposto no art. 4º § 1º da Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006. Diário Oficial da União, Brasília, 26 de fevereiro de 2007.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 392, de 25 de junho de 2007. Definição de vegetação primária e secundária de regeneração de Mata Atlântica no estado de Minas Gerais. Diário Oficial da União, Brasília, 26 de junho de 2007.

BONNET, R.; CAMPBELL, J. B. *Introduction to Remote Sensing*. 1<sup>st</sup> Edition. Taylor e Francis. 2002.

CARVALHO, G. S.; REIS, I. A. Exercícios Resolvidos em Análise Regressão utilizando o MINITAB®. Relatório Técnico RTE-01/2004, Série Ensino. Belo Horizonte: UFMG, 2004. 111 p.

CINTRA, D. P. Classificação de estágios sucessionais florestais por meio de imagens de alta resolução (IKONOS) no Parque Estadual de Pedra Branca – RJ. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica, Rio de Janeiro, 2007. 64 p.

COSTA, M. R. C., HERRMANN, G., MARTINS, C. S., LINS, L. V.; LAMAS, I. R. Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 1998.

DRUMMOND, G.M.; MARTINS, C.S.; MACHADO, A.B.M.; SEBAIO, F.A.; ANTONINI, Y. Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para a sua conservação. 2ª. Ed. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005. 222 p.

DURIGAN, G. Métodos para análise de vegetação arbórea. In: Cullen Jr.,L., Valladares-Padua, C., Rudran, R. (org.) - Métodos de Estudos em Biologia da Conservação e Manejo da Vida Silvestre. Curitiba: Ed. da UFPR, 2003. p. 455-479.

EMBRAPA – IKONOS – Documento disponível [online] na Internet via www. URL, <http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/ikonos.htm> Consulta em 31 de maio de 2010.

ERDAS ER Mapper – Documento disponível [online] na Internet via www. URL, <http://www.erdas.com/products/ERDASERMapper/ERDASERMapper/Details.aspx>. Consulta em 05 de janeiro de 2011.

ESRI ArcGIS Desktop – Documento disponível [online] na Internet via www. URL, <http://www.esri.com/software/arcgis/index.html>. Consulta em 19 de março de 2011.

FRANÇA, J. L.; VASCONCELLOS, A. C. Manual para normalização de publicações técnico-científicas. 8. ed. rev. – Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2009. 258 p.

FRANKLIN, S. E. *Remote Sensing for Sustainable Forest Management*. Boca Raton, FLA: Lewis Publishers, 2001.

FRAZER, G.W.; CANHAM, C.D.; LERTZMAN, K.P. 1999. *Gap Light Analyzer (GLA): Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation*. Copyright © 1999: Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York. 40 p.

FREITAS, S. R ; SHIMABUKURO, Y. E. *New research on Forest Ecology*. 1<sup>st</sup> edition. New York: Nova Science Publishers, 2007.

GALINDO-LEAL, C.; CÂMARA, I. G. *Atlantic Forest hotspot status: an overview*. In: Galindo-Leal, C. & Câmara, I. G. (eds.). *The Atlantic Forest of South America*. Washington: Center for Applied Biodiversity Science, 2003. pp. 3-11.

GILHUIS, J. P. *Vegetation survey of the Parque Florestal Estadual do Rio Doce, MG, Brazil*. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Instituto Estadual de Florestas, Agricultural University of Wageningen. Viçosa, Minas Gerais: 1986. 112 p.

HAFFER, J. *Avian speciation in tropical South America*. Publ. Nuttall Ornith. Club 14.: 1974. 390 p.

HAIR, J. F., ANDERSON, R.E. TATHAM, R.L., BLACK, W.C. *Análise Multivariada de Dados*. Bookman: 2005.

HIRSCH, A. *Avaliação da fragmentação do habitat e seleção de áreas prioritárias para a conservação dos primatas da bacia do Rio Doce, Minas Gerais, através da aplicação de um Sistema de Informações Geográficas*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Conservação e Manejo da Vida Silvestre, ICB/UFMG, Belo Horizonte: 2003. 227 pp + anexos.

HIRSCH, A. *Habitat fragmentation and priority areas for primate conservation in the Rio Doce basin, Minas Gerais*. *Neotropical Primates*, 11 (3): 195-196. 2003.

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. *Lista das espécies da fauna ameaçada de extinção*. Instrução Normativa nº 3, de 27 de maio de 2003. IBAMA, Ministério do Meio Ambiente. Brasília: 2003.

IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Manual técnico da vegetação brasileira*. Rio de Janeiro: 1991.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS – *Plano de Manejo do Parque Estadual do Rio Doce* - Documento disponível [online] na Internet via [www](http://www.ief.mg.gov.br/component/content/306?task=view). URL, <http://www.ief.mg.gov.br/component/content/306?task=view>. Consulta em 04 de maio de 2008.

INSTITUTO ESTADUAL DE FLORESTAS – *Sugestões de Pesquisas Necessárias e Prioritárias Para as Unidades de Conservação* – Documento disponível [online] na Internet via [www](http://www.ief.mg.gov.br/images/stories/formulariospesquisauc/sugestoes_pesquisas_prioritarias.pdf). URL, [http://www.ief.mg.gov.br/images/stories/formulariospesquisauc/sugestoes\\_pesquisas\\_prioritarias.pdf](http://www.ief.mg.gov.br/images/stories/formulariospesquisauc/sugestoes_pesquisas_prioritarias.pdf). Consulta em 22 de novembro de 2009.

JENSEN, J. R. *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. Tradução da 2ª ed. por (pesquisadores do INPE): José Carlos N. Epiphanyo, J. C. N. (coordenador); Formaggio, A. R.; Santos, A. R.; Rudorff, B. F. T.; Almeida, C. M.; Galvão, L. S. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 672 p.

LAGOS, A.R.; MULLER, B. L. A. *Hotspot Brasileiro Mata Atlântica*. *Saúde & Ambiente em Revista*, v. 2, n. 2, p. 35-45. Rio de Janeiro: 2007.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. *Remote sensing and image interpretation*. Fourth edition. New York: John Wiley & Sons, Inc. 2000.

LINO, C. F.; DIAS, H. *Águas e Florestas da Mata Atlântica: por uma gestão integrada* – caderno 27 – São Paulo: Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, 2003. 132 p.

INMET – Mapas do Boletim Agroclimatológico – Documento disponível [online] na Internet via www. URL, [http://www.inmet.gov.br/climatologia/bol\\_agro/](http://www.inmet.gov.br/climatologia/bol_agro/). Consulta em 13 de dezembro de 2010.

MATHER, P. M. *Computer processing of remotely-sensed images: an introduction*. John Wiley and Sons Inc., 2004.

METZGER, J. P. Delineamento de Experimentos numa perspectiva de Ecologia de Paisagem. In: Cullen Jr.,L., Valladares-Padua, C., Rudran, R. (org.) - Métodos de Estudos em Biologia da Conservação e Manejo da Vida Silvestre. Curitiba: Ed. da UFPR, 2003. p. 539-553.

METZGER, J. P. Estrutura da Paisagem: o uso adequado de métricas. In: Cullen Jr.,L., Valladares-Padua, C., Rudran, R. (org.) - Métodos de Estudos em Biologia da Conservação e Manejo da Vida Silvestre. Curitiba: Ed. da UFPR, 2003. p. 423-453.

METZKER, T.; SPÓSITO, T. C.; MARTINS, M. T. F.; HORTA, M. B.; GARCIA, Q. S. *Forest dynamics and carbon stocks in Rio Doce State Park – an Atlantic rainforest hotspot*. Current Science, v. 100, n. 11, p. 1-8. 2011.

MINAS GERAIS. Decreto-Lei nº 1.119, de 14 de julho de 1944. Dispõe sobre parques florestais. Diário do Executivo, Minas Gerais, 15 de julho de 1944.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA, 2008. Lista Oficial das Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção – Documento disponível [online] na Internet via www. URL, <http://www.mma.gov.br/sitio>. Consulta em 10 de maio de 2010.

MOVIMENTO PRÓ-RIO DOCE – Manifesto Aeroporto Rio Doce – Documento disponível [online] na Internet via www. URL, [http://ong.prosperustec.com.br/mprd/wp-content/uploads/2008/10/para\\_conhecimento\\_e\\_manifestacao\\_rio-doce.pdf](http://ong.prosperustec.com.br/mprd/wp-content/uploads/2008/10/para_conhecimento_e_manifestacao_rio-doce.pdf). Consulta em 08 de agosto de 2009.

MYERS, N., MITTERMEIER, R. MITTERMEIER, C., FONSECA, G., KENT, J. *Biodiversity hotspots for conservation priorities*. Nature (403), 853-858. 2000.

NOVO, E. M. Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações. Edgard Blucher: 2008.

RAMSAR CONVENTION ON WETLANDS – *The annotated Ramsar list: Brazil, Rio Doce State Park* – Documento disponível [online] na Internet via www. URL, [http://www.ramsar.org/cda/en/ramsar-pubs-annolist-annotated-ramsar-16692/main/ramsar/1-30-168%5E16692\\_4000\\_0](http://www.ramsar.org/cda/en/ramsar-pubs-annolist-annotated-ramsar-16692/main/ramsar/1-30-168%5E16692_4000_0). Consulta em 01 de junho de 2010.

RELATÓRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO DAS ATIVIDADES DO PROGRAMA DE PESQUISAS ECOLÓGICAS DE LONGA DURAÇÃO, SITE 4, MATA ATLÂNTICA E SISTEMA LACUSTRE DO MÉDIO RIO DOCE – MG - 2000. Agosto, 2000. 18 p.

RELATÓRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO DAS ATIVIDADES DO PROGRAMA DE PESQUISAS ECOLÓGICAS DE LONGA DURAÇÃO, SITE 4, MATA ATLÂNTICA E SISTEMA LACUSTRE DO MÉDIO RIO DOCE – MG – 2002. Setembro, 2002. 391 p.

RELATÓRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO DAS ATIVIDADES DO PROGRAMA DE PESQUISAS ECOLÓGICAS DE LONGA DURAÇÃO, SITE 4, MATA ATLÂNTICA E SISTEMA LACUSTRE DO MÉDIO RIO DOCE – MG – 2003. Fevereiro, 2004. 469 p.

RELATÓRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO DAS ATIVIDADES DO PROGRAMA DE PESQUISAS ECOLÓGICAS DE LONGA DURAÇÃO, SITE 4, MATA ATLÂNTICA E SISTEMA LACUSTRE DO MÉDIO RIO DOCE – MG – 2004. Março, 2005. 356 p.

RELATÓRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO DAS ATIVIDADES DO PROGRAMA DE PESQUISAS ECOLÓGICAS DE LONGA DURAÇÃO, SITE 4, MATA ATLÂNTICA E SISTEMA LACUSTRE DO MÉDIO RIO DOCE – MG – 2005. Abril, 2006. 443 p.

RELATÓRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO DAS ATIVIDADES DO PROGRAMA DE PESQUISAS ECOLÓGICAS DE LONGA DURAÇÃO, SITE 4, MATA ATLÂNTICA E SISTEMA LACUSTRE DO MÉDIO RIO DOCE – MG – 2006. 2006. 177 p.

RELATÓRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO DAS ATIVIDADES DO PROGRAMA DE PESQUISAS ECOLÓGICAS DE LONGA DURAÇÃO, SITE 4, MATA ATLÂNTICA E SISTEMA LACUSTRE DO MÉDIO RIO DOCE – MG – 2007. Setembro, 2008. 501 p.

RIBEIRO, J. R. P. A detecção remota no inventário florestal: análise das potencialidades da utilização de imagens de satélite. João Rui Dias Pinto Ribeiro. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior de Estatística e Gestão da Informação, Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2007. 138p. Documento disponível [online] na Internet via [www. URL, http://www.igeo.pt/gdr/pdf/Tese\\_Jo%E3o\\_Ribeiro.pdf](http://www.igeo.pt/gdr/pdf/Tese_Jo%E3o_Ribeiro.pdf). Consulta em 01 de junho de 2010.

RICH, P.M. *Characterizing plant canopies with hemispherical photographs*. Remote Sensing Reviews, 5:13-29. 1990.

RICHARDS, JOHN A.; JIA, XIUPING. *Remote sensing digital image analysis: an introduction*. 4th ed. Berlin: Springer, 2005. 439 p.

RODRIGUES, E., CAINZOS, R. L. P., QUEIROGA, J.; HERRMANN, B. C. In: Cullen Jr.,L., Valladares-Padua, C., Rudran, R. (org.) - Métodos de Estudos em Biologia da Conservação e Manejo da Vida Silvestre. Curitiba: Ed. da UFPR, 2003. p. 481-511.

SEELIGER, U.; CORDAZZO, C.; BARBOSA, F. (organizadores). Os Sites e o Programa Brasileiro de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração. Belo Horizonte: 2002. 184 p.

SETTE, P. G. C. Análise da Textura de imagem de alta resolução para classificação dos estágios sucessionais de Mata Atlântica no Sul da Bahia. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: 2009. 59 p.

SIF – Sociedade de Investigações Florestais. Plano Diretor do Parque Florestal Estadual do Rio Doce. Viçosa, Minas Gerais: 1990a. 99 p.

SIF – Sociedade de Investigações Florestais. O futuro do Parque Florestal Estadual do Rio Doce. Relatório final. Viçosa, Minas Gerais: 1990b. 64 p.

SOS MATA ATLÂNTICA – Documento disponível [online] na Internet via [www](http://www.sosmatatlantica.org.br/index.php?section=info&action=mata). URL, <http://www.sosmatatlantica.org.br/index.php?section=info&action=mata>. Consulta em 18 de outubro de 2008.

SOS MATA ATLÂNTICA – Documento disponível [online] na Internet via [www](http://www.sosmatatlantica.org.br/index.php?section=info&action=mata). URL, <http://www.sosmatatlantica.org.br/index.php?section=info&action=mata>. Consulta em 03 de fevereiro de 2011.

SOS MATA ATLÂNTICA – Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica Período 2008-2010 – Dados Parciais dos Estados Avaliados até Maio de 2010 – Documento disponível [online] na Internet via [www](http://www.sosma.org.br/site_media/download/atlas-relatorio2008-2010parcial.pdf). URL, [http://mapas.sosma.org.br/site\\_media/download/atlas-relatorio2008-2010parcial.pdf](http://mapas.sosma.org.br/site_media/download/atlas-relatorio2008-2010parcial.pdf). Consulta em 30 de maio de 2010a.

SOS MATA ATLÂNTICA – Lançamento do novo Atlas – Documento disponível [online] na Internet via [www](http://www.sosma.org.br/index.php?section=content&action=contentDetails&idContent=518). URL, <http://www.sosma.org.br/index.php?section=content&action=contentDetails&idContent=518>. Consulta em 30 de maio de 2010b.

TEAM – *Tropical Ecology Assessment and Monitoring Network – Network Sites: Rio Doce* – Documento disponível [online] na Internet via [www](http://www.teamnetwork.org/en/network/sites/rio-doce). URL, <http://www.teamnetwork.org/en/network/sites/rio-doce>. Consulta em 01 de junho de 2010.

TUNDISI, J. G. & SAIJO, Y. (EDITORES) – *Limnological Studies On the Rio Valley Lakes, Brazil*. Brazilian academy of Sciences, University of São Paulo School of Engineering at S. Carlos, Center For Water Resources and Applied Ecology. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1997. 528 p.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1991. 123p.

VIEIRA, I. C. G.; ALMEIDA, A. S.; DAVIDSON, E. A.; STONE, T. A.; CARVALHO, C. J. R.; GUERERO, J. B. *Classifying successional forests using Landsat spectral properties and ecological characteristics in eastern Amazonia*. Remote Sensing Environment, v. 87, p. 470-481. 2003.

WULDER, M. A. *Optical remote-sensing techniques for the assessment of forest inventory and biophysical parameters*. Progress in Physical Geography 22, 449-476. 1998.

## 7 ANEXOS

ENVELOPE CONTENDO OS  
MAPAS PRODUZIDOS EM TAMANHOS A2