

Universidade Federal de Minas Gerais

Instituto de Geociências

Programa de Pós-graduação

Mestrado em Geografia

**Avaliação de Dados RADARSAT-1 e
CBERS-2 para Estimativa da Estrutura
do Cerrado: uma abordagem utilizando
dados alométricos e históricos**

Marília Ferreira Gomes

Minas Gerais - Brasil

2006

Marília Ferreira Gomes

Avaliação de Dados RADARSAT-1 e CBERS-2 para Estimativa da Estrutura do Cerrado: uma abordagem utilizando dados alométricos e históricos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Geografia.

Área de Concentração: Análise Ambiental

Orientador: Dr. Philippe Maillard

Belo Horizonte
Departamento de Geografia da UFMG
2006

Dissertação defendida e aprovada, em 06 de julho de 2006, pela Banca Examinadora constituída pelos doutores e professores:

Dra. Silvana Amaral

Profa. Dra. Magda Luzimar de Abreu

Prof. Dr. Philippe Maillard

Sumário

Resumo	viii
Abstract	x
Agradecimentos	xii
Siglas e Símbolos	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
2 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	5
2.1 Localização	5
2.2 Características Ambientais	7
2.3 Uso e Ocupação da Área Anterior à Criação do Parque	13
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1 O Bioma do cerrado	17
3.1.1 Fisionomias do cerrado	19
3.1.2 Regeneração	23
3.2 O uso de parâmetros biofísicos para caracterização da vegetação	25
3.3 O Sistema RADAR	26
3.4 Interação entre as Microondas e a Vegetação	29
3.4.1 Mecanismos de retroespalhamento	31
3.4.2 Fatores de Influência	32
3.5 O uso de sensores remotos no estudo da vegetação	33
3.6 Trabalhos Anteriores Desenvolvidos no PEVP	35
4 METODOLOGIA	37
4.1 Material cartográfico	37
4.2 Dados de Sensoriamento Remoto	38
4.3 Levantamentos de Campo e de Informações Históricas	40

4.3.1	Transectos	42
4.3.2	Dados Históricos	45
4.4	Pré-processamento dos Dados	46
4.4.1	Calibração Radiométrica dos Dados SAR	46
4.4.2	Correção Atmosférica e Calibração Radiométrica dos Dados Óticos	48
4.4.3	Correção Geométrica	49
4.4.4	Remoção do Ruído Speckle	50
4.4.5	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI	50
4.5	Análise Estatística	51
4.5.1	Preparação dos Dados	51
4.5.2	Modelagem Estatística	52
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
5.1	Idades de Regeneração	55
5.2	Avaliação dos Dados de Campo	58
5.3	Análise de correlação entre os dados	63
5.3.1	Correlação entre os dados RADARSAT e os dados biogeofísicos	63
5.3.2	Correlação entre os dados de NDVI e os dados biogeofísicos	71
5.3.3	Discussão	74
5.4	Modelagem dos Dados	77
5.4.1	Dados de Sensoriamento Remoto para modelar dados Biogeofísicos	77
5.4.2	Dados Biogeofísicos para modelar os dados de Sensoriamento Remoto	81
5.5	Avaliação da Metodologia Utilizada	83
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
A	Cálculo do sigma nulo para Radarsat-1	97
A.1	Princípios sobre a formação de um dado RADARSAT e sobre a composição do arquivo leader	97
A.2	Leitura e compreensão do arquivo leader	97
A.3	Prática para a conversão	98
A.4	Considerações Finais	101
B	Dados	102
C	Dados coletados em campo	105

Lista de Figuras

2.1	Localização do Parque Estadual Veredas do Peruaçu	6
2.2	Unidades de Conservação do vale do Peruaçu	7
2.3	Solo arenoso exposto	8
2.4	Crosta látero-manganesífera	9
2.5	Climograma	10
2.6	Precipitação versus Evaporação	11
2.7	Excipientes e Deficiências hídricas	11
2.8	Distribuição das fitofisionomias no PEVP	12
2.9	Projetos de eucalipto que existiam no PEVP	14
3.1	Distribuição espacial do bioma do cerrado.	18
3.2	Exemplo de uma borda de cerradão	20
3.3	Cerrado sentido restrito	21
3.4	Veredas ao longo do rio Peruaçu	22
3.5	Campo limpo circundando uma lagoa no cerrado	23
3.6	Espectro eletromagnético	27
3.7	Geometria de uma imagem SAR	28
3.8	Principais tipos de refletores da superfície	29
3.9	Magnitude de retroespalhamento para um cilindro	30
3.10	Mecanismos de retroespalhamento dentro do dossel	31
4.1	Recortes das imagens RADARSAT-1.	39
4.2	Recortes das imagens CBERS-2	40
4.3	Pontos de amostragem.	41
4.4	Metodologia de amostragem das comunidades vegetais	42
4.5	Tratamento das fotos hemisféricas.	44
4.6	Metodologia para aproveitamento da área das fotografias.	45
4.7	Justificativa do tamanho da janela	52
5.1	Imagem MSS de Landsat do ano de 1976	56
5.2	Mapa de Idades	57

5.3	Gráfico de dispersão de DAP.	60
5.4	Gráficos de dispersão dos dados de Altura e DT	61
5.5	Gráficos de dispersão dos dados PAD e IAF.	61
5.6	Gráficos de dispersão de DF e UG.	62
5.7	Gráfico de dispersão DAP versus RADARSAT.	65
5.8	Gráfico de dispersão IAF versus RADARSAT.	67
5.9	Relação entre os dados de Diversidade florística e os dados SAR.	68
5.10	Relação entre os dados de Densidade do transecto e os dados SAR.	69
5.11	Relação entre os dados de Umidade dos solos e os dados SAR.	70
5.12	Relação entre os dados de PAD e os dados de NDVI do CBERS-2.	72
5.13	Relação entre os dados de IAF e os dados de NDVI do CBERS-2.	73
5.14	Relação entre os dados de DF e os dados de NDVI do CBERS-2.	74
5.15	Relação entre os dados de DT e os dados de NDVI do CBERS-2.	75
5.16	Mapa de umidade contida nos solos do PEVP.	86

Lista de Tabelas

3.1	Bandas radar.	32
4.1	Dados de sensoriamento remoto utilizados para as duas estações.	38
4.2	Coeficientes de Calibração para os dados CBERS	49
4.3	Valores de Irradiância no topo da atmosfera para cada banda do CBERS-2	49
5.1	Informações coletadas em campo organizadas por transecto.	59
5.2	Correlação de Pearson entre os dados biogeofísicos e os dados de sensoriamento remoto	64
5.3	Correlação entre os parâmetros biogeofísicos e os dados RADARSAT	65
5.4	Correlação de Pearson entre os parâmetros biogeofísicos e os dados de NDVI do CBERS-2.	72
5.5	Síntese dos resultados de correlação entre atributos biogeofísicos e os dados SAR.	76
5.6	Coeficiente de determinação (R^2) entre os dados biogeofísicos e os dados de sensoriamento remoto.	78
5.7	Síntese dos resultados da modelagem entre os dados biogeofísicos e os dados de sensoriamento remoto.	80
5.8	Síntese dos resultados da modelagem entre os dados biogeofísicos e os dados de sensoriamento remoto.	83

Resumo

O cerrado é uma formação savânica lenhosa detentor de uma grande biodiversidade, mas que está sendo rapidamente convertido em monocultura. Uma metodologia para sua caracterização a partir de dados de sensoriamento remoto não foi ainda definida e continua sendo um assunto de pesquisa ativa. Dados óticos já demonstraram seu potencial e suas limitações, mas poucos trabalhos foram dedicados à avaliação dos dados de radar orbitais e nenhum com os dados do satélite canadense RADARSAT-1. Sendo uma formação aberta, o cerrado pode ser modelado como um mosaico de cobertura vegetal e de solo e a resposta de sensores radar deveria resultar de uma combinação de retroespalhamento direto e volumétrico. Certos estudos sugerem que dados de radar são mais eficientes quando utilizados em conjunto com dados óticos, uma abordagem também contemplada na presente pesquisa.

Nesta dissertação, dados históricos de degradações (desmatamento, incêndios florestais, etc.), medidas alométricas e dados de umidade gravimétrica dos solos de 35 áreas de amostragem foram usados a fim de caracterizar a idade e as propriedades estruturais do cerrado em estado clímax e de regeneração em uma área de proteção ambiental do norte do Minas Gerais, uma vez usada como plantação de eucalipto: o Parque Estadual Veredas do Peruaçu (PEVP). O objetivo da pesquisa consiste em avaliar dados RADARSAT-1 a partir de modelos de resposta de retroespalhamento em dois ângulos de incidência (26° e 45°) e duas estações fenológicas (abril e setembro) assim como o potencial de acrescentar a esses dados, um índice de vegetação (NDVI) extraído do dados óticos do satélite sino-brasileiro CBERS-2. Técnicas de correlação estatísticas e modelos de regressão múltipla foram usados para modelar a possível contribuição desse conjunto de dados de sensoriamento remoto para a caracterização estrutural do cerrado.

Os resultados mostraram que a umidade do solo tem um efeito dominante sobre o retroespalhamento das quatro imagens RADARSAT, especialmente nos dados de abril com 26° . A densidade das árvores foi a variável estrutural que teve a maior contribuição no retroespalhamento da estação chuvosa (abril). O histórico de incêndios também demonstrou ter uma certa influência sobre as características das amostras. A maior parte dos modelos tiveram uma sensibilidade fraca a moderada às diferenças estruturais da vegetação. Os dados de NDVI do CBERS-2 reiteraram resultados encontrados em pesquisas anteriores, mostrando sensibilidade à composição das comunidades vegetais e aos parâmetros de de-

finem a proporção solo-vegetação. A união dos dados de NDVI com os dados radar não demonstrou uma contribuição significativa na caracterização estrutural do cerrado.

Essa pesquisa permitiu um melhor entendimento dos mecanismos de retroespalhamento radar na sua relação com a estrutura do cerrado, especialmente nas suas limitações em termos de frequência e de polarização. A dissertação contribuiu na adoção de uma nova trajetória de pesquisa utilizando dados radar de outras configurações assim como o aprimoramento das técnicas de coletas de dados em campo para os estudos de sensoriamento remoto sobre o cerrado.

Abstract

Cerrado is a woody savanna formation that represents about one fourth of the Brazilian territory and bears great biodiversity but which is being rapidly converted to monoculture. Its characterization using remote sensing still evades the scientific community and is considered an active research field. While optical data has already shown its usefulness and limitation, very little study has been dedicated to the evaluation of satellite radar data in the cerrado context and none with RADARSAT-1 data. Being an open formation, *cerrado* can be modelled as a soil/canopy mosaic and so radar response should result from both volume and direct backscattering. Studies have shown that radar data is most efficient when used in conjunction with optical data, an approach also being contemplated in the present research.

In the present dissertation, logging records, allometric measurements and gravimetric soil moisture from 35 sampling plots were used to characterize the age and the structural properties of climax and regenerating *cerrado* in a protected area in Northern Minas Gerais that was once used as eucalypt plantations: the *Veredas do Peruaçu* State Park (PEVP). The objective of the study aims at evaluating RADARSAT-1 data by modelling its response at two incidence angles (26° and 45°) and two phenological seasons (April and September) as well as the benefits of adding vegetation index (NDVI) data extracted from the Chinese-Brazilian optical sensor CBERS-2. Statistical correlation techniques and multiple regression models were used to evaluate the contribution of these remote sensing data sets for characterizing the structural properties of *cerrado*.

Results show that the soil humidity has a dominant effect on the backscatter in all four images but is especially strong on the 26° April data. Tree density was the structural variable having the strongest effect, again for the 26° April data. Fire history was also found to be direct influence on the characteristics of the plots. Most models were not very sensitive to the structural differences in the vegetation. NDVI data from CBERS-2 reinforced findings from previous research, showing to be sensitive to community composition and to parameters that define the soil-vegetation proportions. The union of NDVI with radar data did not demonstrate to have a significant contribution for the structural characterization of *cerrado*.

This research yielded a better understanding of the radar backscattering mechanisms in their relation with the structure of *cerrado*, especially in its limitation in terms of frequency and polarization. This dissertation contributed in adopting a new research direction using

other radar configurations. It also helped improving field sampling techniques for remote sensing studies of the *cerrado*.

Agradecimentos

À minha mãe, a pessoa mais especial que já conheci, que não mais pôde conviver entre nós, mas que com toda certeza vive em lugar muito melhor.

À minha irmã, Mara, por existir. Ao meu pai, às minhas tias queridas (Tita, Dorinha, Nadir, Conceição, Aderminda e Maria) e aos meus primos pela amizade, pelo grande apoio nos momentos necessários e por todo o incentivo.

Ao Prof. Philippe Maillard, mestre e amigo, agradeço pelo conhecimento repassado, pela orientação, pelos trabalhos e pesquisas desenvolvidos, pela amizade incondicional e pelo apoio em todos os momentos difíceis de minha vida. Essas linhas não são capazes de expressar a minha mais sincera gratidão.

A todos os amigos que de alguma forma contribuíram para este trabalho ou que estiveram sempre presentes em minha vida: Nádia, Thiago, Luiz Otávio, Thaís, Nívea, Cláudia, Corradi, Cláudio, Marcílio, Filipe, Keila, Tom e Isabela. Aos novos amigos do INCRA e à chefia por compreenderem a importância do trabalho, em especial à Hulda, ao Murilo e ao Itamar pela ajuda na finalização.

Agradeço em especial ao Daniel, por sua amizade, pela companhia e pelo grande auxílio nos trabalhos de campo.

Aos professores e funcionários do Instituto de Geociências da UFMG (IGC) pela minha formação e pela oportunidade de me capacitar em nível de Mestrado.

Ao Prof. Marinaldo da UFV pelos dados repassados na tentativa da correção atmosférica.

À Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro concedido por dois anos.

À Agência Espacial Canadense (CSA) por prover os dados RADARSAT-1 através do projeto “Data for Research Use” (DRU).

Aos funcionários do Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais (IEF-MG) pela gentileza e prontidão em ceder os dados.

Aos funcionários e ex-funcionários do Parque Estadual Veredas do Peruaçu manifesto os meus mais sinceros agradecimentos, pois sem a ajuda sempre pronta e presente nas exaustivas coletas de dados e sem o seu conhecimento acerca da história do parque este trabalho não poderia ter sido realizado da mesma forma.

Siglas e Símbolos

SIGLAS

- 5s: Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum
- ASC: Agence Spatiale Canadienne
- ANOVA: Análise de Variância
- AVHRR: Advanced Very High Resolution Radiometer
- CAP: Circunferência a Altura do Peito
- CBERS: China-Brazil Earth Resources Satellite
- CCD: Couple Charged Device
- DAP: Diâmetro à Altura do Peito
- DR: Densidade Relativa
- DT: Densidade de árvores no Transecto
- EMBRAPA: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- ETM+: Enhanced Thematic Mapper Plus
- GLA: Gap Light Analyser
- GPS: Global Positioning System
- HH: Horizontal-Horizontal
- IAF: Índice de Área Foliar
- IBAMA: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis
- IEF-MG: Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais
- INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

- IS: Índice de Shannon
- JANASA: Januária Agropecuária S.A.
- LUT: Look up Table
- MDE: Modelo Digital de Elevação
- MDM: Minimum Distance to Mean
- ML: Maximum Likelihood
- MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
- MSS: Multi-Spectral Scanner
- ND: Número Digital
- NDVI: Normalized Difference Vegetation Index
- NDVI_A: Imagem de NDVI do mês de agosto
- NDVI_M: Imagem de NDVI do mês de maio
- PAD: Porcentagem de Abertura do Dossel
- PARNA: Parque Nacional
- PEVP: Parque Estadual Veredas do Peruaçu
- RADAR: Radio Detection and Ranging
- RAR: Radar de Abertura Real
- RIXacriabá: Reserva Indígena Xacriabá
- Ruralminas: Fundação Rural de Minas Gerais
- S2_A: Imagem RADARSAT S2 do mês de abril
- S2_S: Imagem RADARSAT S2 do mês de setembro
- S6_A: Imagem RADARSAT S6 do mês de abril
- S6_S: Imagem RADARSAT S2 do mês de setembro
- SAM: Spectral Angle Mapper
- SAR: Synthetic Aperture Radar

- SGE: Serviço Geográfico do Exército
- SIR-C: Spaceborne Imaging Radar - C
- SPOT: Systeme Pour l'Observation de la Terre
- SSC: Spectral and Spatial Classifier
- SUDENE: Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
- TM: Thematic Mapper
- UFMG: Universidade Federal de Minas Gerais
- UFV: Universidade Federal de Viçosa
- UG: Umidade Gravimétrica
- VV: Vertical-Vertical

SÍMBOLOS

- β° : Brilho do radar
- σ° : Coeficiente de retroespalhamento do radar
- σ : Desvio padrão
- λ : Comprimento de onda
- μ : Média
- ρ : Reflectância aparente no topo da atmosfera

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

O CERRADO, ou savana brasileira, é uma forma de vegetação complexa, composta por um mosaico de fisionomias que pode variar desde campos gramíneos até florestas densas (Mistry, 1998; Rizzini, 1997; Veloso *et al.*, 1991). Ele reveste significativa porção do território brasileiro, sendo em extensão o segundo maior bioma do país.

Devido às variações florísticas entre cerrados de diferentes regiões, estima-se que mais de 800 espécies de árvores e grandes arbustos componham este bioma. Esta soma ultrapassa 10.000 espécies de plantas vasculares quando incluídas a mata galeria e a floresta mesófila (Ratter *et al.*, 1997).

A grandiosidade e diversidade deste bioma já expressam seu importante papel no ecossistema brasileiro. Entretanto, nas últimas décadas, os solos do cerrado, antes considerados inférteis, tornaram-se alvo de conversão para atividades agropecuárias, com destaque para as culturas da soja e do eucalipto e para a criação de bovinos. Adicionados às interferências antrópicas, eventos naturais tendem a reduzir ou destruir porções do cerrado, sendo as queimadas o principal fator deste tipo de perturbação (Pivello e Coutinho, 1996; Ratter *et al.*, 1997; Mistry, 1998).

A compreensão dos efeitos de alterações nas superfícies vegetadas é foco de muitos estudos, pois as florestas (incluindo o cerrado nas suas formas arbustivas e florestadas) são os maiores estoques de carbono, regulam o clima e o fluxo da água e são reservatórios da diversidade ecológica e biológica. Toda interferência causada nos ecossistemas gera desequilíbrios no sistema local e/ou global, afetando o ciclo hidrodinâmico, os fluxos de temperatura, o ciclo do carbono e a preservação dos solos (Jaton e Thomson, 1994; Ribeiro e Walter, 1998; Sano *et al.*, 2005).

Ainda, a localização e distribuição da biomassa sobre a superfície terrestre é uma das maiores incertezas, na nossa habilidade, para entender o ciclo do carbono global e como isto pode mudar no futuro (Kasischke *et al.*, 1997).

Desde o início do programa Landsat, em 1972, ferramentas de sensoriamento remoto têm contribuído substancialmente para inventários e monitoramentos de florestas, bem como

para um entendimento dos processos no ecossistema.

Diversas pesquisas têm utilizado dados de sensoriamento remoto para estimar atributos do cerrado. Nesse contexto podem ser citados os trabalhos de Kuntschik e Bitencourt (2003) que utilizaram dados do sensor JERS-1 para estimar a fitomassa de áreas de cerrado e cerradão; de Baptista (2003) que correlacionou o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) com o seqüestro de carbono no ambiente de cerrado, obtendo altos valores de correlação; de Anderson *et al.* (2003) que avaliaram o avanço da soja sobre os cerrados do estado do Mato Grosso a partir do uso de imagens fração solo, sombra e vegetação, e concluíram que a soja é um importante fator de pressão no cerrado; de Nogueira *et al.* (2003) que desenvolveram uma metodologia para monitorar mudanças no cerrado goiano; e de Cavalcanti *et al.* (1997) que uniram dados RADARSAT e Landsat TM para discriminar vegetação natural de cerrado de florestas plantadas, encontrando bons resultados para discriminação da vegetação natural e de florestas galerias.

Todavia, são escassas as pesquisas que tratam da diferenciação de fisionomias da vegetação de cerrado e menos ainda as que enfocam a discriminação detalhada de áreas que se encontram em regeneração. Como principais pesquisas nesse sentido podem ser citados os trabalhos de Sano *et al.* (2005), que conduziram uma análise comparativa entre dados SAR em banda L e índices de vegetação para discriminar fisionomias do cerrado no Parque Nacional de Brasília; de Ferreira *et al.* (2003) que investigaram a utilidade de índices de vegetação na diferenciação de fisionomias do cerrado e no monitoramento de suas dinâmicas sazonais a partir de dados MODIS, AVHRR, e ETM; e de Ferreira *et al.* (2004), numa pesquisa posterior, que mediram as propriedades óticas e biofísicas das principais fisionomias do cerrado através de índices de vegetação de dados MODIS.

Mas ainda assim, evidencia-se a carência de ferramentas hábeis e eficientes que permitam detectar e acompanhar, em escalas de maior detalhe, essa intensa conversão do uso da terra nas áreas de cerrado. Para Johansen e Phinn (2006) existe uma dificuldade em atualizar mapeamentos de ambientes de savana nas escalas local e regional. Ademais, até o presente, são necessárias exaustivas coletas de dados, que incluem inventários florestais e levantamento das condições ambientais para complementar os dados de sensoriamento remoto no estudo desses mosaicos de vegetação. Como bem lembra Espírito-Santo (2003), pesquisas que busquem metodologias alternativas para validação dos dados de sensoriamento remoto em estudos de vegetação devem ser perseguidas.

Ainda não muito explorados e intrinsecamente diferente de dados óticos, dados obtidos por sensores radar apresentam um potencial para estudos no ambiente do cerrado, inserindo uma nova perspectiva para a análise dos dados, à medida que trazem informações sobre a geometria, rugosidade, constante dielétrica, estrutura de galhos, troncos, fisionomias e condições ambientais. Os dados SAR não apresentam impedimentos relativos às condições atmosféricas e podem variar o ângulo de incidência, permitindo ressaltar diferentes carac-

terísticas de acordo com o comprimento de onda e a polarização utilizados.

Embora muitos estudos tenham demonstrado o grande potencial em usar imagens radar para estimar propriedades biofísicas da floresta, muitas limitações ficam para difundir a aplicação do SAR no estudo de florestas (Townsend, 2002). Por essa ótica, a união de sensores óticos e radar, em especial os de abertura sintética (SAR), revela-se numa melhor alternativa para estimativas empíricas de atributos da floresta que o uso desses dados isoladamente (Townsend *et al.*, 2000). Ademais, a integração desses dados com dados geográficos e de características da superfície, tal como características do solo e atividades antrópicas, valorizam a informação e melhoram a performance de modelos empíricos (Townsend, 2002).

Considerando a abordagem inicial sobre o tema, os problemas colocados e que a relação entre dados óticos e a vegetação é relativamente bem entendida, foram levantadas as seguintes hipóteses:

- Dados SAR trazem novas informações para diferenciação da vegetação de cerrado à medida que são influenciados pelo espalhamento volumétrico, respondem a estruturas tridimensionais da vegetação, variam de acordo com a constante dielétrica do objeto e permitem variar o ângulo de incidência.
- A integração de dados óticos, SAR, biogeofísicos e históricos permite distinguir fitofisionomias do bioma do cerrado, em estado clímax e em regeneração, por meio de modelagem estatística.

O principal objetivo deste trabalho é, através do uso de técnicas e produtos de sensoriamento remoto e de informações coletadas em campo, desenvolver e avaliar uma metodologia que permita: 1) distinguir as fitofisionomias do bioma cerrado em estado clímax e em estado de regeneração; e 2) diferenciar as fases de regeneração.

Foram formulados cinco objetivos específicos a fim de fornecer subsídios para alcançar o objetivo principal:

1. reconstruir a história da área de estudo a fim de subsidiar uma abordagem que utilize a idade das comunidades florestais e os fatores de degradação que ali atuaram;
2. buscar um maior entendimento acerca do repovoamento de áreas de cerrado degradadas;
3. identificar as propriedades preponderantes da vegetação e/ou do solo nas respostas obtidas pelos sensores, utilizando dados RADARSAT-1 e NDVI do CBERS-2;
4. caracterizar a resposta em dados SAR e de NDVI em sítios em regeneração, tomando como base o estado de regeneração em que se encontra a vegetação (características biofísicas) e considerando o histórico de degradação (queimadas, corte, pastagem, agricultura);

5. propor modelos estatísticos para diferenciar as fitofisionomias do bioma cerrado em estado clímax e em regeneração, e que permitam diferenciar sítios que estejam em fases distintas de regeneração.

A pesquisa deve ser desenvolvida em uma área na qual: 1) as mudanças de uso da terra sejam conhecidas, 2) haja um mapeamento em escala regional das fitofisionomias existentes, 3) o grau de regeneração de áreas possa ser estimado e 4) queimadas de origem antrópica, cortes e culturas não mais ocorram. O Parque Estadual Veredas do Peruaçu (PEVP), localizado no norte do estado de Minas Gerais, foi escolhido como área teste desta pesquisa por atender aos pré-requisitos estabelecidos. Trata-se de uma área de cerrado marcada por quatro subformações (campo cerrado, cerrado *sensu stricto*, cerradão e veredas), além de áreas em regeneração oriundas de significativas alterações antrópicas.

O trabalho foi dividido em seis capítulos. O presente capítulo que introduz o assunto e traz os objetivos da pesquisa. O Capítulo 2 apresenta as características ambientais e históricas da área de estudo. O Capítulo 3 traz uma fundamentação teórica sobre os principais temas que circundam esta pesquisa. O Capítulo 4 expõe as etapas metodológicas envolvidas no desenvolvimento do trabalho. O Capítulo 5 que apresenta e discute os resultados encontrados. E, por fim, o Capítulo 6 sintetiza os resultados do trabalho e traz algumas considerações.

Capítulo 2

DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1 Localização

O PARQUE Estadual Veredas do Peruaçu se localiza na bacia hidrográfica do rio São Francisco, sub-bacia do rio Peruaçu, norte do estado de Minas Gerais, estando parcialmente inserido nos municípios de Cônego Marinho, Januária e Bonito de Minas (Figura 2.1). Um pequeno trecho da nascente do Riacho da Cruz, pertencente a outra sub-bacia do rio São Francisco, também está incluída na área do PEVP em sua porção sul.

Esse parque foi criado com o principal objetivo de proteger as nascentes do rio Peruaçu, garantindo assim a qualidade das águas que percorrem o sistema cárstico localizado à jusante, ambiente esse que possui a característica de ser extremamente sensível.

O vale do rio Peruaçu é um ambiente ímpar, que concentra grande diversidade natural e riqueza cultural, e onde a necessidade de proteção ambiental culminou na criação de quatro unidades de conservação na área: a Área de Proteção Ambiental Cavernas do Peruaçu, o Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, a Reserva Indígena Xacriabá, além do próprio Parque Estadual Veredas do Peruaçu. Devido à diferença cronológica de criação das unidades de conservação, existe uma sobreposição das unidades, sendo a APA, com caráter de uso sustentável, criada antes do PEVP, com caráter de proteção integral (Figura 2.2).

A principal via de acesso é a BR-135 até a cidade de Januária, a partir de onde se segue por estrada municipal até a cidade de Cônego Marinho. O caminho, a partir deste ponto, é feito integralmente por estradas em leito natural até o trevo que conduz à sede do PEVP.

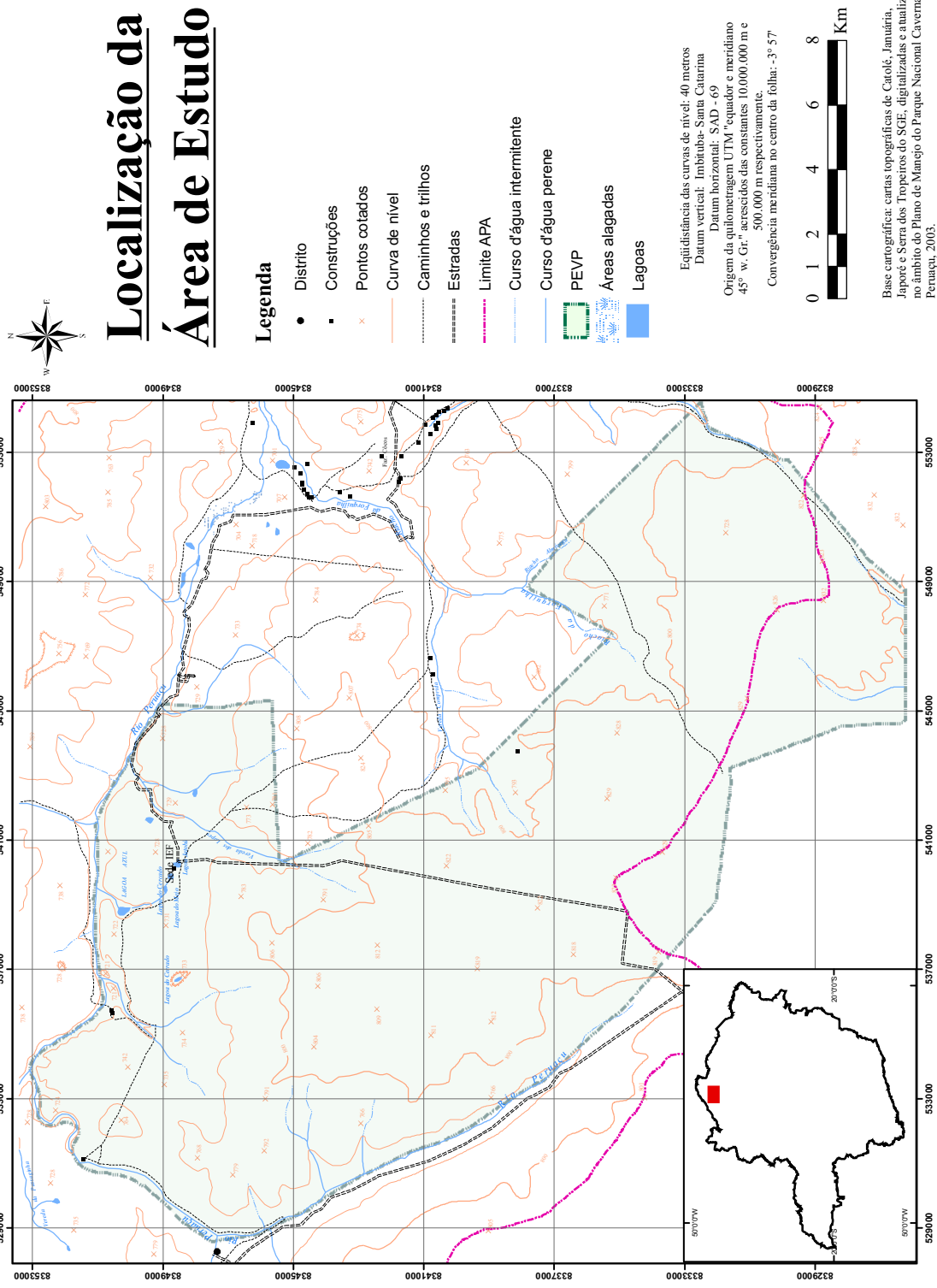


Figura 2.1: Localização do Parque Estadual Veredas do Peruaçu.

Unidades de Conservação do Peruaçu

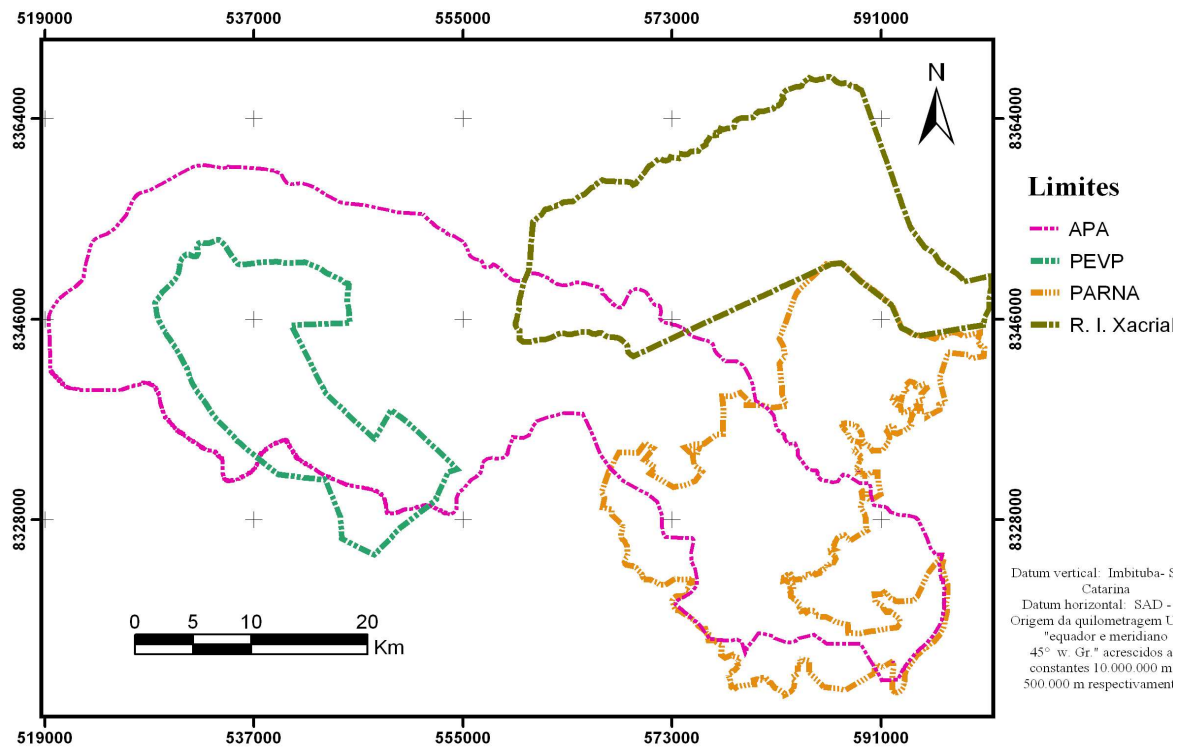


Figura 2.2: Unidades de Conservação estadual e federais do vale do Peruaçu. APA = Área de Preservação Ambiental Cavernas do Peruaçu, PEVP = Parque Estadual Veredas do Peruaçu, PARNA = Parque Nacional Cavernas do Peruaçu e R. I. Xacriabá = Reserva Indígena Xacriabá.

2.2 Características Ambientais

As nascentes do rio Peruaçu fazem parte de um grande complexo regional pertencente à área do Chapadão das Gerais, caracterizado por possuir um substrato constituído de coberturas areníticas tabulares de idade mesocenozóica, recobertos predominantemente por areias quartzosas (Figura 2.3), colonizados por vegetação de cerrado com diversas fisionomias (de campo cerrado até cerradão) e cursos d'água com fluxo de baixa velocidade que permitem a formação de veredas.

A Formação Urucuiá, de idade mesocenozóica, é a principal unidade geológica exumada das cabeceiras do rio Peruaçu. É caracterizada por depósitos continentais fluvioeólicos. As rochas observadas são quase invariavelmente arenitos finos a médios, róseos, impuros, com alguns níveis conglomeráticos, com tendência geral dos arenitos tornarem argilosos na base (Ministério das Minas e Energia, 1982).



Figura 2.3: Área em processo de regeneração no PEVP, onde é possível observar o grande percentual de solo exposto, predominantemente Areias quartzosas ou Neossolos quartzarênicos. Foto: Marília F. Gomes, 2004.

O alto Peruaçu é uma região que sofreu intenso processo de pedogênese, sendo raramente observada rocha sã em superfície. Por vezes, alguns testemunhos são encontrados, em sua maioria, em profundidade de cerca de 2,5m, associados à presença de crostas látero-manganesíferas (Figura 2.4), originadas de flutuações do lençol freático. Isto indica que a região possuía um clima mais úmido que o atual.

Como não existem estações climatológicas próximas em um raio de 50km do parque, os dados de clima foram extraídos das normais climatológicas de 1931 a 1960 da estação de Januária (83.386). As normais climatológicas de 1961 a 1990 não foram utilizadas porque não existem esses dados disponíveis para esta estação. Apesar de distante 70km da área de estudo, podemos considerar que os dados de Januária são úteis para representar, de maneira aproximada, o clima do Parque Estadual.

O vale do Peruaçu está inserido em região semi-árida, englobada pelo Polígono das Secas. O clima apresenta duas estações bem definidas: uma chuvosa, que ocorre de outubro a abril, com precipitação média mensal de 121mm; e uma seca, que ocorre de maio a setembro, com precipitação média mensal inferior a 6mm (Ministério da Agricultura, Escritório de Meteorologia, 1969; Instituto Nacional de Meteorologia, 2004), sendo que o período de estiagem pode chegar a sete meses (Piló, 1997) (Figura 2.5).

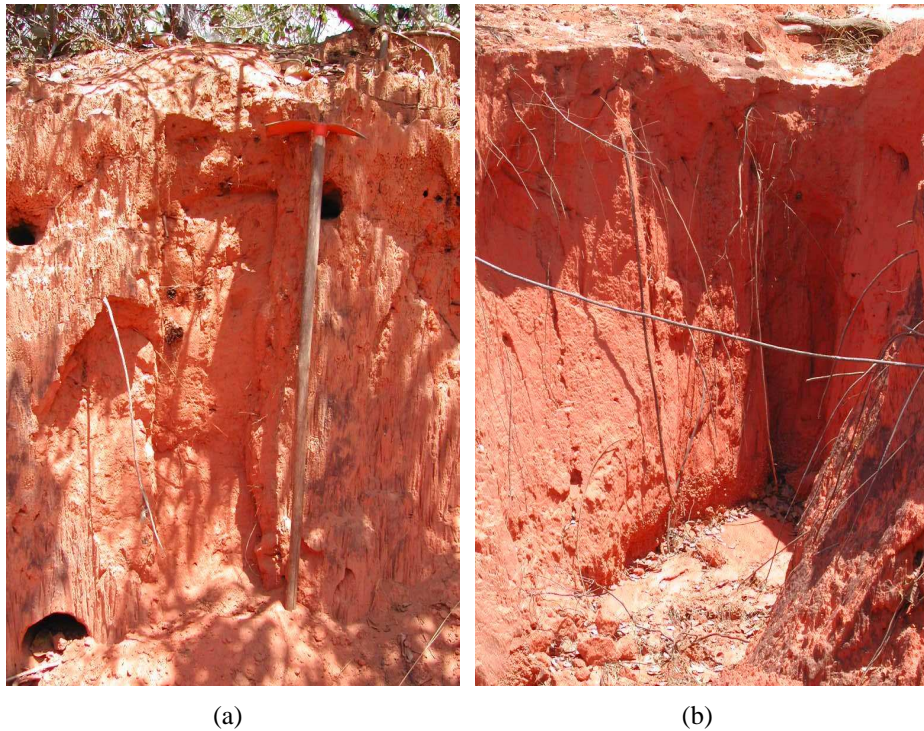


Figura 2.4: Manto de intemperismo e crosta látero-manganesífera encontrada no PEVP. Vemos em (a) a espessura do manto de intemperismo e em (b) crosta a cerca de 2 metros de profundidade, exposta em função de um voçorocamento . Fotos: Marília F. Gomes, 2004.

As temperaturas médias mensais giram em torno de 25°C nos meses mais quentes e em torno de 22°C nos meses mais frios. As médias máximas mensais chegam a 33°C, o que ocorre na estação chuvosa, e as mínimas em torno de 18°C, que coincidem com os meses mais secos (Ministério da Agricultura, Escritório de Meteorologia, 1969) (Figura 2.5). A partir da análise do climograma pode ser identificada a existência de dois meses de transição, abril e outubro, correspondendo a estações intermediárias.

Trata-se de uma região que apresenta temperaturas elevadas com relativa baixa precipitação e, conseqüentemente, altas taxas de evaporação, o que pode ser observado na Figura 2.6, que demonstra que a deficiência hídrica supera o excedente (EPAMIG *et al.*, 1982).

A partir de dados de deficiências e excedentes hídricos extraídos do Atlas Climatológico do Estado de Minas Gerais (EPAMIG *et al.*, 1982), representados na Figura 2.7, é possível observar que nos meses de novembro a fevereiro não há deficiência hídrica.

Essas características climáticas, aliadas ao substrato rochoso, contribuem para reforçar a cobertura vegetal existente no alto vale do Peruaçu, pois somente uma vegetação que resiste a altas temperaturas e xeromorfa seria capaz de se instalar na região.

Os solos profundos indicam que foram formados em um outro contexto climático, e se tratam de solos extremamente arenosos visto o substrato rochoso constituído por arenitos, as Areais Quartzosas, além de, menos expressivamente, Latossolos Vermelho-amarelos. Ainda

Normais Climatológicas de Januária - 1931a 1960

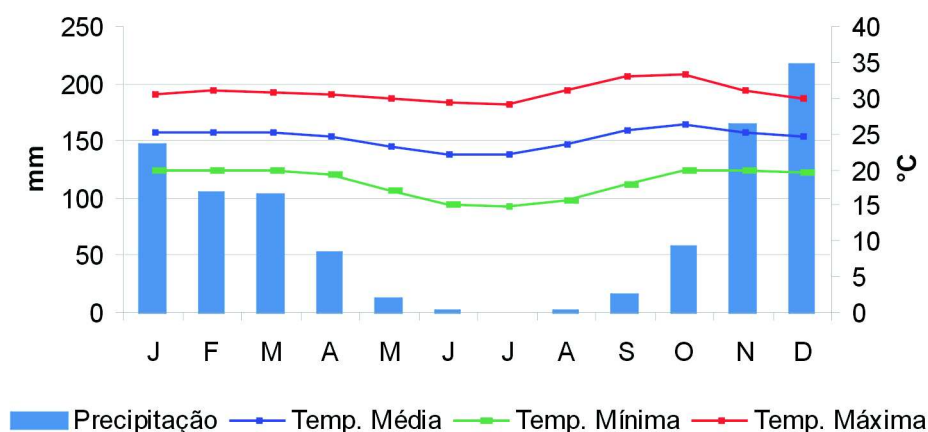


Figura 2.5: Climograma para a estação de Januária. Fonte: Ministério da Agricultura, 1969.

ocorrem ao redor e nos leitos dos rios solos saturados do tipo Gleí-Húmico, associados à baixa velocidade do fluxo d'água e proximidade do lençol freático da superfície. Isso acarreta em retenção de matéria orgânica no ambiente, conferindo a esses solos um aspecto acinzentado a preto.

Como não existem bruscas variações de solo, as diferentes fisionomias do cerrado estão relacionadas, sobretudo, às diferenças na disponibilidade hídrica do solo (Gomes e Maillard, 2003a). Ou seja, quanto maior a proximidade do curso d'água, maior o porte da vegetação, variando no sentido oposto à drenagem, de cerradão a cerrado *sensu stricto*. O campo cerrado foge à regra, sendo encontrado ao redor das lagoas e veredas, justamente por haver saturação hídrica e baixa oxigenação, que impedem desenvolvimento de outras espécies.

A figura 2.8 apresenta a distribuição espacial das fitofisionomias do cerrado na área de estudo e seu estágio de sucessão. Esse mapa serviu para a diferenciação *a priori* das subformações vegetais e foi confeccionado no âmbito do Plano de Manejo do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, a partir de imagens Landsat ETM dos anos de 2001 e 2003.

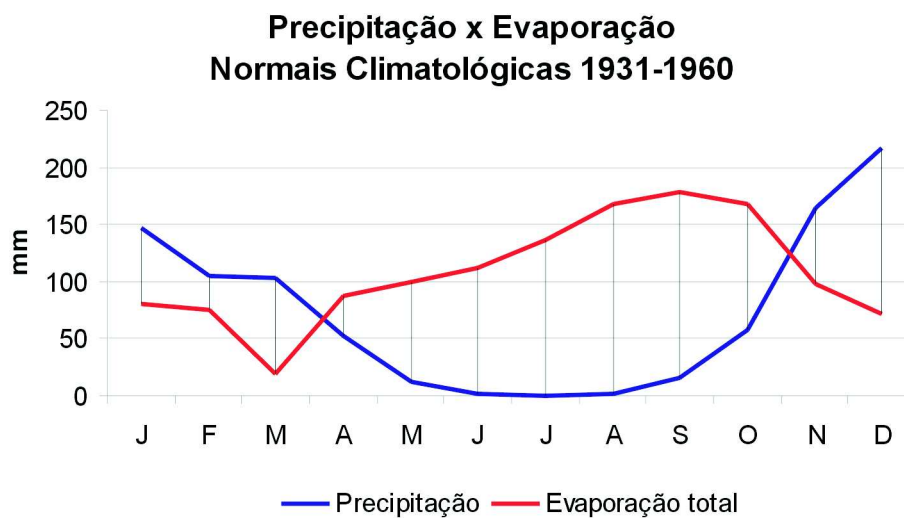


Figura 2.6: Precipitação média mensal versus a Evaporação média mensal para o município de Januária. Apenas entre os meses de novembro a abril não há evaporação superior que a precipitação. (Fonte: dados obtidos de EPAMIG, 1982)

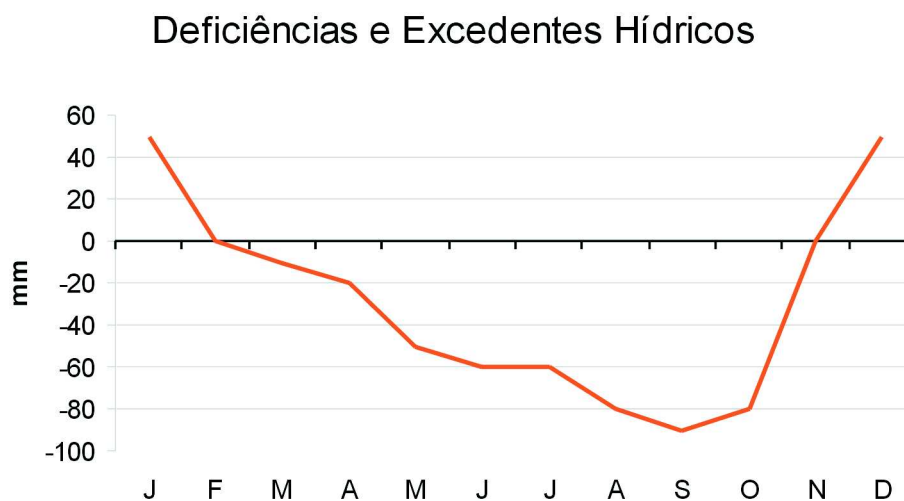


Figura 2.7: Apesar de haver um período de seis meses de excedentes hídricos, apenas entre os meses de novembro a fevereiro (3 meses) há excedente hídrico na região. (Fonte: dados obtidos de EPAMIG, 1982)

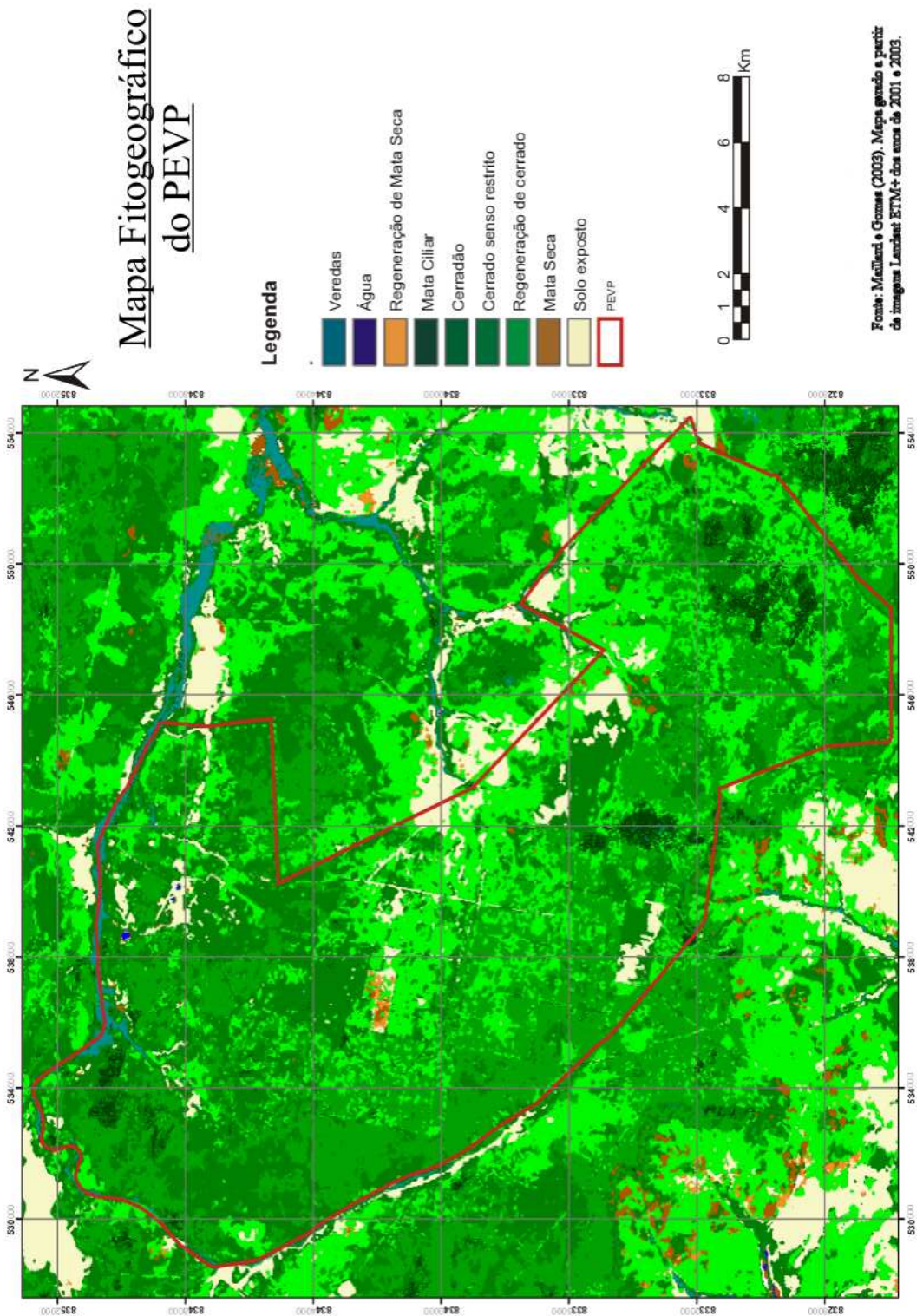


Figura 2.8: Distribuição das fitofisionomias no PEVP.

2.3 Uso e Ocupação da Área Anterior à Criação do Parque

Esta seção apresenta informações e dados obtidos a partir de pesquisas nos órgãos governamentais do estado de Minas Gerais e já compõe parte dos resultados deste estudo.

O governo de Minas Gerais até meados da década de 1980 buscava estimular o desenvolvimento de regiões do estado consideradas estagnadas, e para isso utilizou de políticas que incentivavam quaisquer atividades que gerassem renda e empregos nessas regiões. Dentre essas atividades estavam incluídas a produção de carvão vegetal a partir da vegetação natural, substituição de vegetação natural por pastagens, culturas ou introdução de espécies exóticas à flora para a geração de energia.

Esses incentivos eram fornecidos de duas formas: 1) pelo arrendamento ou facilitação da compra de grandes áreas devolutas através da Fundação Rural de Minas Gerais - Ruralminas; e, 2) através do financiamento de projetos por bancos estatais e órgãos criados para promover o desenvolvimento de regiões menos privilegiadas economicamente, tais como a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) e o Banco do Nordeste do Brasil.

É neste contexto que, no final da década de 1970, diversas empresas receberam apoio do governo do estado e se instalaram no alto vale do rio Peruaçu. Até então a área era ocupada por pequenas comunidades localizadas às margens do rio e seus afluentes e por algumas famílias possivelmente descendentes da tribo dos índios Xacriabá.

Na área hoje pertence ao Parque Estadual Veredas do Peruaçu, o primeiro grande proprietário de terras foi a empresa Perfil Ltda. no ano de 1977, sendo seu principal ramo de atividade o plantio de eucaliptos das espécies “*Eucalyptus grandis*”.

Em 1979 a Perfil iniciou os trabalhos para o cultivo. A área foi dividida em projetos numerados de 19 a 30 com 1.000ha cada um, e estes eram divididos em talhões de 20 quadras (Figura 2.9), totalizando 10.500ha de eucalipto. Os processos para retirada da vegetação natural incluíam a derrubada com trator de corrente e com trator de esteira, a queima dos galhos, folhas e troncos derrubados e o gradeamento. A madeira e o carvão não eram aproveitados.

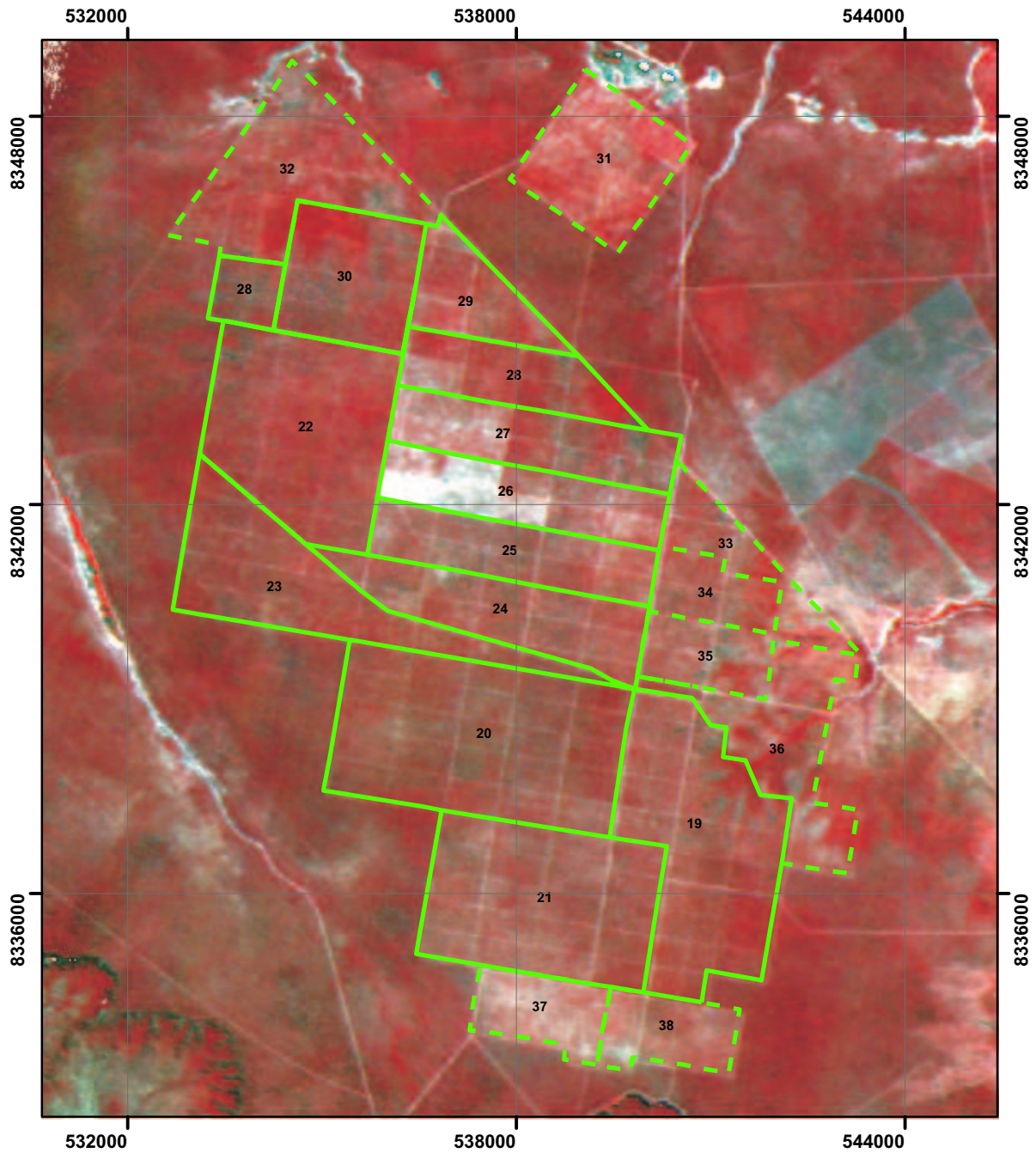
Houve interferência significativa na biodiversidade local, através da compactação dos solos, da contaminação dos recursos hídricos e da eliminação das espécies vegetais, através do corte e da queima.

Mas pela distrofia dos solos e a não aplicação de adubos na cultura, a plantação se desenvolveu pouco e com muitas falhas, o que culminou na aquisição das terras da Perfil pela empresa Peruaçu Florestal S.A. no ano de 1983.

A Peruaçu Florestal S.A. era na realidade uma empresa vinculada à Siderúrgica Ita-Min Ltda. de Sete Lagoas que, por exigência legal, deveria plantar novas árvores para manter seu abastecimento de carvão vegetal.

A Peruaçu Florestal assumiu todos os projetos deixados pela Perfil, haja vista a neces-

Projetos de Plantio do Eucalipto



Legenda

- Projetos da Perfil
- - - Projetos da Peruaçu Florestal

Escala 1:100.000

Imagem CBERS-2 de 22/08/2004
órbita-ponto 154/117 na composição
colorida R4G3B2

Figura 2.9: Projetos de eucalipto que existiam no PEVP.

sidade de se esperar sete anos para realizar o primeiro corte do eucalipto, e novos projetos foram implantados (31 ao 38) (Figura 2.9). Esses novos projetos foram licenciados pelo IBAMA, mas na realidade as medidas ambientais apresentadas não foram cumpridas, tais quais a criação de corredores de fauna entre os talhões nas áreas a serem desmatadas e a exploração alternada, ocorrendo na verdade a limpeza completa da terra.

O restante da propriedade era aproveitada para cultura de bovinos e eqüinos, para o cultivo de mudas, para a moradia das famílias empregadas pela empresa, algumas áreas de vegetação natural para retirada de madeiras nobres para fabricação de cercas, móveis, casas e outras foram preservadas.

O corte do eucalipto se deu entre os anos de 1990 e 1992. No ano de 1991 praticamente todos os talhões haviam sido cortados e, nos projetos mais antigos, em alguns talhões, foi feito o aproveitamento da madeira, visto o desenvolvimento falhado da cultura. Após o corte a cultura ficou em total abandono (Trigueiro, 1991).

Existiam ainda mais quatro grandes proprietários de terras - a Januária Agropecuária S.A., o sr. Milton Baioneta, o sr. Mário José Lisboa e o sr. Eudaldo Cardoso Rego -, além de 33 títulos de posse distribuídos pela Ruralminas no ano de 1988.

Todas as grandes propriedades utilizavam a área para a agropecuária. E os posseiros, ao invés de morarem, cultivarem e legalizarem as posses de terra, arrendaram a área para carvoejamento e, depois de retirada a madeira, eles abandonavam a terra.

O vale do rio Peruaçu se tornou o centro das atenções de muitos ambientalistas devido às suas belezas naturais e importância pré-histórica. Como reflexo, as atenções chegaram até as nascentes do rio, com o objetivo principal de manter e proteger todo o ecossistema existente à jusante, que dependia da boa qualidade das águas, por se tratar de um sistema cárstico.

Em 24 de março de 1993 através do ofício nº 0726/93-GETEC todos os projetos (19 a 38) da Peruaçu Florestal Ltda. foram cancelados (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 1994).

O Parque Estadual Veredas do Peruaçu teve sua criação consumada através do Decreto nº 36.070 de 27 de setembro de 1994, com uma área total de 31.552.59.38ha, com áreas advindas da Ruralminas, da Peruaçu Florestal, de Eudaldo Cardoso Rego, da Januária Agropecuária S.A. (JANASA), de Milton Baioneta, e Mário José Lisboa. Outras terras do Estado poderiam ser posteriormente anexadas ao parque.

O Parque Estadual Veredas do Peruaçu é administrado pelo Instituto Estadual de Florestas (IEF-MG), mas conta também com apoio da Prefeitura Municipal de Cônego Marinho.

Passados mais de dez anos de sua criação, o parque ainda sofre com muitos problemas, que vão desde a não elaboração do Plano de Manejo, motivo pelo qual ainda se encontra fechado para visitação, à falta de equipamentos e infra-estrutura física e humana. O Governo do Estado juntamente com a Prefeitura de Cônego Marinho têm buscado prover o parque de funcionários e equipamentos, mas ainda é insuficiente para impedir invasões por

caçadores e também as queimadas.

Capítulo 3

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

É AQUI apresentada uma breve fundamentação teórica sobre o cerrado e suas principais características, as principais perturbações que atingem este bioma, as características de sua regeneração, as técnicas utilizadas para a representação quantitativa das características de comunidades vegetais, o sistema radar, a interação entre as microondas e a vegetação, os principais trabalhos que utilizam dados de sensoriamento remoto para o estudo da vegetação e trabalhos anteriores desenvolvidos na área escolhida para este estudo.

Apesar desta pesquisa envolver dados óticos através do uso do NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada), não se propôs dar-lhe ênfase. Ao longo do trabalho são apresentados fundamentos e considerações acerca do NDVI.

3.1 O Bioma do cerrado

As savanas são formações vegetais que ocorrem em todos os continentes ligados a faixas tropicais, distribuídas pelos continentes da Oceania, Africano e Americano. Recebem diferentes denominações e no Brasil são chamadas de cerrado.

A origem e razão da distribuição das savanas na América Tropical é alvo de estudo por muitos pesquisadores, mas de maneira geral as diversas teorias existentes podem ser sintetizadas em três grupos (Ribeiro e Walter, 1998):

1. teorias climáticas - a vegetação seria o resultado do clima, principalmente em função da limitação sazonal de água no período seco (estacionalidade);
2. teorias bióticas - a vegetação seria o resultado da ação antrópica, principalmente pelo uso freqüente do fogo, ou ainda, resultante da atividade de outros agentes da biota como as formigas;
3. teorias pedológicas - a vegetação seria dependente de aspectos edáficos e geológicos,

como deficiências minerais (oligotrofismo), saturação por elementos como alumínio, diferenças de drenagem e profundidade dos solos.

A determinação da gênese dos cerrados ainda é um assunto polêmico e que traz larga divergência, mas há uma tendência em considerar a vegetação como resultado indireto do clima, haja visto que as chuvas irão atuar no intemperismo das rochas e na evolução pedológica e, conseqüentemente, em características dos solos como a disponibilidade de nutrientes, a estrutura para armazenamento de água e a profundidade.

Mas como foi colocado por Rizzini (1997), estas e outras teorias ou hipóteses devem existir, pois as savanas não são únicas, ocorrem em diferentes localidades (sendo às vezes disjuntas), sob diferentes contextos geológicos, condições climáticas e paleoclimáticas e com diferentes graus de interferência humana, não sendo possível, portanto, aceitar uma única solução para todos os casos.

No Brasil, os cerrados cobrem cerca de vinte por cento do território brasileiro e se localizam principalmente no Planalto Brasileiro, caracterizado por um reino de platôs e altas chapadas, variando em altitude de aproximadamente 300m a 1.000m acima do nível do mar (Ab'Saber, 1971) (Figura 3.1).



Figura 3.1: Distribuição espacial do bioma do cerrado no território brasileiro (Fonte: Ratter et al., 1997).

O cerrado é um tipo de vegetação xeromorfa (adaptada à baixa disponibilidade hídrica), oligotrófica (que sobrevive com pequena quantidade de nutrientes) e com fisionomias que variam do arbóreo denso ao gramíneo-lenhoso (Ministério das Minas e Energia, 1982).

Localiza-se em áreas com estação seca, que varia de quatro a cinco meses, com pluviosidade média de 1.400 a 1.500mm e em solos distróficos, lixiviados, aluminizados e profundos, não existindo falta d'água para a vegetação (Rizzini, 1997).

Apesar de amplamente distribuído no território brasileiro e de possuir fisionomias e estruturas semelhantes, o cerrado pode ser florísticamente distinto, de acordo com a sua distribuição no território (Pivello e Coutinho, 1996). Mas em um mesmo conjunto, não existe grande variação florística nas diferentes estruturas.

A variabilidade estrutural acentuada é característica marcante desta formação vegetal. O cerradão é a subformação clímax e o campo limpo a menos desenvolvida. Essa variação estrutural é ocasionada pelas amplas variações de condições do solo e de disponibilidade hídrica local (Pivello e Coutinho, 1996; Rizzini, 1997).

Em condições naturais o solo, com diferentes profundidade, fertilidade, capacidade de drenagem, a ocorrência de rocha exposta ou o fogo são os fatores determinantes para as variações de fisionomias (Ratter *et al.*, 1997; Pivello e Coutinho, 1996). Entretanto, quando entram em cena interferências humanas, como queimadas, retirada de madeira e abertura de pastagens, estas são determinantes para a manutenção, expansão ou retração das fisionomias do cerrado.

3.1.1 Fisionomias do cerrado

A vegetação consiste na mistura de formas de crescimento (como árvores, arbustos e gramíneas), de altura (estratos, camadas ou contínua) e espaçamento variados (cobertura de folhas ou separação de copa). Essas três feições (forma de crescimento, altura e espaçamento) conferem a maior parte da aparência da vegetação e são usadas para classificar sua estrutura (MacDonald *et al.*, 1990).

Medidas de altura do estrato, forma de crescimento e separação da copa permitem o agrupamento estrutural da vegetação em classes de *formação* ou de *fisionomia* (MacDonald *et al.*, 1990).

Muitas são as divisões e mapas fitogeográficos propostos para o país, classificando com mais ou menos detalhes os biomas brasileiros. O sistema de classificação adotado para este trabalho foi o proposto por Ribeiro e Walter (1998), adaptado de IBGE (1993) e de Macedo (1996), e também adotado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) especificamente para o cerrado. Este sistema baseia-se na caracterização dos atributos fisionômicos ou estruturais da vegetação.

A terminologia dos tipos fisionômicos utilizada é também a de Ribeiro e Walter (1998),

que emprega termos regionais amplamente difundidos.

São onze as principais fisionomias do cerrado, que podem ser enquadradas em formações florestais (mata ciliar, mata de galeria, mata seca e cerradão), formações savânicas (cerrado *sensu stricto* ou sentido restrito, parque cerrado, palmeiral e vereda) e formações campestres (campo sujo, vereda, campo limpo e campo rupestre).

A apresentação das fisionomias é restrita às encontradas no Parque Estadual Veredas do Peruaçu: cerradão, cerrado sentido restrito, campo limpo e veredas, sendo que estas não foram abordadas neste estudo.

- Cerradão

O cerradão é uma formação florestal do ponto de vista de sua fisionomia, mas floristicamente é similar a um cerrado, composto por espécies que ocorrem no cerrado sentido restrito e nas matas galeria e ciliar (Ribeiro e Walter, 1998). A altura média do estrato arbóreo chega a atingir 15m de altura e normalmente o dossel é contínuo, havendo contato entre as copas das árvores, o que lhes garante um aspecto fechado (Figura 3.2). A cobertura arbórea no cerradão varia entre 50 e 90% (Ribeiro e Walter, 1998), havendo deciduidade em determinados períodos para algumas espécies. Os solos são geralmente arenosos e profundos, bem drenados e de baixa fertilidade.



Figura 3.2: Exemplo de uma borda de cerradão no vale do Peruaçu. Foto: Philippe Maillard, 2004.

Os cerradões são muito distintos das florestas secas pelos aspectos fisionômicos e estruturais, mas normalmente estes coexistem lado a lado e compartilham vários elementos florísticos (Rizzini, 1997). Alguns autores admitem que o cerradão seja uma fase transitória



Figura 3.3: Cerrado sentido restrito. Foto: Marília F. Gomes, 2004.

para as florestas secas (Rizzini, 1997) e acreditam que, em alguns casos, protegidas do fogo, corte, pastagem, se transformariam nessas florestas (Pivello e Coutinho, 1996).

- Cerrado sentido restrito

O cerrado sentido restrito é caracterizado por apresentar sinúcias lenhosas tortuosas com ramificações irregulares. É diferenciado dos cerradões por apresentar fisionomia arbustiva e gramínea, sendo mais susceptível ao fogo anual (Figura 3.3). Os arbustos e subarbustos dispõem-se de maneira aleatória em diferentes densidades, com algumas espécies apresentando órgãos subterrâneos perenes (Ribeiro e Walter, 1998). Pode existir tanto por ser um subgrupo de formação natural como devido à ação antrópica (Veloso *et al.*, 1991), por exemplo, a partir de uma degeneração do cerradão.

As plantas arbóreas não sofrem com estresse hídrico na estação seca, visto as raízes profundas, no entanto há falta d'água para os estratos subarbustivo, herbáceo e gramíneo nessa estação. Com a chegada da estação chuvosa estes estratos tornam-se exuberantes devido ao seu rápido crescimento (Rizzini, 1997).

O cerrado apresenta densidade arbórea variável de acordo com as condições edáficas, condições hídricas, profundidade do solo, queimadas e ações antrópicas, fatores que serão refletidos na estrutura, na distribuição espacial dos indivíduos lenhosos e na composição florística do cerrado sentido restrito (Ribeiro e Walter, 1998). Três subdivisões desta fisionomia do cerrado são originadas desses complexos condicionantes: cerrado denso, cerrado típico e cerrado ralo.



Figura 3.4: Veredas ao longo do rio Peruaçu. Foto: Marília F. Gomes, 2004.

O cerrado denso é um subtipo de vegetação predominantemente arbóreo, com cobertura de 50% a 70% e cinco a oito metros de altura. Já o cerrado típico é predominantemente arbóreo-arbustivo, com cobertura arbórea de 20% a 50% e altura média de três a seis metros (Ribeiro e Walter, 1998).

Os solos da vegetação de cerrado sentido restrito são principalmente Latossolos e Areias quartzosas, com alta concentração de ferro e alumínio.

- Veredas

As veredas apresentam-se como uma formação perenifólia que segue os rios, onde a mesa de água é superficial e os solos são hidromórficos. Observa-se mata galeria, margeada por um cinturão de gramíneas (campo limpo, geralmente úmido), sujeitas a inundações periódicas (Pivello e Coutinho, 1996; Ratter *et al.*, 1997), com a presença constante das colônias ou agrupamentos de buritis *Mauritia sp.* (Figura 3.4).

Possuem árvores com altura aproximada entre quatro e seis metros e um maior número de arbustos (Rizzini, 1997), sendo que os buritis possuem altura média entre 12 e 15 metros. As veredas ocorrem geralmente nas suaves depressões dos terrenos ondulados, condicionadas ao afloramento do lençol freático, e são sempre contornadas pelo cerrado, que a partir das suas bordas, expande-se por todas as direções (Rizzini, 1997; Ribeiro e Walter, 1998). As veredas funcionam como local de refúgio, fonte de alimento e local de proteção para a fauna terrestre e aquática, além de ser local de pouso para a avifauna (Ribeiro e Walter, 1998).

- Campo limpo

Esta formação campestre do cerrado se apresenta como uma fitofisionomia predominantemente herbácea, com raros arbustos e ausência completa de árvores (Rizzini, 1997).

O campo limpo pode ter localização variada no perfil da vertente, mas no PEVP é encontrado circundando as veredas, em áreas contíguas aos rios (Figura 3.5). Os solos são normalmente do tipo Hidromórficos, marcados por periódicas inundações, o que denomina por vezes o campo limpo de “várzea” ou “brejo”.



Figura 3.5: Campo limpo circundando uma lagoa no cerrado. Foto: Marília F. Gomes, 2004.

3.1.2 Regeneração

Nas últimas décadas o cerrado tem sofrido pressão pela agricultura moderna para grãos, corte para pastagens e para carvão vegetal. Em 1994 estimou-se que 34% já era de uso humano, sendo configurado como o ecossistema que mais tem sofrido pressão humana no Brasil (Ratter *et al.*, 1997). São três os principais instrumentos de degradação dos cerrados: o corte, a pastagem e o fogo, sendo o último o mais expressivo.

O Fogo

A relação dos cerrados com o fogo é antiga, pois queimadas naturais têm sido fator determinante no cerrado desde a metade do Holoceno, e populações indígenas têm utilizado o fogo há mais de 32.000 anos no Brasil Central (Mistry, 1998).

Hoje o fogo é utilizado no cerrado para abertura e rebrota em áreas de pastagens, expansão de áreas de agricultura (principalmente a soja) e para a produção de carvão vegetal.

Existe um fator cultural na utilização do fogo nos cerrados, sendo praticado para limpeza de áreas, evitar espécies indesejadas e eliminar pragas. Há inclusive uma crença no aumento da fertilidade ao se lançar fogo em uma área. Este fato é realmente verdadeiro quando as queimadas são primeiramente praticadas, pois grande quantidade de matéria orgânica e fósforo são lançados no solo, mas a frequência desta atividade traz prejuízos à fauna, ao banco e à dormência de sementes.

- *Características*

Normalmente as queimadas ocorrem no fim do período seco, pois a umidade presente nas plantas é menor. As gramas, folhas, galhos e ramos próximos ao solo servem de combustível para a rápida propagação do fogo. As condições atmosféricas favorecem a difusão das chamas, com a baixa umidade do ar e por se tratar de um período de ventos contínuos nos cerrados.

O fogo se comporta de diferentes maneiras no cerrado, estando intrinsecamente ligado à fisionomia. De maneira geral, o fogo se mantém ao nível da superfície e move-se rapidamente, consumindo as camadas herbáceas e raramente iniciando a queima de árvores de maior porte (Mistry, 1998; Rizzini, 1997).

No entanto, focos de incêndio que ocorrem em áreas de veredas podem durar dias ou semanas, sendo muitas vezes em vão o seu combate. Uma vez aparentemente controlado, o fogo renova suas energias e se realimenta através da turfa existente sob as árvores, esta funciona como combustível, retomando todo o processo de queima, com chamas que podem chegar a 20m de altura.

Os criadores de gado consideram as queimadas no fim do período seco uma boa alternativa, pois as chamas se propagam rapidamente e em um pequeno período de tempo as chuvas retornam, permitindo a rebrota da vegetação (brotos novos que alimentarão o gado). Já os agricultores realizam a queima para a “limpeza” de áreas de cultivo e com intuito de aumentar a fertilidade dos solos.

- *Conseqüências*

A dinâmica do fogo cumpre um papel importante na manutenção e na expansão do cerrado. Existem evidências fitoecológicas que a área ecológica dos cerrados seria menor do que a atual, tendo as populações indígenas, sobretudo pelo uso do fogo, contribuído de forma decisiva na sua expansão (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1998).

As queimadas têm forte influência no aumento da variabilidade estrutural do cerrado, transformando formações mais densas em formações mais abertas. O fogo favorece os arbustos e gramíneas, estimulando a rebrotação, e faz com que as árvores percam seu espaço em detrimento dos arbustos.

Acreditava-se que o fogo era um importante fator para a manutenção do cerrado, sendo importante para a germinação de sementes devido ao espesso envoltório existente na maioria das sementes. No entanto este fato não é real, pois o fogo pode auxiliar na germinação de algumas sementes, mas sua aplicação ano após ano acaba por eliminar as plântulas que surgiram (Rizzini, 1997). Ademais, em todos os estudos realizados sobre a influência do fogo para aumento na germinação de sementes, de maneira geral apontavam para a não melhoria desse aspecto com a passagem do fogo (Mistry, 1998).

A regeneração do cerrado é caracterizada por reprodução vegetativa, e não por germinação de sementes (Rizzini, 1997), sendo este tipo de reprodução observada em locais preservados. A germinação de sementes necessita da atenuação da radiação solar, o que não ocorre em áreas degradadas. O que mantém os cerrados após intensas e freqüentes queimas ou corte são as raízes gemíferas, ligadas ao seu profundo sistema axial que é capaz de alimentá-las continuamente no interior do solo (Rizzini, 1997).

3.2 O uso de parâmetros biofísicos para caracterização da vegetação

O conhecimento acurado sobre parâmetros biofísicos dos ecossistemas é essencial para desenvolver um entendimento dos ecossistemas e suas interações, prover a entrada de modelos de processos globais e do ecossistema, testar esses modelos e monitorar mudanças nas dinâmicas do ecossistema e processos ao longo do tempo (Leckie e Ranson, 1998).

Medidas alométricas (relações entre tamanho e forma dos indivíduos florestais) apresentam um relevante efeito na estrutura e funcionamento da floresta (Kuntzschik, 2004) tornando-se uma abordagem interessante para caracterizar comunidades florestais. Baseadas nessas medidas estão as principais variáveis que devem ser levantadas para o inventário da floresta: cobertura da floresta, o fechamento da copa, a densidade de árvores, a altura das árvores, os índices estruturais, o diâmetro à altura do peito (DAP), a área basal, a composição da vegetação e a idade da floresta (Franklin, 2001; Jaton e Thomson, 1994). As principais variáveis utilizadas são abaixo descritas.

- **A Porcentagem de Abertura do Dossel (PAD)** é definida como a área subtraída da área de cobertura de folhas e troncos projetada verticalmente para as copas. Este parâmetro descreve indiretamente a quantidade e distribuição da cobertura vegetal, sendo um importante indicador para diferenciação de fitofisionomias do cerrado. É também um indicador da quantidade de alcance da luz no solo, que é um dos fatores que controla a temperatura do ambiente e umidade do solo.
- **O Índice de Área Foliar (IAF)** é uma importante característica da vegetação e é di-

retamente relacionado a razões de troca de gás atmosférica, divisão da biomassa e produtividade (Jensen e Binford, 2004). Expressa a relação de m^2 de folha por m^2 de chão.

- A **Densidade da floresta (DT)** é definida como o tamanho da população em relação à unidade de espaço definida. É útil para diferenciar fitofisionomias e estágios de regeneração.
- O **Diâmetro à altura do peito (DAP)** expressa o diâmetro de uma árvore medido a 1,5m do nível do chão (Smith e Smith, 1998). É relacionado com o estágio de maturidade da comunidade, mas é variável para cada espécie.
- A **Composição da vegetação** é definida pelos gêneros e espécies que provêm os dados florísticos, componentes diagnósticos valiosos e importantes em qualquer descrição e análise da vegetação. O conhecimento da distribuição das espécies da vegetação pode também ser importante quando medidas do IAF, do PAD e do tamanho do dossel são realizadas, porque esses parâmetros variam de acordo com a variação de espécies (Johansen e Phinn, 2006). No caso do cerrado a relação entre essas medidas alométricas da vegetação e a composição da vegetação é menos direta devido à grande diversidade florística se comparada com florestas temperadas. Da composição da vegetação podemos extrair a sua diversidade, ou seja, a abundância de espécies, que pode ser expressa pelo Índice de Shannon.

Cabe lembrar que a idade das comunidades e as características da superfície encontradas sob o dossel, tal como a composição dos solos, a umidade, o relevo, são também fundamentais para caracterizar as populações florestais.

3.3 O Sistema RADAR

Os sistemas de radar operam na faixa das microondas, que são ondas que possuem comprimento de onda de 1mm a 1m (Figura 3.6). O termo radar significa “RADio Detection and Ranging” ou detecção e localização por ondas de rádio. Para gerar dados de imagem de radar o efeito ‘Doppler’ é um princípio geralmente utilizado e consiste na mudança na frequência da onda como uma função de velocidades relativas de um transmissor e de um refletor. O processo para formação das imagens baseia-se na transmissão de curtos pulsos de energia microondas na direção de interesse e na gravação da energia e da origem dos ecos ou reflexões recebidas dos objetos dentro do campo de visada do sistema (Lillesand e Kiefer, 2000).

Como é possível observar na Figura 3.6 as microondas sofrem pequena atenuação atmosférica, justificando sua capacidade de aquisição de imagens mesmo em condições de nebulosidade.

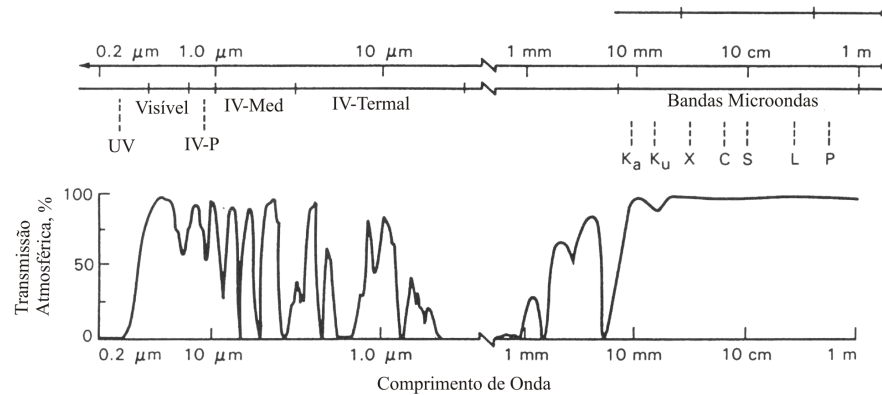


Figura 3.6: Espectro eletromagnético e janelas atmosféricas. Fonte: Lillesand e Kiefer, (2000).

Os radares podem ser imageadores de abertura real (RAR) ou radares de abertura sintética (SAR), os últimos simulando a abertura de uma antena longa, através do deslocamento de uma antena curta ao longo da direção de vôo da plataforma. As posições sucessivas da antena são tratadas eletronicamente como se fossem elementos de uma única antena longa (Vannucci, 1999). Aqui a ênfase será dada aos sistemas SAR.

- Formação de uma Imagem SAR

Em sistemas SAR a plataforma se desloca lateralmente à área imageada, a uma velocidade em relação à superfície, a uma altura e com um ângulo em relação ao nadir (Figura 3.7). O sensor envia pulsos por um período de tempo (na ordem de microssegundos) e à medida em que a plataforma se desloca (a uma certa velocidade), o sensor coleta o eco, metros adiante.

Em um sistema radar o “range” ou *alcance* e o *azimute* definem a resolução da imagem. A dimensão longitudinal é denominada *azimute*. A dimensão transversal é denominada *alcance*. Os pontos diretamente abaixo do radar, ou mais próximos ao nadir, estão localizados no alcance próximo (“near range”) e os pontos mais afastados do nadir estão localizados no alcance distante (“far range”). A resolução de alcance de um SAR é determinada por limitações de construção do radar e do processador, ambos atuando no domínio do alcance inclinado.

- Rugosidade da Superfície

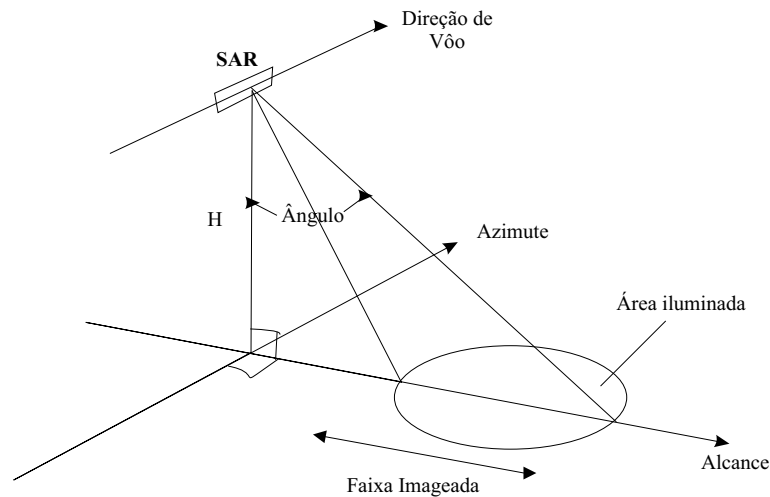


Figura 3.7: Geometria de uma imagem SAR.

A rugosidade da superfície influencia diretamente na quantidade de energia que será retroespalhada para o radar. De maneira geral podemos dizer que existem dois tipos principais de refletores, o refletor especular, que reflete toda energia emitida pelo radar com um ângulo oposto ao ângulo de incidência, e o refletor Lambertiano, que reflete a energia igualmente em todas as direções. Mas a maioria das superfícies terrestres se encontram entre esses dois tipos de refletores (Figura 3.8).

Essa propriedade geral irá determinar as diversas situações que podem ser encontradas em imagens SAR devido ao imageamento da cena de uma perspectiva oblíqua. As principais são o deslocamento do relevo, a ocorrência de sombras, o encurtamento de rampa, e a inversão de relevo.

- Ângulo de Incidência

Refere-se ao ângulo entre a direção de iluminação do radar e a normal à superfície do solo. O complemento do ângulo de visada é chamado ângulo de depressão. O ângulo de incidência varia entre o alcance próximo e o alcance distante, dependendo da altura da trajetória do radar. Essa mudança de ângulo afeta a geometria de visada.

- Polarização

A orientação, a fase relativa e a repetibilidade dos campos elétricos e magnéticos das ondas eletromagnéticas definem a polarização. Um radar pode transmitir e receber a radiação eletromagnética polarizada horizontal ou verticalmente.

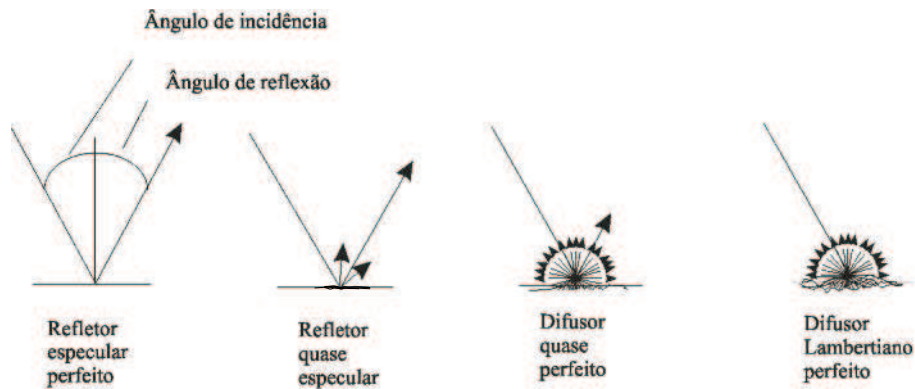


Figura 3.8: Principais tipos de refletores da superfície. Fonte: Adaptado de Lillesand e Kiefer (2000).

Quando a radiação é transmitida e recebida na mesma direção ela é definida como paralela. Se a energia é transmitida e recebida horizontalmente diz-se HH, se é transmitida e recebida verticalmente diz-se VV.

Quando a radiação é transmitida em uma direção e recebida em outra é dita cruzada. Se é transmitida verticalmente e recebida horizontalmente diz-se VH e se é transmitida horizontalmente e recebida verticalmente diz-se HV.

Diferentes polarizações são utilizadas porque a polarização pode ser modificada de acordo com as propriedades do objeto.

3.4 Interação entre as Microondas e a Vegetação

A energia emitida pelos sensores de radar é sensível principalmente às diferenças de rugosidade e orientação da superfície e às mudanças na constante dielétrica da superfície. A magnitude da diferença da constante dielétrica governa a quantidade de reflexão, e a rugosidade e a orientação da superfície governam a direção da reflexão, logo, a quantidade de energia que retorna ao sensor. Isto significa que mesmo que uma superfície tenha uma constante dielétrica alta, como por exemplo a água, mas sua superfície for suave, sem rugosidade, pouca energia será retroespalhada em direção ao radar.

Nesse contexto, o dossel da vegetação apresenta um comportamento particular, denominado espalhamento volumétrico, considerado o mecanismo de interação dominante para as árvores. É originado da reflexão da superfície de dentro de um médio devido a mudanças graduais na constante dielétrica, pequenas heterogeneidades e objetos ou elementos dentro de um médio que irão resultar em reflexão, algumas das quais retornam ao radar (Leckie e Ranson, 1998).

Os principais elementos dentro do dossel são folhas, ramos, galhos e troncos. Exis-

tem muitos desses elementos e cada um deles agindo como espalhadores e resultando em múltiplos espalhamentos entre elementos, mas também agindo como atenuadores (Leckie e Ranson, 1998). Mas sob condições de inundação a contribuição da interação troncos-superfície aumenta fortemente, produzindo uma melhoria significativa do coeficiente de retroespalhamento total (Parmuchi *et al.*, 2002).

A quantidade de energia que retorna ao radar é variável de acordo com o comprimento de onda do sensor e com o ângulo de incidência. Um mesmo objeto pode refletir ou absorver mais a energia devido a diferentes interações com os elementos que compõem o objeto e com a rugosidade da superfície. Mas as propriedades de espalhamento são também fortemente dominadas pelo tamanho, forma e orientação da superfície e do elemento dentro de um médio.

A polarização da energia também pode modificar de acordo com o tamanho, forma e orientação dos elementos no dossel (Figura 3.9). E ainda as diferenças entre retroespalhamento HH, VV e cruzado, devido à arquitetura do dossel, podem mudar com o ângulo de incidência, pois diferentes ângulos resultam na exposição de diferentes estruturas e orientações dos ramos (Leckie e Ranson, 1998). Na Figura 3.9 é possível observar que, de acordo com a posição do galho, diferentes intensidades de retorno são obtidas em cada polarização, podendo ser alta, moderada ou até nula.

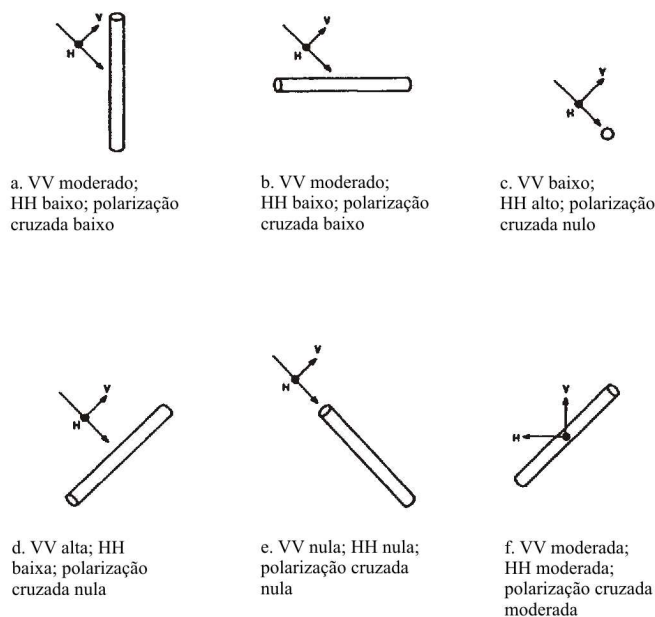


Figura 3.9: Magnitude de retroespalhamento para um cilindro com raio inferior ao comprimento de onda, simulando a resposta de um galho. Diferentes orientações foram dadas ao cilindro para observar as respostas nas polarizações VV, HH e cruzada. De a. a e. a polarização horizontal é direcionada para fora da página, em f) o feixe do radar é direcionado para dentro da página. Fonte: Leckie e Ranson (1998).

3.4.1 Mecanismos de retroespalhamento

São enumerados cinco diferentes mecanismos de retroespalhamento em áreas florestadas que podem compor o retroespalhamento total, a saber: 1) espalhamento da copa que inclui o espalhamento múltiplo dentro da copa (espalhamento volumétrico), 2) retroespalhamento direto do tronco (usualmente pequeno), 3) retroespalhamento direto do solo, 4) retroespalhamento copa-solo e 5) interação tronco-solo ou double-bounce. A Figura 3.10 exemplifica todos esses mecanismos, mas é válido lembrar que muitas vezes existe uma camada de vegetação inferior que também influencia no retroespalhamento total.

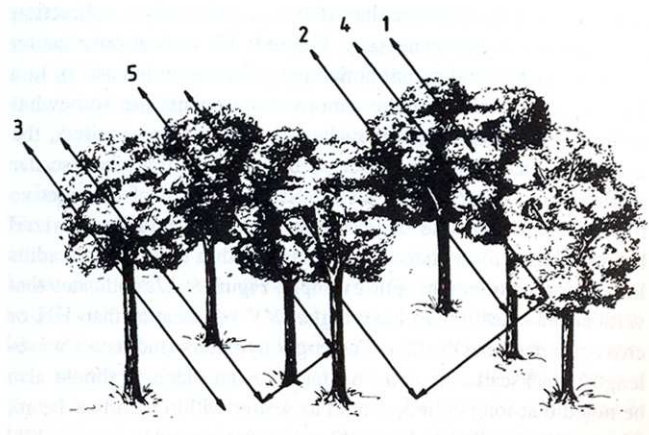


Figura 3.10: Mecanismos de retroespalhamento dentro do dossel: 1)espalhamento da copa, 2)retroespalhamento direto dos troncos, 3)retroespalhamento direto do solo, 4)retroespalhamento copa-solo e, 5)interação tronco-solo. Fonte: Leckie e Ranson (1998).

A vegetação não está isolada neste contexto, então em casos onde existe interação com o solo, fatores como a rugosidade da superfície, umidade do solo e declividade têm uma importante influência.

A magnitude de cada um desses mecanismos de retroespalhamento depende do comprimento de onda do radar, da polarização, do ângulo de incidência, das variações no terreno e dos parâmetros do dossel (Leckie e Ranson, 1998).

Uma simplificação conveniente para a relação entre o comprimento de onda (Tabela 3.1) os elementos da vegetação é que a banda K interage principalmente com as folhas; a banda X interage com folhas, ramos e pequenos galhos; a banda C interage com folhas e galhos pequenos e médios; a banda S interage um pouco com folhas, com galhos e com o tronco; a banda L interage com os galhos, o tronco e um pouco com o solo; e a banda P interage com os galhos grossos, o tronco e o solo (Lillesand e Kiefer, 2000). Isto se deriva da relação aproximativa de que o sinal do radar consegue penetrar em uma cobertura vegetal cuja folhas são de tamanho de até duas vezes o comprimento de onda.

Tabela 3.1: Bandas radar.

Banda	Comprimento de Onda (cm)	Frequência (MHz)
K_a	0.75-1.1	40.000-26.500
K	1.1-1.67	26.500-18.000
K_u	1.67-2.4	18.000-12.500
X	2.4-3.75	12.500-8.000
C	3.75-7.5	8.000-4.000
S	7.5-15	4.000-2.000
L	15-30	2.000-1.000
P	30-100	1.000-300

3.4.2 Fatores de Influência

O retroespalhamento do radar e os dados da imagem resultante são influenciados por uma série de variáveis, que vão desde os parâmetros do sistema de radar, o estágio fenológico da vegetação e as condições ambientais. Diferentes interações podem ser obtidas com mudanças na polarização, no ângulo de incidência, nas condições ambientais.

Ângulo de incidência

Existe uma forte dependência angular para o fenômeno de retroespalhamento da superfície, com alto retroespalhamento a ângulos de incidência menores e diminuição do retroespalhamento com ângulos de incidência maiores. E esta dependência diminui com o aumento da rugosidade da superfície.

A dependência angular é maior em comprimentos de onda maiores e em altas constantes dielétricas. Já para o espalhamento volumétrico há uma redução na dependência à medida que se aumenta o ângulo de incidência. Logo, existe uma tendência, embora pequena, de baixo retroespalhamento em ângulos de incidência maiores (Leckie e Ranson, 1998). Isso leva à uma certa dificuldade em cruzar imagens de ângulos de incidência diferentes para reconhecimento da vegetação.

Resolução espacial

Sistemas de radar aerotransportados possuem melhor resolução espacial que sistemas orbitais. Os sistemas SAR tentaram “burlar” esse problema com um maior número de visadas, à medida que a quantidade de visadas define a resolução. Mais visadas resultam em maior resolução mas também em maior ruído speckle. A resolução afeta a textura da imagem à medida que define a quantidade de tipos de superfícies heterogêneas que podem ser detectadas.

Efeitos Efêmeros

- Umidade da superfície: pode ser resultante de chuva, cerração ou orvalho, que aumentam a constante dielétrica. Comprimentos de onda menores são mais afetados por esses efeitos, que se dão principalmente através da atenuação de galhos e folhas da vegetação. Mas de maneira geral esses efeitos apresentam pouca interferência no retroespalhamento total. Uma redução no contraste da imagem é observada quando adquirida sob condições úmidas ou de chuva.
- Conteúdo de umidade na vegetação: é altamente influenciado pelas complexas interações entre respostas fisiológicas, conteúdo de água no solo, e condições meteorológicas. As condições de umidade nas árvores são influenciadas pelos fatores fenológicos e pela tendência de umidade do solo. E esse conteúdo de umidade é estritamente relacionado com a constante dielétrica da vegetação.
- Superfícies inundadas: o chão da floresta inundado tem um grande efeito no aumento do retroespalhamento, especialmente para comprimentos de onda maiores, isto porque a interação tronco-solo, ou retroespalhamento “double-bounce”, é aumentada drasticamente.

3.5 O uso de sensores remotos no estudo da vegetação

Dados de sensoriamento remoto ótico ou por radar contribuem para o inventário e monitoramento de florestas, bem como para o entendimento dos processos do ecossistema. Grande parte dos estudos com dados óticos se concentrou em imagens Landsat MSS, TM e ETM, visto a sua disponibilidade, frequência e resolução espacial, que permitem a abrangência de grandes áreas.

Podem ser citados os trabalhos de Hall *et al.* (1991), que a partir de dados do sensor MSS de 1973 e TM/Landsat de 1984 determinaram padrões de sucessão secundária em uma floresta temperada no noroeste de Minnesota; de Araujo *et al.* (2001) que utilizaram dados TM para inventariar uma floresta em clima tropical; e de Lago *et al.* (2001) que através de análises texturais de dados TM avaliaram a estrutura da paisagem no Parque Grande Sertão Veredas.

Mas a principal manipulação realizada com dados óticos para o estudo da vegetação é o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI). Numerosos pesquisadores têm relacionado o NDVI a vários fenômenos da vegetação tais como medida do índice de área foliar, estimativa da biomassa, determinação da porcentagem de cobertura do solo, e estimativa da atividade fotossinteticamente ativa (Ustin *et al.*, 1999; Lillesand e Kiefer, 2000). Essa relação tem possibilitado o uso do NDVI em vários modelos para estudo da fotossíntese, do fluxo do carbono, do balanço da água e de processos relacionados (Ustin *et al.*, 1999).

Já os dados de radar têm aplicações florestais endereçadas no contexto do manejo de florestas, entendimento do ecossistema, modelagem e monitoramento (Leckie e Ranson, 1998;

Townsend, 2002). Ademais, imagens SAR são uma ferramenta importante para os estudos ecológicos e podem ser utilizadas para determinar características específicas da superfície (Kasischke *et al.*, 1997).

No estudo da biomassa de florestas tropicais Luckman *et al.* (1997) constataram que regiões com menor biomassa são mais sensíveis para imagens SAR e, que essas florestas em regeneração caem abaixo do limiar no qual alguns dados SAR disponíveis exibem saturação, sendo isso uma função da polarização, da frequência e do comprimento de onda.

Visando estimar a estrutura da floresta, Townsend (2002) utilizou imagens RADARSAT sustentadas por 202 pontos de coleta de dados *in situ*, em transectos de 60 x 60 m. Ele concluiu que as condições do meio mostraram ser um importante fator que influencia a habilidade para estimar propriedades físicas da floresta usando dados SAR. No entanto, não obteve correlação entre IAF e fechamento da copa porque estas variáveis são altamente dependentes do estágio fenológico, requerem múltiplas bandas e polarizações e, tais variáveis são melhor estimadas usando imagens óticas.

Parmuchi *et al.* (2002) utilizaram dados multitemporais do RADARSAT-1 e um classificador de decisão para mapear áreas úmidas no delta do rio Paraná, e concluíram que os dados RADARSAT são úteis na detecção de água abaixo do dossel.

A partir do uso de dados SAR, Le Toan *et al.* (1992), após testarem dados em banda L e P em várias polarizações, correlacionaram a biomassa da floresta com dados em banda P.

No entanto devemos considerar que dados SAR possuem benefícios e limitações. Os benefícios estão, sobretudo, por não possuírem impedimentos atmosféricos e por ser possível variar o ângulo de visão. Mas Townsend *et al.* (2000) lembra que a maioria dos estudos não utiliza dados SAR amplamente disponíveis nem são geograficamente extensos; às vezes as propriedades da superfície exercem uma influência mais forte no retroespalhamento que as características da floresta; e que existem dificuldades de coletas intensivas e extensivas de medidas da floresta para validar medidas SAR.

Sano *et al.* (2005) aponta como uma fraqueza principal de dados do SAR para a cobertura e uso de terra o relativamente forte efeito de rugosidade do solo e da umidade nas folhas, ramos e troncos na energia retroespalhada.

A integração de dados de radar com dados óticos minimiza as limitações de ambos os tipos de dados, e o estudo em uma perspectiva multitemporal induz à obtenção de melhores resultados.

Egbert *et al.* (1994) e Conese e Maselli (1991), constataram que estudos que utilizam dados multi-temporais para mapeamento de classes de vegetação do semi-árido, na maioria dos casos, tiveram melhoria na precisão da classificação que usando dados de apenas uma data.

Rignot *et al.* (1997) utilizaram, para a região de Porto Velho, imagens de radar do SIR-C e do JERS-1 em conjunto com imagens Landsat TM e SPOT. Em suas conclusões as imagens

ópticas apresentaram desempenho superior para determinação de áreas desmatadas.

Utilizando dados de inventários florestais, ópticos e de radar Espírito-Santo (2003) caracterizou e mapeou a área da Floresta Nacional do Tapajós (PA). No entanto, não encontrou correlações com IAF, área basal e biomassa aérea com as imagens multitemporais Landsat. E conclui que a união de diferentes fontes de sensoriamento remoto permite a extração e classificação da cobertura vegetal de regiões amazônicas.

3.6 Trabalhos Anteriores Desenvolvidos no PEVP

A criação das Unidades de Conservação do vale do rio Peruaçu esteve desvinculada da produção de material cartográfico. Pesquisadores que trabalhavam no vale sentiam a necessidade de obter um diagnóstico sobre o estágio de preservação dos diversos tipos vegetais e tomar conhecimento sobre o uso e ocupação do solo na área.

As pesquisas foram iniciadas no ano de 2001, mas somente no ano de 2003 foram publicados os primeiros trabalhos nesse sentido, que utilizavam metodologias distintas a fim de aprimorar a classificação automatizada para as fitofisionomias do vale do Peruaçu.

Gomes e Maillard (2003b) utilizando imagens Landsat 7 EMT+ e técnicas de processamento digital de imagem, mapearam o sistema fitogeográfico das Unidades de Conservação do vale do Peruaçu para fins ecológicos e arqueológicos, além de acrescentarem classes básicas de uso do solo no mapeamento.

Feições de textura foram criadas a partir da imagem Landsat, empregando metodologia baseada no cálculo de matrizes de co-ocorrência, com dois diferentes intervalos de distância, definidos a partir de semi-variogramas, e três medidas (o contraste, o momento inverso da diferença e a correlação). Duas feições de textura foram geradas para cada intervalo e cada medida totalizando seis feições. Realizaram diferentes classificações a fim de encontrar a que fornecesse os melhores resultados: multiespectral; textural; multiespectral e pancromática; multiespectral, pancromática e textural. O melhor resultado geral de classificação foi encontrado para as bandas multiespectrais e pancromática, com sucesso de 78%. Entretanto, ao analisarem as classes de cobertura separadamente, estas respondiam de maneira diferenciada a cada tipo de classificação.

A conclusão foi que a banda pancromática de 15m, no que se refere ao uso de feições de textura, não trouxe avanço significativo para os resultados, conduzindo à melhoria para algumas classes e ao recuo para outras. Atribuíram a diminuição no sucesso da classificação à alta variância intraclasse.

Pode-se considerar que os resultados apresentados pelos autores naquele momento foram satisfatórios, haja visto a inexistência de mapeamentos daquele tipo, expondo uma caracterização e mapeamento atualizados da vegetação das Unidades de Conservação do vale do Peruaçu.

Visando aprimorar os resultados obtidos por Gomes e Maillard (2003b), Maillard e

Gomes (2003), em um trabalho vinculado ao material produzido para o Plano de Manejo do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu, utilizaram 18 feições de textura extraídas de imagens Landsat 7 ETM+ e quatro diferentes classificadores (MDM -minimum distance to mean-, ML -maximum likelihood-, SAM -spectral angle mapper- e SSC -spectral-spatial classifier-). As medidas de textura utilizadas foram o contraste, o segundo momento angular, a entropia, o momento inverso de diferença e a correlação.

Os autores encontram resultados muito superiores com os classificadores ML e SSC, com sucesso superior a 90% na classificação. A banda de 15m tendeu a piorar os resultados da classificação, mas sua utilização para criar feições de textura contribuiu para melhorar os resultados. O NDVI foi também decisivo para melhorar os resultados com todos os classificadores.

Entretanto ainda restaram confusões entre algumas classes de vegetação, sobretudo no que se referia às classes de cerrado, em especial as classes de regeneração, que eram classificadas como cerradão, superestimando a área dessa classe.

Na busca de um maior entendimento acerca da vegetação no vale do Peruaçu e seu comportamento espectral em diferentes estágios fenológicos, Gomes e Maillard (2003a) analisaram três subformações do cerrado, as veredas, o cerrado *sensu stricto* e o cerradão, além da floresta estacional decidual e semidecidual. O estudo tinha um caráter geoambiental, onde foram considerados fatores ambientais tais como declividade, litologia, solos e umidade, a fim de atribuir a cada variável seu papel na resposta captada pelo sensor ETM+ de Landsat.

O estudo não considerou áreas em regeneração, além de não ter realizado a classificação propriamente dita, mas concluiu que para diferenciação das formações vegetais do vale do Peruaçu, a estação seca mostrou desempenho superior à estação chuvosa, sendo o infravermelho médio melhor para diferenciar as classes de cerrado. Para estas classes o NDVI apresentou melhores resultados que os valores de reflectância, mas para áreas em regeneração os autores recomendaram cautela, haja visto a sensibilidade do NDVI às variações da vegetação.

Os trabalhos acima apresentados serviram de embasamento inicial e motivação para o presente estudo, já que alguns dados iniciais haviam sido adquiridos e fragilidades nos métodos utilizados haviam sido identificadas. Em especial, a resposta da vegetação de cerrado a partir de dados óticos havia sido bem trabalhada, em especial a resposta das diversas fitofisionomias do cerrado com a utilização do NDVI.

Capítulo 4

METODOLOGIA

Duas PRINCIPAIS etapas compõem a metodologia. A primeira é relacionada à aquisição, preparação e integração espacial dos dados, enquanto a segunda se refere à modelagem e aos testes de inferência estatística.

Os dados utilizados neste estudo podem ser divididos da seguinte forma: 1) cartográficos, 2) de sensoriamento remoto, 3) de levantamentos de atributos biogeofísicos do cerrado e 4) de informações históricas.

4.1 Material cartográfico

As informações contidas nas folhas Serra dos Tropeiros e Catolé (SD.23-Z-A-IV e SD.23-Z-C-I, respectivamente), levantadas pelo Serviço Geográfico do Exército (SGE) na década de 1960, em escala 1:100.000, foram digitalizadas e armazenadas em formato vetorial. Alguns elementos sofreram atualizações, tais como estradas e construções. Esses novos elementos foram obtidos por aparelho GPS (Global Positioning System) e incorporados à base cartográfica.

Uma imagem do sensor ETM+ de Landsat, do ano de 2001, órbita-ponto 219-70, corrigida geometricamente por pontos de GPS e pelas cartas topográficas supracitadas, serviu para a interpretação visual dos antigos projetos de plantação de eucaliptos da Peruaçu Florestal.

Utilizou-se, aliadas aos dados de campo, as classificações realizadas para o Plano de Manejo do Parque Estadual Cavernas do Peruaçu, em escala 1:100.000 (Gomes e Maillard, 2003b; Maillard e Gomes, 2003) para a diferenciação *a priori* das fisionomias do cerrado.

4.2 Dados de Sensoriamento Remoto

Através de um convênio firmado com a Agência Espacial Canadense (Agence Spatiale Canadienne - ASC), foram adquiridas quatro imagens RADARSAT-1, no modo de feixe padrão (“standard beam”), do ano de 2004. Optou-se por imagens em diferentes ângulos de incidência, inferiores a 40°, por correlacionarem melhor com estrutura da floresta (Töyrä *et al.*, 2001; Townsend, 2002).

O RADARSAT-1 é um SAR orbital que atua na frequência de 5.3 GHz com comprimento de onda de 5.7 cm, ou seja banda C, polarização HH (horizontal-horizontal) e diferentes ângulos de incidência e resolução espacial. A fim de avaliar as diferenças nas respostas de retrospalhamento da vegetação do cerrado foram escolhidos os ângulos de incidência de 24° a 31° (S2) e 41° a 46° (S6), com resolução espacial de 12,5m.

As imagens do período seco revelaram possuir maior contraste entre os atributos da superfície, isto devido à menor quantidade de água disponível no ambiente, fazendo com que as superfícies com menor umidade possuíssem menor constante dielétrica e, conseqüentemente, menor retorno (Figura 4.1 b e d) . Por haver saturação em todos os ambientes, as imagens do período chuvoso, visualmente, oferecem poucas diferenças de contraste (Figura 4.1 a e c).

Duas imagens do Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres, CBERS-2, obtidas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), da órbita-ponto 154/117, compõem os dados óticos (Figura 4.2). Operando com instrumento CCD (Couple Charged Device), o CBERS-2 adquire imagens no visível e no infravermelho próximo com uma resolução espacial de 20m, além de uma banda pancromática (0,51 - 0,73 μm). Somente as bandas 3 (0,52 a 0,59 μm) e 4 (0,63 a 0,69 μm) foram avaliadas, através da razão do NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

Na imagem do período chuvoso há a ocorrência de nuvens (Figura 4.2a), já na imagem do período seco não (Figura 4.2b).

A Tabela 4.1 sintetiza os dados de sensoriamento remoto utilizados e suas especificações básicas.

Tabela 4.1: Dados de sensoriamento remoto utilizados para as duas estações.

Satélite	Instrumento	Data da aquisição	Modo	AI	Resolução	Passagem
RADARSAT-1	C-band SAR	02/04/2004	S2	24-31	12,5m	Ascendente
RADARSAT-1	C-band SAR	03/04/2004	S6	41-46	12,5m	Descendente
RADARSAT-1	C-band SAR	17/09/2004	S2	24-31	12,5m	Ascendente
RADARSAT-1	C-band SAR	18/09/2004	S6	41-46	12,5m	Descendente
CBERS 2	CCD	10/05/2004	-	41.3	20m	-
CBERS 2	CCD	22/08/2004	-	37.5	20m	-

Optou-se por utilizar dados de sensoriamento remoto em duas datas diferentes no ano, a fim de suprir informações relacionadas à mudança dos estágios fenológicos da vegetação do cerrado, sendo uma abordagem particularmente útil para superfícies vegetais (Badhwar,

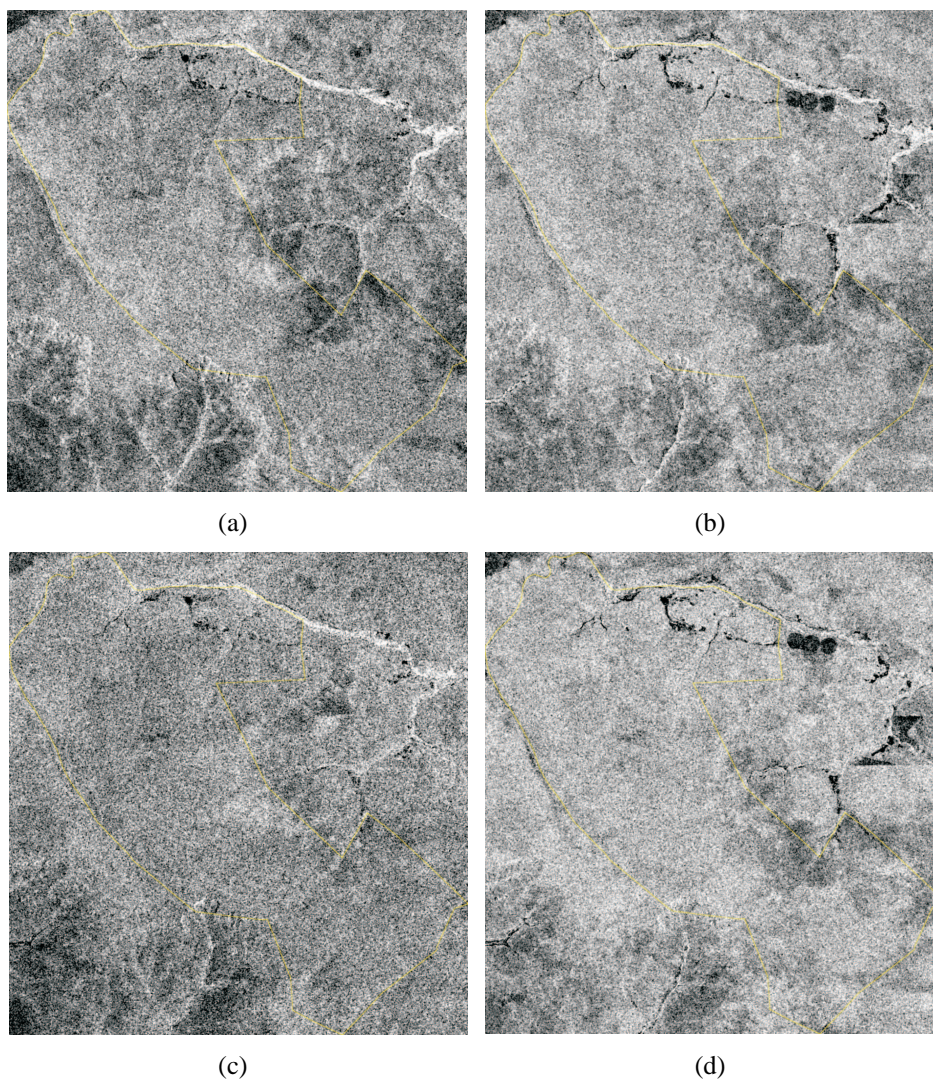


Figura 4.1: Em (a) e em (c) as imagens S2 e S6 de abril, respectivamente. Em (b) e em (d) as imagens S2 e S6 de setembro. Nas imagens de setembro é possível observar pivôs centrais não cultivados. Nas imagens de abril poucos elementos são visualmente distinguidos. A linha amarela corresponde ao contorno do parque.

1984; Conese e Maselli, 1991).

As imagens RADARSAT de abril e setembro referem-se, em termos de estações do ano, ao outono e à primavera, respectivamente. No entanto, as quatro estações não são claramente percebidas nessa região, o que ocorre é uma grande diferenciação entre períodos secos, com temperaturas um pouco amenas, e chuvosos, com registro de altas temperaturas. A vegetação do cerrado responde principalmente a essa variação, apresentando dois estágios fenológicos principais: o do período seco, que representa um momento de estresse hídrico para a vegetação, quando algumas espécies perdem suas folhas; e o do período chuvoso, que corresponde ao momento de abundância de nutrientes, oriundos da ciclagem, e abundância de água, aumentando por conseguinte a quantidade de água disponível internamente na estrutura das plantas. Esse contraste da vegetação era interessante e levou à escolha

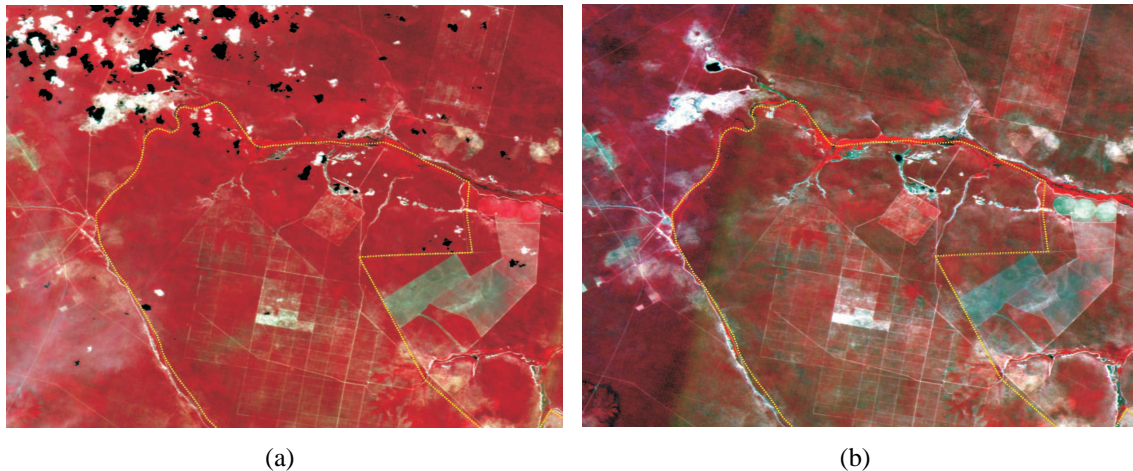


Figura 4.2: Recortes das imagens CBERS-2, na estação chuvosa e na estação seca. Na porção oeste de (a) vemos uma extensa névoa de nuvens cirrus e algumas cumulus de baixa altitude, que recobrem apenas pequenas porções da área de estudo. Em (b), temos uma imagem com pequena interferência atmosférica por vapor d'água, haja vista que o período seco na região apresenta baixa umidade e baixos índices de pluviosidade. A linha amarela corresponde ao contorno do parque.

das datas apresentadas na Tabela 4.1, representando esses diferentes momentos de estresse e abundância.

As imagens CBERS *a priori* deveriam ser adquiridas em períodos semelhantes, mas a presença nebulosidade impediu a aquisição nos mesmos meses que as imagens RADARSAT.

4.3 Levantamentos de Campo e de Informações Históricas

Duas campanhas de campo foram realizadas para levantar os atributos biogeofísicos da vegetação no Parque Estadual Veredas do Peruaçu. Os períodos dos campos foram correlatos com as datas de aquisição das imagens RADARSAT-1, sendo o primeiro campo realizado de 02 a 07 de abril de 2004 e o segundo de 17 a 21 de setembro de 2004.

Duas metodologias distintas definiram a escolha dos pontos amostrados:

- Primeiro campo - diferenças de intensidade em uma imagem Landsat de setembro de 2001, a partir da interpretação visual dessa imagem, sendo levantados 23 sítios, haja vista que as imagens RADARSAT ainda não haviam sido adquiridas;
- Segundo campo - calculou-se a média para cada talhão de eucalipto nas imagens RADARSAT-1 da estação úmida, as respostas foram divididas em três grupos de retroespalhamento (baixo, médio e alto) e dentre esses foram retiradas 3 amostras para cada grupo, além dos sítios de vegetação primária, sendo levantados um total de 12 sítios.

O Mapa 4.3 traz a localização dos 35 pontos de amostragem.

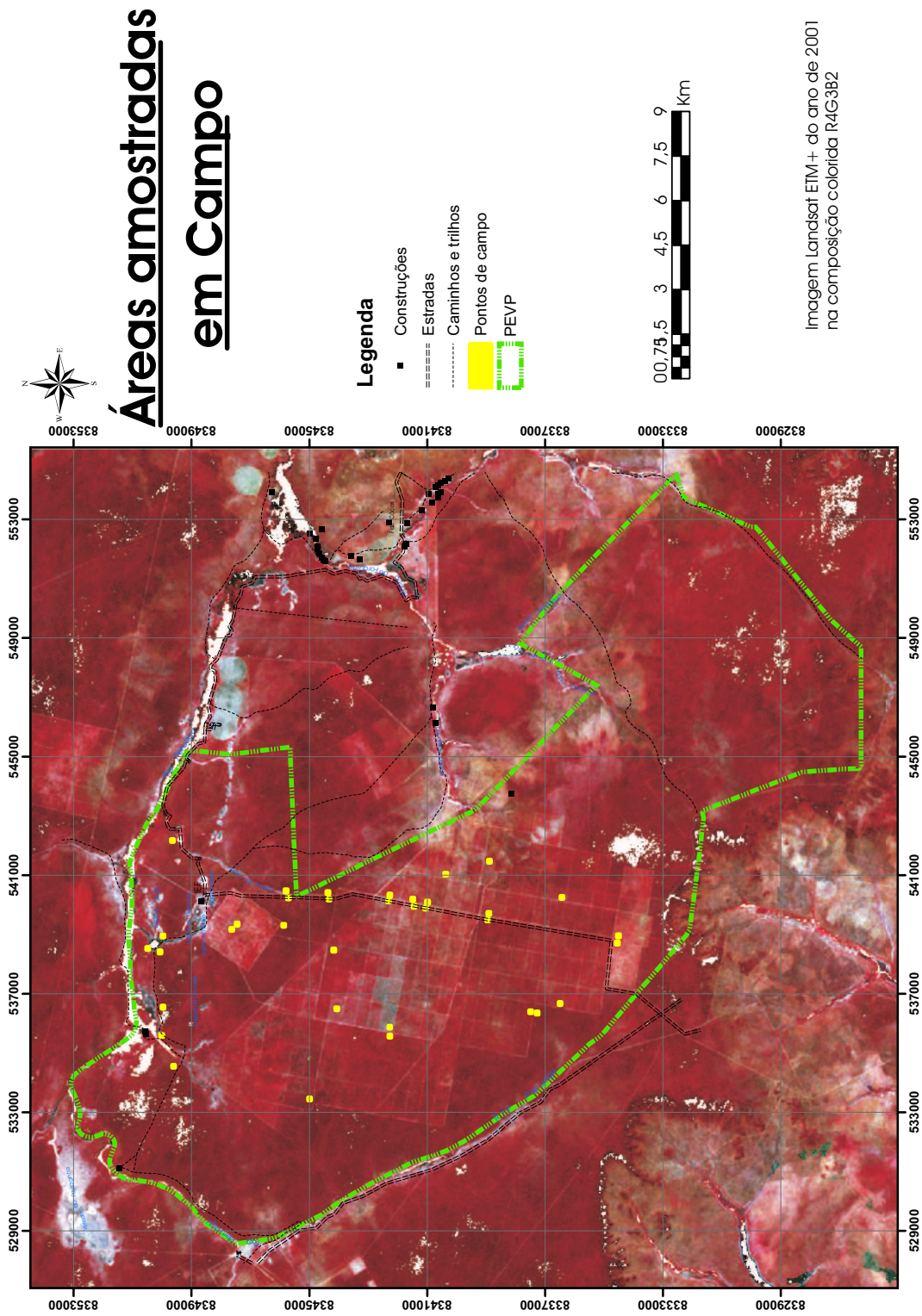


Figura 4.3: Localização dos pontos de amostragem das duas campanhas de campo.

4.3.1 Transectos

Medidas Alométricas

A fim de estimar a estrutura da vegetação foram traçados vinte e dois transectos de 20 metros de comprimento por dois metros de largura, onde se considerou os principais parâmetros para caracterização das populações florestais (Jaton e Thomson, 1994). A localização inicial e final de cada transecto era obtida por aparelho GPS.

Para cada indivíduo arbóreo ou arbustivo com altura superior a 1,5m eram levantados: o diâmetro da copa, por estimativa; a circunferência à altura do peito, medindo-se o tronco das árvores a 1,4m de altura; a altura; a espécie, baseada nos nomes populares; e a distância entre os indivíduos, obtida a partir de amostragem zig-zag (Figura 4.4) (MacDonald *et al.*, 1990).

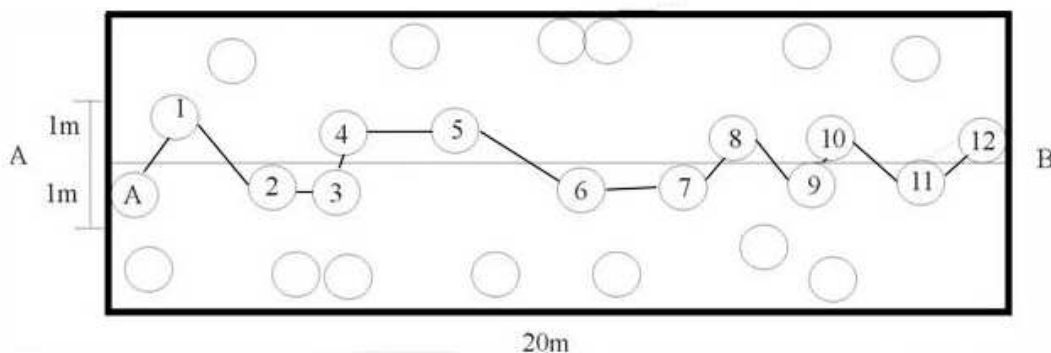


Figura 4.4: Metodologia de amostragem das comunidades vegetais.

Os estratos herbáceo e gramíneo não foram levantados, sendo apenas descritos como presentes ou ausentes, e a porcentagem de solo exposto era estimada. A densidade média de abertura das copas era também estimada utilizando a metodologia proposta por MacDonald *et al.* (1990).

Através de uma equação de geometria simples extraiu-se da circunferência à altura do peito, o diâmetro à altura do peito (Equação 4.1):

$$DAP = \frac{CAP}{\pi} \quad (4.1)$$

Os dados de distância entre os indivíduos foram convertidos para dados de densidade de árvores no transecto (DT)(Equação 4.2), dividindo-se o número de indivíduos do transecto por unidade de área:

$$DT = \frac{n}{40m^2} \quad (4.2)$$

As características que definem a estrutura física já foram mencionadas. Existem também as características que definem a estrutura biológica das comunidades florestais. Uma mistura de espécies, incluindo seu número e abundância relativa, define a estrutura biológica de uma comunidade (Smith e Smith, 1998).

Normalmente, para comunidades maduras, existe uma distribuição mais igualitária de espécies, havendo um maior número de espécies com muitos indivíduos e, conseqüentemente, uma maior diversidade florística. Em comunidades em fases iniciais de regeneração observamos uma ou duas espécies dominantes, que superam em número todas as outras espécies da comunidade, e chegam a representar 80% de toda a comunidade (Smith e Smith, 1998). A diferença entre essas duas florestas está na sua diversidade de espécies.

Através da Equação 4.3 é possível medir a dominância das espécies:

$$DR = \frac{TotalI_A}{TotalI_n} \quad (4.3)$$

onde DR é a densidade relativa, $TotalI_a$ é o total de indivíduos da espécie A e $TotalI_n$ é o total de indivíduos de todas as espécies.

A partir da densidade relativa podemos calcular a diversidade florística. Um método freqüentemente utilizado é o Índice de Shannon (Equação 4.4), adaptado da comunicação ou da teoria da informação, que considera a riqueza e a igualdade das espécies e considera o número bem como a abundância relativa das espécies (Smith e Smith, 1998). Este índice foi calculado para todos os transectos.

$$H = - \sum_{i=1}^s (p_i)(\log_2 p_i) \quad (4.4)$$

onde H é a diversidade florística, s é o número de espécies e p_i é a proporção de indivíduos na amostra total pertencente a i^{th} espécies. Ou podemos substituir p_i por DR.

Fotografias Hemisféricas

Fotografias voltadas para o céu tiradas a partir do chão da floresta com uma lente hemisférica produzem imagens circulares que registram o tamanho, a forma e a localização de aberturas no seu interior e têm sido largamente utilizadas nos estudos de estrutura e transmissão de luz (Frazer *et al.*, 1999).

Utilizamos duas metodologias distintas para a aquisição das fotografias hemisféricas, já que não possuíamos uma lente super-grande-angular ou olho-de-peixe. Na primeira campanha de campo uma máquina fotográfica analógica, com lente de 35mm e um teleconversor de $\frac{1}{2}$, nos fornecia uma distância focal simulada de 17,5mm. No segundo campo a mesma máquina possuía uma lente de 30mm somada a um teleconversor de $\frac{1}{2}$, o que nos forneceu uma distância focal simulada de 15mm.

Em dois trechos de cada transecto as copas eram fotografadas, em ângulo zenital, com as lentes olho-de-peixe adaptadas. Os trechos fotografados localizavam-se a cerca de 7 e 21 metros do ponto inicial do transecto, a fim de se obter a representação média do dossel da comunidade amostrada.

Das fotografias eram extraídos o Índice de Área Foliar (IAF) e a porcentagem de abertura do dossel (PAD), utilizando o software Gap Light Analyzer (GLA v.2) (Figura 4.5), que extrai a informação a partir da relação entre os níveis branco e preto por unidade de área. Para tanto as fotografias em papel foram escaneadas e transformadas em arquivos formato “.tif” com resolução de 300dpi, fazendo com que as formas captadas pela fotografia não fossem perdidas no processo de digitalização. Apenas as características estruturais do dossel foram consideradas.

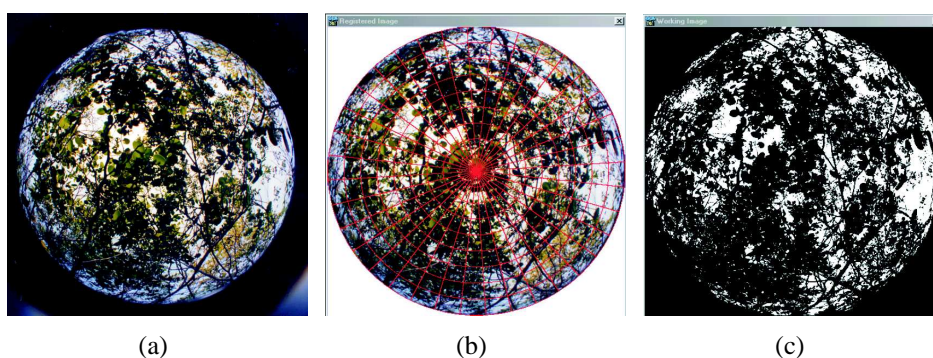


Figura 4.5: Tratamento das fotos hemisféricas. Em (a) a fotografia hemisférica original. Em (b) a fotografia original foi registrada no software GLA, o círculo vermelho corresponde à área da fotografia que será analisada. Em (c) vemos a imagem binária que servirá para a quantificação da estrutura do dossel.

No entanto, as fotografias obtidas na primeira campanha de campo não foram totalmente circulares, haja vista que a lente se encontrava no “limite” do grupo de lentes super-grande-angular. Esse imprevisto nos obrigou a criar uma alternativa para o maior aproveitamento da área das fotos. Para cada fotografia uma faixa de níveis de branco (255) e outra faixa de níveis de preto (0) eram acrescentadas (Figura 4.6), permitindo um maior aproveitamento das informações contidas na fotografia, sem contudo modificar as informações a serem extraídas. O devido cuidado foi tomado para que uma faixa não possuísse tamanho superior à outra, o que se acontecesse forneceria valores falsos acerca dos atributos estimados.

Umidade Atual

O radar além de permitir uma boa penetração das ondas na cobertura vegetal, possui também sensibilidade à umidade. A restituição da umidade superficial dos solos a partir do sinal radar é essencial para a introdução em modelos hidrológicos ou de conteúdo de água na vegetação e também é parâmetro essencial para estimativa da biomassa (Dechambre, 2003).

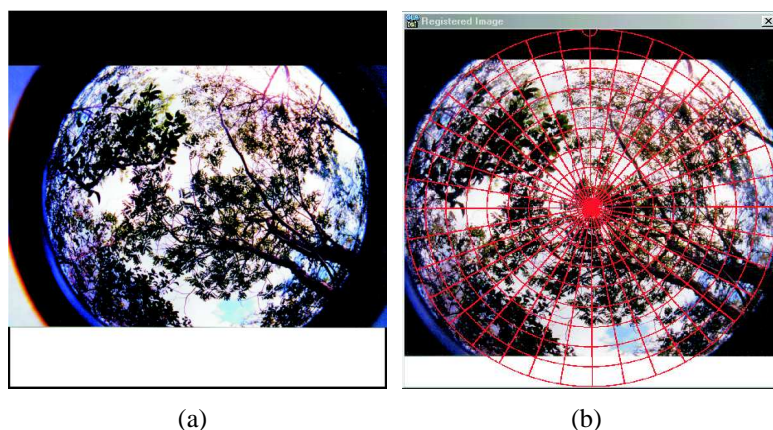


Figura 4.6: Metodologia para aproveitamento da área das fotografias. Uma faixa branca e uma faixa preta eram acrescentadas em cada fotografia, sendo tomado o devido cuidado para que o círculo envolvente (b) recobrisse áreas de mesmo tamanho nas duas faixas. Essa técnica permitiu aproveitar maior área da fotografia sem modificar os valores, já que uma faixa tendia a anular a outra.

Sob os transectos da segunda campanha de campo foram coletadas porções superficiais do horizonte A para determinação do teor de umidade presente na amostra de solo. Para cada transecto duas amostras eram retiradas, uma no segundo quinto e a outra no quarto quinto do transecto. As amostras foram envolvidas em filme transparente de PVC, que é um tipo de embalagem impermeável e vedada, impedindo a perda de umidade durante o transporte.

As amostras, em estrutura deformada, foram colocadas em recipiente de peso conhecido e novamente pesadas. Em estufa com temperatura entre 105°C e 110°C as amostras permaneceram por 24h, sendo então transferidas para dessecadores até que esfriassem e então fossem pesadas novamente (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997).

O cálculo proposto pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997) para a extração da Umidade Gravimétrica foi utilizado (Equação 4.5):

$$UmidadeGravimetrica = \frac{100(a - b)}{b} \quad (4.5)$$

onde a é o peso da amostra de solo úmida (g) e b , o peso da amostra de solo seca (g).

4.3.2 Dados Históricos

Como dados de sensoriamento remoto não estavam disponíveis em seqüências suficientes, dados históricos foram usados para estimar as idades das áreas em regeneração. Esses dados envolviam informações de relatórios do Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais (IEF-MG) e do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente dos Recursos Renováveis (IBAMA). Os relatórios forneciam as datas de limpeza da área, plantio, corte e abandono da cultura de eucaliptos, além de queimadas.

Entrevistas realizadas com moradores do entorno e, principalmente, com os funcionários

do Parque Estadual Veredas do Peruaçu, foram decisivas para acrescentar as informações obtidas nos relatórios e para espacializar essas informações.

4.4 Pré-processamento dos Dados

A fim de parametrizar os dados de sensoriamento remoto se fez necessária a realização de manipulações, incluídas aí a calibração radiométrica, a correção atmosférica, a correção geométrica e a remoção de ruídos.

4.4.1 Calibração Radiométrica dos Dados SAR

Calibrar radiometricamente os dados de radar significa reverter a operação da escala de saída que foi realizada durante o processamento dos dados. O valor de cada pixel, em número digital (ND), representa a magnitude do dado ou objeto detectado. Ao revertermos a operação de processamento dos dados, voltamos a obter os coeficientes retroespalhados captados em um dado momento e em um dado local na imagem.

O coeficiente de retroespalhamento (σ^0) representa a refletividade média de uma amostra material horizontal, normalizada de acordo com a unidade de área no plano horizontal da superfície (Raney, 1998).

Duas são as principais transformações para extrair dados calibrados: realizar a conversão dos dados para β^0 , ou valores de brilho do radar, ou para coeficiente de retroespalhamento do radar (σ^0), sendo necessário o conhecimento dos ângulos de incidência sobre a imagem adquirida para conversão dos ND's para σ^0 . Neste trabalho os dados SAR foram convertidos para σ^0 , utilizando a metodologia proposta por Srivastava e Shepherd (2000) e, mais detalhadamente por RSI (2000).

A metodologia para extrair o σ^0 pode ser dividida em quatro etapas: 1) obtenção da imagem de ângulo de incidência, 2) construção da imagem de ganho, 3) extração da imagem de brilho (β^0) e, 4) extração do coeficiente de retroespalhamento do radar (σ^0).

Os softwares ErMapper, MatLab e Excel foram utilizados para a execução desse procedimento. Essa metodologia foi aplicada para as quatro imagens e se encontra detalhada no Apêndice A.

Imagem de ângulo de incidência

Para a obtenção da imagem de ângulo de incidência devem ser inicialmente encontrados: o raio, a altura do sensor e o alcance inclinado (“slant range”).

Inicialmente o raio do sensor ao redor da Terra deve ser calculado e é dado por (Equação 4.6):

$$r = \frac{elimen \sqrt{\left(1 + \tan\left(\text{latplat} \times \frac{\pi}{180}\right)^2\right)}}{\sqrt{\left(\frac{elimen^2}{elimai^2}\right) + \tan\left(\text{latplat} \times \frac{\pi}{180}\right)^2}} \quad (4.6)$$

onde *elimen* é o semi-eixo menor do elipsóide, *latplat* é a latitude da plataforma geodésica e *elimai* é o semi-eixo maior do elipsóide.

Encontrado o valor do raio podemos obter a altura do sensor (Equação 4.7), que se refere à altura do satélite no momento da aquisição da imagem:

$$h = \alpha - r \quad (4.7)$$

onde α é a órbita do semi-eixo maior e *r* é o raio.

O alcance inclinado (slant range) é fornecido para cada incremento do alcance na escada de saída da tabela de referência ou look up table (LUT). Para imagens com o primeiro pixel no alcance próximo (near range) a Equação 4.8 deve ser utilizada:

$$AI = a + j.ep.b + (j.ep)^2.c + (j.ep)^3.d + (j.ep)^4.e + (j.ep)^5.f \quad (4.8)$$

onde *AI* é o alcance inclinado, *ep* é o espaçamento do pixel, *a*, *b*, *c*, *d*, *e* e *f* são os valores de alcance inclinado, na ordem encontrada no arquivo “leader”.

E para imagens com o primeiro pixel no alcance distante (far range) (Equação 4.9):

$$AI = a + k.ep.b + (k.ep)^2.c + (k.ep)^3.d + (k.ep)^4.e + (k.ep)^5.f \quad (4.9)$$

onde: *k* é o número de pixels-*j*.

De posse das informações obtidas anteriormente usamos a equação 4.10 para construir a imagem de ângulo de incidência:

$$I_j = \arccos\left[\frac{(h^2 - (AI_j)^2 + 2.r.h)}{2.AI_j.r}\right] \quad (4.10)$$

onde: *h* é a altura do sensor, *AI* é o alcance inclinado e *r* é o raio.

Imagem de Ganho

Gerar a imagem de ganho foi um dos maiores obstáculos encontrados para a conversão dos dados SAR, já que diversos softwares foram integrados para tal tarefa.

Uma metodologia foi criada para construção desta imagem, que consistia em identificar os valores do “Look up Table” - LUT - no arquivo “leader”, salvar esses dados em um arquivo “.xls”, para então criar linhas de comando em C para interpolação desses dados, que geravam um arquivo “.txt” de valores de LUT de mesmo número de linhas e colunas que a imagem

SAR e, finalmente, interpolar os dados desse arquivo “.txt”, formando uma imagem raster de mesmo tamanho que a imagem SAR.

As imagens com o primeiro pixel no alcance distante foram interpoladas com LUT-j.

Imagem de Brilho

Uma vez gerada a imagem de ganho do radar, foi possível converter os dados para valores de brilho ou de β^o (Equação 4.11):

$$\beta^o_j = 10 * \log_{10}[(DN_j + offset)/Ganho_j] \text{ dB} \quad (4.11)$$

onde DN é a imagem que contém os dados e $Ganho$ é a imagem de ganho.

Imagem de Coeficiente de retroespalhamento do radar

Utilizando a imagem de brilho do radar foi possível aplicar a Equação 4.12 para se obter a imagem de coeficiente de retroespalhamento do radar (σ^o).

$$\sigma^o = \beta^o_j + 10 * \log_{10}(\sin I_j) \text{ dB} \quad (4.12)$$

onde I_j é a imagem de ângulo de incidência.

4.4.2 Correção Atmosférica e Calibração Radiométrica dos Dados Óticos

Inicialmente a correção atmosférica deveria ser efetuada e para tanto o método de Chavez Jr. (1988) foi avaliado. Porém este método não se mostrou eficaz para minimizar a interferência atmosférica nas imagens. Foi então testado o método 5s (Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum) de Tanré *et al.* (1990), utilizando-se as linhas de comando elaboradas por Jurandir Zullo Jr. no SCORADIS, versão Lite, CBERS-CCD, gentilmente repassadas pelo Prof. Marinaldo Gleriani, da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Essa correção também não se mostrou eficiente para eliminar as interferências atmosféricas, sobretudo no que tangia à banda 4. Os problemas apresentados nos detectores da banda 4 tornam as respostas da água nesta banda superiores às da banda 3, ou seja, os valores de ND da banda 4 em um lago profundo, por exemplo, são superiores aos valores de ND na banda 3. Logo, a “simples” redução dos números digitais nas imagens não seria suficiente para sanar essa falha nos detectores. Por esses motivos a correção atmosférica dos dados CBERS-2 não foi realizada.

A calibração absoluta dos dados das bandas 3 e 4 do CBERS-2 seguiu a metodologia proposta por Ponzoni *et al.* (2005) que definiu os coeficientes de calibração para imagens adquiridas pela câmera CCD do CBERS-2 e os valores de irradiância no topo da atmosfera, como apresentado nas Tabelas 4.2 e 4.3:

Tabela 4.2: Coeficientes de Calibração para os dados CBERS. Fonte: Ponzoni *et al.*, 2005.

Banda	1	2	3	4
Coeficiente de Calibração	1.009	1.930	1.154	2.127

Tabela 4.3: Valores de Irradiância no topo da atmosfera para cada banda do CBERS-2. Fonte: Ponzoni *et al.*, 2005.

Banda	1	2	3	4
Irradiância	1934.03	1787.10	1548.97	1069.21

Utilizando esses coeficientes podemos converter os dados de ND para dados de reflectância aparente no topo da atmosfera (ρ)(Equação 4.13):

$$\rho_{apa} = \frac{(3,1423 * (\frac{ND_n}{CC_n}) * D^2)}{(esun_n * \cos(zen))} \quad (4.13)$$

onde ND é a imagem a ser calibrada, CC é o Coeficiente de Calibração, D distância Terra-Sol em unidades astronômicas ($1 - (0.01674 * \cos(0.98563(dda-4)))$), $esun_n$ é o valor de irradiância solar no topo da atmosfera na banda n e $\cos(zen)$ é o cosseno do ângulo zenital solar no momento de aquisição da imagem.

Essa conversão, *a priori* deveria minimizar as “anormalidades” espectrais encontradas na banda 4. Entretanto, mesmo após a conversão das imagens de ND para ρ aparente, esse comportamento continuou a ser observado. Mesmo apresentando esses problemas, que possivelmente estão relacionados aos detectores do satélite, os dados CBERS-2 foram mantidos no estudo.

4.4.3 Correção Geométrica

Todas as imagens RADARSAT-1 e CBERS-2 foram corrigidas geometricamente, a fim de correlacionar os dados de campo com as imagens e estas entre si. A banda 8, com resolução espacial de 15m, de uma imagem Landsat 7 EMT+ do ano de 2001, serviu para a correção geométrica das imagens.

Os pontos de controle utilizados para corrigir a banda 8 da imagem Landsat foram extraídos de cartas topográficas da região, em escala 1:100.000, e de pontos de GPS, obtidos por um aparelho que capta 12 canais paralelos e interpola os dados obtidos, fornecendo um erro médio de 5m. Esta banda teve um erro quadrático médio de registro inferior a 1 pixel, ou seja, 15m. Esta imagem já havia sido corrigida no quadro do projeto do Plano de Manejo do Parque Nacional Cavernas do Peruaçu.

O método utilizado para correção geométrica foi o de interpolação bilinear, que avalia os valores dos pixels adjacentes a um dado pixel na imagem sem correção, para estabelecer um número digital “sintético” a ser atribuído ao pixel correspondente na imagem corrigida

(Lillesand e Kiefer, 2000).

Já as imagens RADARSAT e CBERS apresentaram erro quadrático médio de registro também inferior a 1 pixel, que somados ao erro da imagem Landsat, resultam em, no máximo, 2 pixels de erro.

Por existir um erro de registro entre as bandas das imagens CBERS-2 obtidas junto ao INPE, a correção geométrica teve que ser realizada banda a banda.

4.4.4 Remoção do Ruído Speckle

Quando a radiação é refletida por uma superfície cuja rugosidade é da mesma ordem de grandeza que o comprimento de onda, a interferência das ondas produz o ruído chamado Speckle (Jensen, 2005). Essa interferência é observada visualmente através de uma textura granulosa e aleatória.

Para amenizar este ruído podemos utilizar o método multi-look ou o método de filtragem. O multi-look consiste em corrigir a imagem a partir das médias de cada “look” geradas separadamente. O segundo método consiste em corrigir o valor do pixel a partir dos valores do ND de seus vizinhos (Lillesand e Kiefer, 2000).

A fim de atenuar esse ruído inerente nas imagens RADARSAT o método de filtragem foi escolhido. Diversos filtros foram testados, entre eles os filtros de média, mediana, Lee, Frost, Enhanced Lee e Enhanced Frost.

O filtro que se revelou mais adequado para a remoção do ruído Speckle foi o de mediana com uma janela de 5x5 pixels. A adequação do filtro foi baseada em resultados visuais, sendo escolhido o que removesse o ruído mas também mantivesse as características dos objetos na imagem, tais como bordas e pequenos conjuntos.

4.4.5 Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI

Os índices de vegetação são uma razão entre regiões do vermelho e do infravermelho próximo traduzidos na absorção de pigmentos de clorofila dos cloroplastos no espectro vermelho, e a sensibilidade da estrutura foliar ao infravermelho. São relacionados com muitas propriedades das plantas devido à existência de correlação entre elas, incluindo o índice de área foliar, a porcentagem de cobertura verde e biomassa, a produtividade e propriedades biofísicas, assim como capacidade fotossintética (Ustin *et al.*, 1999; Jensen, 2005).

Esses índices são também sensíveis à formas de vida (ex: arbustos, gramíneas, ou árvores) e à composição da comunidade, fatores que afetam a arquitetura do dossel e a distribuição da planta (Ustin *et al.*, 1999).

Existem muitos índices de vegetação e muitos têm função equivalente ou redundante no conteúdo da informação (Jensen, 2005). O NDVI (Equação 4.14) é normalmente preferido em relação aos outros índices, porque ele ajuda a compensar mudanças na condição de

iluminação, superfície da vertente, além de permitir o monitoramento de mudanças sazonais e inter-anuais no crescimento e atividade da vegetação (Jensen, 2005; Lillesand e Kiefer, 2000).

$$NDVI = \frac{\rho_{ivp} - \rho_{verm}}{\rho_{ivp} + \rho_{verm}} \quad (4.14)$$

As relações feitas com o NDVI têm possibilitado seu uso em vários modelos para estudo da fotossíntese, fluxo do carbono, balanço da água, e processos relacionados (Ustin *et al.*, 1999).

A fim de melhorar a performance do NDVI, ele foi realizado somente após a calibração radiométrica dos dados CBERS-2.

4.5 Análise Estatística

4.5.1 Preparação dos Dados

Para extração das informações nas imagens foram inicialmente criadas janelas de 9 x 9 pixels nas imagens RADARSAT, com localização correspondente às amostras de campo, fornecendo uma área de 112,5 x 112,5m. As mesmas janelas eram transferidas para as imagens de NDVI do CBERS-2 e, pela diferença de resolução espacial entre os dados, as janelas nestas imagens corresponderam a janelas de 5x5 pixels, mas de mesma área.

A coordenada inicial do transecto serviu para definir o pixel central da janela, assim, independente da direção do transecto, este seria totalmente englobado na janela (Figura 4.7). O tamanho da janela também considerou os erros da correção geométrica e também forneceu uma amostra representativa da comunidade.

Os polígonos vetoriais foram convertidos em regiões e incorporados às imagens para que fosse extraída a média e o desvio padrão de cada polígono nas 6 imagens.

Para o IAF, porcentagem de abertura do dossel, umidade atual, diâmetro da copa, DAP e altura calculou-se a média aritmética simples em cada transecto. Por exemplo, para cada transecto se tinha duas fotografias das quais foram retirados o IAF e a porcentagem de abertura do dossel e entre essas duas fotografias era calculada a média do transecto. Considerou-se portanto que os dados de sensoriamento remoto expressam a média dos atributos dos sítios, haja vista a resolução espacial dos dados SAR, de 12,5m e dos dados óticos, de 20m.

A escala nominal, utilizada para classificar objetos ou fenômenos em termos de igualdade de seus atributos e numerá-los (Gerardi e Silva, 1981), serviu para transformar os dados qualitativos, referentes à ocorrência ou não de queimadas e à idade das comunidades, em dados quantitativos. Os dados de incêndios foram identificados com o número *um* para a não ocorrência de queimadas e *dois* para ocorrência de queimadas. A idade das comunidades foi

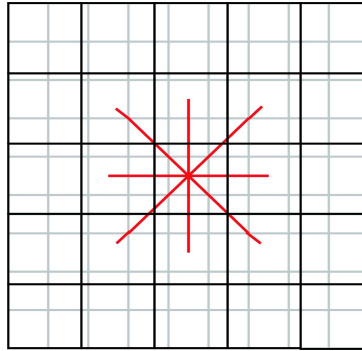


Figura 4.7: Justificativa do tamanho da janela. Em preto a representação dos pixels de dados CBERS, com 20m, e em cinza de dados RADARSAT, com 12.5m de resolução espacial. As retas exploram todas as possibilidades de orientação do transecto, supondo que o seu início estivesse no ponto central do pixel. Note que mesmo deslocando o ponto inicial do transecto a reta ainda estaria totalmente incluída dentro da janela.

identificada com números de 1 a 7, com classes que variavam de 12 a >25 anos de idade.

O Apêndice B traz a tabela utilizada para as análises estatísticas e o Apêndice C os dados originais.

4.5.2 Modelagem Estatística

O coeficiente de correlação simples, que mede a relação linear entre duas variáveis (Groebner e Shannon, 1993), foi utilizado para determinar a dependência entre os atributos biofísicos do cerrado e os dados de sensoriamento remoto. Ele é expresso pela seguinte Equação (4.15):

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{[\sum(x - \bar{x})^2][\sum(y - \bar{y})^2]}} \quad (4.15)$$

onde x é a variável independente e y a variável dependente.

A fim de observar o tipo de relação da variável dependente com os dados (positiva, negativa, multicolinearidade) e determinar quais variáveis eram mais úteis para explicar a variação na variável dependente, uma matriz de correlação foi construída. Analisar as variáveis independentes umas com as outras é importante para verificar se existem redundâncias ou se não são necessárias no modelo (Triola, 1999).

Sendo as análises balizadas pelos objetivos apresentados no capítulo 1, as seguintes correlações foram realizadas:

1. análises de correlação para caracterizar a resposta em dados SAR, utilizando os dados biofísicos e históricos;

2. análises de correlação para caracterizar a resposta do NDVI, utilizando os dados bio-geofísicos e históricos.

A análise de regressão linear, simples ou múltipla, é uma metodologia estatística que utiliza a relação entre duas ou mais variáveis quantitativas (ou qualitativas) de tal forma que uma variável pode ser predita a partir da outra ou outras. Na utilização desse método, se espera que a relação da resposta às variáveis seja uma função linear de alguns parâmetros.

Estudos anteriores (Hardin e Jackson, 2003; Paloscia, 2002; Townsend, 2002) que modelaram parâmetros da vegetação como uma função do retroespalhamento e da reflexão a partir de equações lineares obtiveram modelos mais bem ajustados. A linearidade dos dados foi analisada visualmente e a regressão linear se mostrou uma metodologia adequada para prever as variáveis aqui estudadas.

A regressão múltipla tem por objetivo representar a relação entre as variáveis x_n , denominadas independentes, e y , denominada dependente, a partir de um modelo (Triola, 1999) (Equação 4.16). Dois componentes compõem o modelo de regressão, um linear e outro de erro aleatório.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 y_{1i} + \beta_2 y_{2i} + \dots + \beta_k y_{ki} + e_i \quad (4.16)$$

onde β_0 é a constante de regressão, β_1 é o coeficiente de regressão para a variável x_1 , β_k é o coeficiente de regressão para a variável x_k , k é o número de variáveis independentes e e_i é o erro ou resíduo.

O principal teste de significância na análise de regressão é o coeficiente de determinação ou R^2 (Equação 4.17), que determina a porcentagem do total de variação na variável dependente que é explicado pela variável independente.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(y - \hat{y})^2}{\sum(y - \bar{y})^2} \text{ ou } 1 - \frac{SQR}{SQT} \quad (4.17)$$

onde SQR é a soma dos quadrados dos resíduos e SQT é a soma dos quadrados totais.

Quando não dispomos de um grande número de amostras, como frequentemente acontece com dados ambientais, erros altos podem ser observados e, conseqüentemente, os resultados não serem confiáveis estatisticamente. O Teste de Hipótese é utilizado para averiguar se a amostra de dados suporta ou rejeita a hipótese de que o coeficiente de correlação da população, ρ , é 0. Então, para um dado nível de significância (α), temos a seguinte chave de decisão:

H_0 : modelo não explica qualquer variação no total da variável dependente.

H_A : podemos rejeitar H_0 e aceitar a possibilidade de que o modelo de regressão explica uma proporção da variação total na variável dependente maior que 0.0.

A partir dos objetivos apresentados no capítulo 1, foram realizadas as seguintes análises de regressão:

1. proposição de modelos para diferenciar as fitofisionomias do cerrado a partir de dados SAR;
2. proposição de modelos para diferenciar as fitofisionomias do cerrado a partir do NDVI extraído de imagens CBERS-2;
3. proposição de modelos para compreender a informação contida nas imagens de sensoriamento remoto.

Capítulo 5

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A FIM de serem mais facilmente interpretados, os resultados foram organizados de acordo com o seu nível conceitual. Primeiro, os resultados encontrados na pesquisa histórica são apresentados para área de estudo e seu entorno. Segue uma avaliação quantitativa dos dados de campo a fim de fornecer uma idéia da dinâmica estrutural da vegetação de cerrado no parque. As últimas duas seções apresentam respectivamente as análises de correlação entre as variáveis biogeofísicas e os dados de radar e os modelos de regressão múltipla que foram criados na tentativa de estabelecer uma relação capaz de explicar a variação observada nas medições e dados da área, assim como nos dados de sensoriamento remoto.

5.1 Idades de Regeneração

A amplitude temporal deste estudo é de 25 anos e foi limitada pelo período que vai do ano de 1979, início do plantio de eucaliptos, ao de 2004, quando as últimas imagens de sensoriamento remoto foram adquiridas para este estudo. A ocorrência de queimadas, tanto em função da criação extensiva de bovinos como de origem natural, era freqüente antes do ano de 1979. Na imagem Landsat MSS abaixo apresentada (Figura 5.1) é possível observar que, mesmo sem os projetos de eucalipto, grandes porções de cerrado já sofriam com a ação do fogo.

A idade das comunidades foi estimada para as áreas amostradas em campo e para as antigas áreas dos projetos de eucalipto. A Figura 5.2 representa um mapa de idades de regeneração baseado nos relatos históricos das empresas florestais que atuaram na área, do IEF, do IBAMA e de funcionários do parque.

Sete classes de idades foram identificadas: 12 anos, maior ou igual a 15 anos, 20 anos, entre 12 e 21 anos, 21 anos, 25 anos e maior que 25 anos. As inconsistências entre as classes foram inevitáveis e são frutos das informações fornecidas de forma incompleta. No interior dos antigos projetos a idade varia entre 12 e 21 anos. Nesses, as comunidades podem

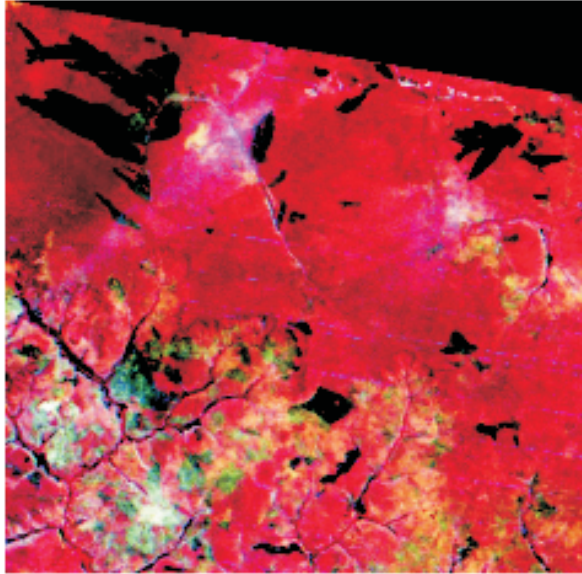


Figura 5.1: Imagem MSS de Landsat do ano de 1976 na composição colorida R7G5B4. A maior parte das áreas escuras na imagem pode ser correlacionada com áreas de cerrado incendiadas. A feição linear no centro da imagem, em direção noroeste, corresponde à nascente do rio Peruaçu. Fonte: INPE - Imagem Landsat 1 MSS, órbita-ponto 235/71, de 26 de junho de 1976.

ser divididas em três grupos: 1) áreas que sofreram corte total; 2) projetos parcialmente aproveitados; e 3) áreas abandonadas. Projetos que sofreram aproveitamento parcial não tiveram sua idade estimada com precisão, já que pequenas porções podem ou não ter sofrido corte, e foram etiquetadas com a classe de 12 a 21 anos. Fora dos projetos as comunidades normalmente apresentam idade superior a 25 anos. Não foi possível determinar a data do corte para todos os talhões no interior dos projetos. Fora dos projetos houve um maior controle, mas restrito às áreas amostradas, e por esse motivo o mapa de idades não abrange todo o PEVP.

A principal forma de reprodução da vegetação observada, apesar da limpeza completa de certas áreas, foi a reprodução vegetativa ou rebrote, caracterizada pelo agrupamento de muitos troncos em torno de uma mesma raiz. Essa característica do cerrado faz com que as áreas se recomponham de maneira relativamente rápida.

Analisando as médias do IAF, do DAP, da densidade de árvores e da diversidade florística e comparando essas com as encontradas por Kuntzschik (2004) é possível verificar que as comunidades em regeneração apresentam valores muito mais baixos, indicando um estado relativamente jovem da vegetação.

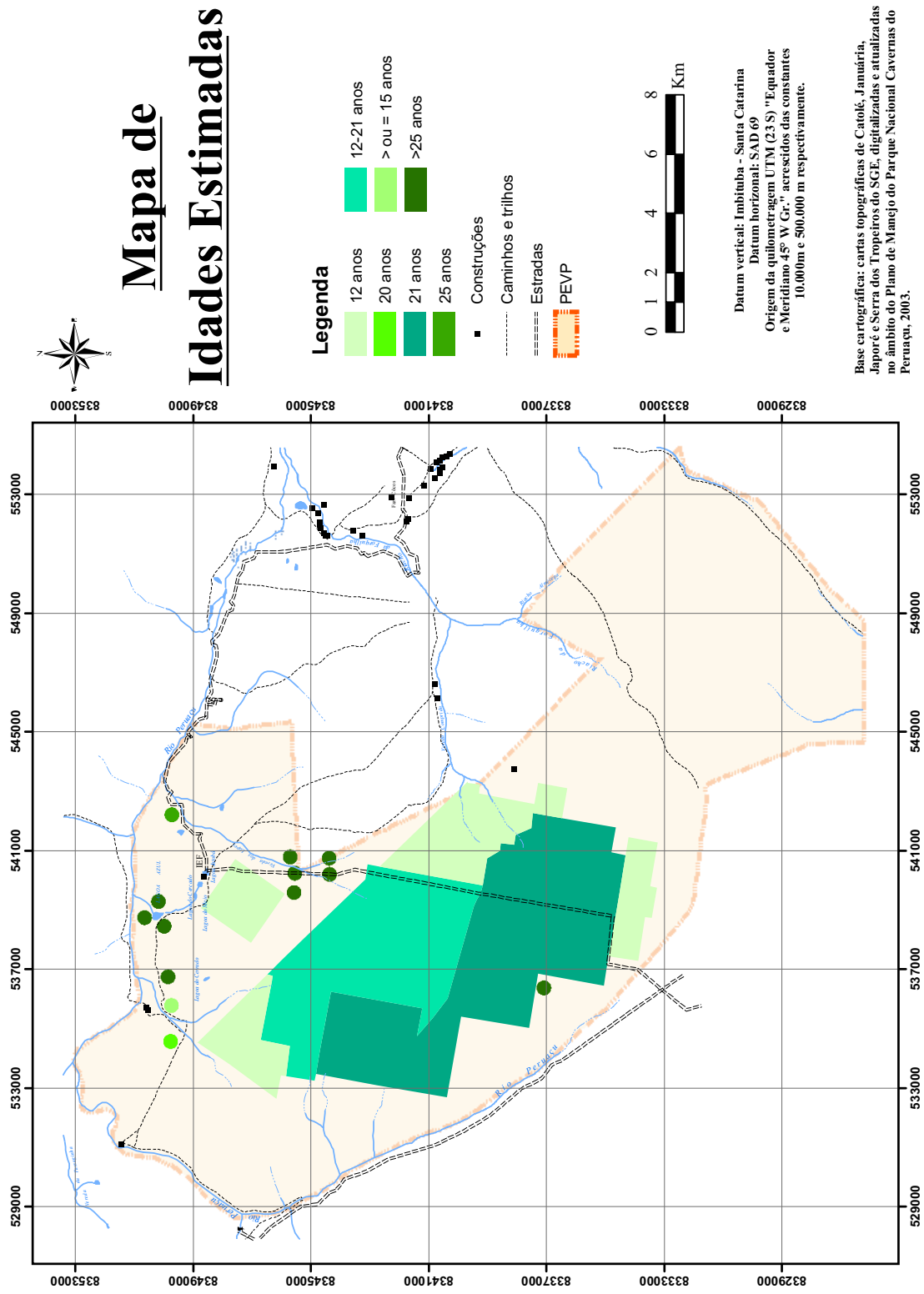


Figura 5.2: Idade das Comunidades no interior os projetos de eucalipto e nas áreas de amostragem de campo. A coluna da direita traz os dados onde não há precisão etária.

O tempo necessário para que uma comunidade atinja o estado clímax é variável de acordo com a localização, com os fatores ambientais e com o bioma. Oliveira (2002) afirma que para comunidades de mata atlântica no interior do Rio de Janeiro, um período superior a 50 anos é necessário. Em florestas semidecíduas montanas o tempo estimado para que essas atinjam o seu clímax é superior a 100 anos (Scolforo *et al.*, 2000). Kuntschik (2004) concluiu que comunidades de cerrado sentido restrito com idade superior a 20 anos ainda não conseguiram atingir o estado clímax, e a ação do fogo pode envolver um aumento significativo do tempo para que a floresta atinja esse estado.

5.2 Avaliação dos Dados de Campo

As medições de campo (alométricas e de outros tipos) são escolhidas com o objetivo de quantificar as diferenças existentes entre comunidades distintas, em um dado momento, e caracterizar a estrutura da vegetação de maneira compatível com as observações de sensoriamento remoto. Existe ainda um fator implícito, a idade, que indiretamente pode estar relacionada com as características estruturais e ambientais de uma comunidade.

Nesta seção buscou-se avaliar os dados coletados em campo isoladamente a fim de buscar parâmetros que identificassem *a priori* cada subformação do cerrado. Além disso, investigou-se a relação de cada parâmetro com a idade das comunidades na procura de padrões de comportamento. A Tabela 5.1 reúne as médias das informações coletadas em campo e das informações obtidas na pesquisa histórica, organizadas por transecto.

A maior parte das amostras é composta por áreas em regeneração de cerrado senso restrito, localizadas nos antigos projetos de eucalipto da Peruaçu Florestal. Essas áreas, apesar de serem incluídas em um mesmo grupo genérico, possuem idade, histórico de atividade antrópica e estratos predominante diferentes, resultando em uma grande variância intra-classe. Apenas 11 das 35 amostras de campo são de áreas consideradas primárias ou secundárias. Esse número pequeno de amostras¹ não invalida a qualidade dos dados, haja vista que os testes de inferência estatística levam esse fator em conta através dos graus de liberdade.

De modo geral, os dados apresentam um alto desvio padrão, muitas vezes, superior ao valor da própria média². Esses resultados eram esperados considerando a irregularidade do ambiente do cerrado, que tem uma grande diversidade de espécies com características estruturais essencialmente diferentes.

¹Além de representar um pequeno universo, para alguns parâmetros como umidade e altura, os dados se encontram incompletos devido a dificuldades para coletá-los em campo.

²Supondo uma distribuição normal, um desvio padrão superior à média implicaria em valores negativos sendo uma situação impossível considerando a natureza das variáveis.

Tabela 5.1: Informações coletadas em campo organizadas por transecto.

Transecto	Estratos Predominantes	Solo exposto	Subformação	Queimada (e ano)	Idade	DAP (\bar{x})	DAP (σ)	Altura (\bar{x})	Altura (σ)	PAD	IAF	IS	DT	UG *
T1	Arbóreo, arbustivo, gramíneo e herbáceo	não	Cerradão	Sim (?)	>25	5,06	8,83	3,20	1,54	31,37	1,69	3,78	0,68	-
T2	Arbóreo, arbustivo, gramíneo e herbáceo	não	Regeneração de cerradão	Não	>25	4,64	6,46	3,34	1,89	50,65	0,81	3,57	0,55	-
T3	Arbustivo e Arbóreo	não	Cerrado sentido restrito	Não	>25	1,25	1,32	2,50	0,60	45,17	1,04	3,45	0,73	-
T4	Gramíneo e arbustivo	sim	Regeneração de cerrado	Não	12-21	2,78	2,30	2,30	0,77	62,21	0,45	3,19	0,38	-
T5	Gramíneo e arbustivo	sim	Regeneração de cerrado	Não	12-21	4,25	3,15	2,69	0,63	63,47	0,41	2,63	0,60	-
T6	Arbustivo e Arbóreo	não	Regeneração de cerrado	Não	12-21	2,87	2,51	2,36	0,93	48,86	0,88	2,78	0,43	-
T7	Gramíneo e arbustivo	sim	Regeneração de cerrado	Não	21	1,46	1,18	2,22	0,56	65,28	0,33	2,36	0,58	-
T8	Arbustivo e Arbóreo	sim	Regeneração de cerrado	Não	12	1,85	1,26	2,49	0,98	36,52	1,72	2,90	0,50	-
T9	Arbustivo	sim	Regeneração de cerrado	Não	12	2,53	1,69	2,86	0,90	60,45	0,64	1,39	0,45	-
T10	Arbóreo, arbustivo, gramíneo e herbáceo	não	Cerradão	Não	25	3,27	3,26	3,40	1,61	37,56	1,21	3,48	0,73	-
T11	Arbustivo	não	Regeneração de cerrado	Sim (1996)	20	3,73	4,35	2,55	1,33	67,72	0,34	3,43	0,65	-
T12	Arbustivo e Arbóreo	não	Cerradão	Sim (1992)	>=15	4,43	5,73	2,87	1,13	57,30	0,58	3,99	0,68	-
T13	Arbóreo, arbustivo, gramíneo e herbáceo	não	Cerradão	Não	>25	2,02	1,68	-	-	46,43	0,98	3,57	0,45	-
T14	Arbóreo, arbustivo, gramíneo e herbáceo	não	Cerradão	Não	>25	1,84	1,09	-	-	56,05	0,69	2,57	0,33	-
T15	Arbóreo, arbustivo, gramíneo e herbáceo	não	Cerradão	Não	>25	1,50	1,50	-	-	51,92	0,72	3,15	0,43	-
T16	Arbustivo e Arbóreo	não	Regeneração de cerrado	Não	>25	2,50	1,81	-	-	51,01	0,92	3,88	0,50	-
T17	Arbustivo e Arbóreo	não	Cerrado sentido restrito	Não	>25	2,07	1,99	-	-	46,95	1,01	3,24	0,33	-
T18	Arbustivo	não	Regeneração de cerrado	Não	12	1,00	0,51	-	-	64,94	0,46	2,56	0,40	-
T19	Arbustivo	sim	Regeneração de cerrado	Não	12	1,14	0,46	-	-	62,20	0,51	2,97	0,38	-
T20	Gramíneo e arbustivo	sim	Regeneração de cerrado	Não	12	1,21	0,54	-	-	56,91	0,63	3,29	0,43	-
T21	Arbustivo	não	Regeneração de cerrado	Não	21	1,13	0,27	-	-	57,50	0,60	2,13	0,30	-
T22	Arbustivo	sim	Regeneração de cerrado	Não	12	0,88	0,58	-	-	68,44	0,41	3,28	0,28	-
T23	Gramíneo e arbustivo	sim	Regeneração de cerrado	Não	12	1,29	0,72	-	-	36,52	0,88	2,52	0,25	-
T1a	Gramíneo e arbustivo	sim	Regeneração de cerrado	Não	12-21	1,73	0,84	2,48	0,89	83,58	0,19	2,47	0,38	0,88
T2a	Gramíneo e arbustivo	sim	Regeneração de cerrado	Não	12-21	1,82	0,74	2,67	0,80	73,39	0,26	1,70	0,26	0,33
T3a	Arbustivo muito denso	não	Cerrado sentido restrito	Não	>25	3,42	4,55	3,30	1,43	63,60	0,52	2,65	0,70	0,45
T4a	Arbustivo (m. mortos) e herbáceo	não	Regeneração de cerrado	Não	21	2,84	1,80	3,71	1,71	61,99	0,50	3,96	1,06	4,80
T5a	Arbustivo, gramíneo e herbáceo	não	Cerrado sentido restrito	Não	>25	1,81	1,26	2,48	0,64	57,37	0,57	2,59	0,90	1,63
T6a	-	não	Regeneração de cerrado	Não	21	3,00	2,96	3,27	1,65	76,50	0,25	3,84	0,66	0,71
T7a	Gramíneo e arbustivo	sim	Regeneração de cerrado	Não	21	1,82	0,94	2,53	0,70	74,75	0,41	2,52	0,58	0,37
T8a	Gramíneo	sim	Regeneração de cerrado	Sim (1992)	12-21	4,77	3,31	3,23	1,25	77,59	0,36	2,04	0,16	0,15
T9a	Arbustivo	sim	Regeneração de cerrado	Não	21	2,43	2,06	3,12	1,15	55,32	0,67	2,81	0,70	0,80
T10a	Gramíneo e arbustivo	sim	Regeneração de cerrado	Não	12-21	1,84	1,71	2,47	0,70	81,81	0,19	2,63	0,48	0,69
T11a	Lianas e troncos de eucalipto	não	Regeneração de cerrado	Sim (1989)	12	1,95	1,81	2,23	0,59	83,46	0,22	2,16	0,84	0,80
T12a	Gramíneo e arbustivo	sim	Regeneração de cerrado	Não	12	1,70	0,74	2,31	0,61	84,03	0,20	2,97	0,36	0,64

Legenda: DAP = diâmetro na altura do peito, PAD = percentagem de abertura do dossel, IAF = índice de área foliar, IS = índice de Shannon, DT = densidade (árvores), UG = umidade gravimétrica
 \bar{x} = média, σ = desvio padrão

Os dados de DAP apresentam alta variância, com diâmetros que vão de 1,25 a 5,06cm, e que isoladamente não sugerem nenhum tipo de separação entre as subformações (Figura 5.3). Os dados apresentados nesse gráfico refletem a média de cada comunidade amostrada, o que pode ser considerado pertinente para dados de sensoriamento remoto, mas não suficiente para isolar as subformações, dado os diversos estratos que compõem o cerrado.

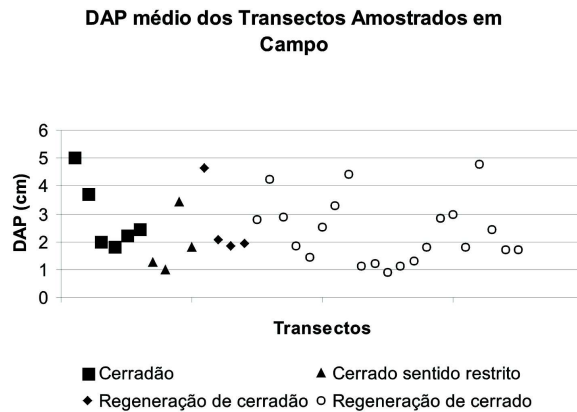


Figura 5.3: Gráfico de dispersão da média de diâmetro à altura do peito (DAP) para cada transecto.

Os dados de altura (Figura 5.4 a) não sugerem nenhuma diferenciação entre as subformações. Todas as subformações se encontram com médias entre 2 e 3,5 metros de altura, e que possuem um alto desvio padrão.

A densidade de árvores no cerrado é um fator muito variável, sobretudo quando se trata de áreas em regeneração. Essas áreas, caso não tenham sofrido nenhuma atividade antrópica recente ou não tenham sido completamente queimadas, são normalmente povoadas por um grande número de arbustos, que algumas vezes chegam a existir em maior número que as árvores em um cerradão. Por esse motivo, na Figura 5.4 b nenhum padrão pode ser identificado e, em alguns casos as áreas de regeneração de cerrado apresentam densidade maior que no cerradão.

Tendências mais sutis para a diferenciação de fitofisionomias são observadas com a porcentagem de abertura do dossel (PAD) e com o índice de área foliar (IAF) (Figura 5.5 a e b). No primeiro gráfico, as áreas de regeneração de cerrado no geral possuem os maiores valores de abertura, superiores a 50%. Como os dois dados derivam da mesma fonte, as fotografias hemisféricas, um comportamento semelhante é encontrado para as médias do IAF.

Ao analisamos a diversidade florística (Figura 5.6 a) também observamos uma leve tendência de separação dos dados: as áreas de cerradão e sua regeneração têm um índice de Shannon superior a 3. A umidade do solo foi diretamente relacionada com a densidade de

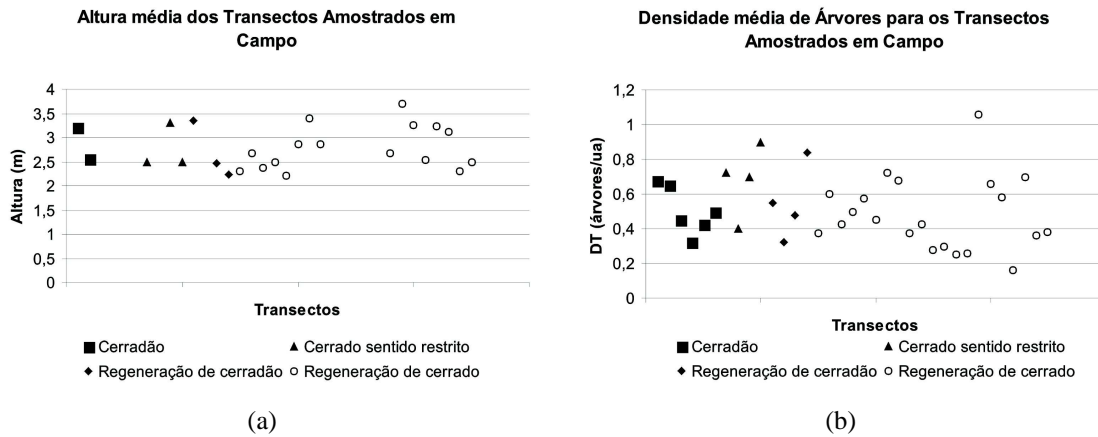
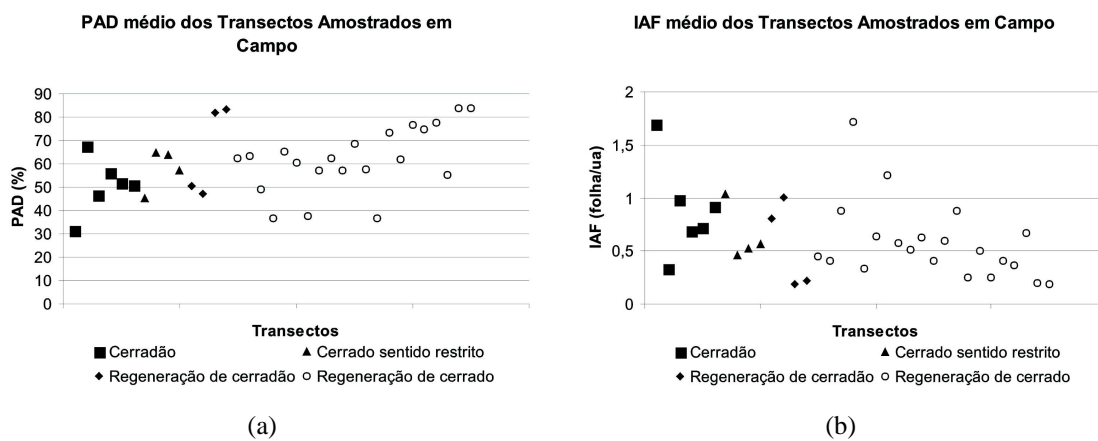


Figura 5.4: Gráfico de dispersão das médias de altura (a) e de densidade do transecto (b).



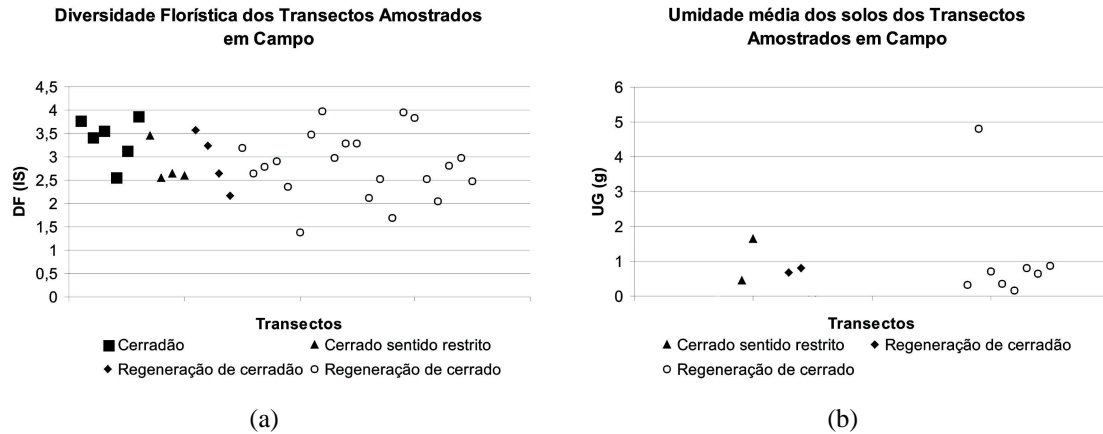


Figura 5.6: Gráfico de dispersão de diversidade florística (a) e de umidade gravimétrica (b).

árvores, mas este atributo sozinho não é capaz de diferenciar as fitofisionomias (Figura 5.6 b).

Ao contrapor os dados biogeofísicas com os dados extraídos do mapa de idades, não foi observada relação da idade das comunidades com os dados de DAP, Altura, PAD, IAF e umidade gravimétrica, mas três variáveis se destacaram: solo exposto, diversidade florística e densidade do transecto. Em 100% das amostras com idade igual ou superior a 25 anos, não foi observada a presença de solo exposto. De maneira geral, a maior parte das amostras com Índice de Shannon superior a 3,5 possui idade acima dos 25 anos. E das áreas com densidade de árvores acima de 0,5, 75% têm idade superior a 20 anos.

Nessa análise deve-se ressaltar que algumas medidas são mais diretamente ligadas à subformação do que propriamente aos dados de idade, acrescentando-se ainda o tipo de povoamento (espécies) ocorrido em uma área.

Os dados de campo, se for considerar as medidas de maneira individual, não sugerem fortes tendências para diferenciação entre subformações. As condições ambientais (edáficas e hídricas) e as interferências antrópicas se mostram determinantes para que, por vezes, áreas em regeneração tenham atributos semelhantes aos de áreas preservadas.

Porém deve-se pontuar que são diversos os estratos e espécies que compõem o ambiente em estudo, logo para alguns as médias de seus atributos não poderia ser suficiente para diferenciar as subformações, lógica essa que é válida para dados de sensoriamento remoto.

Ademais, fatores de interferência, como queimadas, corte e pisoteio por bovinos, ocorreram na área do Parque e podem ter conduzido comunidades do cerrado a se regenerar (povoamento, crescimento, estratos) de diferentes formas, sendo possivelmente uma razão para a grande variância intra-classe.

5.3 Análise de correlação entre os dados

Analisar a correlação existente entre cada imagem RADARSAT e os dados biogeofísicos permite avaliar qual ou quais variáveis influenciam mais fortemente no sinal radar, e da mesma forma qual ou quais variáveis são mais decisivas na resposta do NDVI. Esses resultados acabam por “indicar” que dados devem ser utilizados nos modelos de regressão linear, permitindo aqueles que demonstrem não possuir uma forte influência na resposta dos sensores remotos.

Primeiramente era necessário testar a linearidade dos dados e isso foi feito visualmente a partir dos gráficos de dispersão. Como o número de amostras é reduzido, as nuvens de pontos por vezes apresentam uma grande dispersão, mas sugerem uma distribuição linear, validando a utilização de modelos lineares para os dados deste estudo.

Uma matriz de correlação foi construída para testar a dependência entre os dados e averiguar a existência de colinearidade entre os dados (Tabela 5.2). Os coeficientes de correlação entre as imagens e os parâmetros biogeofísicos variaram de 0 (sem correlação) até 69% (correlação moderada a forte). A apresentação e discussão dos resultados foi dividida por sensor e por atributo para sistematizar a apresentação das informações. Cabe lembrar que dois estágios fenológicos da vegetação do cerrado foram avaliados, um correspondente ao período de estresse hídrico, no mês de setembro, e outro de aumento da biomassa, que corresponde ao mês de abril.

5.3.1 Correlação entre os dados RADARSAT e os dados biogeofísicos

Na Tabela 5.3 são apresentados apenas os coeficientes de correlação superiores a 25%. Os coeficientes de correlação inferiores a 25% são estatisticamente nulos, baseado em um universo de 35 amostras (Triola, 1999) e por isso não são utilizados nessa tabela.

Dos nove atributos testados somente os dados de diversidade florística, densidade do transecto, umidade gravimétrica e queimadas apresentaram correlações significativas com as imagens SAR.

Tabela 5.2: Correlação de Pearson entre os dados biogeofísicos e os dados de sensoriamento remoto

	R1 - S2A	R1 - S6A	R1 - S2S	R1 - S6S	NDVI _M	NDVI _A	DAP	PAD	IAF	DF	DT	Queimadas	Idade	Altura	UG	
R1 - S2A	1															
R1 - S6A	0,140	1														
R1 - S2S	0,274	0,153	1													
R1 - S6S	0,329	0,453**	0,398*	1												
NDVI _M	0,472*	0,319	0,423**	0,522**	1											
NDVI _A	0,475**	0,365*	0,500**	0,780**	0,780**	1										
DAP	-0,045	0,241	0,304	0,277	0,160	0,084	1									
PAD	-0,066	0,019	-0,220	-0,230	-0,204	-0,400*	-0,138	1								
LAI	0,001	-0,131	0,310	0,176	0,120	0,302	0,179	-0,914**	1							
DF	0,169	0,139	0,384*	0,199	0,379*	0,530**	0,300	0,357*	0,357*	1						
DT	0,447**	0,177	0,316	0,282	0,526**	0,599**	0,274	-0,081	0,086	0,379*	1					
Queimadas	-0,371*	0,286	0,187	0,114	0,050	-0,047	0,563**	0,103	0,005	0,097	0,173	1				
Idade	0,017	-0,033	0,137	0,126	0,138	0,341*	0,285	-0,359*	0,313	0,363*	0,337*	-0,084	1			
Altura	0,086	-0,199	0,205	-0,004	0,150	0,182	0,599**	-0,296	0,241	0,403	0,306	0,052	0,450*	1		
UG	0,694*	-0,251	0,303	-0,224	0,416	0,464	-0,009	-0,410	0,319	0,639*	0,688*	-0,203	0,239	0,470	1	

Legenda: DF = Diversidade Florística, DT = Densidade do Transecto, PAD = Porcentagem de Abertura do Dossel e UG = Umidade Gravimétrica.

*Correlação significativa ao nível de 0,01. **Correlação significativa ao nível de 0,05.

Tabela 5.3: Correlação entre os parâmetros biogeofísicos e os dados RADARSAT

Imagens	DAP	IAF	DF	DT	UG	Queimadas	Idade	Altura	PAD
$S2_A$	-	-	-	0,447*	0,694*	-0,371*	-	-	-
$S6_A$	-	-	-	-	-0,251	0,286	-	-	-
$S2_S$	0,300	0,310	0,384*	0,316	0,303	-	-	-	-
$S6_S$	0,277	-	-	0,282	-	-	-	-	-

* Correlações significativas até o nível de 0,05.

• **Diâmetro à altura do peito.** Nenhuma das imagens RADARSAT obteve correlação significativa com os dados de DAP, mas as imagens do período seco, independente do ângulo de incidência, se mostraram levemente superiores às imagens do período chuvoso, já que não há influência das formas de vida inferiores a 1,5m. A Figura 5.7 apresenta o gráfico de dispersão entre os dados de DAP e a imagem RADARSAT S2 de setembro.

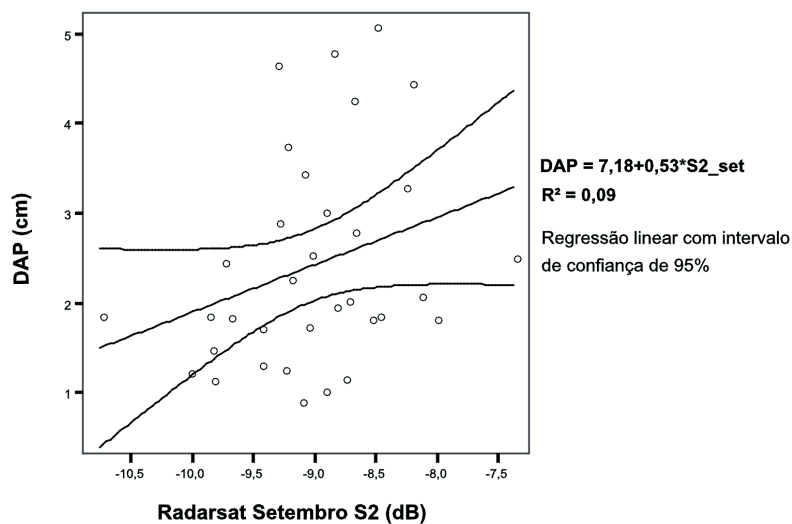


Figura 5.7: Gráfico de dispersão dos dados de DAP versus RADARSAT Setembro S2. A linha de regressão é também apresentada.

Nenhum padrão claro é definido na relação entre os dados RADARSAT e as médias de DAP dos transectos, apenas uma leve tendência de relação positiva ($r = 0,3$). Para comunidades com mesmo DAP observamos variações superiores a 2dB.

O DAP para árvores do cerrado é bastante variável e o desvio padrão é às vezes maior ou igual à própria média (Tabela 5.1). Isso retrata o próprio conjunto do cerrado, constituído

por árvores e arbustos de formas e tamanhos variados, mas que possuem uma sutil diferença entre o DAP das árvores, já que o diâmetro das maiores árvores raramente excede os 30 cm.

Da mesma forma, Townsend *et al.* (2000), em um estudo realizado em florestas secas e inundadas na Carolina do Norte e em Maryland, não encontraram correlação entre o DAP e os dados radar do RADARSAT-1, do JERS-1 e do ERS-1. Já Le Toan *et al.* (1992) ao relacionarem a biomassa de florestas de Pinus do Noroeste da França com dados SAR de sistema de imageamento por radar aerotransportado NASA/JPL encontraram correlações moderadas a fortes com as bandas L (HV e VV) e P (HV e VV), sendo mais fortes para banda P. Os autores atribuem à interação tronco-solo a principal contribuição para o retroespalhamento.

A interação entre os troncos do cerrado e as ondas radar do RADARSAT, nessa polarização e comprimento de onda, resulta em um pequeno retorno do sinal (Figura 3.9), além de haver uma maior interação com todos os elementos da vegetação e aumento do ruído.

• **Índice de área foliar e Porcentagem de abertura do dossel.** O IAF apresentou correlação apenas com a imagem de menor ângulo de incidência do período seco - S2 de setembro. Ainda assim essa correlação foi fraca ($r = 0,31$) e não significativa (Figura 5.8). É coerente que, com ângulos de incidência menores, o IAF apresente maior correlação, já que em ângulos de incidência maiores a interação muitas vezes fica restrita às copas, e em ângulos de incidência menores há maior penetração do sinal radar no dossel. Mas por outro lado, quando isso ocorre, o sinal que retorna ao radar também leva outros tipos de informação da superfície (littera, gramíneas, herbáceas, solo).

Na tentativa de obter melhor correlação, os dois pontos anômalos do conjunto foram retirados ($IAF > 1,6$), porém não houve nenhuma melhoria, e nenhum padrão é definido (Figura 5.8). Algumas comunidades com o mesmo IAF têm diferenças de retorno do sinal de até 3dB. Resultado semelhante foi encontrado por Townsend *et al.* (2000) para os dados RADARSAT. Os autores obtiveram correlações positivas apenas com o ERS-1 (VV), em florestas em terras secas, nas quais o IAF apresentou $r = 68\%$. Eles sugerem que para detectar o IAF e a abertura da copa com dados RADARSAT é necessário utilizar dados com múltiplas bandas e polarizações, pois em florestas decíduas e semi-decíduas essas variáveis são altamente dependentes do estágio fenológico.

Para os dados de PAD a dependência entre os dados foi muito fraca, negativa e não significativa com as imagens do mês de setembro. A relação com as imagens do mês de abril foi nula (Tabela 5.2). Dados do período chuvoso são influenciados pelos estratos inferiores da vegetação (herbáceas e gramíneas), sendo estes muito reduzidos no período seco. O retroespalhamento do radar acaba somando essas informações às do dossel.

Apesar da fraca correlação, não significativa, tanto para a PAD quanto para o IAF, uma tendência coerente foi observada: o PAD apresenta correlações negativas com os dados radar e o IAF positivas.

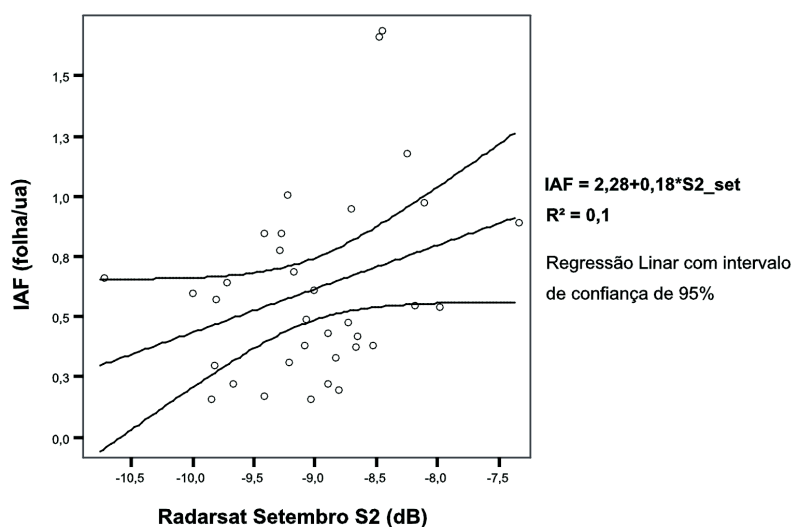


Figura 5.8: Gráfico de dispersão dos dados de IAF versus RADARSAT Setembro S2. A linha de regressão é apresentada.

Ao correlacionarem imagens RADARSAT de diversas datas com parâmetros estruturais da vegetação, Townsend (2002) normalmente não encontrou correlações fortes e nem significativas para o IAF e para a PAD, sobretudo quando se tratava de florestas secas. De acordo com Paloscia (2002), embora a contribuição da banda C possa ser útil para adicionar qualquer tipo de informação de copas, a banda L provém uma melhor capacidade para estimativas do IAF, principalmente em polarização HV.

• **Diversidade Florística.** A diversidade florística do cerrado se correlacionou positivamente com os dados SAR, mas apenas com a imagem S2 de setembro essa correlação foi significativa (Figura 5.9), porém fraca a moderada ($r = 38\%$).

A maturidade da vegetação é o fator que mais se destaca nessa relação, influenciando diretamente na aparência da comunidade, em especial nas características do dossel. Comunidades mais jovens tendem a possuir um número reduzido de espécies e um dossel mais contínuo. O fato que a imagem S2 apresenta uma maior penetração no dossel explica esses resultados pois, nesta configuração os impulsos de microondas conseguem atingir o estrato inferior. A estação seca se mostrou mais apta para estimativa de dados de DF porque nesse período a umidade do solo é pequena e não interfere fortemente na resposta da vegetação.

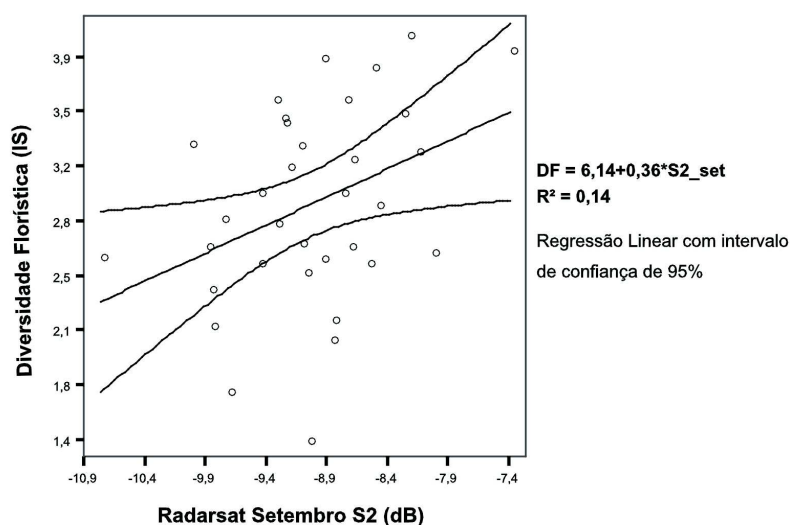


Figura 5.9: O gráfico apresenta a relação entre os dados de Diversidade florística e os dados SAR. A linha de regressão é também apresentada.

• **Densidade do Transecto.** Imagens com menores ângulos de incidência obtiveram maior correlação com a densidade do transecto. Ângulos de incidência maiores possuem uma maior interação com os galhos e troncos das copas o que conduz a uma maior saturação da resposta do sensor e conseqüente redução da sua capacidade de diferenciação do “espaço” entre as árvores. Ângulos de incidência menores apresentam uma maior capacidade de penetração no dossel e maior interação entre o solo e os troncos das árvores.

No período chuvoso há ainda um aumento significativo nos valores de retroespalhamento em virtude do aumento de água contida nos solos e na vegetação. Há, em conseqüência, uma maior participação do retroespalhamento direto e volumétrico no sinal que retorna para o radar. A união das duas características da imagem RADARSAT S2 de abril, menor ângulo de incidência e maior umidade no ambiente, fez com que ela obtivesse uma correlação moderada e significativa com os dados de densidade do transecto (Figura 5.10).

• **Umidade Gravimétrica.** A umidade do solo tem influência direta sobre o retroespalhamento da imagem RADARSAT S2 do mês de abril, com $r = 0,69$. Removendo-se o ponto anômalo ($UG > 4$) o coeficiente de correlação passou a ser 0,75 (Figura 5.11), com um modelo bem ajustado que possui a maior parte dos pontos dentro do intervalo de confiança. Apesar das imagens do período seco oferecerem um maior contraste entre as áreas vegetadas e não vegetadas, elas não oferecem a maior diferenciação entre solos mais secos ou mais

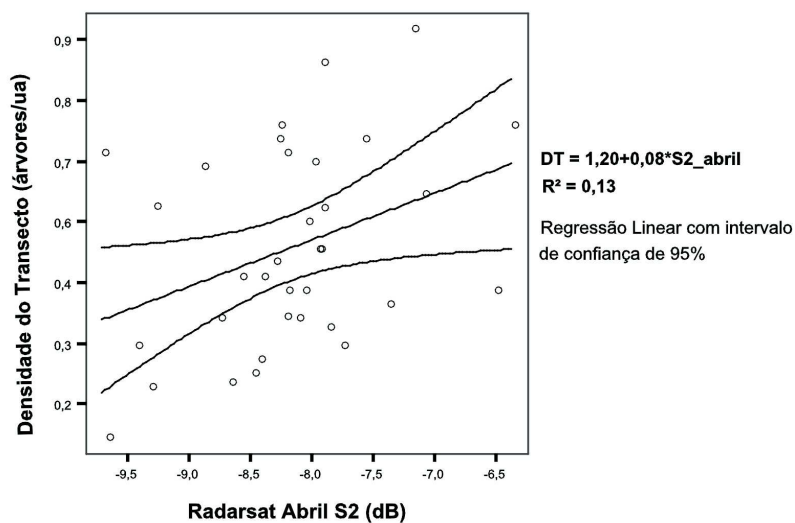


Figura 5.10: O gráfico apresenta a relação entre os dados de Densidade do transecto e os dados SAR. A linha de regressão é também apresentada.

úmidos. O período chuvoso oferece maior disponibilidade hídrica para todos os solos, mas por outro lado as diferenças entre os solos se tornam mais evidentes, haja vista que no período seco todos os solos apresentam baixa umidade, pouco sensível às imagens radar. Os solos da área de estudo são arenosos, com estrutura fraca, e apresentam uma baixa tensão superficial. Essas características permitem a rápida percolação da água no solo, mas basta uma pequena diferenciação na composição dos solos (maior quantidade de silte e argila), para que a tensão superficial aumente e, conseqüentemente, mais água seja retida no solo. Ademais a constante dielétrica dos solos também aumenta, o que provoca o aumento do retroespalhamento.

Ângulos de incidência menores têm demonstrado serem mais úteis para estimar a relação entre umidade do solo e o sinal radar, especialmente em um contexto de vegetação aberta. Outros trabalhos, como o de Dechambre (2003) que testou a relação entre a umidade do solo e dados obtidos a partir de um radar aerotransportado (C-HH) a ângulos de incidência de 20° e 40°, também têm encontrado forte correlação entre os dados SAR e umidade dos solos.

- **Queimadas.** A imagem S2 do mês de abril apresentou correlação negativa e significativa com os dados de incêndios, contudo foi fraca a moderada ($r = 37\%$). Dentre os pontos amostrados, desde 1996, nenhuma queimada ocorreu. *In loco* a principal evidência de que a área sofreu ação do fogo é observada no tronco das árvores. Como efeito do fogo, há a destruição das camadas celulares sub e superficiais, e a principal característica química

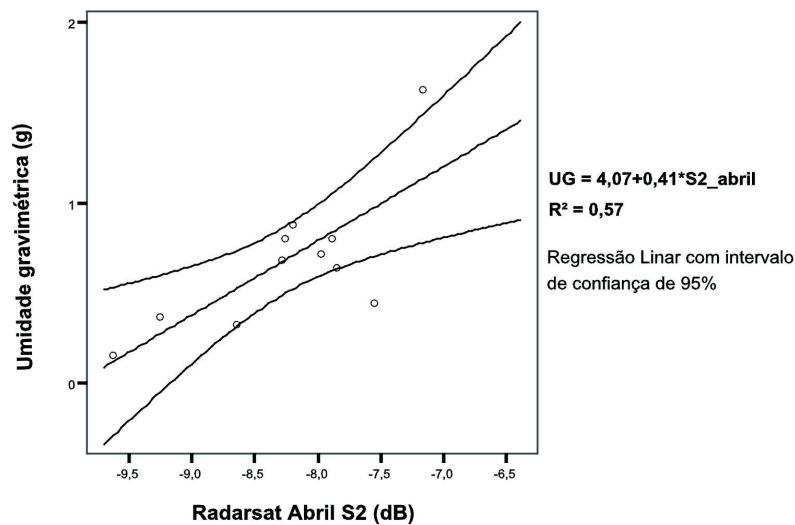


Figura 5.11: O gráfico apresenta a relação entre os dados de Umidade dos solos e os dados SAR. A linha de regressão é também apresentada.

é a perda da capacidade de retenção de água. Isso pode explicar a correlação negativa, já que nesses casos a constante dielétrica se torna muito baixa. Por possuir uma maior penetração no dossel e conseqüente aumento do retroespalhamento “double-bounce”, a imagem com menor ângulo de incidência do período chuvoso foi melhor para estimar este parâmetro. Uma maior correlação possivelmente só não foi obtida porque há 8 anos, contados até a aquisição dos dados de sensoriamento remoto, não ocorrem incêndios.

Em áreas que sofreram incêndios recentes Menges *et al.* (2004) encontram bons resultados e concluíram que a banda C-HH foi afetada suficientemente pelo fogo para detectar e mapear as cicatrizes de incêndios em savanas tropicais no norte da Austrália. Isto nos leva a acreditar que áreas de cerrado que sofreram recentemente a ação do fogo podem ser identificadas através de dados RADARSAT S2 de períodos chuvosos.

- **Idade.** A idade é um atributo que está indiretamente associado a diversos parâmetros que caracterizam as comunidades vegetais, tal como a altura média das árvores, a densidade média de árvores e, em especial, a biomassa. No entanto essas relações são complexas e influenciáveis por outros fatores externos ou internos, como queimadas ou mudanças na disponibilidade hídrica do ambiente.

As correlações dos dados de idade com dados SAR foram nulas, obtendo resultado semelhante a outras pesquisas que utilizaram dados radar banda C-HH em outras fitofisionomias

(Jaton e Thomson, 1994).

• **Altura.** Os dados de altura das comunidades não se correlacionaram com os dados RADARSAT em nenhuma estação e em nenhum ângulo de incidência (Tabela 5.2). A interação das ondas radar com a vegetação do cerrado, nesse comprimento de onda e nessa polarização, quando não restrita às copas quando essas são densas, apresentam um grande número de interações entre os elementos arbóreo e arbustivos e entre a superfície, aumentando o ruído e comprometendo a qualidade do sinal.

A metodologia de amostragem pode também ter sido falha em alguns aspectos, já que somente as árvores ou arbustos com altura superior a 1,5m foram amostrados³. E por problemas operacionais, o universo de amostragem desses dados foi inferior ao do restante dos dados, com $n = 24$.

Mesmo sem esses problemas outros trabalhos realizados em diferentes fitofisionomias sugeriram resultados semelhantes. Townsend *et al.* (2000) não obtiveram correlação entre os dados de altura e dos dados RADARSAT, apenas para áreas inundadas a relação foi significativa ($r = 60\%$). Espírito-Santo (2003) em um estudo na Amazônia brasileira concluiu que, para dados RADARSAT, a diferenciação da vegetação está mais diretamente relacionada às características geomorfológicas do que propriamente com as características de retroespalhamento.

Experiências que utilizam aspectos 3D para estimar a altura do dossel obtiveram melhores resultados com dados RADARSAT, podendo ser citado o trabalho de Toutin e Amaral (2000). No entanto, os autores afirmam que florestas pouco densas e heterogêneas não são boas candidatas para esse método porque as medidas estéreo podem não ser representativas da altura do dossel devido às maiores interações do radar com os troncos e com o solo, o que nos dá um indicativo da razão de não haver correlação dos dados de altura com os dados RADARSAT. Jaton e Thomson (1994) afirma que a banda L, tanto em polarização HH quanto em HV, é mais apropriada para discriminar a altura das árvores.

5.3.2 Correlação entre os dados de NDVI e os dados biogeofísicos

Da mesma forma que para os dados radar, apenas os coeficientes de correlação superiores a 25% são apresentados na Tabela 5.4.

De maneira geral, as correlações entre os dados biogeofísicos e os dados de NDVI foram mais fortes que para os dados SAR. A idade das comunidades, a densidade do transecto, a diversidade florística e a porcentagem de abertura do dossel apresentaram correlações significativas com os dados de NDVI.

³Adotou-se esse parâmetro para possibilitar a coleta dos dados de diâmetro à altura do peito.

Tabela 5.4: Correlação de Pearson entre os parâmetros biogeofísicos e os dados de NDVI do CBERS-2.

Imagens	PAD	IAF	IS	DT	UG	Idade	DAP	Altura	Queim.
$NDVI_M$	-	-	0,379*	0,526*	0,416	-	-	-	-
$NDVI_A$	-0,400*	0,302	0,530*	0,599*	0,464	0,341*	-	-	-

* Correlações significativas até o nível de 0,05.

• **Porcentagem de abertura do dossel e Índice de área foliar.** Os dados de IAF e de PAD são derivados do mesmo produto, as fotografias hemisféricas, mas somente os dados de PAD, *a priori*, obtiveram correlação significativa com o NDVI.

A relação entre os dados de PAD e NDVI foi significativa e negativa (Figura 5.12), isto porque o NDVI expressa a quantidade de matéria verde existente na superfície e, quanto maior a abertura do dossel, menores são os valores de NDVI.

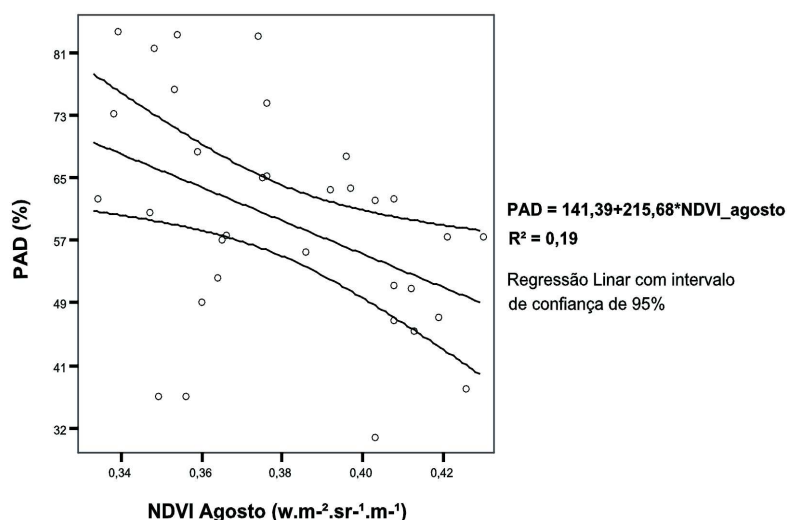


Figura 5.12: O gráfico apresenta a relação entre os dados de PAD e os dados de NDVI do CBERS-2. A linha de regressão é também apresentada.

Como a correlação não era significativa com os dados de IAF, dois pontos anômalos com $IAF > 1,6$ foram removidos do conjunto e a correlação passou a ser significativa, com $r = 0,42$.

Ao observar a Figura 5.13, que traz o gráfico de dispersão entre os dados de NDVI e IAF sem os pontos anômalos, nota-se que os dados se concentram entre os valores 0.34 a 0.45 de NDVI, amplitude pequena diante da variação constatada em campo. Portanto, pode-se inferir que em áreas que apresentam grande cobertura foliar, os dados de NDVI extraídos de

dados CBERS-2 apresentam saturação.

Para Kuntschik (2004), a falta de correlação entre dados de sensoriamento remoto e o IAF pode estar relacionada a este levar em consideração os galhos e os troncos no cálculo. Já em ambientes de cerrado onde alterações não foram tão presentes e não ocorre um mosaico de subformações, o NDVI apresenta bons resultados para estimativas de IAF, como no estudo realizado por Ferreira *et al.* (2003) com dados ETM+.

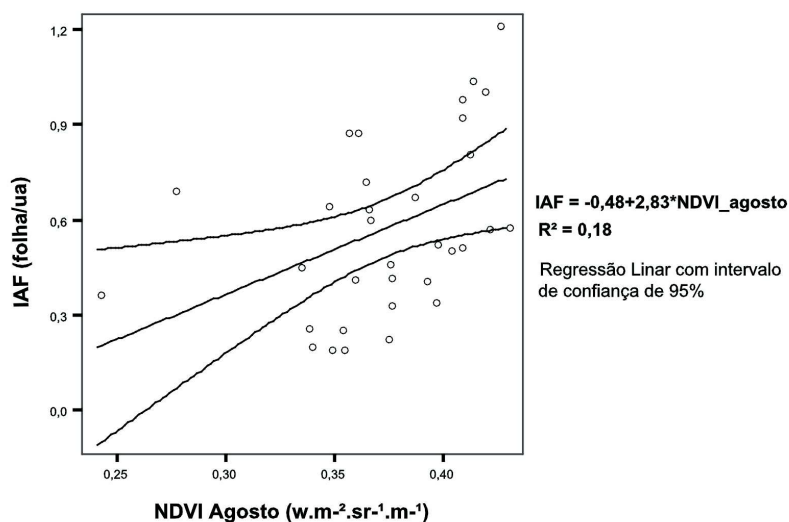


Figura 5.13: O gráfico apresenta a relação entre os dados de IAF e os dados de NDVI do CBERS-2. A linha de regressão é também apresentada.

● **Diversidade florística.** A DF apresentou correlação significativa com os dados de NDVI nos períodos seco e chuvoso. Porém, no período seco a correlação foi um pouco maior, com $r = 53\%$ (Figura 5.14).

Na Tabela 5.2 é possível observar que os dados de DF apresentam correlação significativa com muitos dos parâmetros avaliados (PAD, IAF, DT, idade e UG), todos diretamente ligados à maturidade da vegetação. A correlação entre os dados de DF e NDVI sugere estar mais relacionada à simples razão do vegetado *versus* não vegetado do que propriamente à formas de vida (apesar da sensibilidade do NDVI já ter sido constatada para algumas fitofisionomias), pois quando observamos a Figura 5.14 vemos que muitas amostras com DF relativamente alta apresentam valores de NDVI baixos. O período seco apresenta uma relação mais forte em virtude do número de herbáceas e gramíneas ser drasticamente reduzido na maior parte das áreas amostradas, correspondentes a áreas em regeneração.

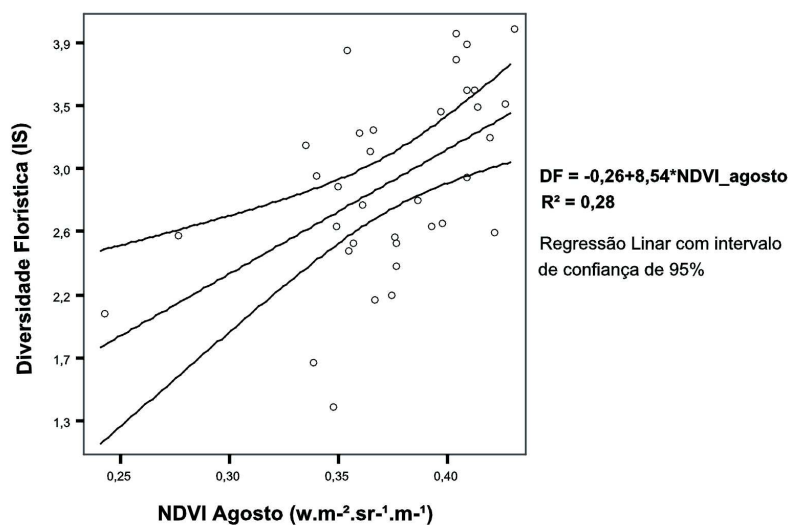


Figura 5.14: O gráfico apresenta a relação entre os dados de DF e os dados de NDVI do CBERS-2. A linha de regressão é também apresentada.

- **Densidade do Transecto.** As melhores correlações com os dados de NDVI foram obtidas com as médias de DT. Tanto para a imagem do período chuvoso, como para a imagem do período seco, o coeficiente de correlação foi superior a 50%.

Assim como para dados Landsat ETM+, dados CBERS-2 apresentaram correlação com a densidade de árvores em áreas de cerrado. A imagem NDVI do período seco se mostrou levemente superior com $r = 60\%$ (Figura 5.15), já que nesse período a influência do estrato inferior (herbáceas e gramíneas) é menor e a maior parte da reflexão na banda 4 é oriunda das árvores e arbustos.

- **Idade.** A imagem NDVI de setembro apresentou correlação com os dados de idade. Essa correlação foi de fraca a moderada, positiva e significativa ($r = 34\%$) e provavelmente está ligada à densidade de árvores.

5.3.3 Discussão

A relação entre os dados de NDVI e de PAD e de Idade das comunidades foi de fraca a moderada, e de DF e de DT apresentaram relação moderada a forte, indicando que esses parâmetros biofísicos podem ser utilizados em modelos que envolvam os dados de NDVI do CBERS-2. Foi novamente evidenciada a superioridade do período seco para diferenciar a

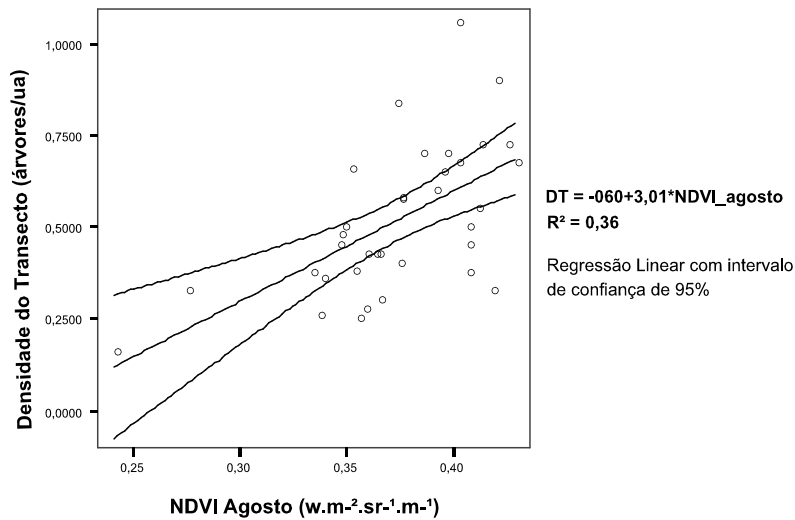


Figura 5.15: O gráfico apresenta a relação entre os dados de DT e os dados de NDVI do CBERS-2. A linha de regressão é também apresentada.

vegetação de cerrado do PEVP, como já constatado por Maillard e Gomes (2003) e Gomes e Maillard (2003b) em estudos com dados ETM+ no PEVP.

Apenas as imagens com ângulo de incidência entre 24° e 31° (S2), apresentaram alguma correlação com os atributos biofísicos da vegetação e com a umidade do solo. A melhor sequência de correlações estatisticamente significativas foi observada com a imagem RADARSAT S2 do período chuvoso, que apresenta relação com os dados de DT, Queimadas e UG, tendo esta obtido o melhor coeficiente de correlação, $r = 69\%$. A imagem S2 de setembro apresentou correlação apenas com os dados de DF ($r = 38\%$). As outras duas imagens RADARSAT S6 não foram correlacionadas com nenhum atributo biogeofísico do cerrado.

As Imagens S6 sofrem maior atenuação do sinal. As ondas radar ficam muitas vezes “retidas” no próprio dossel e há um maior número de interações entre as folhas, galhos e ramos do dossel. Como imagens S2 têm maior capacidade de penetração inter e entre-copas, uma maior dependência entre os atributos biogeofísicos do cerrado é observada, revelando que em banda C-HH há um maior retorno do sinal da vegetação do cerrado com ângulos de incidência menores e com a elevação do conteúdo de umidade nos solos e na vegetação.

A umidade dos solos foi a principal responsável pelo retroespalhamento da imagem RADARSAT S2 do período chuvoso, seguida pela densidade de árvores. Nesse contexto, as condições climáticas foram fundamentais, pois o conteúdo hídrico sobre as folhas, con-

tido nas folhas e no solo resultaram em um aumento dos valores de retroespalhamento na banda C-HH.

Mas de maneira geral, baixos valores de σ^0 foram observados para a vegetação, o que sugere que o dossel do cerrado se apresenta como um atenuador das microondas, que gera baixos coeficientes de retroespalhamento e apresenta grande homogeneidade e muito ruído. A pequena biomassa vegetal existente, sobretudo nas áreas de regeneração de cerrado, também leva à uma pequena rugosidade (nesta frequência) e, conseqüentemente, baixos níveis de σ^0 (Suga *et al.*, 1999).

Não se pode deixar de mencionar que falhas na metodologia de amostragem dos dados podem ser parcialmente responsáveis pela fraca relação entre os dados, sobretudo para os dados SAR. O tamanho das amostras foi bastante reduzido ($n = 35$), o tamanho do transecto (20m) foi limitado e algumas etapas metodológicas foram adaptadas (como por exemplo a aquisição de fotografias hemisféricas), tudo em função de dificuldades, tanto para obtenção de material necessário à aquisição dos dados, quanto à disponibilidade de recursos humanos e financeiros nas campanhas de campo.

A Tabela 5.5 traz a síntese dos resultados obtidos a partir das correlações entre os dados SAR e os dados biogeofísicos.

Tabela 5.5: Síntese dos resultados de correlação entre atributos biogeofísicos e os dados SAR.

Atributo	Correlação	Estação fenológica	AI	Interpretação
DAP	Fraca a Moderada, positiva, não significativa	Seca	S2 e S6	Em banda C-HH ocorre um grande número de interações entre elementos arbóreos e arbustivos, havendo maior interação entre os troncos e o solo.
IAF	Fraca a Moderada, positiva, não significativa	Seca	S2	Dossel do cerrado funciona como atenuador do sinal radar em banda C-HH.
PAD	Fraca, negativa, não significativa	Seca	S2 e S6	Dossel do cerrado funciona como atenuador do sinal radar em banda C-HH.
DF	Fraca a Moderada, positiva, significativa	Seca	S2	Ângulos de incidência menores permitem maior penetração no interior do dossel. No período seco há diminuição da constante dielétrica. Relacionada com a maturidade da vegetação.
DT	Fraca a Moderada, positiva, significativa	Chuvosa	S2	Ângulos de incidência menores permitem maior penetração no interior do dossel, que aliado ao período chuvoso, com maior constante dielétrica no ambiente, possibilitam aumento da interação tronco-solo e do retroespalhamento direto.
UG	Moderada a forte, positiva, significativa	Chuvosa	S2	Aumento na constante dielétrica dos solos no período chuvoso. Ângulos de incidência menores permitem maior penetração no dossel, com aumento do retroespalhamento direto do solo.
Queimadas	Fraca a Moderada, negativa, significativa	Chuvosa	S2	Ângulos de incidência menores permitem maior penetração no interior do dossel e em áreas queimadas há diminuição da constante dielétrica, com menor retorno na interação tronco-solo.
Idade	Nula	-	-	Determinada por relações complexas.
Altura	Nula	-	-	Em banda C-HH ocorre um grande número de interações entre elementos arbóreos e arbustivos, havendo maior interação entre os troncos e o solo.

5.4 Modelagem dos Dados

5.4.1 Dados de Sensoriamento Remoto para modelar dados Biogeofísicos

Visualmente as imagens SAR oferecem pouco contraste, sobretudo as imagens do período chuvoso, que possuem um efeito bastante suavizado e uma pequena diferenciação das subformações do cerrado. Isto se torna mais evidente quando comparamos a aparência relativamente homogênea das imagens RADARSAT da Figura 4.1 com a Figura 4.2 (imagem CBERS) na qual fortes contrastes podem ser observados.

Os valores de retroespalhamento são normalmente baixos, entre -9 e -7 dB. Os maiores valores de σ^0 foram observados para as áreas de veredas (até -5 dB), já que são áreas inundadas, com alta constante dielétrica e aumento do sinal através do retroespalhamento double-bounce. Entre as subformações do cerrado em terras secas pouca diferença é percebida em termos de retroespalhamento, à exceção dos extremos (quase ausência de cobertura vegetal ou cobertura vegetal densa), que ficam em torno de -12 a -7 dB.

O potencial de cada imagem SAR e de NDVI para estimar cada atributo biogeofísico foi avaliado na seção anterior (5.3). Nesta seção é avaliada a união de diferentes ângulos de incidência, diferentes estações fenológicas e dos dados óticos para melhorar as estimativas de cada parâmetro analisado. A regressão linear múltipla é utilizada para tal fim.

Os valores de α do teste de probabilidade F da ANOVA foram estabelecidos até 0.01 para testar a significância dos modelos, sendo portanto estipulada a máxima probabilidade de erro estatístico. A análise dos resíduos das regressões foi feita visualmente a fim de verificar se os erros possuíam: distribuição normal, média zero, variância constante e independência. A violação desses pressupostos significa que a utilização do modelo deve ser posta em causa.

Nas análises de regressão, cada um dos nove parâmetros foi analisado independentemente com todas as combinações possíveis entre os dados de sensoriamento remoto. A Tabela 5.6 apresenta os coeficientes de determinação (R^2) resultantes das regressões. O melhor R^2 para cada atributo está em negrito, mesmo que não significativo.

A maior parte das regressões realizadas não obteve resultados significativos. Os modelos de regressão baseados em dados RADARSAT e em dados NDVI do CBERS-2 não foram capazes de estimar o DAP, a PAD, o IAF, a Altura e a Idade das comunidades de cerrado e, portanto, não rejeitam a hipótese de que não explicam quaisquer variações no total das variáveis dependentes ($H_0 : \beta_i = 0$).

A combinação entre as imagens de NDVI foi capaz de prever a diversidade florística ($R^2 = 0,284$), mas dessa junção a imagem do período seco foi a principal responsável pela predição, já que sozinha apresentou coeficiente de determinação para DF igual a 0,281. A análise dos resíduos demonstrou que os erros possuem distribuição normal, são independentes, de média nula e variância constante. O teste F foi significativamente maior que 1

Tabela 5.6: Coeficiente de determinação (R^2) entre os dados biogeofísicos e os dados de sensoriamento remoto.

Imagens	DAP	IAF	PAD	DF	DT	Altura	UG	Queimadas	Idade
$S2_A+S6_A+S2_S+S6_S$	0,172	0,163	0,092	0,158	0,251	0,099	0,842*	0,323*	0,036
$S2_A+S6_A+S6_S$	0,114	0,072	0,091	0,055	0,224	0,055	0,722	0,267	0,027
$S2_A+S2_S+S6_S$	0,154	0,110	0,074	0,153	0,246	0,051	0,715	0,253	0,027
$S6_A+S2_S+S6_S$	0,140	0,151	0,091	0,155	0,133	0,087	0,369	0,108	0,034
$S2_A+S6_A+S2_S$	0,155	0,134	0,051	0,158	0,249	0,096	0,556	0,322*	0,022
$S2_A+S6_A$	0,064	0,018	0,005	0,042	0,213	0,054	0,538	0,254	0
$S2_S+S6_S$	0,121	0,099	0,073	0,150	0,117	0,045	0,142	0,037	0,025
$S2_A+S2_S$	0,110	0,104	0,048	0,152	0,240*	0,046	0,506	0,228	0,019
$S6_A+S6_S$	0,093	0,087	0,072	0,043	0,083	0,040	0,155	0,082	0,026
$S2_A+S6_S$	0,131	0,129	0,053	0,154	0,220	0,008	0,602	0,201	0,016
$S6_A+S2_S$	0,131	0,129	0,051	0,154	0,117	0,086	0,142	0,103	0,142
$S2_A+S6_A+S2_S+S6_S+NDVI_A$	-	-	0,224	0,323	0,397*	-	-	-	0,176
$S2_A+S6_A+S2_S+NDVI_A$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$S2_A+S6_A+NDVI_A$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$S2_A+S2_S+NDVI_A$	-	-	-	-	0,392*	-	-	-	-
$NDVI_M+NDVI_A$	-	-	0,190	0,284*	0,367*	-	-	-	0,158
$S2_A+NDVI_A$	-	-	-	-	0,392*	-	-	-	-
$S2_A$	-	-	-	-	-	-	0,481	-	-
$NDVI_A$	-	-	-	0,281*	0,358*	-	-	-	-

Legenda: DF = Diversidade Florística, DT = Densidade do Transecto, PAD = Porcentagem de Abertura do Dossel e UG = Umidade Gravimétrica. * Significativo até o nível de 0.01.

e nos dois casos os modelos rejeitam H_0 . A Equação 5.1 apresenta o modelo de regressão linear simples para prever a diversidade florística do cerrado, que apesar de significativo, é pouco ajustado.

$$DF = -0.258 + 8.544NDVI_A \quad (5.1)$$

Nenhuma das imagens radar foi capaz de prever a DF, mostrando que apenas o NDVI, em especial extraído da imagem do período seco, é sensível à composição da vegetação.

Tanto as imagens SAR quanto as imagens de NDVI foram capazes de produzir modelos válidos ($\beta_i \neq 0$) para prever, de maneira fraca, a densidade de árvores do cerrado. No entanto, apenas as imagens radar S_2 explicaram a variável dependente, apresentando $R^2=0,24$. A união das imagens radar S_2 com a imagem de $NDVI_A$ produziu o melhor modelo (Equação 5.2), que rejeita H_0 . A análise visual dos resíduos da regressão permitiu concluir que os erros apresentam distribuição normal, são independentes, possuem média nula e variância constante.

Na Tabela 5.6 é possível observar que o modelo de regressão linear simples, no qual a imagem $NDVI_A$ prevê DT, apresentou R^2 muito próximo do modelo gerado com as imagens SAR. Ainda no modelo apresentado (Equação 5.2) a imagem de NDVI possui o maior peso.

$$DT = -0.01238 + 0.530S2_A + 2.508NDVI_A \quad (5.2)$$

A Tabela 5.6 mostra que o coeficiente de determinação para a imagem $S2_A$ em relação à UG, obteve um valor R^2 de 50%, mas não se trata de um modelo válido. De todos os

modelos gerados, o modelo mais bem ajustado foi o de umidade gravimétrica utilizando todas as imagens SAR.

As quatro imagens SAR explicaram juntas 89% da variação e geraram um modelo válido que rejeita a hipótese nula (Equação 5.3). Isso revela que os dados SAR nos dois ângulos de incidência e nos dois estágios fenológicos do cerrado respondem predominantemente à umidade contida no horizonte superficial do solo. Os erros gerados nesse modelo apresentam distribuição normal, são independentes, possuem média nula e variância constante, logo a utilização desse modelo não deve ser posta em causa.

$$UG = -5.426 + 1.094S2_A - 0.790S6_A + 0.898S2_S - 1.637S6_S \quad (5.3)$$

Todos os predizentes apresentam pesos relativamente forte nesse modelo, o que significa que imagens em diferentes ângulos de incidência e diferentes estações do ano são necessárias para estimar dados de umidade dos solos em áreas análogas à área de estudo.

A Figura 5.16 traz o resultado da aplicação do modelo gerado para estimar a umidade dos solos. Quanto mais próximo do azul, menor a umidade contida nos solos e, quanto mais próximo do vermelho, maior a umidade gravimétrica existente nos solos do PEVP. Ao analisarmos o mapa, é possível observar que as áreas próximas aos cursos d'água e os próprios cursos d'água possuem UG próxima a 5. Note que o limite do PEVP em Noroeste e Norte, que passa pela margem direita do rio Peruaçu, e todas as lagoas apresentam concentração de manchas vermelhas e alaranjadas. Ao contrário, nas áreas de pastagens observamos a predominância da baixa umidade dos solos, como na área pertencente à fazenda Janasa (Leste).

A união de todas as imagens SAR produziu um modelo válido que prediz a ocorrência de queimadas. Porém, a imagem $S6$ de setembro não tem influência sobre o modelo. A Equação 5.4 apresenta o modelo com as imagens $S2$ de abril e setembro e $S6$ de abril para prever as queimadas. Esse modelo aceita a hipótese de explicar parcialmente a variável dependente ($\beta_i \neq 0$), sendo um modelo pouco ajustado, com R^2 igual a 0,323. A análise dos resíduos mostrou que os erros possuem uma distribuição normal, são independentes, possuem média nula e variância constante.

$$Queimadas = 1.067 - 0.217S2_A + 0.153S6_A + 0.147S2_S \quad (5.4)$$

Os modelos baseados em todos os dados RADARSAT sozinhos não foram capazes de prever de maneira moderada ou forte qualquer uma das medidas alométricas da vegetação de cerrado, tanto para comunidades maduras quanto para as comunidades em regeneração. Porém foram úteis para prever de maneira fraca a ocorrência de queimadas, e de maneira forte a umidade dos solos.

Apesar dos dados de umidade conterem um pequeno número de amostras ($n = 12$), o modelo gerado é estatisticamente válido, já que a recomendação de que o número de

variáveis independentes seja 3 vezes menor que o número de amostras da variável dependente foi cumprida (Groebner e Shannon, 1993). Diante dos resultados pode-se afirmar que esse modelo obteve uma boa performance, mesmo com um pequeno número de amostras. Aumentar esse número reduziria os erros e melhoraria ainda mais a performance do modelo, já que outros tipos de solo, com maior ou menor umidade poderiam ser amostrados .

As imagens com menor ângulo de incidência (S_2) foram mais úteis para explicar a DT, única variável biofísica que conseguiu ser predita pelos dados SAR, reiterando que em banda C-HH os impulsos não penetram bem no dossel a grandes ângulos de incidência. Unir essas imagens com a imagem $NDVI_A$ tendeu a melhorar os resultados para modelagem da densidade de árvores em comunidades do cerrado.

Adicionar a imagem $NDVI_M$ tendeu a piorar todos os modelos, o que reforça que para quaisquer estimativas de atributos do cerrado a estação fenológica seca se destaca. A imagem $NDVI_A$ sozinha foi capaz de prever a diversidade florística e a DT, se mostrando mais apropriada que as imagens SAR para parâmetros estruturais e de composição da floresta.

A Tabela 5.7 apresenta a síntese dos resultados.

Tabela 5.7: Síntese dos resultados da modelagem entre os dados biogeofísicos e os dados de sensoriamento remoto.

Variável Dependente	Pode ser Estimado ($H_0 : \beta_i) \neq 0$	Dado de Sensoriamento Remoto	R^2	Comentário
DAP	Não	-	-	Radarsat-1 (S2 e S6) e NDVI de CBERS-2 sozinhos não foram capazes de estimar esta medida alométrica.
IAF	Não	-	-	Radarsat-1 (S2 e S6) e NDVI de CBERS-2 sozinhos não foram capazes de estimar este componente da arquitetura do dossel.
PAD	Não	-	-	Radarsat-1 (S2 e S6) e NDVI de CBERS-2 sozinhos não foram capazes de estimar este componente da arquitetura do dossel.
DF	Sim	$NDVI_A$	0,281	NDVI de CBERS-2, na estação seca, se mostrou sensível à composição da vegetação de cerrado.
DT	Sim	$NDVI_A + S_{2A}$	0,392	NDVI de CBERS-2, na estação seca, tem sensibilidade para estimar parâmetros estruturais do cerrado. Radarsat S2 do período chuvoso possui significativo retorno da interação tronco-solo.
UG	Sim	$S_{2A} + S_{6A} + S_{2S} + S_{6S}$	0,842	Radar C-HH se mostrou sensível à umidade contida no horizonte superficial do solo em áreas de cerrado. Parte significativa do sinal radar é composto pelo retroespalhamento direto do solo.
Queimadas	Sim	$S_{2A} + S_{6A} + S_{2S}$	0,323	Parte do sinal Radarsat S2 e S6 é oriundo da interação tronco-solo.
Idade	Não	-	-	Determinada por relações complexas.
Altura	Não	-	-	Radarsat-1 (S2 e S6) e NDVI de CBERS-2 sozinhos não foram capazes de estimar esta a altura da vegetação.

5.4.2 Dados Biogeofísicos para modelar os dados de Sensoriamento Remoto

O retorno do sinal radar e a reflexão em dados óticos, *a priori*, não podem ser explicados por uma única variável, mas sim por um conjunto de variáveis e, por isso, às vezes, os dados não apresentam forte correlação e nem produzem modelos capazes de estimar significativamente todos os atributos.

Os atributos biofísicos e ambientais são aqui utilizados para identificar quais possuem maior influência sobre o retorno do sinal / reflexão em cada uma das seis imagens de sensoriamento remoto, através da análise de regressão linear múltipla. Todos os atributos que apresentaram dependência com os dados de sensoriamento remoto foram utilizados. Importante salientar os pontos anômalos identificados a partir das correlações foram inicialmente removidos, porém em todos os modelos os resultados tenderam a piorar.

A umidade gravimétrica, a densidade de árvores e as queimadas apresentaram correlação com a imagem RADARSAT $S2_A$. Essas três variáveis juntas não conseguiram explicar a imagem $S2_A$, apresentando um modelo com coeficiente de determinação múltiplo de 0.696, mas que não rejeita H_0 .

Removendo os dados de queimadas, foi possível explicar a imagem $S2_A$ com um modelo com $R^2=0,644$ que rejeita a hipótese nula ($H_0 : \beta_i \neq 0$). A análise visual dos resíduos da regressão indicou que os erros apresentam distribuição normal, são independentes, possuem média nula e variância constante. Portanto, a UG e a DT respondem por mais de 50% do sinal radar na imagem RADARSAT S2 do mês de abril (Equação 5.5). O restante do sinal pode ser atribuído à múltiplas interações das microondas nas copas, ao retroespalhamento direto e aos ruídos.

$$RADARSAT_{S2A} = -9.333 + 0.201UG + 1.649DT \quad (5.5)$$

Um modelo de regressão linear simples foi gerado utilizando apenas a UG como variável independente para prever $S2_A$. Esse modelo não rejeitou a hipótese nula ($H_0 : \beta_i = 0$), mostrando a importância, além do retroespalhamento direto, da interação tronco-solo para compor o sinal radar.

Mesmo possuindo um menor ângulo de incidência, todos os modelos gerados para prever $S2_S$ foram pouco ajustados e não rejeitaram H_0 . Todos os atributos que apresentavam correlação superior a 25%, mesmo que não significativa, foram testados para compor os modelos. A baixa umidade presente nos solos e contida na vegetação produz baixos níveis de retroespalhamento, já que a constante dielétrica do meio é baixa.

Todos os modelos gerados para prever as imagens $S6_A$ e $S6_S$ foram nulos, o que reitera a baixa capacidade de penetração no dossel das ondas C-HH emitidas pelo radar e conseqüente sutil interação com os atributos biogeofísicos do cerrado.

A imagem $NDVI_A$ obteve correlações significativas com os atributos biofísicos e ambientais do cerrado (DT, Idade, DF e PAD). Vários modelos que explicassem a composição dessa imagem puderam ser gerados.

O IAF, o DAP, a DF e a DT melhor explicaram a imagem $NDVI_A$, apresentando um coeficiente de determinação de 0,559 (Equação 5.6). O modelo gerado rejeita H_0 , explicando parcialmente a resposta na imagem $NDVI_A$. A composição da floresta, os elementos do dossel, a porcentagem de solo exposto e a densidade de árvores sugerem ser os principais responsáveis pelas informações contidas na energia refletida para o sensor. Essa relação não pôde ser observada para a imagem $NDVI_M$, já que neste período a vegetação apresenta maior biomassa, outras formas de vida (gramíneas e herbáceas) e as folhas possuem mais pigmentos, responsáveis por modificar significativamente o tipo de informação contida no NDVI.

$$CBERS_{NDVI_A} = 0.420 + 0.097DT + 0.016DF - 0.002PAD - 0.047IAF \quad (5.6)$$

Os outros modelos gerados para para prever $NDVI_A$ apresentaram R^2 igual a 0,527 (DT, DF e PAD) e 0,465 (DT e DF), todos rejeitando a hipótese nula ($\beta_i \neq 0$).

Os modelos gerados para $NDVI_M$, apesar de a explicaram parcialmente, foram pouco ajustados, com coeficiente de determinação 0,315 para DT e DF (Equação 5.7), e 0,227 para DT, pelos motivos já expostos.

$$CBERS_{NDVI_M} = 0.329 + 0.114DT + 0.017DF \quad (5.7)$$

A síntese dos resultados obtidos na modelagem entre os dados biogeofísicos e os dados de sensoriamento remoto é apresentada na Tabela 5.8.

De maneira geral, a textura apresentada pelas imagens RADARSAT é muito homogênea e constituída por grandes “blocos”, quadro muito diferente da situação verificada *in loco*, já que o PEVP é composto por um mosaico de vários estágios de sucessão e por várias subformações.

O principal componente do sinal RADARSAT no cerrado é a umidade contida nos solos. Por se tratar de uma área localizada em clima semi-árido somente no período chuvoso (Figura 2.5) essa característica é transmitida aos dados radar C-HH. A distribuição da umidade nas diferentes áreas do PEVP, além de relacionada com a densidade de árvores ao produzirem liteira e sombra, é altamente ligada à morfologia superficial e sub-superficial, regida pelas crostas látero-manganesíferas, que produzem um relevo para o sistema hidrológico completamente distinto do relevo da superfície.

Os dados de NDVI do CBERS-2, em especial do período seco, são mais sensíveis que os dados RADARSAT para a estrutura e a composição da floresta. Foi obtido um modelo

Tabela 5.8: Síntese dos resultados da modelagem entre os dados biogeofísicos e os dados de sensoriamento remoto.

Variável Dependente	Sinal pode ser explicado ($H_0 : \beta_i \neq 0$)	R^2	Atributo Biogeofísico	Comentário
$S2_A$	Sim	0,644	UG e DT	Umidade contida nos solos e densidade de árvores respondem por mais de 50% do sinal que retorna ao radar, predominando os mecanismos de retroespalhamento direto e a interação tronco-solo.
$S6_A$	Não	-	-	Sinal C-HH a ângulos de incidência maiores ficam mais restritos às copas, havendo pouca penetração no dossel, havendo maior espalhamento da copa e maior ruído. Sutil interação com os atributos estudados.
$S2_S$	Não	-	-	A baixa constante dielétrica do solo e da vegetação, mesmo com um menor ângulo de incidência, não permitiram explicar o sinal com as variáveis utilizadas.
$S6_S$	Não	-	-	Sinal C-HH a ângulos de incidência maiores ficam mais restritos às copas, havendo pouca penetração no dossel. Soma-se a menor constante dielétrica dos solos e da vegetação. Sutil interação com os atributos estudados.
$NDVI_A$	Sim	0,559	IAF, DAP, DF e DT	NDVI de CBERS-2 é sensível à composição da floresta, aos elementos do dossel, ao percentual de solo exposto e à densidade de árvores. Contém informação sobre a estrutura da floresta, mas com menor interferência dos estratos inferiores (gramínea e herbáceas).
$NDVI_M$	Sim	0,3	DT e DF	Possui menor sensibilidade à estrutura da floresta, havendo maior interferência dos estratos inferiores. Exibe saturação para áreas com grande cobertura foliar.

de regressão relativamente ajustado que não explicou totalmente essa razão de bandas. Isso sugere que ainda serão necessários outros dados para conseguir a diferenciação de sub-formações do cerrado.

Ferreira *et al.* (2004) obtiveram um resultado satisfatório unindo dados de um espectroradiômetro, dados MODIS e ETM+ para distinguir sub-formações do cerrado, mas cabe lembrar que os autores avaliaram apenas áreas preservadas. Esses autores ainda afirmam que é necessário adquirir dados em diversos estágios fenológicos do cerrado, já que as várias fisionomias vegetais do bioma cerrado sofrem efeitos distintos em relação à sazonalidade, sendo que esse fenômeno é determinado pela disponibilidade hídrica.

5.5 Avaliação da Metodologia Utilizada

Conforme apresentado em seções anteriores, pesquisas não haviam demonstrado boa utilidade de dados radar C-HH para o estudo da vegetação, à exceção de florestas abertas. Considerou-se que em muitas de suas sub-formações, o cerrado se caracteriza como uma formação aberta, logo a utilização de dados Radarsat-1 para estudo dessa fitofisionomia surgia como uma alternativa viável, acrescentando-se novos tipos de informação para o estudo desse ambiente.

No intuito de melhorar ainda mais a performance dos modelos a serem gerados com dados Radarsat-1, vislumbrou-se a possibilidade de utilizar dados CBERS-2, pois a melhoria

de estimativas com a união de dados óticos e radar já foi amplamente discutida. Ademais, os dados CBERS são de fácil acesso, média resolução, de cobertura periódica e distribuídos gratuitamente.

Diante dos procedimentos metodológicos adotados, pontuam-se os aspectos positivos e os entraves encontrados.

Dados de campo

A metodologia utilizada para coletar os dados em campo (transectos, coleta de amostras de solo, fotografias hemisféricas) se mostrou apropriada, possibilitando quantificar e caracterizar as áreas amostradas.

Da mesma forma, a pesquisa histórica resultou em um mapa de idades que pode ser considerado confiável, havendo limitações apenas para áreas que sofreram interferências difusas em um longo período de tempo (exemplo dos talhões que sofreram corte seletivo durante 9 anos).

Destacam-se os problemas operacionais e financeiros que impediram um maior universo amostral e a igualdade do universo para todos os atributos (altura e umidade dos solos possuíram $n = 24$ e $n = 12$, respectivamente) e que limitaram a qualidade dos dados, haja vista que técnicas alternativas tiveram que ser adotadas (como no caso das fotografias hemisféricas) para coletar os dados da maneira desejada.

Relacionada aos entraves acima descritos, não houve a distribuição igualitária do número de amostras para cada uma das subformações, pois de forma aleatória, ocorreu a predominância das áreas em regeneração.

Dados de sensoriamento remoto

A escolha de imagens em duas estações fenológicas do cerrado (período de estresse e período de abundância) se mostrou importante para ressaltar as diferenças ocorridas na vegetação e essa variação foi claramente observada nos resultados.

Apontam-se problemas para a aquisição das imagens óticas em virtude da cobertura de nuvens sobre a área nos meses de chuva. Apenas no mês de maio foi possível obter uma imagem sem nebulosidade, fazendo com que a imagem ótica fosse adquirida no fim da estação chuvosa.

Ainda para os dados óticos, não houve consistência nos resultados obtidos após a correção atmosférica, fazendo com que essa correção não fosse realizada. Isso é atribuído às falhas na calibração dos dados CBERS-2, mesmo após a realização da calibração radiométrica.

Tratamento dos dados

Os processamentos realizados atenderam ao esperado nesta pesquisa (conversão dos dados de sensoriamento remoto, correção geométrica, remoção do ruído, extração das médias dos conjuntos). Inclui-se a escolha da janela 9×9 pixels para extração das informações contidas nas imagens de sensoriamento remoto, à medida que um pequeno desvio padrão foi observado (inferior a 1dB para dados radar que possuem um forte efeito speckle e a 0,05 para

NDVI).

Modelagem dos dados

A metodologia utilizada para modelar os dados de sensoriamento e os dados biogeofísicos se mostrou adequada (Correlação e Regressão Linear Simples e Múltipla).

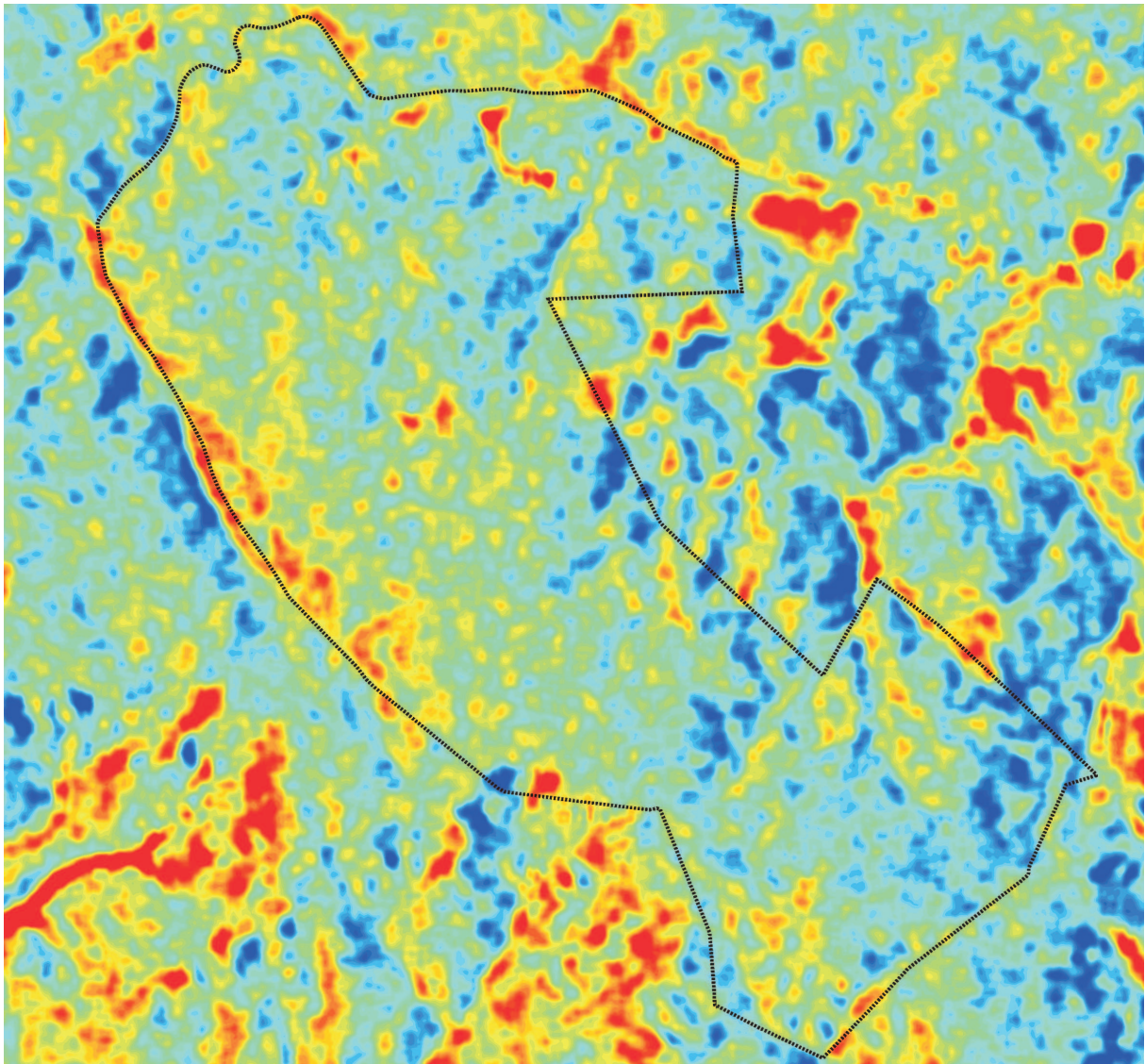
Retomando o apresentado no capítulo 1, foram traçados cinco objetivos secundários para se alcançar o objetivo principal, que era desenvolver e avaliar uma metodologia capaz de distinguir fitofisionomias em estado clímax de fitofisionomias em regeneração e capaz de diferenciar as fases de regeneração. Atingir os cinco objetivos secundários ou específicos se traduziria em alcançar o objetivo principal.

Dos cinco objetivos específicos, quatro foram alcançados, a saber: 1) a história da área de estudo pode ser reconstruída; 2) houve compreensão sobre como se dá o repovoamento de áreas em regeneração; 3) determinou-se as informações predominantes na resposta dos sensores; 4) identificou-se os componentes da resposta dos sensores.

No entanto, os resultados encontrados (apenas a umidade dos solos pôde ser fortemente estimada pelos dados radar e os atributos estudados não foram capazes de explicar totalmente a resposta dos sensores) não foram suficientes para se chegar ao último objetivo específico, que era propor modelos estatísticos para diferenciar fitofisionomias em estado clímax e em regeneração e diferenciar sítios em fases distintas de regeneração, e conseqüentemente, para se atingir o objetivo principal.

Mesmo que o objetivo desta pesquisa não tenha sido atingido, a metodologia se mostrou exequível para aplicações futuras em áreas de cerrado com outros dados de sensoriamento remoto, em especial dados em comprimentos de onda maiores e em diferentes polarizações.

Os resultados encontrados são considerados de grande relevância, à medida que pôde-se compreender a interação de ondas C-HH oriundas do Radarsat-1 para o ambiente do cerrado, validar a utilização desses dados para estimativas de umidade dos solos nesse ambiente e identificar as limitações do NDVI extraído de dados CBERS-2.



Umidade Gravimétrica (g)

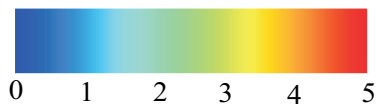


Figura 5.16: Mapa de umidade dos solos do Parque Estadual Veredas do Peruaçu, gerado a partir da aplicação das imagens Radarsat em um modelo de regressão múltipla. Quanto mais próximo do azul, menor a umidade contida nos solos.

Capítulo 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A PRESENTE dissertação de mestrado teve como principal objetivo diferenciar as fitofisionomias do cerrado e sua regeneração através de dados de sensoriamento remoto radar e ótico. Uma metodologia original foi adotada para alcançar esse objetivo, maximizando o uso das informações existentes através de um resgate histórico dos acontecimentos ambientais na área do parque e seu entorno. Independente dos resultados, essa metodologia se provou viável para aplicações futuras, em diferentes áreas de estudo e que utilizem outros dados de sensoriamento remoto.

A abordagem histórica utilizada para estimar a idade da vegetação permitiu um controle razoável para algumas comunidades. Em áreas onde houve uma complexidade de usos, espacialmente difundidos, e uma série de processos de degradação, hora concomitantes, hora não, há um menor controle sobre os dados. Diante desse quadro, a utilização de imagens multitemporais ainda sobressai como uma melhor alternativa. Em casos como o deste estudo, em que a aquisição dessas imagens não é possível, a abordagem histórica se apresenta como uma alternativa possível, desde que conhecidas as suas limitações.

Um maior entendimento sobre o padrão regenerativo do cerrado foi obtido, onde se constatou que apesar da área ser rapidamente vegetada em função da reprodução vegetativa, não há uma consolidação das características estruturais das fitofisionomias em regeneração. Fato esse que, aliado à interferências antrópicas e às características ambientais, gera diferentes estágios de sucessão, mesmo para áreas de mesma idade. Isso surge, *a priori*, como uma dificuldade para a modelagem de áreas em regeneração e para entrada desses dados dando suporte a outros modelos, como de sequestro de carbono e estimativas de biomassa, já que em função de tantas variáveis, um padrão claro de crescimento não pode ser definido.

Os mecanismos de retroespalhamento dominantes no ambiente de cerrado puderam ser identificados. Em ângulos de incidência maiores o mecanismo dominante é o espalhamento volumétrico, já que há maior interação entre o sinal radar e os elementos do dossel. O retroespalhamento direito e “double-bounce” e o espalhamento volumétrico são os mecanismos dominantes em imagens com menor ângulo de incidência, à medida que ocorre uma

maior penetração no interior do dossel. As interações e o retorno do sinal são significativamente aumentados no período chuvoso, em virtude do aumento da constante dielétrica dos solos e da própria vegetação.

Em radar banda C, polarização HH, a imagem do período chuvoso, com menor ângulo de incidência (S2), revelou possuir maior interação com a vegetação de cerrado e com o seu ambiente do que as outras imagens. E a umidade contida nos solos demonstrou ser o principal componente do sinal radar e o único atributo que pôde ser predito com as imagens RADARSAT. Mas o modelo encontrado é válido somente para áreas de cerrado instaladas sobre solos arenosos, já que cada tipo de solo apresenta composição e estrutura distintos, e tem o seu comportamento alterado diante da maior presença de umidade no ambiente. A densidade de árvores também possui um papel para compor o sinal dessa imagem. No entanto, estes dois parâmetros sozinhos não permitem diferenciar a estrutura da vegetação.

Outras imagens não puderam ter sua resposta caracterizada, em virtude da baixa constante dielétrica do ambiente ou em função do sinal ser retido no dossel em maiores ângulos de incidência.

Outros elementos também têm sua identificação limitada nas imagens RADARSAT-1. É o caso de feições lineares que não são facilmente percebidas, devido à mudança de superfície ser de certa forma sutil, com estradas de terra estreitas e cercadas pela vegetação do cerrado, que torna a superfície muito homogênea nesse comprimento de onda e nessa polarização.

Imagens de NDVI/CBERS-2 do período seco, como já observado em estudos anteriores, são superiores à imagens do período chuvoso, já que nesse há a presença de herbáceas, gramíneas e maior biomassa florestal. A composição da comunidade e a relação solo/dossel pode mais uma vez ser reiterada. Não se sabe até qual ponto os resultados de NDVI são influenciados negativamente pelos problemas existentes nos detectores da câmera CCD. Problemas como os diferentes ganhos nos detectores e os problemas de saturação na banda 4, que nos levaram a não realização da correção atmosférica, além das perdas na resolução espacial (imagens degradadas).

Embora fosse esperado que os dados RADARSAT-1 pudessem interagir bem com a vegetação do cerrado através dos diferentes mecanismos de retroespalhamento, a experiência provou, por outro lado, que a presente configuração SAR (banda C-HH) apresenta limitações para caracterizar a estrutura da vegetação. O pequeno comprimento de onda e o forte efeito speckle, derivado sobretudo do espalhamento volumétrico, limitam o uso de dados RADARSAT para o mapeamento de fitofisionomias do cerrado em terras secas.

No entanto, os resultados validam a capacidade desses dados para mapeamentos da umidade dos solos, de incêndios e de terras nuas ou recobertas por gramíneas e herbáceas, desde que não haja restos de troncos e galhos no chão.

Também maiores valores de coeficiente de retroespalhamento (dB) foram encontrados para meios inundados ou saturados, como as veredas, devido à água encontrada sob o dossel,

e para áreas de relevo acidentado, devido à rugosidade, demonstrando um potencial desses dados para estudos futuros.

Como as savanas constituem uma parcela significativa da produção primária terrestre, pesquisas que busquem o conhecimento do padrão regenerativo e técnicas que aprimorem o mapeamento de suas fitofisionomias e dos diferentes estágios de sucessão devem ser perseguidas, dando suporte à pesquisas de quantificação da biomassa, de estimativas de seqüestro de carbono e de mudanças na temperatura da superfície. Nesse sentido, o uso de dados radar em outras bandas, em especial L e P com diferentes polarizações, pode trazer melhorias significativas nos resultados.

A pesquisa sobre a estrutura do cerrado no Parque Estadual Veredas do Peruaçu permitiu estabelecer contribuições e limitações de certas configurações de dados radar e óticos considerando que foi seguida uma metodologia exaustiva que minimizava as fontes de erros. Essa pesquisa permitiu a adoção de uma nova trajetória de pesquisa utilizando dados radar em outras frequências mais baixas e com outras configurações polarimétricas.

Referências Bibliográficas

- Ab'Saber, A. N. (1971). *Simpósio sobre o Cerrado* (3^a ed.), Chapter A organização natural das paisagens inter e subtropicais brasileiras, pp. 1–14. São Paulo, SP: Edgard Blucher/EDUSP.
- Anderson, L. O., E. H. M. Rojas, e Y. E. Shimabukuro (2003, Maio 5-9). Avanço da soja sobre os ecossistemas do cerrado e floresta do estado do Mato Grosso. In *XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, MG, Brasil*, pp. 19–26.
- Araujo, L. S., J. B. Santos, M. Keil, M. S. P. Lacruz, e J. C. M. Kramer (2001, Abril). Razão entre bandas do SIR-C/ X SAR para estimativa de biomassa em áreas de contato floresta e cerrado. In *X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, PR, Brasil*, pp. 1513–1520.
- Badhwar, G. D. (1984). Classification of corn and soybeans using multitemporal Thematic Mapper data. *Remote Sensing Environment* 16(2), 175–182.
- Baptista, G. M. M. (2003, Maio 5-9). Validação da modelagem de sequestro de carbono para ambientes tropicais de cerrado, por meio de dados AVIRIS e Hyperion. In *XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, MG, Brasil*, pp. 1037–1044.
- Cavalcanti, R. B., P. R. Meneses, F. J. Ahern, e R. B. Machado (1997, May). Landscape analyses in the Serra da Mesa Hydroelectric Reservoir, Brazil. In *Geomatics in the Era of Radarsat Conference*, pp. 27–34.
- Chavez Jr., P. S. (1988). An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote Sensing of Environment* 24(2), 459–479.
- Conese, C. e F. Maselli (1991). Use of multitemporal information to improve classification performance of tm scenes in complex terrain. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 46(4), 187–197.
- Dechambre, M. (2003). Mesures de l'humidité des sols et du contenu en eau de la végétation par radar aéroporté. *Natures Sciences Sociétés* (11), 87–91.

- Egbert, S. L., R. Y. Lee, K. P. Price, R. Boyce, e M. D. Nellis (1994). Mapping the Kansas grasslands: a multi-temporal approach. *GAP Analysis Bulletin* 1(6), 12–13.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1997). *Manual de Métodos de Análise de Solo* (2ª ed.). Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 212 p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1998). *Cerrado: ambiente e flora* (1a ed.). EMBRAPA-CPAC. 556 p.
- EPAMIG, INMET 5º Distrito de Meteorologia, e UFV (1982). *Atlas Climatológico do Estado de Minas Gerais*. EPAMIG, Belo Horizonte.
- Espírito-Santo, F. B. (2003). *Caracterização e mapeamento da vegetação da região da Floresta Nacional do Tapajós através de dados óticos, radar e inventários florestais*. Dissertação de mestrado. INPE, São José dos Campos. 277 p.
- Ferreira, L. G., H. M. L. Chaves, e W. S. Galvão (2004). Optical characterization of the Brazilian savanna physiognomies for improved land cover monitoring of the cerrado biome: preliminary assessments from an airborne campaign over an LBA core site. *Journal of Arid Environments* 56(3), 425–447.
- Ferreira, L. G., H. Yoshioka, A. Huete, e E. E. Sano (2003). Seasonal landscape and spectral vegetation index dynamics in the Brazilian Cerrado: An analysis within the Large-Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazônia (LBA). *Remote Sensing of Environment* (87), 534–550.
- Franklin, S. E. (2001). *Remote Sensing for Sustainable Forest Management*. Boca Raton, FLA: Lewis Publishers.
- Frazer, G. W., C. D. Cunham, e K. P. Lertzman (1999). *Gap Light Analyzer (GLA), version 2.0: imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-color fisheye photographs, users manual and program documentation*. Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, and the Institute of Ecosystem Studies.
- Gerardi, L. H. e B. N. Silva (1981). *Quantificação em Geografia* (1 ed.). Difel, São Paulo. 161 p.
- Gomes, M. F. e P. Maillard (2003a, October 14-17). Comportement spectral saisonnier des formations végétales semi-arides dans la vallée de la rivière Peruaçu - Minas Gerais, Brésil. In *Proceedings of the XXV Canadian Remote Sensing Symposium, Montréal, QC, Canada*, pp. 1–10.

- Gomes, M. F. e P. Maillard (2003b, April 5-10). Mapeamento fitogeográfico das unidades de conservação do Peruaçu utilizando dados do sensor ETM de LANDSAT: uma abordagem multiespectral e textural. In *Proceedings of the XI Brazilian Symposium on Remote Sensing, Belo Horizonte, MG, Brasil*, pp. 2753 – 2761.
- Groebner, D. F. e P. W. Shannon (1993). *Business Statistics. A Decision Making Approach*. (4ª ed.). Macmilan Publishing Company, New York. 1119 p.
- Hall, G. H., D. B. Botkin, D. E. Strebel, K. D. Woods, e S. J. Goetz (1991). Large-scale patterns of forest succession as determined by remote sensing. *Ecological Society of America* 72(2), 628–640.
- Hardin, P. J. e M. W. Jackson (2003). Investigating SeaWinds Terrestrial Backscatter: Equatorial Savannas of South America. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 69(11), 1243–1254.
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (1994). *Relatório sobre os projetos da Peruaçu Florestal Ltda*. IBAMA/MG.
- Instituto Nacional de Meteorologia (2004). <http://www.inmet.gov.br>. Página da internet visitada em 28 de outubro.
- Jaton, A. e K. P. B. Thomson (1994). *Télé-détection de L'Environnement: dans L'espace francophone* (1ª ed.), Chapter Les applications du radar en milieu forestier, pp. 229–246. Saint-Foy: Ed. Presses de l'Université du Québec.
- Jensen, J. R. (2005). *Introductory Digital Image Processing* (3rd ed.). Pearson Prentice Hall, New Jersey. 526 p.
- Jensen, R. R. e M. W. Binford (2004). Measurement and comparison of leaf area index estimators derived from satellite remote sensing techniques. *International Journal of Remote Sensing* 25(20), 4251–4265.
- Johansen, K. e S. Phinn (2006). Mapping structural parameters and species composition of riparian using IKONOS and Landsat ETM+ data in australian tropical savannas. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 72(1), 71–80.
- Kasischke, E. S., J. M. Melack, e M. C. Dobson (1997). The use of imaging radars for ecological applications - a review. *Remote Sensing and Environment* 2(59), 141–156.
- Kuntschik, G. (2004). *Estimativa de biomassa vegetal lenhosa em cerrado por meio de sensoriamento remoto óptico e de radar*. Tese de doutorado. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, Departamento de Ecologia, São Paulo. 154 p.

- Kuntschik, G. e M. D. Bitencourt (2003, Maio 5-9). Quantificação de fitomassa florestal aérea de cerrado e cerradão através de imagens orbitais SAR. In *XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, MG, Brasil*, pp. 2201–2208.
- Lago, F. P. L. S., H. M. L. Chaves, e W. S. Galvão (2001, Abril). Avaliação da estrutura da paisagem para o Parque Nacional Grande Sertão Veredas, através de análise de imagens de sensoriamento remoto. In *X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, PR, Brasil*, pp. 1633–1640.
- Le Toan, T., A. Beaudoin, J. Riom, e D. Guyon (1992). Relating forest biomass to SAR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 30(2), 403–411.
- Leckie, D. G. e K. J. Ranson (1998). *Manual of remote sensing* (3rd ed.), Volume 2, Chapter Forestry applications using imaging radar, pp. 435–509. New York, NY: John Wiley and Sons.
- Lillesand, T. M. e R. W. Kiefer (2000). *Remote Sensing and Image Interpretation* (4th ed.). John Wiley and Sons. 727 p.
- Luckman, A., J. Baker, T. M. Kuplich, C. C. F. Yanesse, e A. Frery (1997). A study of relationship between radar backscatter and regenerating tropical forest biomass for spaceborne SAR instruments. *Remote Sensing of Environment* 60, 1–13.
- MacDonald, R. C., R. F. Isbell, J. G. Speight, J. Walker, e M. S. Hopkins (1990). *Australian Soil and Land Survey Field Handbook* (2ª ed.). Melbourne: Inkata Press.
- Maillard, P. e M. F. Gomes (2003, May 5-9). Classification of semiarid vegetation in Brazil: evaluating texture, classifiers and feature selection methods. In *Proceedings of the ASPRS Annual Conference, Anchorage, Alaska, USA*, pp. 1–12.
- Menges, C. H., R. E. Bartolo, D. Bell, e G. J. E. Hill (2004). The effect of savanna fires on SAR backscatter in northern Australia. *International Journal of Remote Sensing* 25(22), 4857–4871.
- Ministério da Agricultura, Escritório de Meteorologia (1969). *Normais Climatológicas (MG, ES, RJ, Guanabara), vol. III*. Ministério da Agricultura, Rio de Janeiro. 98 p.
- Ministério das Minas e Energia (1982). *Projeto Radambrasil: levantamento dos recursos naturais. Folha SD.23. Volume 29*. Brasil. pp. 461-528.
- Mistry, J. (1998). Fire in the cerrado (savannas) of Brazil: an ecological review. *Progress in physical geography* 22(4), 425–448.

- Nogueira, S. A. J., L. G. Ferreira, E. E. Sano, e Y. E. Shimabukuro (2003, Maio 5-9). Avaliação de métodos change detection para o monitoramento sistemático do cerrado goiano. In *XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, MG, Brasil*, pp. 2831–2834.
- Oliveira, R. R. (2002). Ação antrópica e resultantes sobre a estrutura e composição da Mata Atlântica na Ilha Grande, RJ. *Rodriguésia* 53(82), 33–58.
- Paloscia, S. (2002). A summary of experimental results to assess the contribution of SAR for mapping vegetation biomass and soil moisture. *Canadian Journal of Remote Sensing* 28(2), 246–261.
- Parmuchi, M. G., H. Karszenbaum, e P. Kandus (2002). Mapping wetlands using multi-temporal RADARSAT-1 data and a decision-based classifier. *Canadian Journal of Remote Sensing* 28(2), 175–186.
- Piló, L. B. (1997). Caracterização regional do carste do Vale do Rio Peruaçu. *O Carste* 9, 72–78.
- Pivello, V. R. e L. M. Coutinho (1996). A qualitative successional model to assist in the management of brazilian cerrados. *Forest Ecology and Management* 87, 127–138.
- Ponzoni, F. J., J. Zullo Junior, e R. A. C. Lamparelli (2005, 16-21 Abril). Calibração absoluta da câmera CCD/CBERS-2. In *XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, GO*, pp. 1067–1074.
- Raney, R. K. (1998). *Manual of Remote Sensing* (3rd ed.), Volume 2, Chapter Radar fundamentals: technical perspective, pp. 9–130. New York, NY: John Wiley and Sons.
- Ratter, J. A., J. F. Ribeiro, e S. Bridgewater (1997). The brazilian cerrado vegetation and threats to its biodiversity. *Annals of Botany* 80(3), 223–230.
- Ribeiro, J. F. e B. M. T. Walter (1998). *Cerrado: ambiente e flora* (1a ed.), Chapter Fitofisionomias do bioma Cerrado, pp. 89–166. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC.
- Rignot, E., W. A. Salas, e D. L. Skole (1997). Mapping deforestation and secondary growth in Rondonia, Brazil, using Radar and Thematic Mapper data. *Remote Sensing and Environment* 2(59), 167–179.
- Rizzini, C. T. (1997). *Tratado de Fitogeografia do Brasil* (2nd ed.). Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições Ltda. 747 p.
- RSI (2000). *RADARSAT Data Products Specifications* (1th ed.). Radarsat Internation, Richmond. CD-ROM.

- Sano, E. E., L. G. Ferreira, e A. R. Huete (2005). Synthetic Aperture Radar (L-band) and Optical Vegetation Indices for Discriminating the Brazilian Savanna Physiognomies: a comparative analysis. *In Press*.
- Scolforo, J. R. S., F. A. Pulz, J. M. Mello, e A. T. O. Filho (2000). Modelo de produção para floresta nativa como base para manejo sustentado. *Revista CERNE* 2(1), 112–137.
- Smith, R. L. e T. M. Smith (1998). *Elements of Ecology* (4th ed.). Benjamin/Cummings Science Publishing, San Francisco. 567 p.
- Srivastava, S. e N. Shepherd (2000, April). Extraction of beta nought and sigma nought from RADARSAT CDPF products. In *Altrix Systems*, pp. 4–28.
- Suga, Y., Y. Oguro, S. Takeuchi, e K. Tsuchiya (1999). Comparasion of various SAR data for vegetation analysis over Hiroshima City. *Advances in Space Research* 23(8), 1509–1516.
- Tanré, D., C. Deroo, P. Duhaut, M. Herman, J. J. Morcrette, J. Perbos, e P. Y. Deschamps (1990). Description of a computer code to simulate the satellite signal in the solar spectrum: 5s code. *International Journal of Remote Sensing* (11), 659–668.
- Toutin, T. e S. Amaral (2000). Stereo Radarsat data for canopy height in brazilian forests. *Canadian Journal of Remote Sensing* 26(3), 189–199.
- Townsend, P. A. (2002). Estimating forest structure in wetlands using multitemporal SAR. *Remote Sensing of Environment* 79, 288–304.
- Townsend, P. A., R. A. Chastain Jr., C. C. Kingdon, e S. W. Seagle (2000, May). Remote sensing of forest structure using multitemporal, multisensor orbital SAR. In *ASPRS Annual Conference Proceedings, Washington, DC*.
- Töyrä, J., A. Pietroniro, e L. W. Martz (2001). Multisensor hydrologic assessment of a freshwater wetland. *Remote Sensing of Environment* 75(2), 162–173.
- Trigueiro, M. G. S. (1991). *Relatório de Vistoria Técnica realizado nas fazendas Córrego Marinho e Forquilha em Santa Maria da Vereda, distrito de Januária*. Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais.
- Triola, M. F. (1999). *Introdução á Estatística* (7 ed.). LTC - Trad. Alfredo Alves de Farias, Belo Horizonte. 410 p.
- Ustin, S. L., S. Jacquemoud, M. O. Smith, M. M. Verstraete, e Y. Govaerts (1999). *Remote Sensing for the Earth Sciences : Manual of Remote Sensing* (3rd ed.), Chapter Geobotany: Vegetation Mapping for Earth Sciences, pp. 189–248. New York, NY: Jonh Wiley and Sons.

Vannucci, T. A. M. (1999). *Redução de Speckel em Imagens de Radar*. Monografia para obtenção do título de bacharel em Engenharia Cartográfica UFPR.

Veloso, H. P., A. R. L. Rangel Filho, e J. C. A. Lima (1991). *Classificação da Vegetação Brasileira Adaptada a um Sistema Universal*. Rio de Janeiro: FIBGE. 124 p.

Apêndice A

Cálculo do sigma nulo para Radarsat-1

A.1 Princípios sobre a formação de um dado RADARSAT e sobre a composição do arquivo leader

Assim como em imagens óticas, para fins de parametrização das imagens SAR, faz-se necessária a realização da calibração radiométrica, permitindo analisar juntamente imagens adquiridas em períodos distintos.

Para extrair dados calibrados da imagem é necessário reverter a operação da escala de saída, a qual foi realizada durante o processamento dos dados (operation scaling output).

O valor de cada pixel (ND) representa a magnitude do dado ou objeto detectado, ao revertermos a operação, voltaremos a possuir os coeficientes retroespalhados em um dado momento, em um dado local, na imagem.

Duas são as principais transformações para extrair dados calibrados de uma imagem de radar: realizar a conversão dos dados para β° , ou valores de brilho do radar, através da aplicação de uma informação de escalada; ou o coeficiente de retroespalhamento do radar, ou σ° , sendo necessário o conhecimento dos ângulos de incidência sobre a imagem adquirida para conversão dos ND's para σ° .

Neste trabalho trataremos apenas da calibração radiométrica de imagens que já sofreram algum tipo de processamento (CEOS Processed Data Records) pelo RADARSAT Canadian Data Processing Facility (CDPF), que podem ser SGF, SGX, SGC, SCN, SCW ou SLC. Além disso, é imprescindível possuir o arquivo leader que acompanha as imagens.

A.2 Leitura e compreensão do arquivo leader

Inicialmente, devemos nos atentar para algumas propriedades importantes das imagens Radarsat-1:

- imagens ascendentes normalmente têm o alcance próximo (ou near range) na parte esquerda da imagem, e o alcance mais distante (ou far range) na extremidade oposta;
- nas imagens descendentes normalmente observamos o contrário, as imagens são adquiridas de forma invertida, logo o alcance próximo encontra-se na porção direita, atingindo o alcance mais distante na extrema porção esquerda da imagem;

O arquivo leader traz todas as informações referentes à aquisição da imagem, tal como o sumário da qualidade dos dados, parâmetros de processamento, posição da plataforma, atitude dos dados, entre outros.

As informações desse arquivo são separadas em campos. Abaixo são descritos os campos necessários para a realização da calibração radiométrica:

Parâmetro	Campo
Número de pixels	10
Look up table	16-527
Semi-eixo maior do elipsóide	17
Semi-eixo menor do elipsóide	18
Latitude da plataforma geodésica	36
Espaçamento do pixel	122
Órbita do semi-eixo maior	411
Alcance inclinado	426-431
Offset	531

PS: Os valores do LUT (look up table) normalmente vão de 0 a 511, correspondendo a 512 valores. São seis os valores de alcance inclinado.

A.3 Prática para a conversão

Visando dar uma maior praticidade ao processo de conversão dos dados RADARSAT de ND's para σ^0 os passos são detalhadamente explicados e os softwares utilizados são indicados.

Os softwares utilizados foram: o Matlab 6.0 para criar um arquivo de texto para a imagem de ganho e o ErMapper 6.0 para o processamento digital das imagens.

Apenas uma recomendação é dada com relação ao ErMapper: normalmente as saídas dos números de linhas e colunas são diferentes das do arquivo original, tendendo este software a acrescentar ou reduzir o número de linhas e/ou colunas. Aumentar o tamanho da janela costuma ser um bom artifício para burlar esse problema.

Encontrados todos os parâmetros que são introduzidos nas equações, a conversão dos dados pode ser iniciada.

- **Imagem de ângulo de incidência**

Utilizando o ErMapper, devemos inserir a seguinte equação no editor de fórmulas para imagens ascendentes:

$$ACOS((pow(h, 2) - pow((a + (b * (ep * (cellx())))) + (c * pow(ep * (cellx()), 2)) + (d * pow(ep * (cellx()), 3))), 2) + (2 * r * h) / (2 * (a + (b * (ep * (cellx())))) + (c * pow(ep * (cellx()), 2)) + (d * pow(ep * (cellx()), 3))) * r) \quad (A.1)$$

E para imagens descendentes:

$$ACOS((pow(h, 2) - pow((a + (b * (ep * (nrcols() - cellx())))) + (c * pow(ep * (nrcols() - cellx()), 2)) + (d * pow(ep * (nrcols() - cellx()), 3))), 2) + (2 * r * h) / (2 * (a + (b * (ep * (nrcols() - cellx())))) + (c * pow(ep * (nrcols() - cellx()), 2)) + (d * pow(ep * (nrcols() - cellx()), 3))) * r) \quad (A.2)$$

onde h é a altura do sensor, ep é o espaçamento do pixel, e a, b, c e d são os valores de alcance inclinado.

Apenas os quatro primeiros valores do alcance inclinado foram utilizados. Isto é justificado pela acréscimo irrisório fornecido pelos dois últimos valores do alcance, gerando variações na ordem de 0,001 grau.

- **Imagem de ganho**

Gerar essa imagem é normalmente um dos maiores obstáculos encontrados na conversão dos dados. A metodologia utilizada é composta pelos seguintes passos

1. após identificados, os valores do LUT devem ser organizados em um arquivo .xls, devendo totalizar 512 linhas;
2. utilizando o Matlab, os valores de LUT serão interpolados e um arquivo de texto (.txt) será criado, contendo o mesmo número de colunas do arquivo dos dados;
3. no ErMapper, através do recurso *Gridding Wizard*, o arquivo .txt deve ser adicionado. Nenhum datum ou sistema de projeção deve ser utilizado (*utilizar RAW*). O método de triangulação deve ser escolhido para gerar a imagem de ganho;
4. o tamanho das células em x e em y deve ser igual a 1 ou a 0.998, e o tamanho da imagem deve ser editado até que se tenha exatamente o mesmo número de linhas e

colunas do arquivo original. Importante mencionar que a imagem nunca deve começar em 0, pois se isto for feito teremos algumas linhas sem dados.

As seguintes linhas de comando foram programadas no Matlab, e servem tanto para imagens ascendentes, como para imagens descendentes:

```
function [im]=ganho_radarsat(fxls ,out ,linhas ,colunas ,sentido)

fout = fopen(out,'wt');
g = xlsread(fxls)';
xfactor = (colunas/512);
yfactor = (linhas/512);
for i=1:512
    for j=1:512
        switch sentido
            case 'far'
                x = (512*xfactor)-((j-1)*xfactor);
            case 'near'
                x = j*xfactor;
            otherwise
                disp('sentido errado')
                return
        end
        y = i*yfactor;
        fprintf(fout,'%5f %5f %1f\n', x, y, g(j));
    end
end
fclose('all');
return
```

É importante atentar que deve-se chamar o arquivo *.xls* através do comando *fxls* e, deve-se dar o nome e caminho pra *out*. Antes de iniciar a execução do projeto Matlab devemos informar o número de linhas, o número de colunas e o sentido (*far*, para imagens descendentes, ou *near*, para imagens ascendentes).

- ***Imagem de β^o e Σ^o***

As imagens de ângulo de incidência, ganho e a imagem que contém os dados (*.dat*) precisam ser reunidas em um único arquivo *.ers* para que seja possível aplicar a equação final.

O objetivo é converter os dados de ND para coeficiente de retroespalhamento do radar, ou σ^o , portanto é possível reunir em uma única equação a conversão para β^o e para σ^o .

Novamente, no editor de fórmulas do ErMapper devemos inserir a seguinte equação para obter os dados em coeficiente de retroespalhamento do radar:

$$(10 * \log_{10}((\text{pow}(DN, 2) + \text{offset})/\text{Ganho})) + 10 * \log_{10}(\sin(AI)) \quad (\text{A.3})$$

Os valores de σ^o normalmente giram entre -40 e 10 dB, servindo estes valores apenas a

título de balizamento, pois se valores muito discrepantes desses forem observados, provável que alguma etapa tenha sido executada de maneira errada.

A.4 Considerações Finais

Este documento foi baseado no artigo de Srivastava e Shepherd (2000) "*Extraction of Beta Nought and Sigma Nought from RADARSAT CDPF Products*". No entanto, informações mais detalhadas para usuários iniciantes são encontradas em RSI (2000) "*RADARSAT Data Products Specifications*", documento disponível no site www.rsi.com.

Os comandos de programação no Matlab e as equações propostas para o ErMapper foram formuladas pelo Prof. Dr. Philippe Maillard, do Departamento de Cartografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais.

Apêndice B

Dados

Transecto	Coordenada x	Coordenada y	RADARSAT S2a (\bar{x})	RADARSAT S2a (σ)	RADARSAT S6a (\bar{x})	RADARSAT S6a (σ)
1	536498	8349927	-9,708	0,665	-9,132	0,789
2	540203	8345654	-8,051	1,122	-9,231	0,532
3	540204	8344333	-8,276	0,974	-9,872	1,075
4	540111	8342264	-8,762	0,839	-8,804	0,766
5	539934	8341350	-7,104	0,632	-8,188	1,051
6	539870	8340961	-6,513	0,839	-8,23	0,594
7	538689	8334498	-7,958	1,153	-10,116	0,915
8	539459	8338836	-7,924	0,893	-8,683	0,899
9	539152	8347572	-8,406	1,084	-9,285	0,443
10	542158	8349562	-6,379	0,858	-8,185	0,826
11	534524	8349566	-8,895	0,748	-7,89	1,324
12	535591	8350031	-8,228	0,661	-7,57	0,739
13	538426	8350074	-8,593	0,591	-7,764	1,023
14	538574	8350492	-9,437	1,08	-10,612	1,316
15	538910	8349983	-8,072	0,643	-8,103	1,594
16	540402	8345820	-7,953	0,649	-9,452	0,847
17	540331	8344316	-7,758	0,567	-8,874	0,97
18	540265	8342250	-7,394	0,883	-9,941	1,228
19	540081	8341429	-8,13	0,539	-9,36	0,688
20	540010	8340954	-8,209	0,785	-8,916	0,598
21	538915	8334514	-8,49	0,644	-9,161	0,449
22	539600	8338800	-8,44	0,501	-9,088	0,893
23	539322	8347470	-9,322	1,369	-8,289	0,856
24	536444	8344144	-8,678	0,681	-9,505	0,782
25	539313	8345830	-7,585	0,863	-8,593	1,315
26	536374	8337395	-6,809	0,455	-9,417	0,939
27	536332	8337250	-7,191	0,66	-9,212	0,804
28	536569	8336447	-8,004	0,609	-9,607	0,901
29	540171	8336391	-9,291	1,098	-8,246	0,684
30	535792	8342237	-9,671	0,81	-9,496	0,785
31	535519	8342250	-8,292	0,659	-8,741	0,402
32	533398	8344933	-8,313	0,548	-8,659	0,972
33	541446	8338875	-7,922	0,754	-8,015	0,695
34	541004	8340371	-7,879	0,811	-8,337	0,785
35	538431	8344224	-8,228	0,756	-9,611	0,782

RADARSAT S2s	RADARSAT S2s	RADARSAT S6s	RADARSAT S6s	NDVIa	NDVIa	NDVIIm	NDVIIm
(\bar{x})	(σ)	(\bar{x})	(σ)	(\bar{x})	(σ)	(\bar{x})	(σ)
-8,514	0,468	-10,049	0,566	0,402	0,021	0,476	0,015
-9,323	0,579	-8,831	0,964	0,411	0,017	0,478	0,01
-9,26	0,742	-9,07	0,896	0,412	0,01	0,485	0,009
-8,69	0,813	-9,414	0,9	0,333	0,008	0,422	0,007
-8,702	0,798	-10,285	0,931	0,391	0,012	0,459	0,002
-9,316	0,569	-9,088	0,88	0,359	0,006	0,426	0,012
-8,483	0,794	-10,122	0,697	0,348	0,01	0,401	0,008
-9,854	1,343	-9,659	0,573	0,375	0,012	0,442	0,005
-9,044	0,71	-9,445	0,801	0,346	0,016	0,413	0,02
-8,278	0,461	-8,479	1,87	0,425	0,011	0,512	0,008
-9,248	0,96	-9,171	0,826	0,395	0,01	0,483	0,004
-8,226	1,095	-9,054	0,516	0,429	0,011	0,505	0,011
-8,743	0,501	-9,027	0,632	0,407	0,011	0,313	0,049
-10,755	1,344	-13,075	1,356	0,275	0,05	0,274	0,02
-9,206	0,92	-9,865	0,74	0,363	0,033	0,471	0,022
-7,378	0,698	-10,315	1,013	0,407	0,013	0,476	0,009
-8,145	0,565	-9,833	0,785	0,418	0,01	0,475	0,007
-8,934	0,995	-10,258	0,65	0,374	0,015	0,435	0,011
-8,763	0,849	-10,257	0,9	0,407	0,014	0,462	0,007
-10,027	0,723	-10,191	0,853	0,364	0,009	0,446	0,012
-9,12	0,503	-11,181	0,797	0,358	0,009	0,412	0,007
-9,847	0,672	-9,884	1,335	0,365	0,008	0,439	0,011
-9,454	0,743	-9,941	0,886	0,355	0,012	0,427	0,01
-9,703	0,985	-10,319	1,114	0,337	0,012	0,41	0,013
-9,106	0,735	-10,044	0,745	0,396	0,01	0,47	0,008
-8,75	0,814	-10,715	0,692	0,402	0,006	0,463	0,007
-8,016	0,581	-9,205	1,026	0,42	0,011	0,483	0,006
-8,927	1,111	-9,539	0,651	0,352	0,006	0,427	0,009
-8,557	0,595	-10,312	1,616	0,375	0,01	0,438	0,008
-8,863	0,565	-10,253	0,982	0,241	0,022	0,308	0,017
-9,759	0,97	-9,939	0,455	0,385	0,01	0,44	0,009
-9,877	0,631	-10,627	0,724	0,347	0,014	0,417	0,008
-8,84	0,38	-9,949	0,746	0,373	0,025	0,442	0,02
-9,453	0,926	-10,353	0,709	0,338	0,009	0,427	0,01
-9,072	0,806	-9,404	1,121	0,353	0,011	0,425	0,01

DAP (\bar{x})	Altura (\bar{x})	Abertura (\bar{x})	IAF (\bar{x})	DF (\bar{x})	DT (\bar{x})	UG (\bar{x})	Queimadas (\bar{x})	Idade
5,063489318	3,203704	31,36666667	1,693333333	3,782122224	0,675	-	1	>25
4,644434535	3,340909	50,65	0,806666667	3,572623664	0,55	-	0	>25
1,24580009	2,5	45,16666667	1,036666667	3,452640047	0,725	-	0	>25
2,779908687	2,3	62,21	0,45	3,189898095	0,375	-	0	12-21
4,250766862	2,685416667	63,465	0,405	2,631051959	0,6	-	0	12-21
2,874153459	2,364705882	48,855	0,875	2,777776811	0,425	-	0	12-21
1,846198899	2,49	36,52	1,72	2,901609497	0,5	-	0	12
1,460074842	2,215652174	65,28	0,33	2,359455977	0,575	-	0	21
2,528797343	2,855555556	60,45	0,64	1,392147224	0,45	-	0	12
3,270911248	3,395172	37,56	1,21	3,479561393	0,725	-	0	25
3,734022973	2,55	67,72	0,34	3,425006662	0,65	-	1	20
4,432763641	2,868889	57,30	0,58	3,986187965	0,675	-	1	>=15
2,015964315	-	46,43	0,98	3,572431251	0,45	-	0	>25
1,836404741	-	56,05	0,69	2,565448372	0,325	-	0	>25
2,246895212	-	51,92	0,72	3,146286371	0,425	-	0	>25
2,498734717	-	51,01	0,92	3,88418372	0,5	-	0	>25
2,069016008	-	46,95	1,01	3,238901257	0,325	-	0	>25
1,004666427	-	64,94	0,46	2,555036533	0,4	-	0	12
1,13530622	-	62,20	0,51	2,973557262	0,375	-	0	12
1,207706177	-	56,91	0,63	3,292770194	0,425	-	0	12
0,882587248	-	68,44	0,41	3,277613437	0,275	-	0	12
1,127348466	-	57,50	0,60	2,125814584	0,3	-	0	21
1,290924518	-	36,52	0,88	2,521928095	0,25	-	0	12
1,824162042	2,669230769	73,39	0,26	1,700439718	0,26	0,325860389	0	12-21
3,424107811	3,29571429	63,6	0,52	2,650852492	0,7	0,449538466	0	>25
2,837765062	3,705660377	61,99	0,50	3,955917682	1,06	4,796133619	0	21
1,807294325	2,483555556	57,366	0,57	2,589285538	0,9	1,630342077	0	>25
2,996938339	3,266666667	76,50	0,25	3,839108134	0,66	0,714591297	0	21
1,816563126	2,534482759	74,75	0,41	2,521640636	0,58	0,365611054	0	21
4,774652326	3,23125	77,59	0,36	2,036824529	0,16	0,154400641	1	12-21
2,432799042	3,117142857	55,32	0,67	2,807196481	0,7	0,802534679	0	21
1,836914853	2,466666667	81,81	0,19	2,634602696	0,48	0,688334014	0	12-21
1,951544403	2,230952381	83,46	0,22	2,160211687	0,84	0,803567635	1	12
1,69765416	2,313888889	84,03	0,20	2,974937501	0,36	0,640092615	0	12
1,725576104	2,484210526	83,58	0,19	2,465069462	0,38	0,879416835	0	12-21

Apêndice C

Dados coletados em campo

Transectos do mês de abril

Transecto 01

	Espécie	DAP (cm)	Altura (m)	Posição no transecto (m)
1	Muçambé	115	5	0
2	Sucupira Branca	4	5	
3	NI	3	4,5	
4	Borlé	1	4	
5	Baspo	0,5	2	
6	Miroró	15	4	
7	Angiquinho	2	3,5	
8	NI	4	1,8	
9	NI	2	1,8	
10	Paineira	25	2,5	
11	Porcada	4	2,3	
12	Angiquinho	2	2,3	
13	NI	3	2	
14	Angilinho Preto	30	5	
15	Pau Santo	42	6	
16	Umbu de Boi	90	5	
17	Porcada	3	1,8	
18	NI	3	1,6	
19	Murcegueiro	12	5,5	
20	Pau Doce	11	3	
21	Angiquinho	2	1,5	
22	Pinha de Lobo	2	1,7	
23	Barbatimão	3	1,5	
24	NI	4	2,5	
25	Paineira	40	6	
26	Manacá	4	3	
27	Pinha de Lobo	3	1,7	20

Coordenadas: 536498,8349927 / 536480,8349927

Densidade média da cobertura é de 40%.

Fotos: 32,33 e 34 (filme 1)

Obs: A serrapilheira é presente, não muito decomposta. O ambiente é relativamente seco. Gramíneas e herbáceas são presentes e acompanham todo o transecto. Há indícios de queimadas no tronco das árvores, mas não é possível precisar o período.

Transecto 02

	Espécie	DAP (cm)	Altura (m)	Posição (m)	Diâmetro da Copa (m)
1	Pau Vermelho	7	3	0	3
2	Murcegueiro	63	9	0,2	15
3	Dorete	3	2	0,23	1
4	Rosa Brava	2	1,7	2,8	2
5	NI	4	2	3,4	2
6	Folha Larga	30	5	3,9	0,8
7	Sucupira Preta	6	4	5,5	0,7
8	Murcegueiro	24	6	6,5	4
9	Marmelada do Carrasco	8	2,3	6,8	2
10	Pau Vermelho	70	5,5	7,6	8
11	Borlé	2	1,8	10,1	0,5
12	NI	3	2	10,3	0,4
13	NI	3	3,2	10,8	0,8
14	Jacarandá	6	3	12,6	1
15	Cajuí	3	1,8	13,7	0,9
16	NI	2	1,8	14,4	0,6
17	NI	3	1,8	14,8	0,6
18	Peleiro	3	1,6	15,9	0,8
19	Muçambé	40	5	17,7	6
20	Miroró	3	3	17,9	0,5
21	NI	3	3	18,9	0,6
22	Cagaita	33	5	20	3

Coordenadas: 540203,8345654 / 540200,8345650 / 540198,8345638

Densidade média da cobertura é de 40%.

Fotos: 35, 36 e 37 (filme 1)

Obs.: Serrapilheira presente com cerca de 5cm. Herbáceas e gramíneas em todo o transecto, inferiores a 1m. Sem indícios de queimadas.

Transecto 03

	Espécie	DAP (cm)	Altura (m)	Distância (m)	Distância Total (m)	Diâmetro da Copa (m)
1	Vinhático	20	3,5	0	0	2
2	NI	3	2	0,6	0,6	1
3	Porcada	3	2	1,7	2,3	1,5
4	Pau Terra	15	3	1,5	3,8	3,5
5	NI	6	3,5	1,4	5,2	1,5
6	Jatobá	2	2,2	2,1	7,3	0,7
7	Angiquinho	1,5	2,4	1	8,3	0,5
8	Porcadinha	4	2,6	2,4	10,7	1,5
9	Porcadinha	2	2	1,3	12	1
10	Porcadinha	2	2,3	1,2	13,2	0,8
11	Unha D'anta	7	2	1,3	14,5	1,5
12	Marmeladinha	3	2	1,1	15,6	1,5
13	Porcadinha	2,5	3	1,3	16,9	2
14	Amarelinho	2	3,5	1,4	18,3	0,5
15	Porcadinha	4	3,5	1,7	20	1,5
16	Porcadinha	2	2	0,6	20,6	1
17	Porcadinha	3	3	0,7	21,3	1,5
18	Porcadinha	2	2,5	0,6	21,9	1,5
19	Jatobá	2	2,5	0,8	22,7	1,2
20	Porcada	1,5	2,5	1	23,7	0,5
21	Muçambé	2,5	2	1	24,7	1,5
22	Feijão Bravo	3	1	0,4	25,1	1
23	Pau Santo	1,5	2,3	1,3	26,4	0,8
24	NI	1,5	2,3	2,1	28,5	0,5
25	Porcada	3	3,3	1,2	29,7	1,25
26	Pau Santo	5	2,8	0,6	30,3	1,5
27	Miroró	1,5	2,6	1,9	32,2	0,6
28	NI	1	2,2	0,6	32,8	0,7
29	Pau Terrinha	7	2	1	33,8	1,5

Coordenadas: 540204,8344333

Densidade média da cobertura é de 40%.

Fotos: 2, 3 e 4 (filme 2)

Obs.: Menor quantidade de gramíneas e herbáceas. Sem indícios de queimadas. Ocorre serrapilheira e o ambiente apresenta baixa umidade.

Transecto 04

	Espécie	DAP (cm)	Altura (m)	Distância (m)	Distância Total (m)	Diâmetro da Copa (m)
1	Angiquinho	10	3,3	0	0	1
2	Cagaita	7	1,6	1,6	1,6	0,4
3	Sucupira Preta	24	3,5	1,4	3	3
4	NI	7	2	0,93	3,93	1
5	Sucupira Preta	26	3	1,63	5,56	3
6	Pau Santo	10	2,2	2,28	7,84	1
7	Miroró	4	2	2,75	10,59	0,5
8	Cagaita	7	2	0,7	11,29	0,3
9	Fruta de Perdiz	4	2	0,6	11,89	0,5
10	NI	10	2	0,78	12,67	1
11	Priquiteira	10	4	2,88	15,55	3
12	NI	2	1,5	3	18,55	0,2
13	Alho Bravo	5	2	1	19,55	0,5
14	Alho Bravo	3	1,5	1,9	21,45	1,5
15	Pau D'arco	2	1,9	1,77	23,22	0,5

Coordenadas: 540111,8342264 / 540086,8342267

Densidade média da cobertura é de 20%.

Altura média do dossel: entre 2 e 2,5.

Fotos: 5 e 6 (filme 2)

Obs.: Serrapilheira é pouco presente, a área é muito descampada. Existem muitas gramíneas e poucas herbáceas. O ambiente é seco.

Transecto 05

	Espécie	DAP (cm)	Altura (m)	Distância (m)	Distância Total (m)	Diâmetro da Copa (m)
1	Angiquinho	20	3	0	0	1,5
2	Sucupira Preta	18	2	1,3	1,3	1,5
3	Flor de cigana	2	1,7	2	3,3	0,4
4	Barbatimão	20	3,2	3,1	6,4	1,5
5	NI	20	3,2	1,15	7,55	1
6	Barbatimão	42	3,2	1,5	9,05	1,5
7	Cagaita	25	3	3	12,05	0,7
8	Barbatimão	20	3,5	2,8	14,85	1
9	Cagaita	20	3	2,25	17,1	0,6
10	Barbatimão	23	3,5	0,4	17,5	2
11	Pequizeiro Bravo	6	3	1,8	19,3	0,6
12	Cagaita	10	2,7	1,3	20,6	0,7
13	Cagaita	22	3,5	0,8	21,4	2
14	Cagaita	7	1,9	0,9	22,3	0,4
15	Barbatimão	16	3,5	1,85	24,15	2
16	Cagaita	8	2	2,2	26,35	0,6
17	Miroró	5	2,3	2,1	28,45	1
18	Alho Bravo	4	2	1,7	30,15	1
19	Miroró	5	3	0,9	31,05	1
20	Cagaita	3	1,85	2,3	33,35	0,4
21	Cagaita	8	2	1,4	34,75	0,6
22	Cagaita	12	2,5	1,5	36,25	1
23	Miroró	1,5	1,9	0,85	37,1	1
24	Flor de cigana	3	3	1,5	38,6	0,7

Coordenadas: 539934,8341350 / 539915,8341340

Densidade média da cobertura é de cerca de 40%.

Altura média do dossel: entre 2,5 e 3.

Fotos: 7 e 8 (filme 2)

Obs.: Serrapilheira é pouco presente, observa-se muitas porções de solo exposto (fácil deslocamento dentro da área). O solo é bastante arenoso e o ambiente é seco. Existem gramíneas e poucas herbáceas.

Transecto 06

	Espécie	DAP (cm)	Altura (m)	Distância (m)	Distância Total (m)	Diâmetro da Copa (m)
1	Jacarandá	32	5,3	0	0	3
2	Alho Bravo	6	2,3	0,7	0,7	1
3	NI	5	1,7	2,6	3,3	1,5
4	Alho Bravo	4	1,6	0,9	4,2	0,4
5	Cagaita	4	1,5	2,4	6,6	0,4
6	Porcada	6	2,5	1,7	8,3	1
7	Cagaita	10	2,6	1,2	9,5	0,7
8	Barbatimão	7	2,5	1,6	11,1	1,3
9	NI	1,5	1,65	2,9	14	0,6
10	NI	20	3,5	1,5	15,5	2
11	Porcada	4	2	2,5	18	0,7
12	Alho Bravo	9	2,1	4,75	22,75	0,4
13	Porcada	10	2	5	27,75	5
14	Cagaita	4	1,6	4,4	32,15	0,4
15	Flor de cigana	4	2,5	1,4	33,55	1
16	Jatobá	20	3	2,85	36,4	2
17	Porcada	7	1,85	0,7	37,1	1,5

Coordenadas: 539870,8340961 / 539847,8340951

Densidade média da cobertura é de cerca de 30%.

Altura média do dossel: 2m.

Fotos: 09 e 10 (filme 2)

Obs.: A vegetação é pouco densa, ocorrendo algumas áreas muito abertas. Serrapilheira é pouco presente. O solo é arenoso e o ambiente é seco.

Transecto 07

	Espécie	DAP (cm)	Altura (m)	Distância (m)	Distância Total (m)	Diâmetro da Copa (m)
1	Miroró	2,5	2,3	0	0	0,6
2	Porcada	4	2,3	1,3	1,3	1
3	NI	3	1,5	1,75	3,05	0,7
4	NI	4	1,6	1,3	4,35	0,6
5	NI	3	1,9	1,6	5,95	2
6	NI	2	1,86	2,52	8,47	0,2
7	Angiquinho	3	2	2	10,47	0,6
8	NI	4	1,8	2,45	12,92	0,4
9	Manacá	4	3	1,2	14,12	0,7
10	Angiquinho	8	3,3	1,2	15,32	2,5
11	NI	3	2,8	1,7	17,02	0,3
12	NI	4	2,5	2,65	19,67	1
13	NI	3	1,6	2	21,67	1
14	Pau Ferro	20	3,5	1,85	23,52	1,5
15	NI	4	2	0,8	24,32	0,6
16	NI	7	2	1	25,32	1
17	Flor de Cigana	2	2	1,4	26,72	0,4
18	NI	5	2,3	1,45	28,17	1,5
19	Murici	4	1,8	1,8	29,97	2
20	NI	3	2	2,05	32,02	1
21	Angiquinho	3	2,3	1,6	33,62	0,6
22	Gonçalo	3	1,6	1,9	35,52	0,5
23	Porcada	7	3	3,3	38,82	2

Coordenadas: 539459,8338836 / 539447,8338814

Densidade média da cobertura é de cerca de 30%.

Altura média do dossel: 3m.

Fotos: 11 e 12 (filme 2)

Obs.: A vegetação é pouco densa, mas menos que no transecto 6. Serrapilheira é pouco presente, ocorrendo áreas de solo exposto. O solo é arenoso e o ambiente é seco. Existem gramíneas e poucas herbáceas.

Transecto 08

	Espécie	DAP (cm)	Altura (m)	Distância (m)	Distância Total (m)	Diâmetro da Copa (m)
1	Porcada	3	2	0	0	1,5
2	Porcada	6	2	2,55	2,55	2
3	Dorete	3	2	3,2	5,75	0,6
4	Pinha de Lobo	5	1,6	2	7,75	2,5
5	Pau doce	4	1,5	2	9,75	0,4
6	Porcada	7	2,5	2	11,75	1,5
7	Dorete	5	2,5	1,8	13,55	0,3
8	Angiquinho	6	3	1,3	14,85	1
9	Cagaíta	4	1,8	1,6	16,45	0,4
10	Porcada	20	5	1,4	17,85	2,5
11	NI	4	2,4	1,8	19,65	0,7
12	Pau Santo	5	2	2	21,65	0,6
13	Porcada	3	1,9	0,9	22,55	0,4
14	Porcada	4	2	1,1	23,65	2
15	Fruta de Perdiz	10	5	1,2	24,85	1,5
16	NI	7	3	1,4	26,25	1,5
17	NI	3	3	1	27,25	0,7
18	Porcada	3	1,8	2,6	29,85	3
19	Angiquinho	10	3	3,1	32,95	2,5
20	Saputá de Lobo	4	1,8	2,6	35,55	1,5

Coordenadas: 538689,8334498 / 538677,8334491

Densidade média da cobertura é de cerca de 30%.

Altura média do dossel: 2,5m.

Fotos: 13 e 14 (filme 2)

Obs.: A vegetação é pouco densa, ocorrendo áreas muito abertas com muitas porções de solo exposto. Serrapilheira é pouco presente. O solo é bastante arenoso e o ambiente é seco. Existem poucas gramíneas e herbáceas. Existem eucaliptos adultos na área.

Transecto 09

	Espécie	DAP (cm)	Altura (m)	Distância (m)	Distância Total (m)	Diâmetro da Copa (m)
1	Porcada	20	4	0	0	3
2	Porcada	8	3,5	3,8	3,8	1,5
3	Porcada	20	4	1,5	5,3	2
4	Porcada	10	4	3,85	9,15	2
5	NI	5	1,9	2,4	11,55	1
6	Porcada	6	3	4,4	15,95	2
7	Porcada	8	3	4,4	20,35	4
8	NI	4	2,3	2,8	23,15	1,5
9	NI	3	1,9	2,6	25,75	1
10	Alho Bravo	4	2	0,95	26,7	0,7
11	Porcada	5	2	0,7	27,4	1,5
12	NI	6	3,2	2,7	30,1	1,5
13	NI	4	1,8	2,85	32,95	1,3
14	Porcada	12	3	2,35	35,3	2
15	NI	12	4	2,75	38,05	3
16	NI	10	2	3,9	41,95	2
17	NI	3	4	2,5	44,45	0,7
18	Alho Bravo	3	1,8	1,3	45,75	0,5

Coordenadas: 539152,8347572

Densidade média da cobertura é de cerca de 30%.

Altura média do dossel: 2,5m.

Fotos: 15 e 16 (filme 2)

Obs.: A vegetação é pouco densa. Serrapilheira é pouco presente. Ocorrem muitas porções de solo exposto.

Transecto 10

	Espécie	DAP (cm)	Altura (m)	Distância (m)	Distância Total (m)	D. da Copa (m)
1	Umbu D'anta	37	7	0	0	5
2	Muçambé	2,5	1,86	0,6	0,6	1
3	NI	5	3,3	1,35	1,95	2,5
4	NI	9	3,5	2,5	4,45	1,5
5	Araçá	6	2,3	2,7	7,15	0,7
6	Feijão Bravo	2	1,9	0,92	8,07	1
7	Araçá	8	3,3	2,3	10,37	2,5
8	Jacarandá	34,5	5	2,7	13,07	3
9	Araçá	7	2,5	3,7	16,77	1
10	NI	12	3,5	2,85	19,62	1,2
11	Araçá	4	1,6	2	21,62	0,3
12	Marmelo do Cerrado	7	1,7	1,7	23,32	1,5
13	Amarelinho	5	3,3	1,8	25,12	1
14	Amarelinho	2	2	1,45	26,57	0,3
15	NI	20	4	0,85	27,42	1,5
16	Pau Terrinha	20	5	1,15	28,57	2
17	Cagaita	33	7	0,3	28,87	3,5
18	Pau D'arco	5	1,9	1,4	30,27	0,6
19	Amarelinho	8	5	0,9	31,17	1,5
20	Jatobazinho do Campo	6	6	0,35	31,52	1
21	Miroró	3	3	1,2	32,72	0,5
22	Unha D'anta	10	3,2	2,4	35,12	1,2
23	Amarelinho	3	2,3	2,1	37,22	0,2
24	Pau Terrinha	26	6	1,81	39,03	2,5
25	Unha D'anta	7	2	1,75	40,78	0,5
26	Amarelinho	3	3,4	1,3	42,08	0,5
27	NI	3	1,9	1,26	43,34	0,5
28	Pau Terra	6	3	0,88	44,22	1
29	Muçambé	4	2	0,14	44,36	1

Coordenadas: 542158,8349562 / 542149,8349586

Densidade média da cobertura é de cerca de 50%.

Altura média do dossel: 5m.

Fotos: 33 e 34 (filme 1 - Luiza)

Obs.: Árvores altas, algumas chegando a medir 7m, troncos grossos – superiores a 1m de diâmetro. Floresta não é muito densa (fácil locomoção). Sr. Divino diz que a área já foi área de cultivo há cerca de 25 anos. Serrapilheira presente com cerca de 10cm, sendo a mais densa até então encontrada. Herbáceas e gramíneas ocupam todo o baixo estrato.

Transecto 11

	Espécie	DAP (cm)	Altura (m)	Distância (m)	Distância Total (m)	D. da Copa (m)
1	Pau Terrinha	45	7	0	0	4
2	NI	4	1,7	1	1	1
3	NI	4	1,9	2,65	3,65	1,5
4	Muçambé	5	2	2,2	5,85	1
5	Pau Terrinha	50	6	1,7	7,55	5
6	Amarelinho	10	3	0,2	7,75	1,5
7	NI	8	1,5	1,45	9,2	1
8	NI	5	1,7	2,6	11,8	0,8
9	Pau Doce	4	1,5	2,38	14,18	0,7
10	NI	5	1,8	2	16,18	0,6
11	Miroró	2	1,7	1,35	17,53	0,6
12	Porcadinha	2,5	2,3	1,5	19,03	1
13	NI	3	1,6	1,18	20,21	0,6
14	Porcadinha	5	3	0,58	20,79	1
15	Murici	2,5	1,5	1,6	22,39	1,5
16	Burlé	5	3,5	2,1	24,49	0,6
17	Burlé	5	2,5	1,4	25,89	0,5
18	Pau Terra	37	4	1,32	27,21	3
19	NI	14	3	1,14	28,35	1
20	Pereira	7	2	1,8	30,15	1
21	Jacarandazinho	6	2	1,2	31,35	1
22	Muçambé	5	2,1	2,93	34,28	0,5
23	Muçambé	6	2	2,05	36,33	0,7
24	Murcegueira	10	2,5	1,4	37,73	0,7
25	Pau Terrinha	25	2	2,1	39,83	2
26	Pequizeiro	30	2,5	1,7	41,53	1,5

Coordenadas: 534524,8349566 / 534514,8349562

Densidade média da cobertura é de cerca de 45%.

Altura média do dossel: 1,8m.

Fotos: 36 e 01 (filme 1 e 2 - Luiza)

Obs.: Área cultivada (mandioca) há cerca de vinte anos (até o momento que a Perfil chegou e começou a explorar a área) por Seu Simião (Seu Bião), um índio que foi para reserva Xacriabá. Indícios de queimada, segundo Sr. Divino, há 8 anos ocorreu o incêndio.

Transecto 12

	Espécie	DAP (cm)	Altura (m)	Distância (m)	Distância Total (m)	D. da Copa (m)
1	Marmelo do Cerrado	7	2,3	0	0	1,5
2	Pau Terrinha	12	3,2	1,05	1,05	1,5
3	Murici	7	3,2	1,05	2,1	1,3
4	Cajú	4	1,86	1,1	3,2	0,4
5	Favela	6	3,3	2,75	5,95	1,3
6	Barbatimão	4	1,7	1	6,95	0,5
7	Alho Bravo	3	3	0,32	7,27	0,2
8	Pacari	7	1,8	1,35	8,62	1
9	Araçá	3	1,5	1,4	10,02	0,4
10	Jacarandá	2	2	1,8	11,82	0,3
11	Panã	46	6	1,5	13,32	3
12	Baço	5	3	1,2	14,52	0,1
13	NI	2	1,9	1,55	16,07	0,5
14	Alho Bravo	3	2	1,07	17,14	0,4
15	Baço	2	2,3	1,85	18,99	0,8
16	Jacarandá	10	4	2,65	21,64	1,2
17	NI	3	3,5	2,6	24,24	0,7
18	Pequizeiro	65	5,5	1,9	26,14	4
19	Pequizeiro	65	5	2,6	28,74	4
20	Panã	20	3	2,1	30,84	1,5
21	Quina	7	2,4	2,75	33,59	0,3
22	Paineira	7	2,3	1,9	35,49	1
23	Paineira	8	2,5	0,5	35,99	1,5
24	Jacarandá	25	2,7	1,9	37,89	1,2
25	Miroró	9	2	1,15	39,04	1
26	Miroró	9	2,5	0,8	39,84	0,7
27	Barbatimão	35	3	0,5	40,34	1,5

Coordenadas: 535591,8350031

Densidade média da cobertura é de cerca de 40%.

Altura média do dossel: 1,6 a 1,8m.

Fotos: 02 e 03 (filme 2 - Luiza)

Obs.: Ocorrência de um estrato entre 5 e 7m. Indícios de queimadas anteriores (segundo Sr. Divino há cerca de 15 anos). Predomina o estrato arbustivo. Pouquíssima serrapilheira e poucas gramíneas e herbáceas.

Transecto 01 13

	Espécie	DAP (cm)	Distância Total (m)
1	Muçambé e Favela	25 e 10	0
2	Veludo	5	3,9
3	Veludo	5	5,8
4	Amarelinho	3	6,6
5	Veludo	5	8
6	Favela	8	9,3
7	NI	5	10,7
8	Quina Branca	5	11,2
9	Solta Cavalo	3	13,2
10	Angilinho	3	14
11	Porcada	3	16,5
12	Lepra	8	17
13	Pau D'arco	?	18
14	Miroró	3	20
15	NI	5	21
16	Angilinho	7	23,3
17	Pau Doce	10	25,3

Coordenadas: 538426,8350074 / 538404,8350053

Data: 10/04/2004

Local: Lagoa Azul

Densidade média da cobertura é de cerca de 40%.

Altura média do dossel: 4 a 7m.

Fotos: 01 a 04 (filme 1)

Obs.:

Transecto 02 14

	Espécie	DAP (cm)	Posição (m)
1	Amarelinho	2	0
2	Veludo	5	0,3
3	Veludo	5	1,5
4	Angilinho	8	3,5
5	Veludo	8	4,8
6	Amarelinho	3	6,4
7	Muçambé	10	7,1
8	Amarelinho	?	12,6
9	Muricinho	4	14,1
10	Caju	?	14,9
11	Angilinho	10	17,4
12	Veludo	8	18,2
13	Favela	10	20

Coordenadas: 538574,8350492 / 538576, 8350505

Data: 10/04/2004

Local: Lagoa Azul

Densidade média da cobertura ?

Altura média do dossel: ?

Fotos: 05 a 07 (filme 1)

Transecto 03 15

	Espécie	DAP (cm)	Distância Total (m)	Diâmetro da Copa (m)
1	Pau D'arco	5	0,8	1,5
2	Cagaita da Índia	5	2,4	1,2
3	Cagaita da Índia	7	4,4	0,8
4	Cagaita da Índia	7	5,2	1
5	Jabuticaba	3	6,5	1,5
6	Cagaita da Índia	7	7,9	1,3
7	Pau Santo	12	9,3	3
8	Pau Terra	20	10,8	4
9	NI	2	14,3	0,6
10	Pau Pombo	13	15,3	2,5
11	NI	3	15,7	1
12	Pereira	5	17,1	1
13	Pau Terra	11	17,9	3
14	Angilinho	5	19,9	1,5
15	Pereira	4	20,9	1,5
16	Carne de Vaca do Cerrado	2	23,2	1,2
17	Angilinho	9	24,2	3

Coordenadas: 538910,8349983 / 538916,8349996

Data: 10/04/2004

Local: Lagoa Azul

Densidade média da cobertura é de ?

Altura média do dossel: ?

Fotos: 8 a 10? (filme 1)

Transecto 04 16

	Espécie	DAP (cm)	Distância Total (m)	Diâmetro da Copa (m)
1	Pau Pombo	10	0	3
2	Pau Pombo	10	1	3
3	Aroeirinha	8	4,1	1,5
4	Jaboticaba Brava	3	5,8	1
5	Pau Terra	8	6,7	2
6	Pau Lepra	10	9,9	2,5
7	Paineira	27	14,1	6
8	Veludo	5	14,9	1,5
9	Pudim	4	17,6	1,5
10	Veludo Cascudo	4	20,5	1,5
11	Umbu de Anta	5	21,5	2,5
12	Pau Terra	7	22,7	2
13	Pau Terra	8	25,9	2
14	Veludo folha amarela	3	27,3	0,5
15	Angilinho	6	29,8	1,5
16	Pau Terrinha	4	31,6	1
17	Pau Terrinha	5	33,2	1,5
18	Sucupira Preta	17	35,6	4
19	Amarelinho	3	37,7	1,5
20	Pereira orelha de onça	10	39,9	3

Coordenadas: 540402,8345820 / 540414,8345814

Data: 11/04/2004

Local: Nascente da Vereda Comprida

Densidade média da cobertura é de cerca de 45% a 60%.

Altura média do dossel: entre 5 e 8m.

Fotos: 11 a 13 (filme 1)

Transecto 05 17

	Espécie	DAP (cm)	Distância Total (m)	Diâmetro da Copa (m)
1	Pau Terra	20	0	2,5
2	Pau Lepra	8	1,2	0,5
3	Angilinho	3	2,5	1,5
4	Veludo	3	6	2
5	Amarelinho	1,5	10,5	0,5
6	Pau Ferro	2	14,3	1
7	NI	2	16	0,5
8	Pau Ferro	5	18,3	1
9	Miroró	5	21,7	0,5
10	Pau Terra	20	24,7	2
11	Sabuqueira	5	27,5	1
12	Sabuqueira	5	30	1,5
13	Jatobá	5	30,8	1

Coordenadas: 540331,8344316 / 540349,8344310

Data: 11/04/2004

Local: Quadras

Densidade média da cobertura é de cerca de 45%.

Altura média do dossel: 4m.

Fotos: 16, 17 e 19 (filme 1) –

Transecto 06 18

	Espécie	DAP (cm)	Distância Total (m)	Diâmetro da Copa (m)
1	Jacarandá	7	0	2
2	Angiquinho	2	3,7	0,5
3	Angilinho	5	8,1	1,5
4	Pau Lepra	5	13,3	1,5
5	Jabuticabeira Brava	4	16,6	2
6	Porcada	1	18,4	1
7	Pau Branco	2	19,8	1,5
8	Jabuticabeira Brava	2	21,1	0,5
9	Jabuticabeira Brava	3	21,5	0,8
10	Quilombo	3	22,7	0,6
11	Porcada	1,5	24,3	2
12	Quilombo	4	25,8	2
13	Jabuticabeira Brava	3	26,9	1,5
14	Angilinho	4	28,6	2,5
15	Porcada	2	30,6	1
16	Jabuticabeira Brava	2	32	0,7

Coordenadas: 540265,8342250

Data: 11/04/2004

Local: Quadras

Densidade média da cobertura é de cerca de 20% e 70%.

Altura média do dossel: 3m.

Fotos: 21 e 22 (filme 1)

Transecto 07 19

	Espécie	DAP (cm)	Distância Total (m)	Diâmetro da Copa (m)
1	Cagaita da Índia	4	0	0,6
2	Jabuticabeira	2	1,5	2,3
3	Jabuticabeira	4	2,7	2
4	Angiquinho	3	5,3	1,8
5	Cabeuma	2	7,8	1,3
6	Angiquinho	3	9,5	1
7	Porcada	5	11	2
8	Sucupira Preta	5	12,5	1,8
9	Cagaita da Índia	4	13,7	1
10	Cagaita da Índia	6	17,3	1,2
11	Cagaita da Índia	5	19	1,3
12	Pau Lepra	2	20,4	0,7
13	Miroró	2	21,3	1,3
14	Sucupira Preta	5	23,1	2,5
15	Jatobá	1,5	23,7	0,5

Coordenadas: 540081,8341429

Data: 11/04/2004

Local: Quadras

Densidade média da cobertura é de cerca de 50%.

Altura média do dossel: 2,3m.

Fotos: 24 (filme 1)

Obs.: Presença de grandes manchas de solo exposto (areia).

Transecto 08 20

	Espécie	DAP (cm)	Distância Total (m)	Diâmetro da Copa (m)
1	Grão de Galo	4	0	1,2
2	Angiquinho	3	1,4	2,5
3	Manacá	1,5	2,5	1,3
4	Pereira	4	4,1	1,5
5	Angiquinho	2	5,5	0,5
6	Miroró	2	6,7	1,5
7	Porcada	3	8,7	1,8
8	Porcada	2	10,1	1,2
9	Grão de Galo	5	12,4	1,8
10	Sucupira Preta	7	15,4	2,7
11	Marmelo	4	17,4	1,2
12	Jacarandá	7	19,9	2,3
13	Grão de Galo	4	22,4	1,7
14	Pau Lepra	4	24	1,3
15	Angiquinho	6	25	2,5
16	Cipó de Mico	2	25,8	1,8
17	Cipó de Mico	4	27,5	2

Coordenadas: 540010,8340954

Data: 11/04/2004

Local: Quadra

Densidade média da cobertura é 50%.

Altura média do dossel: ?

Fotos: ? (filme Luiza)

Obs.: Ocorrem áreas de solo exposto (areia) mas um pouco coberta de gramíneas.

Transecto 09 21

	Espécie	DAP (cm)	Distância Total (m)	Diâmetro da Copa (m)
1	Jacarandá	4	0	1,3
2	Porcada	3	2	1,2
3	Angilinho	4	4	1,5
4	Porcada	4	7,2	2
5	Porcada	5	8,7	2
6	Porcada	4	13,2	1,6
7	Angilinho	3	14,8	1,4
8	Cabeuma	4	15,5	1,8
9	Jatobá	2	16,6	0,5
10	Porcada	2,5	17,9	1,6
11	Marmelo	4	21,4	1,6
12	Porcada	3	28	2,5

Coordenadas: 539600,8338800

Data: 11/04/2004

Local: Quadra

Densidade média da cobertura é de cerca de 35%.

Altura média do dossel: 3,5m.

Fotos: 16 e 17 (filme Luiza)

Obs.:

Transecto 10 22

	Espécie	DAP (cm)	Distância Total (m)	Diâmetro da Copa (m)
1	Manacá	2	0	1,1
2	Melão do Cerrado	1,5	2	1,6
3	Porcada	1,5	4,4	0,4
4	Saputá (bucho de ema)	1	6,7	0,4
5	Porcada	5	9	2,5
6	Pau Santo	7	10,8	1,4
7	Angiquinho	4	12,8	1,8
8	Pau Doce	2	17,7	1,6
9	Tapicuru do Cerrado	2,5	21,1	1,2
10	Saputá	2	22,8	1
11	NI	2	24,8	0,5

Coordenadas: 538915,8334514

Data: 11/04/2004

Local: Quadra

Densidade média da cobertura é de cerca de 30%.

Altura média do dossel: 3,5m com altura máxima de 6m.

Fotos: 18 a 20 (filme Luiza)

Obs.: Presença de palitos de eucalipto.

Transecto 11 23

	Espécie	DAP (cm)	Distância Total (m)	D. da Copa (m)
1	Porcada	4	0	2
2	Jacarandá Branca	3	1,6	1
3	Porcada	5	4,2	3
4	Argilinho	8	6,5	2
5	Jabuticabeira Brava	2	9,8	0,8
6	Vergateza	2,5	14,3	2
7	Porcada	3	15,9	1,5
8	Pau Ferri	2	18,7	0,7
9	Puduim	8	20,4	4
10	Porcada	3	22,3	1,2

Coordenadas: 539322,8347470

Data: 12/04/2004

Local: Reflorestamento próximo ao IEF, quadra pequena.

Densidade média da cobertura é de cerca de 25%.

Altura média do dossel: 3m a 5m.

Fotos: 21 a 23 (filme Luiza)

Obs.:

Transectos do mês de setembro

Transecto 1

	Espécie	DAP (cm)	Distância Total (m)	Altura	D. da Copa (m)
1	Porcada	8	0	3	1,5
2	NI	3	1,1	4	0,4
3	NI	5	0,8	1,7	0,3
4	Pau Ferro	10	1,75	2,5	0,5
5	NI	4	1,6	1,6	1
6	Alho Bravo	3	3,43	2,3	0,4
7	Alho Bravo	5	2,09	3,5	1
8	Pau Doce	12	1,25	3,2	1,5
9	Porcada	6	3,43	2,3	1
10	Alho Bravo	3	0,81	2,1	0,1
11	Alho Bravo	3	0,24	2	0,1
12	NI	4	2,8	2	0,2
13	Alho Bravo	6	3,87	2,2	0,5
14	Porcada	6	1,8	2,2	1
15	Jaboticaba Brava	9	1,95	2	2
16	Jaboticaba Brava	4	1,2	2	1,5
17	NI	6	2,3	5	0,5
18	Alho Bravo	3	1,2	1,8	0,2
19	Baço	3	1,62	1,8	1

Cobertura média de 20%.

Muitas gramíneas e arbustos, porém poucas árvores.

Algumas porções de solo exposto são observadas, mas a área é predominantemente recoberta por gramíneas.

Pouca serrapilheira.

Solo muito arenosos, com horizontes A e B observados.

Transecto 2

	Espécie	DAP (cm)	Distância Total (m)	Altura	D. da Copa (m)
1	NI	7	0	4	0,5
2	Porcada	5	3,34	2,4	2
3	NI	3	3	2	0,5
4	NI	4	3,9	1,8	1
5	NI	8	5,2	2	1,5
6	Calunga	9	1,66	2,2	2
7	São João	4	2,2	1,8	0,4
8	NI	10	1,2	2,5	2
9	Fruta de Papagaio	6	0,86	3,5	0,5
10	NI	7	1,02	3,5	0,5
11	Fruta de Papagaio	5	1,2	3,5	1,5
12	NI	4	1,84	3,5	2
13	NI	2,5	1,07	2	0,2

Área muito aberta, com alta percentagem de solo exposto, mas com serrapilheira presente porém não abundante.

Cobertura média de 30%.

Estrato arbustivo predominante, gramíneas recobrem cerca de 50% da superfície, sendo o restante solo exposto.

Transecto 3

	Espécie	DAP (cm)	Distância Total (m)	Altura	D. da Copa (m)
1	Pau	59	0	7	3
	Terrinha				
2	Pau	56	0,8	6	5
	Terrinha				
3	Pau Doce	26	1,3	5,5	3
4	Pau Doce	30	1,5	6	4
5	NI	7	0,6	3	0,3
6	NI	3	0,56	2,2	0,3
7	Angiquinho	3	0,52	3	0,2
8	Porcada	5	1,9	2,2	1
9	Pau	40	0,78	6	3
	Terrinha				
10	NI	6	1	3	0,5
11	NI	4	0,62	3,5	0,5
12	NI	7,5	0,46	3,5	0,5
13	Porcada	8	1,48	3,5	1,5
14	Manacá	3	1,53	2	0,4
15	Manacá	2,5	1,02	1,75	0,2
16	Pau Terra	20	1,42	3	3
17	Porcada	6	2,18	2,2	0,5
18	Porcada	7	1,72	2,5	1,5
19	Angiquinho	5	1,29	2	0,5
20	Angiquinho	3	1,07	1,9	0,5
21	NI	6,5	1,38	4	3
22	Manacá	5	2,1	3,5	0,5
23	Angiquinho	3	0,88	2	0,2
24	NI	7	1,22	5	2,5
25	Quina	9	1,5	2	1
26	Angiquinho	6	0,88	4	0,7
27	NI	7	1,15	3,3	0,5
28	Manacá	4	0,38	2	0,4
29	Angiquinho	5	0,66	4	0,5
30	NI	3	0,6	1,8	0,4
31	Porcada	4	0,9	2	1
32	Manacá	2,5	1,2	2,2	0,3
33	Manacá	3	1	3,5	0,4
34	Angiquinho	4	0,69	2,3	0,4
35	NI	6,5	1	4	0,6

Vegetação densa, porém arbustiva, com troncos finos e muitos galhos.

Serrapilheira Presente.

Baixa porcentagem de solo exposto.

Transecto 4

	Espécie	DAP (cm)	Distância Total (m)	Altura	D. da Copa (m)
1	Miroró	6	0	4	0,3
2	Calunga	10	0,7	3,5	0,5
3	Murici	20	1,03	4	2
4	Muçambé	10	0,73	4	2
5	Porcada	8	0,69	4	1
6	NI	5	1,6	1,4	1
7	Pereira	6	1,17	2,5	1

8	Unha D'anta	9	0,75	2,5	1
9	NI	6	1,27	1,7	1
10	Jacarandá	27	1,59	4	2,5
11	Porcada	5	0,91	2,3	1,5
12	Unha D'anta	15	1,36	3,5	1,5
13	Porcada	10	1,48	3,5	1,5
14	NI	4	1,24	1,7	0,7
15	Unha D'anta	15	0,66	3,5	0,8
16	Caju	4	0,54	1,7	0,6
17	NI	4	1,24	2,5	1
18	Jatobá	3	1	1,7	0,8
19	Amarelinho	16	0,81	7	3
20	Amarelinho	6	0,69	3,5	2
21	Unha D'anta	12	0,9	3,5	2
22	Porcada	7	0,39	3	1,5
23	Miroró	4	0,95	3	0,4
24	Porcada	5	0,49	2	0,7
25	Manacá	6	1	5	2
26	Jatobá	4	0,12	2	1
27	Amarelinho	9	0,48	5	1,5
28	Jatobá	10	0,2	3	1,5
29	Fruta de Papagaio	4	0,3	3	0,5
30	Caboclo	5	0,7	3	1
31	Fruta de Papagaio	3	0,5	2,5	1
32	NI	5	0,4	3	0,5
33	Capão de Viado	4,5	0,7	2,5	0,5
34	Amarelinho	8	0,2	5	2
35	Fruta de Papagaio	2,5	0,28	2,5	1
36	Porcada	12,5	0,8	4,5	2
37	Pau Terrinha	15,5	1,36	5	3
38	Três Folhas	6	0,59	3,5	1,5
39	Murcegueiro	18	0,88	7	4
40	Angiquinho	3	0,8	3,5	0,5
41	Amarelinho	9	0,95	6	2
42	NI	5	0,68	3	0,5
43	Murcegueiro	20	0,65	8	1
44	Murcegueiro	14	0,57	8	1
45	Veludo	10	0,65	6	1
46	NI	5	0,9	3	0,5
47	Porcada	5	0,46	2,5	1,5
48	Amarelinho	10	0,4	8	3
49	NI	9	1,23	1,9	1
50	Amarelinho	4	0,99	2,5	0,4
51	Porcada	7,5	0,13	2,5	0,4
52	Sucupira Preta	20	1,55	6	2,5
53	Pau Terrinha	21	1,93	5	1

Estrato arbustivo e herbáceo presentes, contudo mais arbustos. Presença de estrato arbóreo.

Muitos arbustos mortos – sucessão? Redução da energia no sistema com consequente priorização dos estratos maiores?

Pouco solo exposto.

Transecto 5

	Espécie	DAP (cm)	Distância Total (m)	Altura	D. da Copa (m)
1	Muçambé	20	0	3,5	1
2	Muçambé	7	0,88	2,3	0,5
3	NI	5	0,4	2,5	0,1
4	Porcada	3,5	0,55	2,5	0,4
5	NI	4,5	1	2,5	0,4
6	Baço	4	1,66	3	0,05
7	Veludo	2,5	1,75	1,9	0,3
8	Veludo	8	0,6	3	2
9	Porcada	3	1,58	1,6	0,5
10	NI	7	2,1	2	3
11	NI	3	1,3	3,5	0,2
12	Angiquinho	3	1,65	2	0,4
13	NI	6	0,77	3	2
14	NI	2,5	0,65	1,95	0,2
15	Calunga	5	0,55	2	0,3
16	Porcada	3	0,85	1,76	0,5
17	NI	7	0,67	3	0,6
18	Baço	2,5	0,72	1,85	0,4
19	NI	2,5	0,68	2	0,4
20	Veludo	2,5	0,74	1,6	0,2
21	NI	4,5	0,79	1,7	0,3
22	NI	7,5	0,9	3,5	1
23	Porcada	3	0,54	2,3	0,3
24	NI	12	0,63	3,5	1,2
25	Porcada	8	0,95	3	1
26	Porcada	2	1,27	1,9	1
27	Muçambé	3,5	1,49	2	2
28	Murici	7,5	1,22	2,5	2,5
29	Miroró	4	1,12	2,5	0,2
30	Baço	1,5	1,05	1,8	0,4
31	Pau Terra	10	0,74	1,8	0,3
32	Ni	4,5	0,83	1,8	1
33	NI	5	1,94	3	0,4
34	NI	20	0,54	3	0,5
35	Porcadinha	4	1,18	3	1
36	Porcadinha	3	0,6	1,5	0,7
37	NI	5	0,26	3	0,05
38	NI	5	0,66	3	0,2
39	NI	6	0,26	3	0,05
40	Amerelinho	9	0,6	3,3	0,05
41	Baço	3,5	1,09	1,9	0,2
42	Porcadinha	4	0,44	3,5	0,7
43	Porcada	6	1,93	2	0,5
44	Veludo	11	1,27	3,5	1,5
45	Angiquinho	4,5	0,65	2,3	1

Transecto denso, com muitos arbustos, gramíneas e herbáceas.

Ausência de solo exposto, sendo a superfície recoberta por serrapilheira.

Dossel emergente de cerca de 5m de altura.

Cobertura média de 50%.

Transecto 6

	Espécie	DAP (cm)	Distância Total (m)	Altura	D. da Copa (m)
1	Folha Larga	45	0	10	4
2	Sucupira Preta	25	1,16	5	3
3	NI	8	1,28	5	0,5
4	Porcada	6	1,21	3,5	2,5
5	Perdiz	15	0,25	3	3
6	NI	6	1,22	3	1
7	Caboclo	4	0,41	1,7	0,2
8	Pau D'arco	5	0,47	2,5	0,5
9	Pau D'arco	5	0,83	3,5	0,7
10	Amarelinho	6	0,28	5	2
11	Angiquinho	5	0,43	3	0,6
12	Barbatimão	8	0,86	2	2,5
13	Angiquinho	4	1,9	2,2	1
14	Baço	2,5	1,72	1,8	0,4
15	Barbatimão	7	0,12	1,8	1,5
16	Caboclo	3	0,65	2,5	0,1
17	Miroró	4	1,03	3	0,1
18	NI	2,5	1,28	2,2	0,4
19	Barbatimão	7	0,82	3	2
20	NI	25	0,86	2,5	2
21	Olho de Boi	14	1,59	2,5	3
22	Baço	5	0,88	3	1
23	Miroró	4,5	2,01	2,2	0,3
24	Fruta de Perdiz	10	1,02	4	0,5
25	Pau D'arco	5	0,93	5	0,5
26	Olho de Boi	24	0,99	1,9	1,2
27	Caboclo	9	1,7	5	1,5
28	NI	3	2,5	2	1
29	Pau Santo	24	2,46	4,5	1,2
30	Calunga	2,2	1,15	4,5	2,5
31	Pereira	5	2,45	1,5	0,1
32	NI	5	0,9	3,5	1,5
33	Porcada	7	0,65	2	2,5

Transecto 7

	Espécie	DAP (cm)	Distância Total (m)	Altura	D. da Copa (m)
1	NI	10	0	4	1,5
2	NI	5	0,62	3	1
3	Pequizeiro Bravo	9	1,52	3	0,6
4	NI	3	1,8	2,5	1
5	NI	4,5	1,14	3,5	1,5
6	NI	3	0,16	1,9	0,5
7	NI	4	1,4	2,6	1
8	NI	7	1,34	1,9	1
9	NI	4	1	2,5	0,2
10	NI	5	0,28	2,6	0,3
11	NI	6	1,38	3	0,2
12	NI	12	1,56	4	1
13	NI	8	1,52	3,5	0,8
14	Porcada	4	0,68	2	1
15	Baço	3	1,75	2	0,7

16	Fruta de Papagaio	8	0,56	2,4	0,7
17	Manacá	2,5	0,5	1,7	1
18	NI	5	1,65	2,3	1
19	Porcada	8	1,7	3	1,5
20	NI	5	0,85	1,8	0,7
21	Porcada	4	0,71	1,6	0,8
22	Tiborna	4	0,52	1,8	0,3
23	Jabuticaba Brava	14	0,6	3,5	1
24	NI	3	0,52	1,9	1,5
25	NI	7,5	1,2	3	0,8
26	Angiquinho	2	1,02	2	1
27	NI	2	3,45	1,7	2
28	NI	6	0,38	2,3	0,3
29	Fruta de Papagaio	7	1,6	2,5	0,8

Serrapilheira presente, mas não abundante.

Presença de solo exposto.

Arbustos predominantes e gramíneas presentes. Herbáceas ausentes.

Transecto 8

	Espécie	DAP (cm)	Distância Total (m)	Altura	D. da Copa (m)
1	Pau Ferro	21	0	4	3
2	Pau Ferro	27	6	4,5	5
3	Pau Ferro	30	3,45	4,5	3
4	Calunga	14	1,52	4	2,5
5	Caboclo	2	7,57	1,6	0,3
6	Amargoso	6	2,5	1,75	1,5
7	Porcada	15	0,79	3,5	4
8	NI	5	4,12	2	0,8

Área sofreu queimada no ano de 1992.

Área muito aberta, com solo exposto, algumas gramíneas e quase inexistência de herbáceas.

Cobertura média de 10%.

Transecto 9

	Espécie	DAP (cm)	Distância Total (m)	Altura	D. da Copa (m)
1	Pau Doce	19	0	4	1,5
2	Aracazinho	4,5	0,78	3,5	1
3	NI	4	1,36	4	0,5
4	Porcada	7	1,9	4	1
5	Fruta de Papagaio	4,5	0,74	4	1
6	Porcada	5	1,88	1,4	0,8
7	Porcada	2,5	1,39	2,5	1
8	Manacá	5	1,6	2,5	0,8
9	NI	5	1,57	1,7	0,4
10	Porcada	6	3,01	4	0,5
11	Porcada	6	0,68	2,3	0,8
12	Porcada	9	0,85	3,5	1
13	Jacarandá	31	1,3	3,5	4
14	Tiborna	22	0,81	1,7	1
15	NI	4	0,44	3,5	0,2
16	Porcada	4	1,32	1,7	0,5
17	NI	4	1,37	2,5	0,2
18	NI	3,5	0,54	1,7	0,2
19	Porcada	6	0,95	7	2
20	Porcada	6	1,86	3,5	0,5
21	Manacá	3	0,58	3,5	0,8

22	NI	15	0,45	3	3,5
23	Alho Bravo	7	0,5	3	0,5
24	Baço	2,5	0,47	2	0,8
25	NI	4	0,64	5	0,5
26	NI	5	1,2	2	2
27	NI	4	1,77	5	0,4
28	Manacá	4	1,45	3	0,8
29	NI	5	1,59	3	0,4
30	Manacá	3,5	1,03	2,5	0,5
31	Pau Santo	20	1,8	3,5	1
32	Cagaita da Índia	8,5	1,21	1,9	0,2
33	NI	5	0,75	2,5	0,7
34	Pau Doce	15	0,6	3,5	1
35	Porcada	8	0,77	3,2	1,5

Área é aberta, mas menos que no transecto 8.

Presença de solo exposto. Em alguns pontos é possível observar a presença de serrapilheira.

Estrato predominante é o arbustivo.

Cobertura média de 30%.

Transecto 10

	Espécie	DAP (cm)	Distância Total (m)	Altura	D. da Copa (m)
1	Miroró	27	0	3,5	1,5
2	Angiquinho	2	1,1	2	0,4
3	Porcada	7	0,5	3,5	2
4	NI	6	2,89	2,5	0,4
5	Sambaibinha	3	1,28	1,7	2
6	Porcada	8,5	1,3	2,3	1,5
7	Miroró	7	1,85	3,5	0,6
8	Calunga	3	0,9	1,6	0,8
9	NI	7	1,06	3,5	0,4
10	NI	2	2,65	2	0,3
11	NI	4	0,75	1,8	0,4
12	NI	4,5	1	2,2	0,3
13	Alho Bravo	4	7,1	2,3	0,2
14	NI	3	0,25	2,4	0,1
15	Tiborna	4	2,79	1,7	0,1
16	NI	4	0,64	3,5	1
17	NI	2	1,08	1,9	0,1
18	Veludo	15	1,58	3	2,5
19	Manacá	3	1,07	2	1,5
20	NI	2,5	0,66	1,7	0,2
21	NI	5	1,09	2,3	0,2
22	Porcada	8	1,23	3,7	0,8
23	Manacá	3,5	0,65	2,2	0,6
24	NI	3,5	0,8	2,4	0,7

Área aberta, abundante presença de gramíneas. Arbustos também são observados.

As árvores encontram-se bastante esparsadas.

Transecto 11

	Espécie	DAP (cm)	Distância Total (m)	Altura	D. da Copa (m)
1	NI	14	0	2	2
2	NI	2,5	0,98	3	0,1
3	Fruta de Papagaio	5	1,38	2,8	0,3
4	Fruta de Papagaio	4	0,54	2,8	0,3
5	Porcada	4	0,59	1,6	0,8
6	NI	4,5	0,79	2,5	0,3
7	Fruta de Papagaio	5	0,95	2	0,4
8	NI	25	0,58	3,5	1,5
9	Manacá	3	0,5	1,9	0,1
10	NI	3	0,45	1,9	0,1
11	Porcada	6	0,7	2,5	2
12	Porcada	5	1,29	1,8	1
13	Caboclo	3	1,36	1,7	0,4
14	Porcada	2,5	1,02	2,2	0,8
15	NI	3	0,86	1,8	0,2
16	NI	3	1,6	1,9	0,3
17	NI	4	1,58	2,2	0,7
18	NI	3	0,75	1,9	0,8
19	Fruta de Papagaio	3	1,4	1,8	0,1
20	Porcada	7	1,57	3	1,5
21	Fruta de Papagaio	5	0,78	2,4	0,4
22	NI	25	1,36	3	1
23	NI	5	0,5	1,6	0,8
24	NI	25	1,72	3	2
25	NI	4	1,55	2	1
26	NI	3	0,95	1,6	1
27	NI	3	0,72	1,5	0,8
28	NI	5	0,33	1,9	0,5
29	Porcada	8	0,78	2	1,5
30	NI	6,5	1,15	1,8	1
31	Borlé	6,5	0,84	3	1,5
32	Angiquinho	3,5	1,66	1	0,1
33	NI	8	0,8	3	0,5
34	NI	5	0,36	1,95	0,2
35	NI	4	1,22	1,6	1,5
36	Manacá	5	1,76	2,3	1
37	Angiquinho	4	1,4	2,5	0,4
38	Miroró	4	0,84	3	0,6
39	NI	5	0,52	1,9	0,8
40	Fruta de Papagaio	2,5	0,32	1,65	0,2
41	Fruta de Papagaio	4	0,71	3	0,3
42	Fruta de Papagaio	7	0,42	3,2	0,6

Abundante presença de cipós.

Solo exposto pode ser observado.

Ainda é possível encontrar alguns troncos de eucaliptos caídos no chão.
Serrapilheira presente.

Transecto**12**

	Espécie	DAP (cm)	Distância Total (m)	Altura	D. da Copa (m)
1	Miroró	6,5	0	3,5	0,6
2	Cagaita da Índia	4	1,49	1,5	0,2
3	Alho Bravo	5	0,62	2	0,2
4	Cagaita da Índia	5	0,5	1,7	0,2
5	Caboclo	5	0,35	3,2	0,3
6	Cagaita da Índia	10	1,35	1,85	0,3
7	Angiquinho	3	1,83	1,9	0,7
8	NI	2,5	5,05	1,7	0,4
9	Miroró	7	1,62	3	0,8
10	Caboclo	2,5	3,87	2	0,3
11	Miroró	7	2,8	3	1
12	Araçazinho	3	3,3	1,8	0,5
13	Fruta de Papagaio	4	0,98	2,2	0,2
14	Porcada	7	1,03	2,5	2
15	Porcada	6	2,02	2,5	1,5
16	Miroró	8	0,5	3	0,8
17	Fruta de Papagaio	2	0,78	1,8	0,2
18	Fruta de Papagaio	8,5	1,6	2,5	1,5

Área com alta porcentagem de solo exposto.

Os arbustos são predominantes, havendo também forte presença de gramíneas.

Cobertura média de 20%.

A espécie Angiquinho se destaca no contexto devido à sua abundância.

Ponto Concreção → Concreção ferro-magnésiana aflorante.

Ponto Erosão → voçoroca com 3 metros de profundidade com concreções ferro-magnésianas que barram o aprofundamento da forma erosiva. Possível observar a continuidade da camada de concreção. O Solo é muito arenoso, mas estruturado, com horizontes A e C.