

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

JOÃO FELIPE FILI

**APLICAÇÃO DE MODELO LINEAR DE MISTURA ESPECTRAL EM IMAGENS
CBERS PARA MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DO SOLO DA BACIA DO
RIO OCOY**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2015

JOÃO FELIPE FILI

**APLICAÇÃO DE MODELO LINEAR DE MISTURA ESPECTRAL EM IMAGENS
CBERS PARA MAPEAMENTO DO USO E COBERTURA DO SOLO DA BACIA DO
RIO OCOY**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Gestão Ambiental, à Diretoria de Graduação e Educação Profissional, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Vanderlei Leopold Magalhães

MEDIANEIRA

2015



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Coordenação do Curso Superior de Tecnologia em
Gestão Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

Aplicação de modelo linear de mistura espectral com uso de imagens CBERS para mapeamento do uso e cobertura do solo da bacia do rio Ocoy

Por

João Felipe Fili

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 20h30minh do dia 9 de junho de 2015 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo no Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Vanderlei Leopold Magalhães
UTFPR – Câmpus Medianeira
(Orientador)

Prof. Dr^a Fabiana Costa de Araújo
Schutz.
UTFPR – Câmpus Medianeira
(Convidado)

Prof. M.Sc. Anderson Sandro da
Rocha
UTFPR – Câmpus Medianeira
(Convidado)

Prof. Dr^a. Larissa de Bortolli Chiamolera
Sabbi
UTFPR – Câmpus Medianeira
(Responsável pelas atividades de TCC)

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação de Cursos

AGRADECIMENTOS

Este momento da vida não seria possível sem a força, sabedoria e calma que Deus me proporcionou neste período, e o apoio sempre presente da minha família. Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida

Agradeço a UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) – Câmpus Medianeira por ter aberto as portas e me receber ao seu corpo de discentes, na oportunidade de obter o título de Tecnólogo em Gestão Ambiental.

Agradeço ao meu orientador **Prof. Dr. Vanderlei Leopold Magalhães**, que se mostrou sempre presente, dedicado e interessado, demonstrando o real sentido da palavra orientador, me guiando até o final deste trajeto.

Aos membros da Banca Examinadora deste trabalho.

A todos os professores do Curso Superior de Tecnologia em Gestão Ambiental, agradeço pelos ensinamentos ofertados no decorrer do curso de graduação.

Ao INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) pela disponibilização gratuita, através de seu *website*, do *software* Spring.

E principalmente a minha família e namorada, pois acredito que sem o apoio financeiro e emocional deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

“Construir pode ser a tarefa lenta e difícil de anos. Destruir pode ser o ato impulsivo de um único dia”.

(Winston Churchill).

Resumo

A bacia do rio Ocoy, situada no oeste do Estado do Paraná, ao longo das últimas décadas vem sofrendo diversas transformações, normalmente de causas antropogênicas, tal como o aumento da lamina de água causada pelo lago de Itaipu, e o avanço da fronteira agrícola. Tendo em vista o crescente uso do geoprocessamento, principalmente de dados do sensoriamento remoto para análise ambiental, esta pesquisa tem o objetivo de aplicar o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) em imagens orbitais fazendo uso de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), mais especificamente o Spring. As imagens são as dos satélites CBERS-2 e CBERS-2B que o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) dispõe gratuitamente. Com estas técnicas e procedimentos foi possível gerar documentos cartográficos que evidenciam os estágios de evolução desta paisagem num curto período de tempo (2004 – 2009), colocando em evidencia a representatividade das áreas agrícolas e da vegetação natural. Através de técnicas de processamento digital de imagens foi possível quantificar diminuições na vegetação natural em 34 km², ganhos de área agrícola de 19 km², apontando a necessidade do mapeamento multitemporal. Desta maneira, esta pesquisa destina-se não apenas a apresentar os dados resultantes do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), mas organizar sistematicamente os passos no Sistema de Informação Geográfica (SIG), desde a criação do banco de dados até a apresentação dos mapas temáticos da bacia do Ocoy.

Palavras Chave: Geoprocessamento. Bacia do rio Ocoy. CBERS. Modelo Linear de Mistura Espectral. Uso do solo.

Abstract

The basin of the river Ocoy, located in western Parana State, over the last decades has undergone several transformations, usually of anthropogenic causes, such as increased water blade caused by the Itaipu Lake, and the advance of the agricultural frontier. In view of the increasing use of Geoprocessing, especially remote sensing data for environmental analysis, this research aims to apply the Linear Spectral Mixture (SLMM) in orbital images making use of a Geographic Information System (GIS) more specifically Spring. The images are the CBERS-2 satellite and CBERS-2B that the National Institute for Space Research (INPE) offers free of charge. With these techniques and procedures could be generated cartographic documents that show the stages of evolution of this landscape in a short time (2004 - 2009), putting in evidence the representativeness of agricultural land and natural vegetation. Through digital image processing techniques it was possible to quantify reductions in natural vegetation on 34 km², agriculture gains of 19 km², highlighting the need of multi-temporal mapping. Thus, this research is intended not only to present data resulting from the Linear Spectral Mixture Model (SLMM), but systematically organize the steps in the Geographic Information System (GIS), since the creation of the database until the presentation of thematic maps of Ocoy basin.

Keywords: Geoprocessing. Basin Ocoy river. CBERS. Linear Spectral Mixture. Use soil.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ilustração Interação Sol–Terra–Satélite	18
Figura 2 – Espectro Eletromagnético	20
Figura 3 – Resolução Radiométrica	21
Figura 4- Mosaico do PRODES para o Estado de Rondônia com áreas de floresta (verde), desmatamento (amarelo), áreas de não floresta (magenta) e hidrografia (azul).	24
Figura 5– Localização geográfica e hipsometria da bacia hidrográfica do rio Ocoy – Oeste do Paraná.	27
Figura 6 - Pontos de controle sobre a imagem Landsat-8 (4B5G6R).....	35
Figura 7 - Interface do Spring para Coleta de Pontos no Registro da Imagem.	36
Figura 8 - Plano de informação da Bacia do Rio Ocoy com imagem CBERS-2 (2B3R4G), antes do registro.....	37
Figura 9 - Plano de Informação da Bacia do Ocoy com imagem CBERS-2 (2B3R4G), com o registro.....	38
Figura 10 - Interface Associação de Bandas X Imagens Amostrais, CBERS_2.....	38
Figura 11 - Gráfico com as curvas espectrais do modelo de mistura do CBERS_2.....	40
Figura 12 - Gráfico com as curvas espectrais do modelo de mistura do CBERS_2B.	41
Figura 13 - Imagem fração água com realce linear, CBERS_2.....	41
Figura 14 - Imagem-fração água, CBERS_2, com limiar de similaridade 6 e área 12.....	42
Figura 15 - Imagem-fração água, CBERS_2B, com limiar de similaridade 6 e área 12.....	43
Figura 16 - Plano de Informação da Bacia do Ocoy com imagem CBERS-2 (2B3G4R).....	44
Figura 17 - Classificação fração-água com limiar de aceitação 75% - 03/2004.....	45
Figura 18 - Classificação fração-água com limiar de aceitação 75% - 03/2009.....	46
Figura 19 – Mapa de uso e cobertura do solo da bacia do rio Ocoy - 03/2004.....	46
Figura 20 - Mapa de uso e cobertura do solo da bacia do rio Ocoy - 03/2009.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sensor CCD, Satélite CBERS-2 E CBERS-2B.....	23
Tabela 2 – Quantificação das classes temáticas, vegetação, agricultura, solo exposto e hidrografia – CBERS-2 e CBERS-2B.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

BD – Banco de Dados

Cfa - Subtropical úmido Mesotérmico

CAR – Cadastro Ambiental Rural

CAST - Academia Chinesa de Tecnologia Espacial

CBERS - *China-Brazil Earth Resources Satellite*

CCD - Câmera Imageadora de Alta Resolução

GIMAB - Grupo Integrado de Monitoramento e Análise de Bacias Hidrográficas

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IVM – Infravermelho Médio

IVP – Infravermelho Próximo

Km² - Quilômetros Quadrados

LANDSAT –

MaxVer – Máxima Verossimilhança

MLME – Modelo Linear de Mistura Espectral

MQP – Máximo Quadrados Ponderados

MQR – Mínimos Quadrados com Restrições

MSS – *Multispectral System*

NASA - *National Aeronautics and Space Administration*

ND – Níveis Digitais

NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

OLI - *Operational Land Imager*

PIXEL – *Picture Element*

Pléiades - *Pleiades Satellite constellation*

PRINCO - Combinação entre Transformação de Principais Componentes e Mínimos Quadrados

PRODES – Projeto de Monitoramento de Desmatamento da Amazônia Legal

REM – Radiação Eletromagnética

SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas

TM – *Thematic Mapper*

µm - Micrômetros

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 GEOPROCESSAMENTO E/OU GEOTECNOLOGIAS	16
2.2 SISTEMA DE INFORMÇÃO GEOGRÁFICA.....	17
2. 3 SENSORIAMENTO REMOTO	17
2.4 RESOLUÇÕES DOS SENSORES.....	19
2.4.1 Resolução Espacial.....	19
2.4.2 Resolução Espectral	20
2.4.3 Resolução Radiométrica	20
2.4.4 Resolução Temporal	21
2.5. CBERS-2 e CBERS-2B.....	22
2.6 APLICAÇÕES DO MLME - PROJETO DE MONITORAMENTO DO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA LEGAL	23
3. METODOLOGIA	26
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	26
3.2 MÉTODOS.....	27
3.2.2 Registro de Imagens	28
3.2.3 Modelo Linear De Mistura Espectral	28
3.2.4 Segmentação De Imagens.....	31
3.2.5 Classificação De Imagens.....	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
REFERÊNCIAS.....	53

1. INTRODUÇÃO

Com o passar das últimas décadas, obteve-se grande avanço tecnológico no que diz respeito às técnicas e ferramentas para análise ambiental, sendo que o geoprocessamento não fica para trás, vem crescendo e ganhando espaço dentro de órgãos governamentais, não governamentais, áreas urbanas, gestores de unidades de conservação, entre tantos outros setores da sociedade. Além de seu uso para variados métodos de análise ambiental, identificação de problemas, questões naturais, entre outros, mostrando o crescimento no uso de geotecnologias em prol do monitoramento e controle ambiental.

Dentro do geoprocessamento temos os Sistemas de Informação Geográfica (SIG's), sendo esta uma ferramenta para gerenciamento de banco de dados (BD) e tratamento de diversas informações do sensoriamento remoto no mesmo local, tanto de dados espaciais, quanto dos não espaciais.

Com diversos Sistemas de Informação Geográfica, as fontes das imagens a serem tratadas também são diversas. Diferentes satélites em diferentes órbitas atuam para o avanço tecnológico no mundo, sendo alguns mais específicos para análises ambientais, como podemos citar: Landsat (*Land Remote Sensing Satellite*), CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite*) e Resourcesat. O CBERS é resultado de uma parceria entre o Brasil e a China, com o objetivo de monitorar a Terra para trabalhos na área da agricultura, levantamentos e quantificação de vegetação natural.

Com imagens disponíveis no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) desde 2003, se fara uso de dados deste satélite nesta pesquisa. Tanto o CBERS-2 quanto o CBERS-2B fazem uso do sensor de Câmera Imageadora de Alta Resolução (CCD), que trabalha com uma resolução espacial de 20 metros e imageia uma área de 113x113 km, por cena, coletando a mesma área (órbita/ponto) em 26 dias. Tecnicamente o sensor atua em quatro faixas do espectro eletromagnético: azul (0,45 - 0,52 μ m), verde (0.52-0.59 μ m), vermelho (0.62-0.68 μ m) e infravermelho próximo (0.77-0.86 μ m).

Para a análise da vegetação natural, transformações espaço-temporal na cobertura vegetal, uso e cobertura do solo, várias metodologias podem ser empregadas, a maioria delas ligadas ao processamento digital de imagens. Uma, e

especial, é chamada Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), modelo no qual o valor do *pixel* (*Picture Element*) em qualquer banda espectral é considerado como a combinação linear da resposta de cada componente dentro do *pixel*, baseia-se na capacidade de separação dos diversos componentes da superfície da terra encontrada em uma imagem de satélite, processo que resulta na geração de três imagens componentes: solo, sombra (água) e vegetação. Com tais imagens geradas, aumenta-se a capacidade de percepção do contraste existente entre os diferentes alvos na paisagem. Assim as etapas subsequentes, de segmentação e classificação para mapeamento por classes temáticas, se tornam mais fácil.

Os poucos trabalhos e estudos na área de geoprocessamento no contexto regional indicam uma carência de material cartográfico das bacias hidrográficas dos afluentes do rio Paraná (Lago), o que dificulta o processo de conhecimento e análise destas áreas. O uso das geotecnologias ajuda e facilita tomada de decisão através do entendimento dos dados encontrados, colaborando assim com a disseminação de informações em prol do controle ambiental da região.

Para esta pesquisa ficou definido como área de interesse a bacia hidrográfica do rio Ocoy, para mapeamento das classes temáticas de acordo com o uso e cobertura do solo, e comparação e verificação de evolução na paisagem. Com o uso de imagens CBERS em diferentes períodos de tempo será possível validar a metodologia do MLME nesta bacia, predominantemente agrícola, e por meio destas técnicas contidas no Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (Spring), como contraste, segmentação, classificação semi-supervisionada e chegar ao mapeamento temático do cenário atual da bacia do rio Ocoy.

A área de estudo em questão é a bacia do rio Ocoy, bacia que pertence à bacia do Paraná III, sendo que esta de acordo com o Cultivando Água Boa (2013) é uma região privilegiada, rica em recursos naturais, biodiversidade, abundância de água e excelentes solos. Porém, como toda fronteira agrícola, também sofreu as consequências do desmatamento acelerado e da ocupação territorial desordenada, ocorridos com mais intensidade a partir de 1950, resultado inclusive das políticas agrícolas existentes no país. Com o tempo, os passivos ambientais começaram a aparecer, como o desflorestamento da mata nativa, a erosão do solo e a contaminação das águas com dejetos de animais, agrotóxicos, esgotos e lixos. O que vem a interferir junto à bacia do rio Ocoy e nos elementos vegetação e hidrografia da região.

Então se tem como principais objetivos para esta pesquisa a aplicação da metodologia do Modelo Linear de Mistura Espectral junto a bacia do rio Ocoy, para validação deste método na área. Além disso, o mapeamento temático de uso e cobertura do solo e a quantificação das classes temáticas de interesse para então análise da área e colaborando com a disseminação de informações.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GEOPROCESSAMENTO OU GEOTECNOLOGIAS

Com o aumento populacional e grandes demandas de matéria prima, o monitoramento ambiental também se fez necessário, dentro deste monitoramento contamos com o geoprocessamento, que pode ser definido como o uso de técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informação geográfica e espacial. Os problemas geográficos e ambientais que são aplicáveis o estudo no geoprocessamento são de gestores de Parques Nacionais, gestão de saúde pública, transporte, com definição de rodovias, nas companhias de silvicultura para gerenciamento de florestas, órgãos governamentais, produtores rurais com o Cadastro Ambiental Rural (CAR), entre diversos outros usos.

Com um conjunto mínimo de quatro métodos que se relacionam ao tratamento da informação geográfica e espacial. Inicialmente com a coleta de dados, com técnicas de sensoriamento remoto, topografia, fotogrametria, etc., depois com o armazenamento destes dados em determinado banco de dados, o tratamento, análise e uso integrado em algum Sistema de Informação Geográfica (SIG), através das suas características alfanuméricas e suas informações geográficas, e o sensoriamento remoto que usa de interações entre a Radiação Eletromagnética (REM) e a propriedades físico-químicas dos alvos, para análise destes. Câmara (2008) ainda destaca que em um país de dimensão continental como o Brasil, com uma grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais, o Geoprocessamento apresenta um enorme potencial, baseado em tecnologias de custo relativamente baixo, em que o conhecimento seja adquirido localmente.

É costume dizer-se que Geoprocessamento é uma tecnologia interdisciplinar, que permite a convergência de diferentes disciplinas científicas para o estudo de fenômenos ambientais e urbanos. Ou ainda, que o espaço é uma linguagem comum para as diferentes disciplinas do conhecimento (CÂMARA; MOREIRA, 2015, p.2).

Sendo assim, as geotecnologias se apresentam como instrumentos importantes na análise ambiental, principalmente para monitoramento do solo, vegetação e da água.

2.2 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Do ponto de vista da tecnologia, desenvolver um SIG significa oferecer o conjunto mais amplo possível de estruturas de dados e algoritmos capazes de representar a grande diversidade de concepções do espaço. Através de um banco de dados que faz uso de diversas ferramentas, o usuário consegue obter diversas respostas interagindo dados espaciais e não espaciais para resolução de diversas problemáticas. Rosa (1995) descreve que o desenvolvimento do SIG tem se baseado em inovações que ocorreram em disciplinas distintas: Geografia, Cartografia, Fotogrametria, Sensoriamento Remoto, Topografia, Geodésia, Estatística, Computação, Inteligência Artificial, e muitos outros ramos das Ciências Sociais, Ciências Naturais e Engenharias, com a contribuição de todas as citadas técnicas e ciências.

Hoje há diversos SIG's disponíveis para uso, de forma paga ou gratuita, dependendo das necessidades do usuário. Entre os softwares proprietários destaca-se no Brasil, o ArcGis, o Envi, o Surfer e o Erdas Image, e, como não proprietários podemos citar, o QGis, o gvSig, o TerraView e o Spring; os dois últimos são projetos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Em um SIG, suas duas principais funções são a obtenção de mecanismos para combinação de diversas informações, através de técnicas matemáticas e computacionais, para consulta e visualização; e permitir, inserir e integrar informações de origens distintas para seu uso integrado a análise em um único banco de dados. As funções estão vinculadas também a própria estrutura do sistema, relacionando as necessidades do usuário. O INPE (2010) relata que por conta de sua vasta forma de uso, há pelo menos três grandes maneiras de utilizar um SIG, elas são: como ferramenta de produção de mapas; como suporte de análise espacial e não espacial de fenômenos e como um banco de dados, com armazenamento, tratamento e análise de informação.

2.3 SENSORIAMENTO REMOTO

O Sensoriamento Remoto descrito por Fitz (2008, p.109), é uma técnica que faz uso de sensores para a captação e registro a distância, sem contato direto, da

energia refletida ou absorvida pela superfície terrestre. As informações são obtidas utilizando-se a radiação eletromagnética refletida e/ou emitida pelos alvos, geradas por fontes naturais como o Sol e a Terra, ou por fontes artificiais como, por exemplo, o Radar (NOVO, 1988, p. 308). O sensoriamento remoto vem a colaborar com o monitoramento ambiental, pois é uma ciência que obtém informações sobre os objetos da superfície terrestre e a partir das interações entre a Radiação Eletromagnética (REM) e as propriedades físico-químicas dos objetos sem manter o contato direto, ou seja, o sensoriamento remoto é regido pela interação entre a REM e o alvo (Figura 1).

O INPE (2015) destaca que a radiação emitida ao incidir sobre a superfície de outra matéria pode ser refletida, absorvida ou transmitida. Quando absorvida, a energia é geralmente reemitida, em diferentes comprimentos de onda e que os processos de emissão, absorção, reflexão e transmissão ocorrem simultaneamente e suas intensidades relativas caracterizam a matéria em investigação. Dependendo das características físicas e químicas da mesma, os quatro processos ocorrem com intensidades diferentes em diferentes regiões do espectro. Por exemplo, a vegetação possui altos índices de reflexão quando esta na faixa do infravermelho próximo, já a água tem maior reflexão no faixa do visível e alta absorção nas faixas do Infravermelho (IVP e IVM).

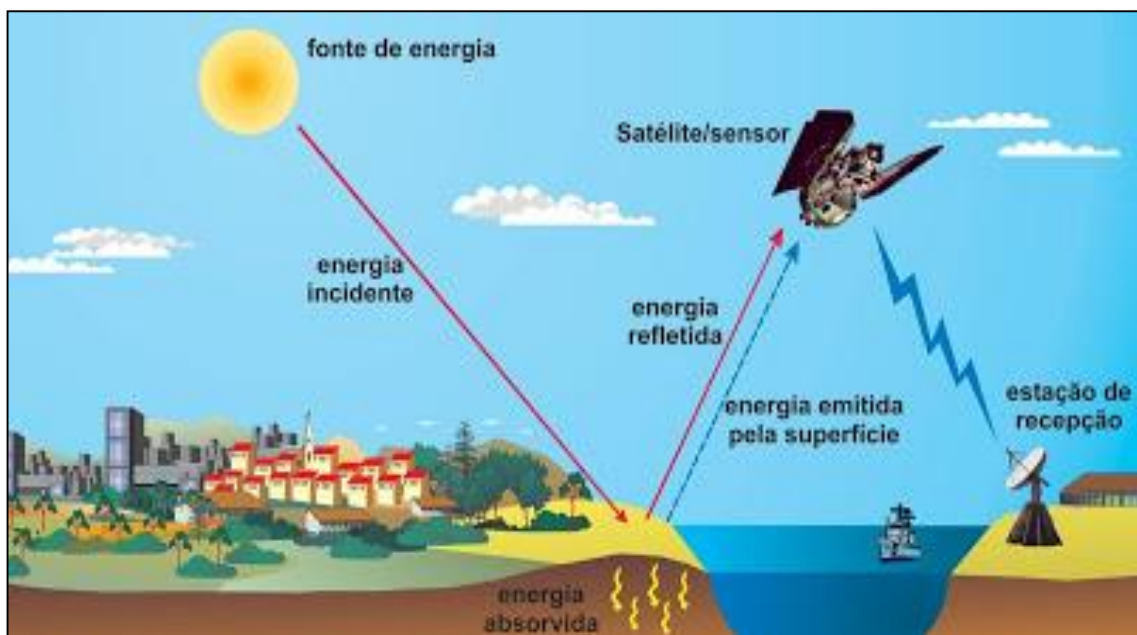


Figura 1 - Ilustração Interação Sol-Terra-Satélite

Fonte – <http://parquedaciencia.blogspot.com.br/2013/07/como-funciona-e-para-que-serve-o.html>

2.4 RESOLUÇÕES DOS SENSORES

Um sensor possui quatro tipos de resoluções: espacial, espectral, radiométrica e temporal. O INPE (2015) detalha que os sensores são equipamentos capazes de coletar a energia do objeto/alvo, no caso a radiação eletromagnética (REM) e converte-la em um sinal que seja possível o registro de modo adequado para a extração de imagens. Um sensor/satélite se diferencia pela fonte de energia, região do espectro eletromagnético, formato do dado produzido, sistema de varredura e as resoluções do sensor. Os processos de emissão, absorção, reflexão e transmissão ocorrem no mesmo momento e caracterizam o alvo a as faixas do espectro. Cada sensor/satélite trabalha em diferentes resoluções, dependendo do foco em que o satélite atua, com diferentes características. Estas características são importantes para a diferenciação de uso, podendo ser notadas por estes quatro domínios.

2.4.1 Resolução Espacial

Moreira (2012) discorre que esta resolução baseia-se na projeção geométrica do detector na superfície terrestre, definido a sua área do campo de visada do instrumento em certa altitude e em determinado instante. Mather (1987) comentou que a resolução espacial de um sistema de imageamento não é um conceito fácil de estabelecer. Pode ser entendida também como à habilidade do sistema do sensor em distinguir e medir os alvos. Portanto, quanto maior a resolução espacial, maior o nível de detalhes perceptível na imagem, desde que o sinal de saída de um detector esteja relacionado com a média da energia radiante dentro da área projetada (MELO p.146,2002). Pode-se exemplificar sua diferencia comparando diferentes sensores sendo que, por exemplo, o CBERS-2 trabalha em uma resolução espacial de 20m X 20m, este de resolução menor que o Pléiades (*Pleiades Satellite constellation*) trabalha em uma resolução espacial de 2m X 2m com imagens então, de melhor qualidade que a segunda geração do CBERS.

2.4.2 Resolução Espectral

A resolução espectral é um conceito próprio para os sistemas sensores multiespectrais. Para Novo (2008), a resolução espectral é “uma medida da largura das faixas espectrais e da sensibilidade do sistema sensor em distinguir entre dois níveis de intensidade do sinal de retorno, trabalhando então em diferentes faixas do espectro eletromagnético”. Pode se dizer que a resolução espectral se refere à largura da faixa espectral que o sensor opera. Moreira (2012) comenta e alerta sobre a questão do número de bandas espectrais, apontando que o número de bandas nem sempre é sinônimo de melhor qualidade na imagem. Os satélites do geoprocessamento com foco ambiental, normalmente trabalham nas três faixas do visível (azul, verde e vermelho) e nas faixas do infravermelho (próximo, médio e termal) - (Figura 2). Assim como o CBERS, a segunda geração do sistema trabalha em quatro faixas do espectro eletromagnético, sendo três do visível (azul, verde, vermelho) e uma no infravermelho próximo.

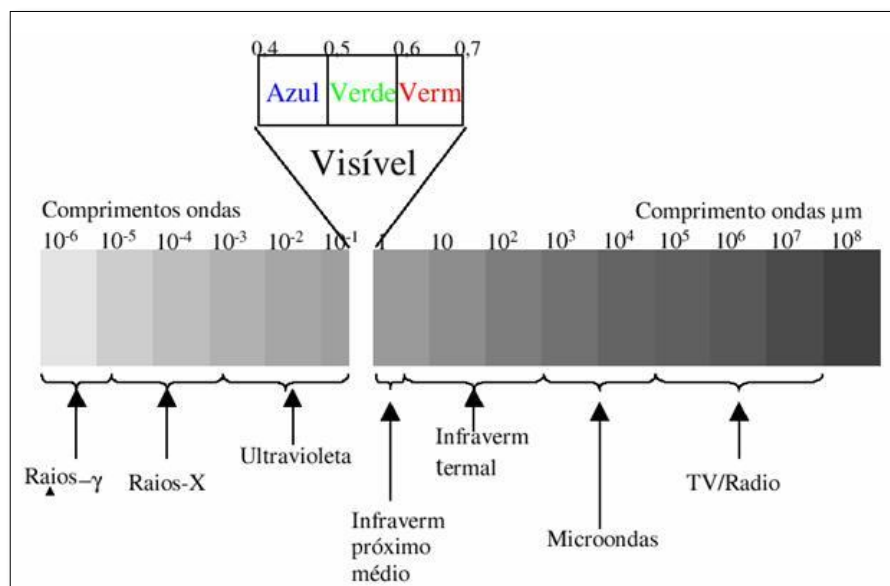


Figura 2 – Espectro Eletromagnético
 Fonte – Figueiredo (2005)

2.4.3 Resolução Radiométrica

A resolução radiométrica é expressa em bits, ou seja, em níveis digitais de cinza, em função do número de dígitos binários necessários para armazenar, em forma digital, o valor do nível máximo de cinza. O valor será sempre em potência de

dois, exemplificando: 8 bits em determinada imagem, corresponde a 256 níveis digitais de cinza, pois é em função da potência 2^8 . Crosta (1993) descreve que as diferenças são maiores nos níveis de cinza 2 e 4, do que nos níveis 256 e 2048 (Figura 3), devido ao fato do olho humano não possuir sensibilidade às mudanças de intensidade acima de 30 níveis de cinza. Moreira (2012) apontou a importância de esclarecer que em caso de sensores orbitais, a resolução radiométrica esta relacionada com a resolução espacial.

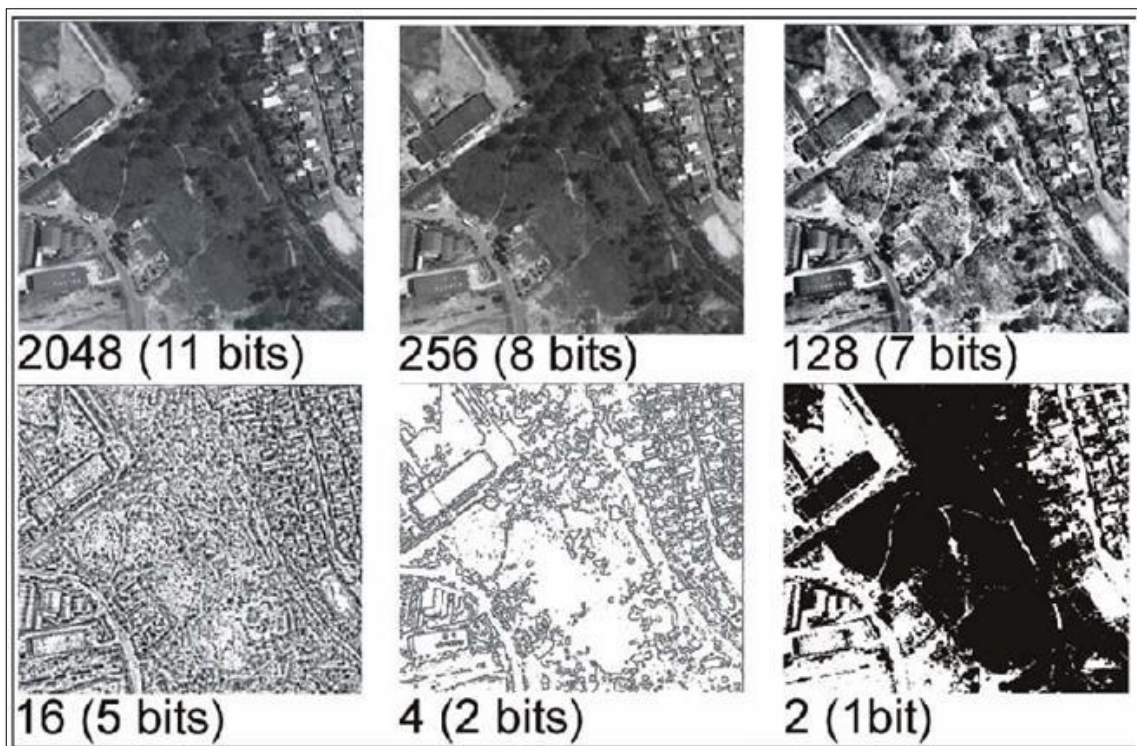


Figura 3 – Resolução Radiométrica
Fonte – Melo (2002).

Como exemplo pode-se mencionar o sensor *Thematic Mapper* do Landsat 4 e 5, que trabalha em resolução radiométrica de 8 bits, ou seja, suas imagens possuem 256 níveis de cinza. O Landsat-8 através do sensor OLI (*Operational Land Imager*) apresenta melhores resoluções radiométrica que seus antecessores com 12 bits, ou seja, 4096 níveis digitais de cinza.

2.4.4 Resolução Temporal

Pode ser entendida como o tempo que o satélite/sensor leva para dar a volta no planeta e voltar ao ponto de origem. Este período de tempo estabelece a

resolução temporal do sensor e está relacionado às características orbitais da plataforma como, por exemplo, a órbita em que o sensor atua, podendo ela ser polar, com 200 a 1.000 km de altitude, podendo ser geoestacionário com mais de 35.000 km ou de órbita Sol síncrona com 200 a 1.000 km de altitude. Além de inclinação, período de revisita e horário de cruzamento na Linha do Equador. Cada satélite possui uma resolução temporal distinta, por exemplo, alguns satélites são diários como o QuickBird que vai de 1 a 3,5 dias, isto dependendo da sua latitude, a do Landsat é de 16 dias, do CBERS 26 dias, variando de sensor. Assim é possível identificar modificações na superfície a partir da análise de duas imagens de uma mesma área em períodos distintos.

2.5. CBERS-2 e CBERS-2B

O programa CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite ou Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres) foi implantado em 1988 após parceria binacional entre o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Academia Chinesa de Tecnologia Espacial (CAST), num convênio técnico-científico binacional envolvendo Brasil e China (EMBRAPA, 2015).

A missão CBERS lançou quatro satélites de Observação da Terra, dentre eles o CBERS-2, lançado em 21 de outubro de 2003, que opera nas mesmas características e técnicas que seu antecessor, o CBERS-1. O satélite é composto de dois módulos, o módulo carga útil e o módulo serviço. O módulo de carga útil acomoda três sistemas ópticos, o CCD (Câmera Imageadora de Alta Resolução), o IRMSS (Imageador por Varredura de Alta Resolução) e WFI (Imageadora de Alto Campo de Visada). O sensor/câmera CCD é um sensor óptico com possibilidades de imagens de 20 metros de resolução espacial e fornece quatro bandas espectrais (Tabela 1), tem como suas principais funções a identificação de vegetação natural e áreas agrícolas, identificação de parques, análise dinâmica de florestas, quantificação de áreas e aplicações gerais para o meio ambiente.

Tabela 1 - Sensor CCD, Satélite CBERS-2 E CBERS-2B.

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Temporal	Resolução Espacial	Área Imageada
Câmera CCD	AZUL	0,45 - 0,52 μ m	26 dias	20 metros	113 km ²
	VERDE	0,52 - 0,59 μ m			
	VERMELHO	0,63 - 0,69 μ m			
	INFRAVERMELHO	0,77 - 0,89 μ m			
	PRÓXIMO				

Fonte: EMBRAPA (2015).

O satélite foi projetado para atuar em órbita heliossíncrona (norte – sul) a 778 quilômetros de altitude. No período de atuação (outubro de 2003 até janeiro de 2009), o CBERS-2 produziu 175 mil imagens e integra o Sistema Brasileiro de Coletas Ambientais.

O sucessor, CBERS-2B, foi construído para dar continuidade ao programa de imageamento do País. O CBERS-2B ainda pertence à primeira geração do CBERS e, portanto, é praticamente idêntico aos CBERS- 2 (INPE, 2015). A diferença está na substituição do IRMSS pela HRC (Câmera Pancromática de Alta Resolução), esta de acordo com a Embrapa (2015) possui uma única banda espectral, que atua no espectro do visível e infravermelho próximo. Foi lançado a bordo do satélite CBERS-2B e suas imagens se destacam pela alta resolução espacial (com 2,7 metros), o que possibilita um maior detalhamento da superfície em relação aos dados captados pela câmera CCD. Ele atua em uma órbita heliossíncrona também a 778 quilômetros de altitude, como seu antecessor.

2.6 APLICAÇÕES DO MLME - PROJETO DE MONITORAMENTO DO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA LEGAL

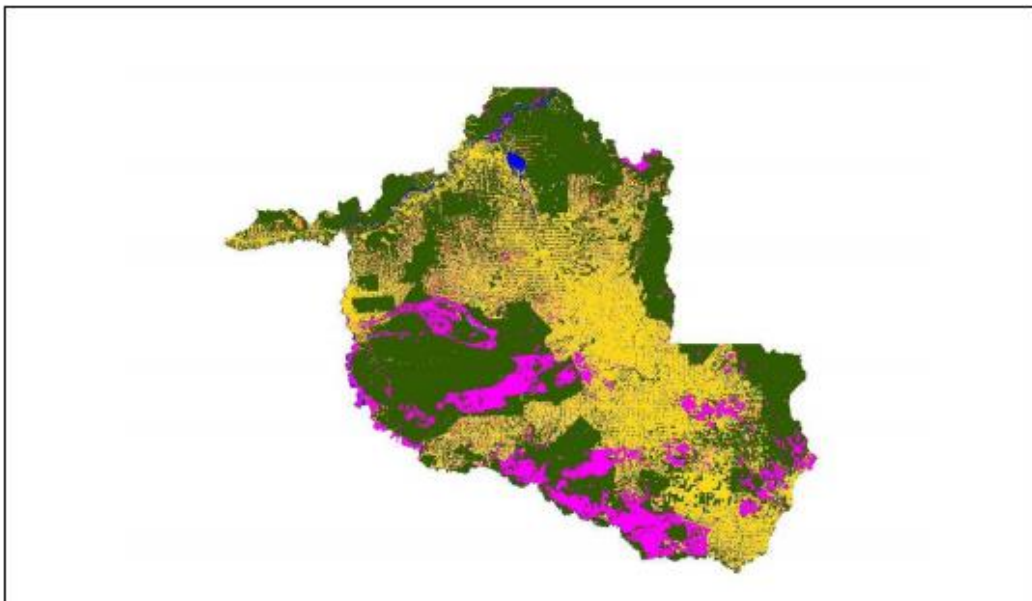
O uso do modelo linear de mistura espectral pode ser bem observado no Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal (PRODES), que possui o objetivo de monitorar e estimar taxas de desmatamento na área.

As estimativas geradas pelo PRODES baseiam-se em mapeamento anual de um grande conjunto de imagens do satélite Landsat 5/TM ou similares, cobrindo toda a extensão da Amazônia. O PRODES identifica áreas de corte raso, ou seja, retirada completa da cobertura florestal, maiores que

6,25 hectares (ha). Áreas sob impacto de exploração seletiva de madeira e áreas degradadas por incêndios florestais foram ignoradas desde os primeiros levantamentos, por ser menos evidente em estágios iniciais de degradação e por apresentarem pequenas dimensões e extensões, sendo de difícil detecção com os instrumentos e técnicas utilizadas naquele período. Para possibilitar a comparação das taxas ano a ano e manter a compatibilidade da série histórica desta taxa, o PRODES permanece mapeando apenas desmatamento por corte raso (INPE, 2013 p. 5).

O PRODES tem em seu objeto de estudo de áreas da Amazônia Legal, as imagens do Landsat-5 com 30 metros de resolução espacial e taxa de revisita de 16 dias. Conta também como as imagens CCD (sensor) do CBERS-2 e do CBERS-2B, satélites do programa sino-brasileiro de sensoriamento remoto, e do satélite indiano Resourcesat-1 (OBT, 2015).

As imagens Landsat, nas bandas 3 (vermelho) 4 (infravermelho próximo) e 5 (infravermelho médio) são submetidas ao modelo linear de mistura espectral, para geração das imagens fração solo, água (sombra) e vegetação. E depois com o uso de técnicas como a segmentação fazendo uso dos limiares de similaridade 8 e área/pixel 16, mais a classificação através do classificador Ioseg, chega-se ao mapeamento por classes temáticas (Figura 2), que ilustrando os pontos de desmatamento ao longo das décadas e quantificando a situação das áreas da Amazônia Legal.



**Figura 4 - Mosaico do PRODES para o Estado de Rondônia com áreas de floresta (verde), desmatamento (amarelo), áreas de não floresta (magenta) e hidrografia (azul).
Fonte: INPE, Projeto PRODES (2013).**

Esta metodologia do PRODES é encontrada em outras pesquisas dentro da comunidade acadêmica no Brasil, com o intuito principal de analisar e monitorar as áreas de desmatamento ao longo dos anos, não somente na Amazônia, mas também em diversos Estados, através do uso do modelo de mistura.

Aplicando o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) ao cerrado, na bacia do rio Caririnha (MG-BA), Borges e dos Santos (2009, p. 5663-5669) conseguiram fazer o levantamento em imagens do período de 2001 que demonstraram que 18% da área da bacia se encontrava antropizada, o que representa 308.687ha. As imagens de 2007 mostraram um aumento da área desmatada para 25%, total de 416.286ha, o que significa um incremento de 107.599ha. Comprovando que a bacia apresenta boas condições de vegetação natural.

No Parque Nacional das Emas, Quintano et al. (2005) a partir de imagens Landsat-5 realizaram a aplicação do MLME e de técnicas de seleção de *pixels* puros, e na análise multitemporal dos dados de queimada, que demonstraram ter excelente potencial para originar um inventário de queimada anual. Avaliando os efeitos dos métodos de realce espectral sobre a detecção de mudanças na vegetação, se manteve valores coerentes com poucas mudanças, quando se tratou da detecção de alterações em área de cobertura natural. Com tais resultados, tem-se maior embasamento teórico para tomada de decisões e também mostra como cenários podem ser degradados em curtos períodos de tempo.

3. METODOLOGIA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Ocoy se encontra no Oeste do Paraná, inserida na bacia do Paraná III, com 928,3 km² de extensão (Plano da Bacia Hidrográfica do Paraná III, 2008, p.13).

O rio Ocoy é tributário do Lago de Itaipu situado no Oeste do Estado do Paraná é um rio classe dois de acordo com a RESOLUÇÃO CONAMA 357/05 e pertence à bacia do Paraná III (CAVALHEIRO, 2010). O rio acaba recebendo em seu trajeto perto dos centros urbanos como Matelândia, Medianeira e São Miguel do Iguaçu, dejetos industriais e domésticos, oriundos destes municípios. Além deste fator, o uso do solo no sentido da agropecuária é sólido e o desmatamento para tal uso é um agravante para a região. O manejo desta bacia ao longo dos anos mostrou-se como excelente objeto de estudo para a quantificação destas áreas agrícolas e da vegetação natural através de técnicas multitemporais.

Em grande parte da região oeste o clima predominante é o Subtropical úmido Mesotérmico (Cfa), de verões quentes, com pouca frequência de geadas e chuvas concentradas nos meses de verão, com oscilação de temperatura nos meses mais quentes, superior a 22°C e nos meses mais frios, inferior a 18°C. Índices pluviométricos variam de 1.300 a 1.700 mm, com umidade relativa do ar de 75%, sem deficiência hídrica. (PDM, 2006). As classes de solo que são Latossolo Vermelho eutroférico, com característica de alta fertilidade natural e presença em relevo plano e ondulado, semelhante a outro tipo de solo presente na região que possui grande importância na agropecuária é a classe Nitossolo Vermelho eutroférico. Porém destaca-se com maior predominância na área a classe de Neossolos, esse de acordo com a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (2012) se caracteriza por ser raso em estado inicial de evolução e ter seu uso para agricultura, mas principalmente para a pastagem. Podem ser de baixa ou alta fertilidade e, quando ricos quimicamente, são muito utilizados para a agricultura, principalmente por agricultores familiares que possuem pequena área. (SBCS, 2012 p.6). Na bacia, seu relevo é característico do Terceiro Planalto do Paraná, com vertentes, ora curtas (ao Norte) e ora longas (ao Sul), com uma altitude mínima de 215 metros e máxima de 652 metros, como explicitado no mapa hipsométrico (Figura 5). Todos estes

fatores são contribuintes para vegetação da região, que tem predominância de Floresta Estacional Semidecidual e parte de Floresta Ombrófila Mista de grande importância para manutenção da biodiversidade da região.

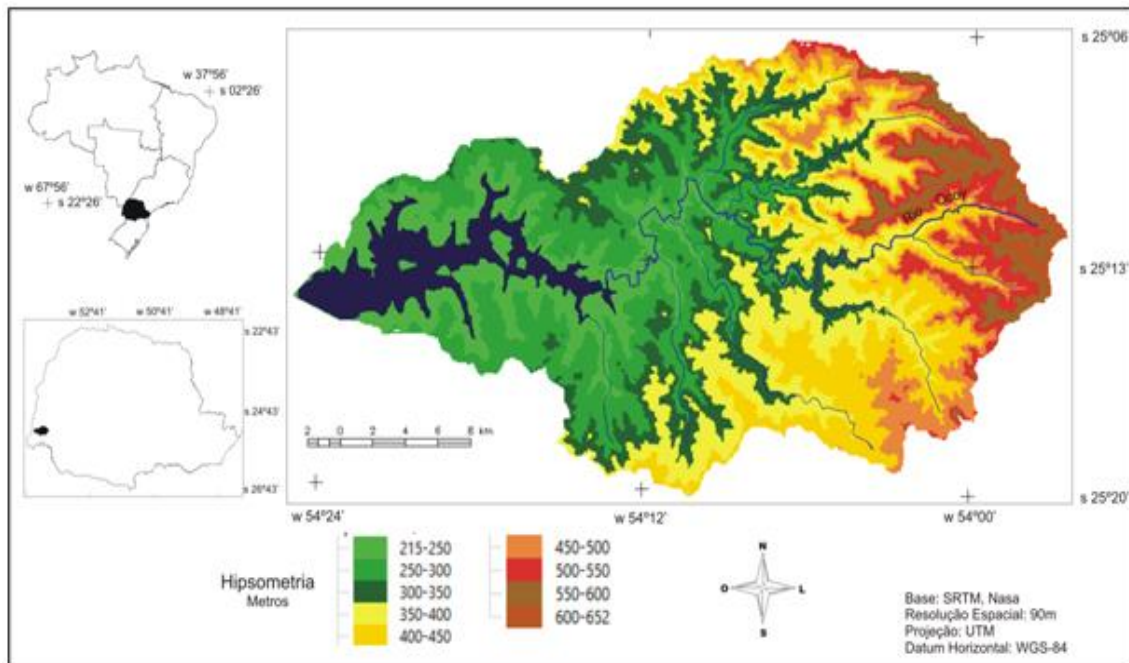


Figura 5 – Localização geográfica e hipsometria da bacia hidrográfica do rio Ocoy – Oeste do Paraná.

Fonte: Dal Pozzo (2014 p 23).

A bacia não possui grandes centros urbanos, ela se caracteriza por ter presente parte do Lago de Itaipu. Este foi importante nas últimas décadas com diversas alterações físicas na paisagem, além da região possuir diversas atividades desenvolvidas nos ramos da agricultura e pecuária, que caracterizam grande parte da área também, com culturas de soja, milho e criação de suínos, originando um grande desgaste e impacto no solo e no meio ambiente do local de estudo. Na qualidade da água, os problemas são oriundos de assoreamento, vindo dos rios da bacia, através de terra das propriedades rurais, ocorre também a eutrofização bem presente no Lago de Itaipu, proveniente da matéria orgânica, gerado principalmente pela agropecuária e o uso de agrotóxicos.

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Aquisição de Imagens, Banco de Dados e Projeto.

As imagens selecionadas para o estudo foram as dos satélites Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres - CBERS-2 e CBERS-2B , disponíveis gratuitamente no Catálogo de Imagens eletrônico do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), mediante cadastro do usuário. Nesta etapa adquiriram-se cenas que cobrem toda a bacia do Ocoy: uma do CBERS-2, localizada na órbita 161 ponto 128, de 24 de março de 2004 e outra do CBERS-2B, localizada na órbita 162 ponto 128 de 29 de março de 2009 período/mês que se caracteriza pela transição das culturas. As bandas utilizadas no processamento em SIG são as bandas do verde (2), do vermelho (3) e do infravermelho próximo (4). Estas imagens, de acordo com a descrição do INPE, tem nível de registro 2, ou seja, não estão registradas corretamente. Para utiliza-las em ambiente de SIG foi necessário georreferencia-las, capturando pontos de controle em uma imagem ortoretificada, de outro sensor/satélite. Este registro, assim como a criação do banco de dados e do projeto foi desenvolvido com o *software* livre, Spring 5.2.6. As coordenadas geográficas do retângulo envolvente para criar o projeto, e o limite (polígono) da bacia hidrográfica foram disponibilizados pelo grupo de pesquisa GIMAB - Grupo Integrado de Monitoramento e Análise de Bacias Hidrográficas - da UTFPR, câmpus de Medianeira.

3.2.2 Registro de Imagens

O registro ou georreferenciamento de imagens é necessário para imagens que estão fora de determinado sistema de coordenadas presentes em um sistema de informação geográfica. Ele acontece através de uma imagem já registrada no Spring, sendo utilizada como referência, como, por exemplo, uma imagem Landsat-8 com a coleta de seis pontos de controle, que seriam feições facilmente identificáveis nas duas imagens, sendo que seis pontos é uma quantia interessante, onde se podem ignorar dois pontos que gerem erro alto na imagem. Assim, o limite da bacia hidrográfica, que está georreferenciado, no momento de ser manipulado nas imagens CBERS, estará com as coordenadas corretas.

3.2.3 Modelo Linear De Mistura Espectral

Dentro do Spring atualmente, existe uma metodologia de operações aritméticas que se destaca na detecção da vegetação e do solo. Este é o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), que se dá pela identificação de três componentes em determinada imagem, sendo eles, vegetação, solo e sombra. O último pode ser chamado e classificado como água, considerando que a água só possui refletância na faixa do visível, no infravermelho ela não possui, como a sombra. Segundo o descrito por Jácomo et al. (2013) o modelo de mistura foi proposto no objetivo da resolução sobre questão de mistura espectral que ocorre dentro da unidade do *pixel*. Com a finalidade de saber qual dos três será mais representativo dentro de cada *pixel*. Moreira (2012, p. 233) detalhou que o modelo de mistura foi desenvolvido para que a imagem se “decomponha” nestes três componentes anteriormente citados, com a geração de três novos componentes. Os *pixels* que contém maior informação sobre a vegetação, são realçados dentro do componente. De maneira igual acontece aos componentes, solo e água. Suas aplicações mais comuns incluem a identificação de diferentes tipos de cobertura vegetal, detecção do padrão de mudança de cobertura, como uso do solo, expansão urbana e desmatamento (CHUVIECO, 1996).

Deste modo, dentro a comunidade acadêmica no Brasil, destaca-se o uso apenas das imagens-fração solo e água onde a identificação dos *pixels* é mais fácil, e as feições de melhor reconhecimento. Moreira (2012) aponta que deve ser feito uso das imagens-fração solo ou água, devido a apresentar respostas espectrais semelhantes.

As imagens-fração água ou solo tem sido geralmente utilizado no processo de identificação das áreas desmatadas. Essa indicação de qual imagem-fração utilizar para dar sequência no procedimento é fruto da experiência do foto-intérprete ou do analista em reconhecer a complexidade temática da área de estudo (PRODES, p.17 2013).

O modelo se dá pela seguinte equação como descreve Shimabukuro et al. (1998):

$$R = a \cdot \text{vege} + b \cdot \text{solo} + c \cdot \text{agua} + e$$

Onde:

r = resposta do *pixel* na banda de imagem;

a = proporção de vegetação;

b = proporção de solo;

c = proporção de sombra (água);

vege = resposta espectral do componente vegetação na banda i;

solo = resposta espectral do componente solo na banda i;

sombra = resposta espectral do componente água (sombra) na banda i;

e = erro de estimação intrínseco para cada banda i ;

i = bandas utilizadas.

É necessário que se faça a coleta de amostras de vegetação, solo e água, ou mais claro, que se faça coleta de assinaturas espectrais, sendo que devemos ter na faixa três, do vermelho a única que a água irá refletir, na faixa quatro, de Infravermelho Próximo (IVP) a vegetação maior que os outros dois componentes e na faixa cinco do Infravermelho Médio (IVM) as respostas devem ser maiores para o componente solo.

Ao final da seleção o usuário pode exibir um gráfico gerado na coleta das amostras, de curvas espectrais, apontando relações de aumento e diminuição de refletância nas três faixas existentes com os três componentes, possibilitando melhor interpretação do usuário.

É preciso após isto que se selecione o estimador de proporções sendo que existe três, o primeiro é o de Mínimos Quadrados com Restrições (MQR), sendo de acordo com o INPE (2015) método mais simples e rápido, aplicável quando o número de componentes é igual a três. O segundo é o de Mínimos Quadrados Ponderados (MQP) que é o método mais geral, faz uso de equações em seu processo. E o último é a Combinação entre Transformação de Principais Componentes e Mínimos Quadrados (PRINCO), como menciona o INPE (2015) este método diminui o número de equações no sistema aplicando uma transformação de principais componentes, seguida do método de estimação por Mínimos Quadrados. Para o estudo foi definido uso do Método de Mínimos Quadrados Ponderados (MQP) então se dá à execução do modelo.

3.2.4 Segmentação De Imagens

A segmentação de imagens ocorre após a decomposição das imagens vegetação, solo e água. Moreira (2012) discorre que no Spring existem dois tipos segmentadores. O de crescimento por regiões e o de detecção por bordas. Sendo que para obtenção de mapas temáticos, deve ser feito uso do de crescimento por regiões, como é feito em análises de áreas agrícolas e de vegetação natural.

O processo de segmentação de imagens tem por objetivo fragmentar uma região em unidades homogêneas, considerando algumas de suas características intrínsecas, a exemplo do nível de cinza dos *pixels*, da textura e do contraste (WOODCOCK et al., 1994, p 240).

Para Câmara et al. (2013), a segmentação de imagem é uma técnica de agrupamentos de dados, na qual somente as regiões espacialmente adjacentes e de características espectrais semelhantes podem ser agrupadas. Ainda seguindo o descrito por Câmara et al. (2013) as imagens fração-sombra (água) ou fração-solo derivadas do MLME eram segmentadas pelo método de crescimento de regiões. Para imagens Landsat se faz uso de um limiar de similaridade 8 e área 16, este é o fator decisivo na segmentação da imagem. Servello et al. (2007, p. 1128) comentam que no momento da análise das segmentações geradas sobre a imagem-fração água decorrentes das variações dos limiares de similaridade e de área, foi estabelecido que os valores 10 e 25 foram os mais adequados para refletir a variabilidade temática encontradas na área investigada de acordo com os autores. Para cada região, Moreira (2012) relata que a segmentadora ira calcular os atributos especiais, média, variância e textura. Os critérios de similaridade e área farão a agregação das regiões.

Ao descrever a segmentação por crescimento de regiões Florenzano (2008) aponta que a similaridade é o, “limiar abaixo do quais duas regiões são consideradas similares e agrupadas em uma única região” e apontou a área (*pixels*) como “valor de área mínimo, representado em numero de *pixels* para que uma região seja individualizada”.

Este processo ocorre anteriormente à classificação não supervisionada das imagens com o intuito de dividir a imagens em conjunto, *pixels*, que mais se assemelhem. Para que na etapa posterior o processo classificatório seja mais fácil e

fique mais claro. Ou ainda a criação da imagem segmentada pode ser entendida como a separação em regiões de acordo com o nível de cinza presente na imagem.

Definiu-se o uso da imagem fração-sombra (água) para a segmentação. As imagens então foram submetidas à segmentação seguindo os melhores valores nos testes e com uso de valores encontrados em outros estudos como de Nery (2010, p.4) que faz uso da metodologia de mistura espectral com o mesmo Satélite e sensor.

3.2.5 Classificação De Imagens

De acordo com o INPE (2015) a classificação de imagens é o processo existente para a extração de informação em imagens para reconhecimento de padrões e objetos homogêneos, sendo utilizados em sensoriamento remoto para o mapeamento terrestre. A classificação consiste na identificação de tipos de cobertura e uso do solo, de acordo com a resposta espectral que cada elemento gera. Avalia a exatidão das imagens geradas, envolvendo a identificação de um conjunto de locais amostrais.

O sucesso da classificação depende da presença de diferentes assinaturas espectrais para as categorias de cobertura do solo de interesse no conjunto das bandas que estão sendo utilizadas e também da habilidade para distinguir tais assinaturas de outros padrões de resposta espectral que possam estar presentes na imagem. Sendo que existem dois tipos de classificação, a supervisionada e a não supervisionada, de acordo com o algoritmo utilizado no processo. Os dois usam as regras de decisão para que o classificador faça associação de certo *pixel* a certa classe ou regiões de similaridade dos níveis de cinza. Segundo Moreira (2012) as regiões levam em conta a característica espectral do *pixel* (classificação *pixel-a-pixel*) ou do *pixel* e seus vizinhos (classificação por regiões). Para o estudo foi selecionado então a classificação por regiões, não supervisionada. É o método onde o usuário usa de algoritmos para reconhecer classes presente e de interesse na imagem. Moreira (2012) comenta que o uso de classificadores não supervisionados é indicado quando o analista não possui conhecimento da área de estudo. Neste sentido o intuito é eliminar a subjetividade no processo de obtenção das amostras das áreas, para criar o pacote de treinamento. Ainda de acordo com Moreira (2012)

mesmo sendo considerado um procedimento em que não há interação do analista com o sistema, na fase de treinamento, certos algoritmos necessitam de alguns parâmetros que devem ser fornecidos a esses sistemas. Os *pixels* dentro de uma área são então submetidos a um algoritmo que irá determinar o agrupamento dos dados, então cada grupo irá representar a distribuição de probabilidade de uma classe. Torna-se necessário que o analista forneça ao sistema alguns limiares que servirão como critérios de decisão no momento de agrupar *pixels* em classes distintas (RICHARDS, 1986, p.281). Segundo o estudo proposto por Jácomo et al. (2013) a quantidade de mudanças detectadas nas classes variou em função dos métodos de realce, e qualidade radiométrica.

Dentro os classificadores não supervisionados, pode-se citar o Isoseg que é um classificador não supervisionado, por regiões e considerado por muitos, o de mais fácil aplicação. De acordo com Meneses et al. (2013, p.215-216), trata-se de uma técnica de classificação que tem por finalidade agrupar as regiões a partir de uma medida de similaridade entre elas. Esta medida se dá através da distância de *Mahalanobis*, a distância de *Mahalanobis* assume que todas as covariâncias das classes são iguais. As classes diferenciam-se pelo vetor das médias (Richards, 1986). Os *pixels* da imagem são classificados como sendo da classe que apresenta a menor distância de *Mahalanobis*. De acordo com Moreira (2012, p.336-337) “o Isoseg utiliza matriz de covariância e o vetor médio para estimar o valor central de cada classe” e possuem três procedimentos básicos:

- Definição do limiar (percentagem) – Define se uma porcentagem de aceitação, sendo que o Spring oferece limiares de 99,9% a 75%. Este limiar irá definir a distância de *Mahalanobis*, Moreira (2012, p.336-337) comenta que o usuário ao optar por um limiar menor, o número das classes irá aumentar, por exemplo, um limiar de 75% como oferecido no Spring.
- Detecção de Classes – Esta fase irá se repetir até que todas as regiões tenham sido associadas a alguma classe. Estas classes são colocadas em ordem decrescente e então se dá o processo de agrupamento delas.

- Competição entre Classes – Nesta etapa as regiões antes classificadas, são reclassificadas, levando em conta novos parâmetros estatísticos. Pode-se dizer que esta é relacionada à edição matricial do mapa temático gerado.

Após a geração da imagem classificada é necessário que se faça uso da ferramenta de “Mapeamento por Classes Temáticas”, levando em conta que é necessário que se faça uso de técnicas de acoplamento de telas, e com base na imagem sintética gerada anteriormente no processo, faça-se a associação das classes geradas com os alvos de interesse para a classificação de uso e cobertura do solo. Esta técnica facilita a identificação das classes de interesse.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta pesquisa destina-se não apenas a apresentar os dados resultantes do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), mas organizar sistematicamente os passos no Sistema de Informação Geográfica (SIG), desde a criação do banco de dados até a apresentação dos mapas temáticos da bacia do Ocoy.

Depois de montado o banco de dados e o projeto no Spring, foram importadas as imagens do CBERS-2 e CBERS-2B órbita 161 ponto 128 e órbita 162 ponto 128, além de imagens do Landsat-8, órbita 224 ponto 77, como referência para o registro.

No Spring esta metodologia se inicia com a aplicação do contraste linear nas imagens. Como foi feito uso do Landsat-8, selecionou-se as bandas que correspondem ao vermelho (4), infravermelho próximo (5) e infravermelho médio (6), do espectro eletromagnético e associado aos canais Blue, Green e Red, respectivamente. Através da coleta de pontos na imagem Landsat-8 e seleção dos mesmos pontos (feições) nas imagens CBERS-2 e CBERS-2B, gerando assim a associação das coordenadas (Figura 6 e 7). Foram adquiridas, no caso, seis pontos como referência. Os pontos de controle são as feições possíveis de se localizar nas duas imagens, como por exemplo, o cruzamento de estradas, um município, a curva de um corpo hídrico entre outros.

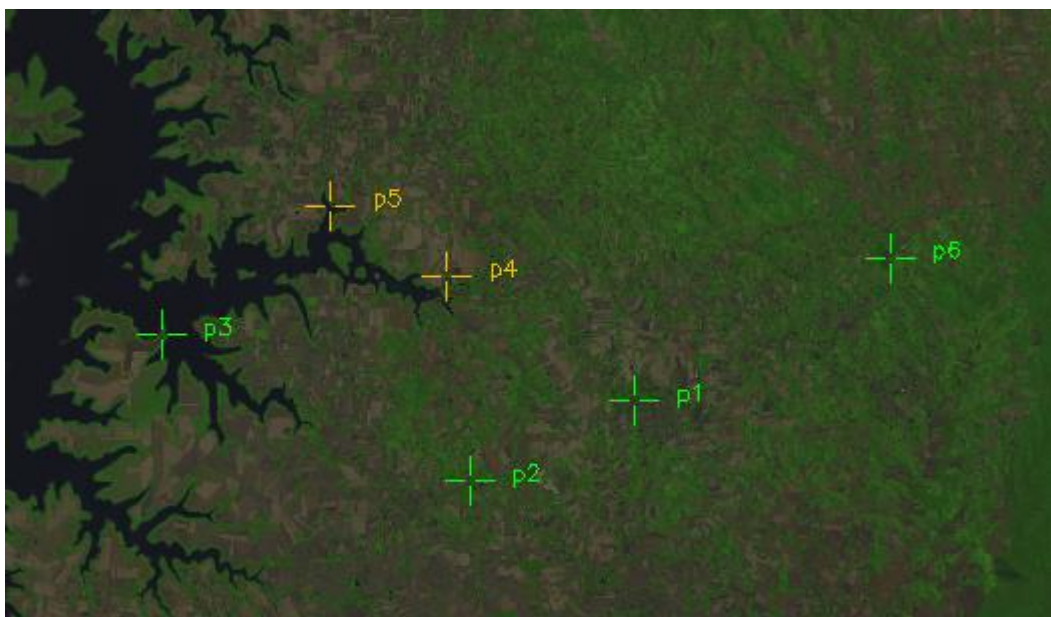


Figura 6 - Pontos de controle sobre a imagem Landsat-8 (4B5G6R).

Como é possível observar na Figura 7, os pontos quatro e cinco obtiveram altos índices de erro. Assim foram menosprezados estes dois pontos para salvar a equação, gerando um controle de 0.457. Este valor pode ser explicado pelo erro existente no momento do registro, sendo que é uma taxa de erro baixa e aceitável. A imagem CBERS tem uma resolução de 20 metros, logo se deve multiplicar a resolução pelo controle, $(20 \times 0,457)$ obtendo um erro de 9,14 metros de deslocamento.

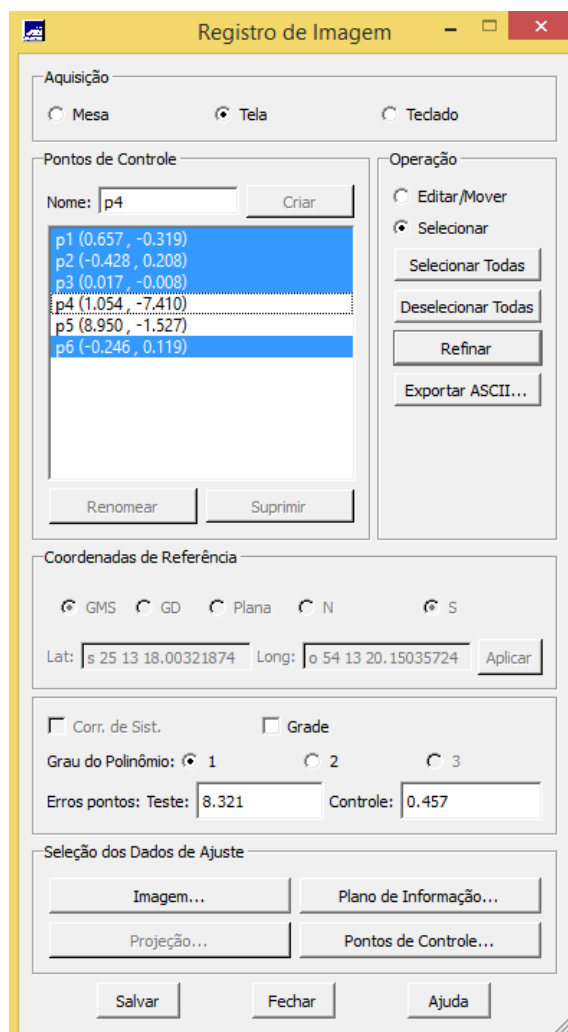


Figura 7 - Interface do Spring para Coleta de Pontos no Registro da Imagem.

O registro das imagens se faz necessário para integração de imagens obtidas por sensores diferentes e/ou qualquer imagem que não esteja localizada espacialmente. Assim, para tornar as coordenadas geográficas da imagem não registrada ajustadas, faz-se uso de um SIG com uma imagem georreferenciada, ou

ortorretificada (ajustada a curvatura da Terra). Devido à diferença de localização do plano de informação de interesse, no caso a bacia do rio Ocoy, existe a necessidade do georreferenciamento, através de uma feição física perfeita como a do Landsat-8, que tem registro no sistema de coordenadas. Assim deve se realizar a coleta dos pontos na imagem registrada (Landsat-8) e realizar a coleta dos mesmos pontos, nas mesmas localidades, na imagem CBERS fora de registro, tornando-a georreferenciada. A diferença pode ser vista em um comparativo entre as imagens antes e pós o registro das imagens (Figura 9 e 10).

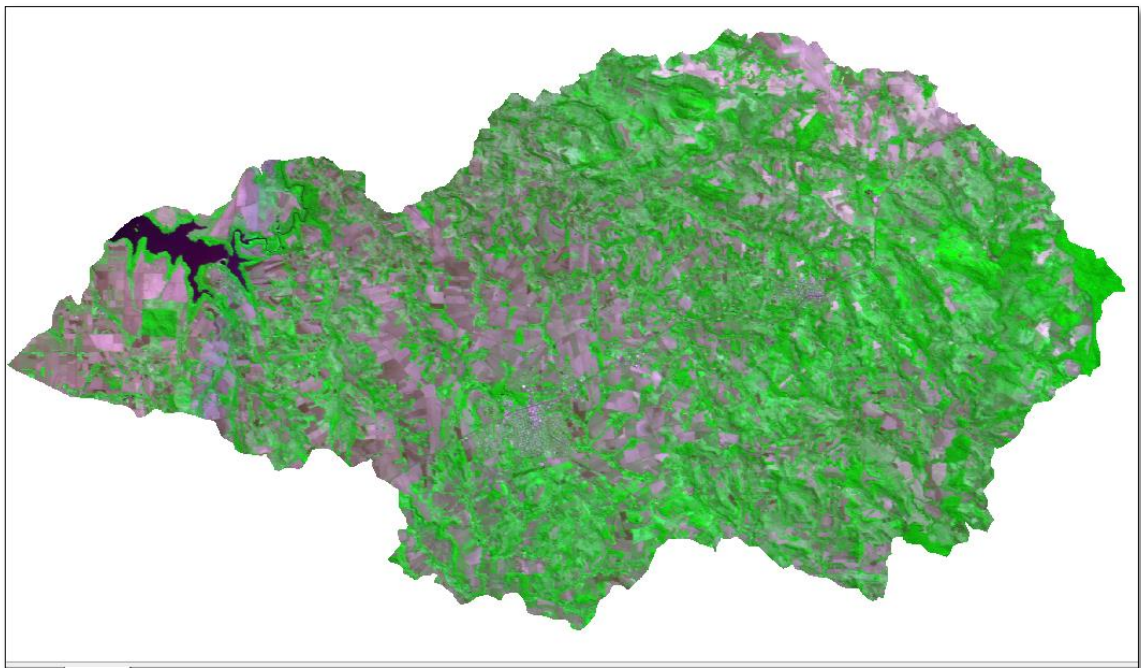


Figura 8 - Plano de informação da Bacia do Rio Ocoy com imagem CBERS-2 (2B3R4G), antes do registro.

O processo deve ser feito para todas as bandas utilizadas, no caso as bandas 2, 3 e 4. O CBERS-2B possuía um erro mínimo no registro, e também foi registrada.

Para início do modelo de mistura, gerou se uma imagem sintética 2 (B) 3 (R) e 4 (G) (Figura 9). Este processo não é obrigatório, porém proporciona o reconhecimento dos alvos de modo simples no modelo de mistura.

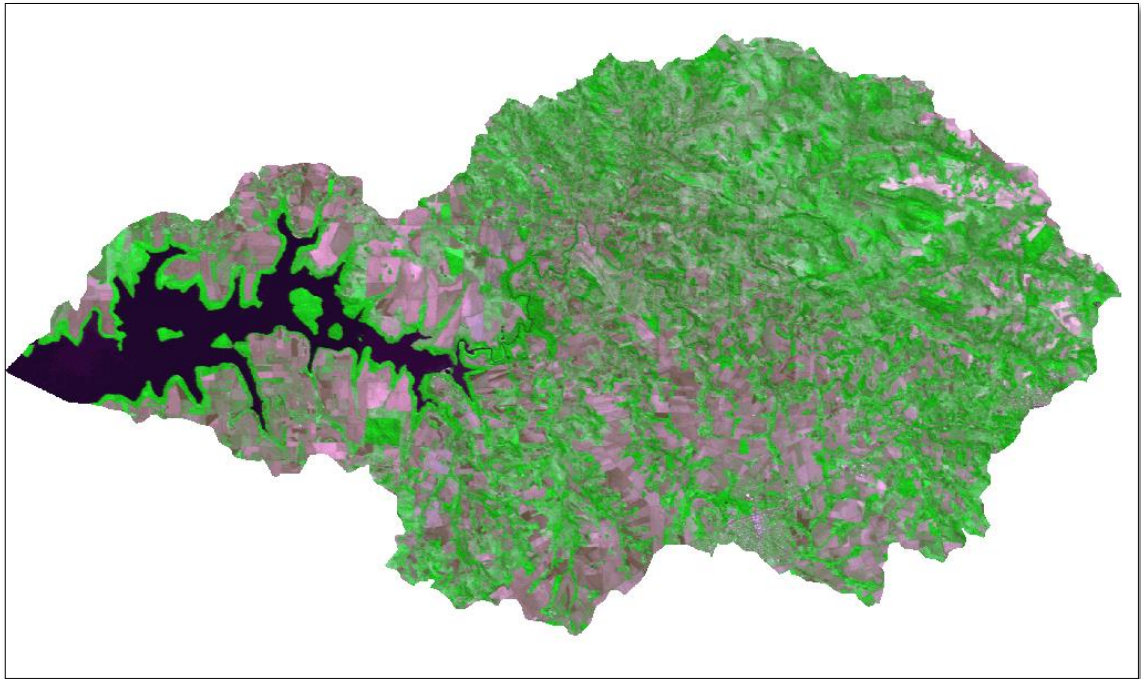


Figura 9 - Plano de Informação da Bacia do Ocoy com imagem CBERS-2 (2B3R4G), com o registro.

Já com a imagem sintética e recortada com o plano de informação da bacia, pode se iniciar o modelo de mistura. É necessário que se faça a associação das bandas com as imagens amostrais que já estão disponíveis no Spring (Figura 10), sendo que para o CBERS-2, sensor CCD, a associação se dá com “Green” na banda 2, “Red” na banda 3 e “NIR (IVP)” para banda 4.

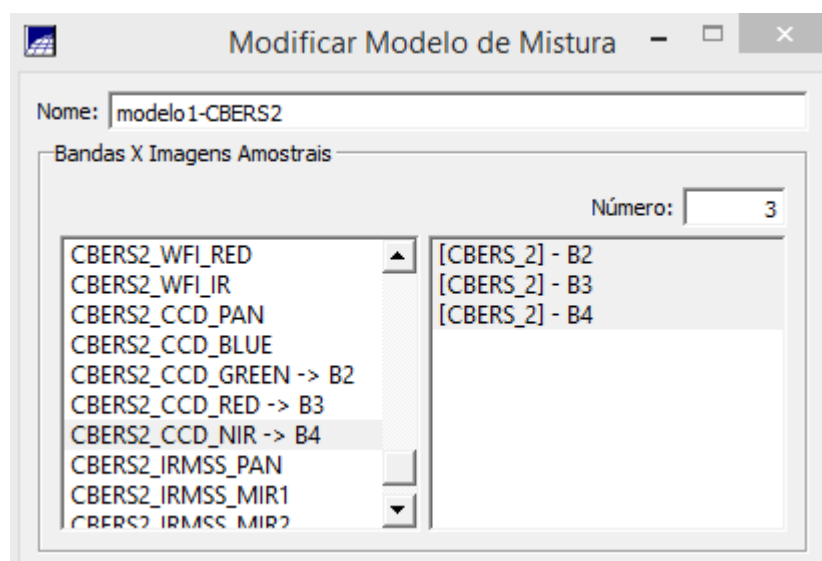


Figura 10 - Interface Associação de Bandas X Imagens Amostrais, CBERS_2.

Desta forma, sucedeu à coleta dos alvos vegetação, solo e água. No momento da coleta, cada alvo gera uma resposta espectral diferente para cada banda, o que pode ser explicado pelo fator da emissão, reflexão e absorção. O CBERS possui comprimentos de onda de 0,52 a 0,59 μm na faixa do verde (B2), 0,63 a 0,69 μm no vermelho (B3) e 0,77 a 0,89 no IVP (B4). Como se observa no gráfico da Figura 13, os alvos vegetação e solo começam a gerar maiores respostas por volta de 0,77 μm onde seus níveis digitais de cinza são maiores, ou seja, mais claros. No comprimento de onda do IVP, nota-se ainda a baixa radiância do alvo água. Em 0,66 μm , o solo e a vegetação possuem seus menores valores que se caracterizam por estar na faixa do vermelho, onde os valores de cinza são menores (mais escuros) que nas outras bandas. Vale reforçar, que de acordo com Novo (2008), de 0,7 a 1,3 μm a região é dominada pela alta refletância da vegetação, enquanto de 0,4 até 0,7 μm a refletância é baixa, ou seja, na faixa do visível a atividade fotossintetizante é maior.

Cada imagem reproduz respostas espectrais diferentes para os respectivos alvos. Na imagem do CBERS-2, de março de 2004, pode-se perceber que o alvo vegetação obteve os mesmos parâmetros, porém com valores maiores do que o solo no IVP, 0.63 e menores para o vermelho com 0.16, apontando baixa refletância da vegetação na faixa vermelha do espectro eletromagnético, podemos também perceber que a vegetação possui altos índices de refletância no IVP e tende a aumentar cada vez mais.

Pode-se notar que quase o mesmo ocorreu com o parâmetro solo, onde obteve seus maiores índices de refletância na banda 4, do IVP, com 0.549, e seus menores na banda 3, do vermelho (0.33), porém refletindo no IVP com valores um pouco menores que a vegetação, mas seguindo a mesma tendência. Existem fatores que influenciam na refletância dos solos, como umidade, maior umidade causará uma menor refletância do alvo.

O alvo água obteve respostas aceitáveis, sendo que nas faixas do visível apenas a água possui alguma refletância, como pode se observar (Figura 11). Os níveis na banda 2 são de 0.24, na 3 de 0.11, já muito baixos, e 0.09 no IVP, onde a água já possui absorção. Novo (2008) aponta que a água no estado líquido apresenta baixa refletância entre 0,38 μm e 0,7 μm , absorvendo toda a radiação eletromagnética acima de 0,7 μm , ou seja, a partir do IVP. Contudo Moreira (2012) realizando o modelo de mistura encontrou valores de 0,29 para o alvo água e

apontou que deveria esta em zero, porém com a existência de sedimentos na água, sua refletância foi esta.

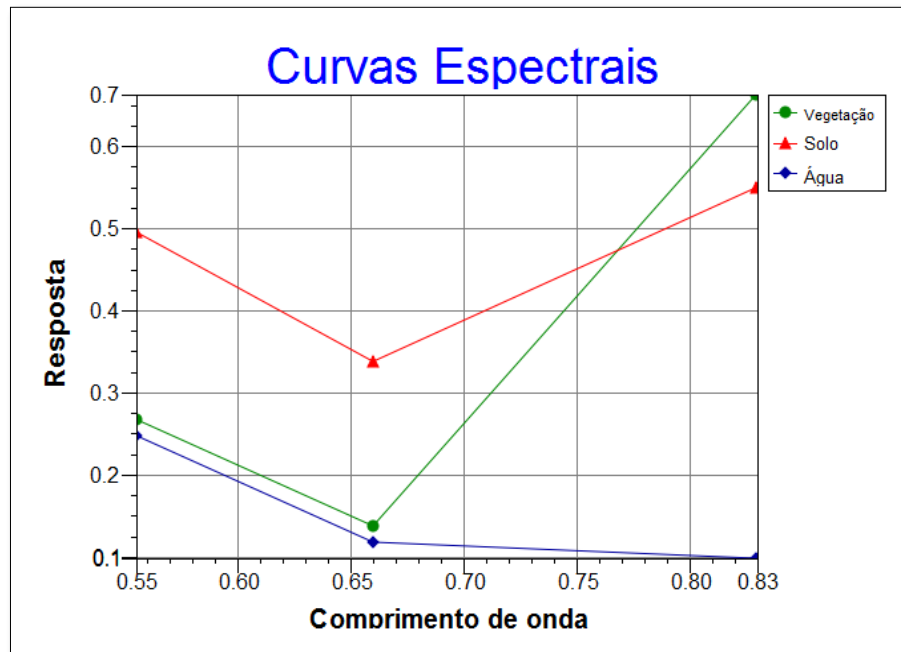


Figura 11 - Gráfico com as curvas espectrais do modelo de mistura do CBERS_2.

A imagem CBERS-2B de março de 2009 gerou respostas diferentes da CBERS-2. Este fator pode ser explicado devido à imagem de 2009, possuir o tempo de colheita das agriculturas atrasado, onde as culturas que estão grandes ficam semelhantes a vegetação, com diferença em pequenos aspectos como rugosidade e textura.

O alvo vegetação obteve seu maior valor em 0,49 na banda 4 do IVP. Porém pudemos notar através da Figura 12 que na banda 3 ,na faixa do vermelho sua resposta foi de 0,09. O alvo solo não seguiu o mesmo parâmetro como no CBERS-2. É possível notar que as respostas foram aumentando de acordo com o comprimento de ondas e na coleta o valor máximo foi de 0,32 na faixa do IVP e menor de 0,14 na banda 2 da faixa do espectro verde. O parâmetro água manteve a tendência de ir perdendo refletância e transformando em absorção na banda 4 (IVP). Com valor máximo em 0,11 e mínimo em 0,07.

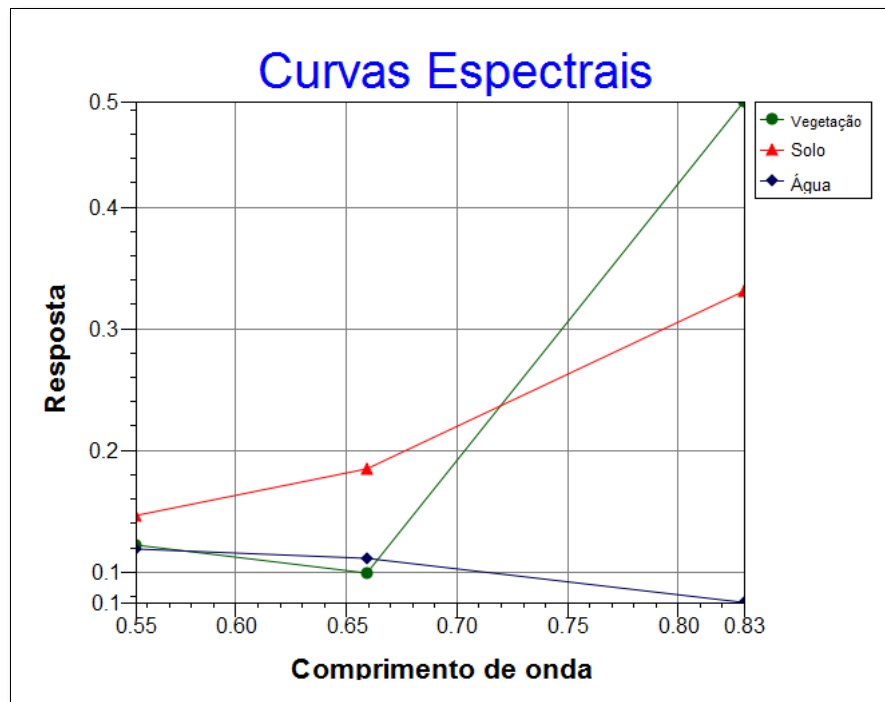


Figura 12 - Gráfico com as curvas espectrais do modelo de mistura do CBERS_2B.

Para geração das imagens, vegetação, solo e sombra, optou-se pela seleção do estimador de Máximos Quadrados Ponderados (MQP). Realizando testes nas imagens geradas e levando em conta o descrito por Servello et al. (2007), com o uso do satélite CBERS-2, constatou-se se que o uso da imagem-fração água após uma análise das outras imagens-componentes proporciona um grande contraste entre áreas florestadas com aquelas de áreas com pouca cobertura vegetal o que facilita em alguns casos, com uma melhora da capacidade de discriminação temática. Por conseguinte obteve se as duas imagens-fração do componente água do CBERS-2 e CBERS-2B para realização do processo.

Como nenhum momento do processo foi feito o realce banda a banda das imagens, foi necessário aplicar o realce linear nas imagens-componentes (Figura 13), assim como Servello et al. (2007) realizaram em seu estudo, proporcionando facilidade na identificação dos *pixels* no processo de segmentação.

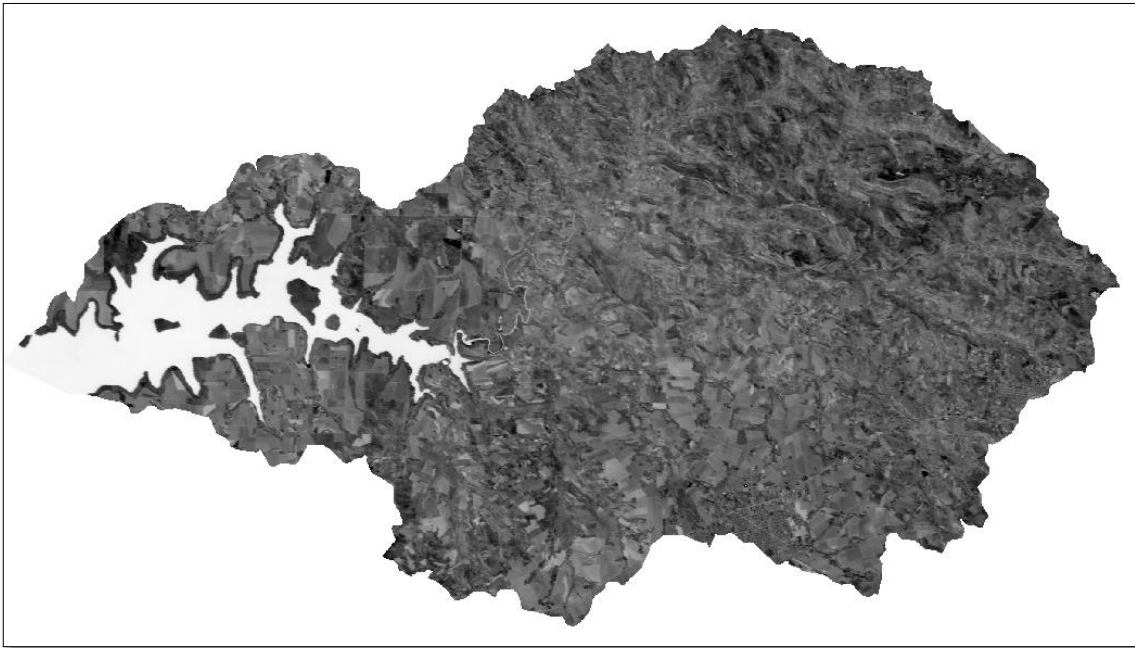


Figura 13 – Imagem fração água com realce linear, CBERS_2.

A segmentação vem do princípio de identificar *pixels* semelhantes e agrupá-los (Figura 22), usando determinado valor de área e similaridade. Para o PRODES, foram utilizados valores de 8 para similaridade e 16 para área como em outras pesquisas que fizeram uso do mesmo satélite e sensor, porém isso com imagens Landsat-8. Nery (2010, p.04), através de imagens CBERS-2B, chegou a conclusão da necessidade de fazer uso de diversos valores para teste nas imagens, para que se mostrem mais coerentes possíveis na aplicação. Para similaridade e área respectivamente, Nery (2010, p.04) definiu em sua pesquisa os valores de 6 – 12 e 12 – 20 sendo que seu primeiro valor é o mesmo utilizado neste trabalho.

Erthail et al. (1991) discorrem que o limiar de área corresponde a área mínima que é dada em *pixels* para individualização de uma área ou polígono. Este valor, por exemplo, não seguiu os mesmos que Espindola et al. (2013) fizeram uso, para imagens do mesmo satélite (CBERS-2). Seus valores foram de 8 e 16 para similaridade e área respectivamente, o que mostra que os valores irão se diferenciar para cada área de estudo.

Sendo que no final da segmentação obteve-se uma representação simbólica das imagens, como pode ser observado nas Figuras 14 e 15.

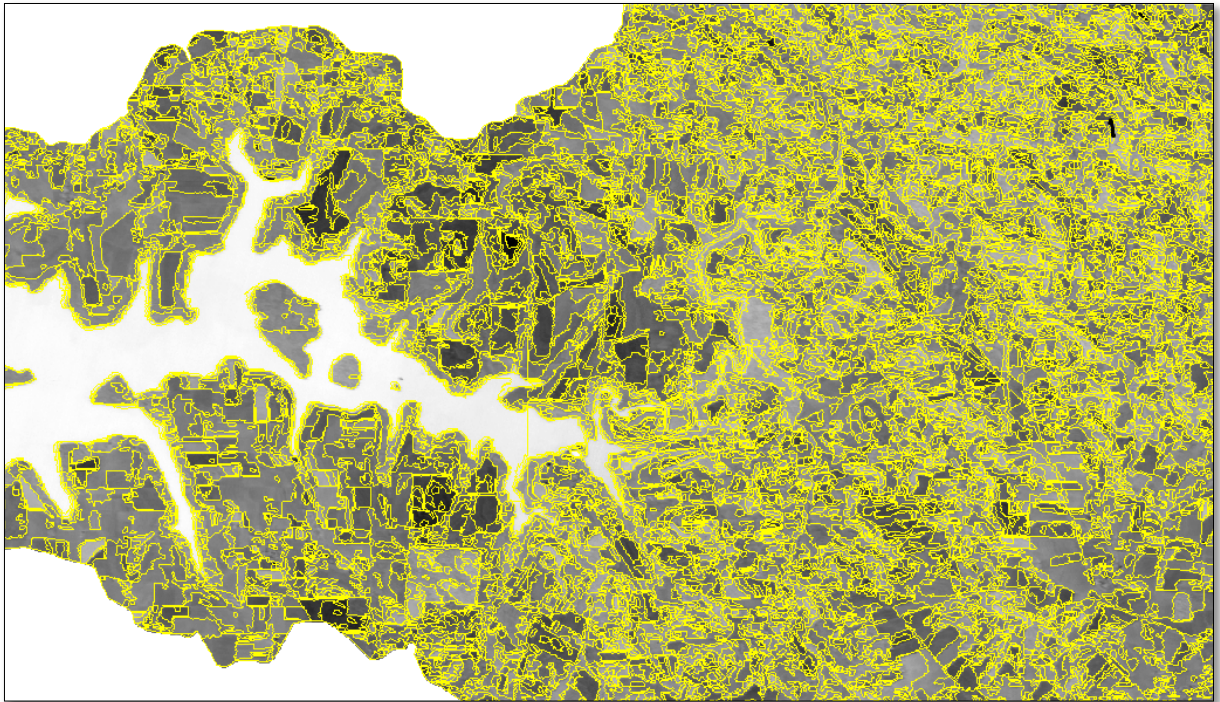


Figura 14 – Imagem-fração água, CBERS_2, com limiar de similaridade 6 e área 12.

Nestas imagens frações, mantiveram-se os 256 níveis de cinza originais, e nestes parâmetros de similaridade e área *pixel*, os polígonos foram separados por agrupamentos de 8 níveis de cinza dentro de uma área de 6.400 metros quadrados – para *pixel* da imagem de 20 m (20x20=400, logo, 400x16).

Depois de variados testes de segmentação, os limiares de similaridade 6 e área (*pixels*) 12 comprovaram serem os melhores para se utilizar neste processo. Para ambos os satélites e imagens fez-se uso destes valores.

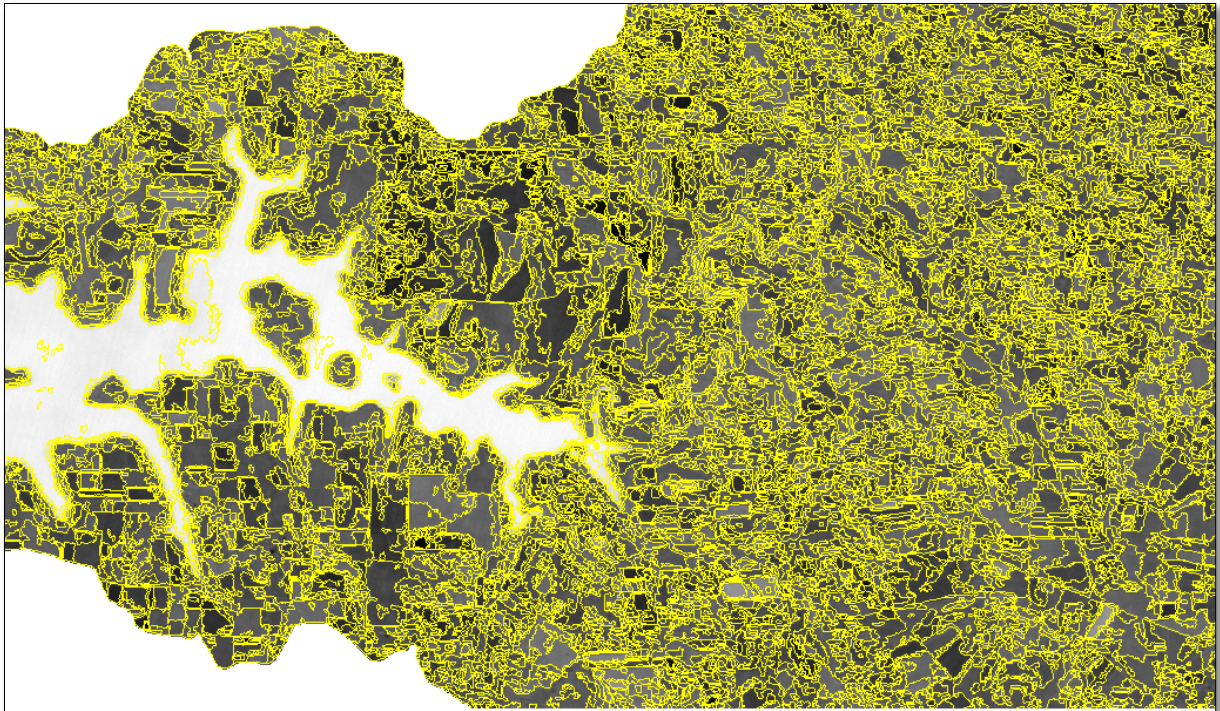


Figura 15 - Imagem-fração água, CBERS_2B, com limiar de similaridade 6 e área 12.

Segmentadas, submeteu-se as imagens-fração à etapa classificatória, sendo que se fez uso do classificador não supervisionado Iseseg, com um limiar de aceitação de 75% para as imagens-fração água, levando em consideração que este valor do limiar é refletido na próxima etapa, do mapeamento por classes temáticas, com a quantidade de classes. Quanto menor este limiar, maior será o número de classes, porém quanto mais classes, a coerência na produção da classificação será maior.

Para auxiliar na associação das classes com as categorias temáticas, gerou-se uma imagem sintética de composição (2) Blue, (3) Green E (4) Red, que torna a identificação de vegetação natural mais fácil, como pode ser observado na Figura 16, presumindo que as áreas em vermelho mais realçado são as de vegetação. Nesta interpretação, fez-se uso da técnica de sobreposição de telas do Spring, para que houvesse a identificação correta das classes com os alvos.

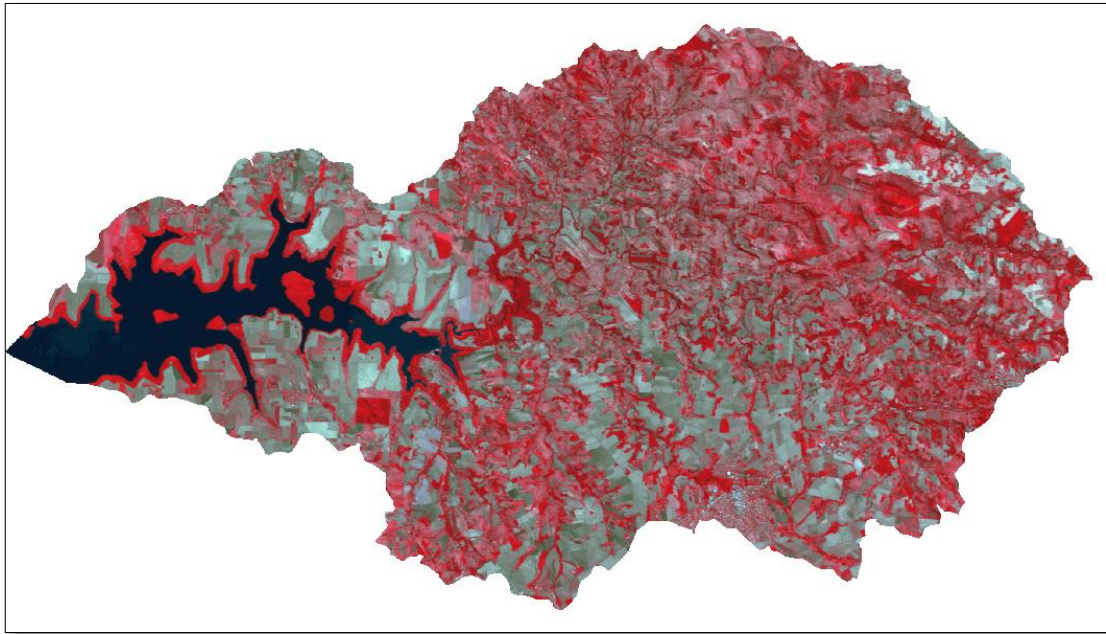


Figura 16 – Plano de Informação da Bacia do Ocoy com imagem CBERS-2 (2B3G4R).

As imagens CBERS-2B apresentaram características diferentes das do CBERS-2, sendo que áreas agrícolas estavam na tonalidade vermelha mais clara na imagem sintética, podendo ser interpretada como as culturas poucos dias antes da colheita, assim refletiram quase como a vegetação. Para ajuste dos erros, fez-se uso da edição matricial, levando em conta o conhecimento a priori da área e a técnica de sobreposição de telas. Acertando assim pequenos detalhes através de pontos nos *pixels* através da edição matricial.

Assim na etapa subsequente produziram-se duas imagens classificadas, das duas imagens fração. As áreas alvo identificadas com semelhança na resposta espectral se caracterizam em uma determinada cor (Figura 17), sendo que esta será utilizada com base (referência) na etapa do mapeamento por classes temáticas, fazendo associação com as classes de interesse no alvo. Obtendo assim os mapas de uso e cobertura do solo na região da bacia do rio Ocoy.

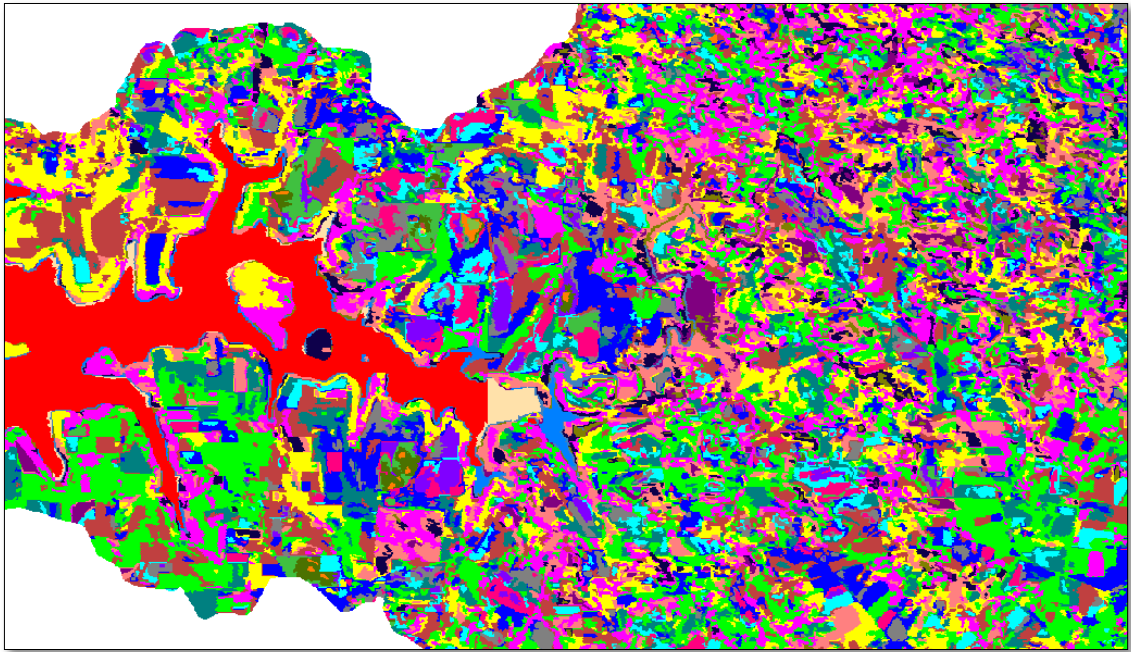


Figura 17 – Classificação fração-água com limiar de aceitação 75% - 03/2004.

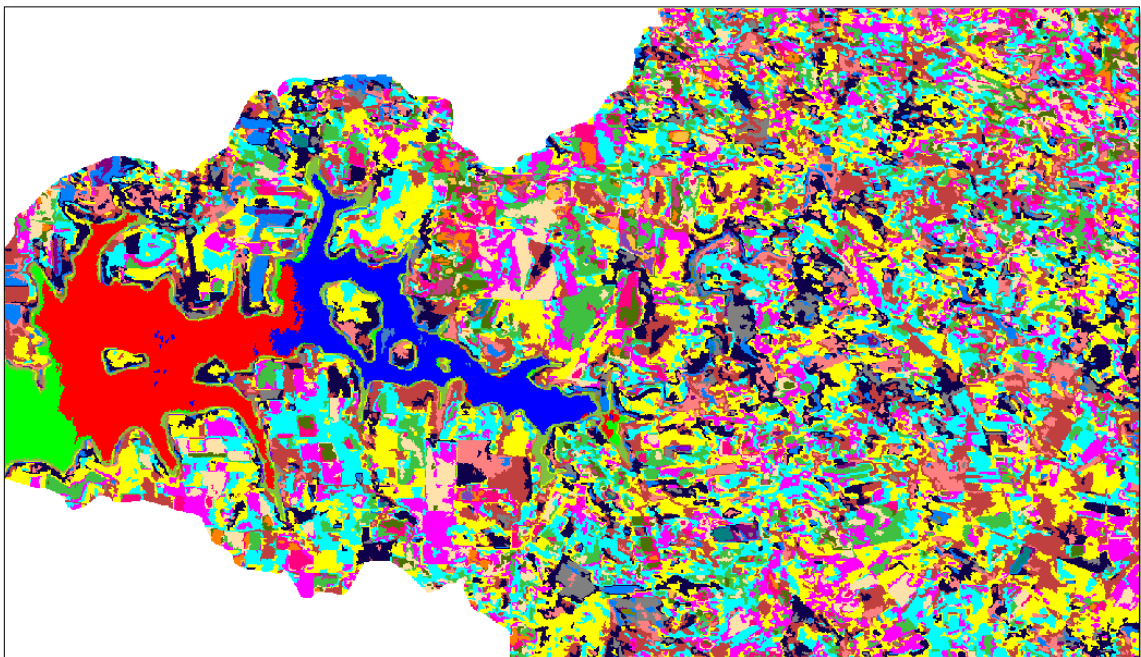


Figura 18 – Classificação fração-água com limiar de aceitação 75% - 03/2009.

Elaboraram-se os mapas de cobertura e uso do solo na ferramenta Scarta, presente no Spring. Os documentos cartográficos resultantes deste mapeamento são apresentados na escala de 1: 280.000, que juntamente com o limite da bacia, de maior precisão, a área total da bacia ficou em 715 km². Para ambos os mapas, dos anos de 2004 e 2009, gerou-se as categorias: Vegetação, Agricultura, Solo Exposto, Pastagem, Hidrografia e Área Urbana, entendendo solo exposto e agricultura como

diferentes, apenas a título de resposta espectral de alvos. Porém, é conveniente que o interprete entenda que as duas são áreas agrícolas, em diferentes estágios (Figura 19).

O intuito destes dois mapas de uso e cobertura do solo teve por finalidade quantificar e demonstrar a evolução da paisagem em um período de tempo de cinco anos, com o foco na vegetação natural e área agrícola da bacia do rio Ocoy. E então quantificar quanto desta foi reduzida e/ou, se obteve ganho neste dado período.

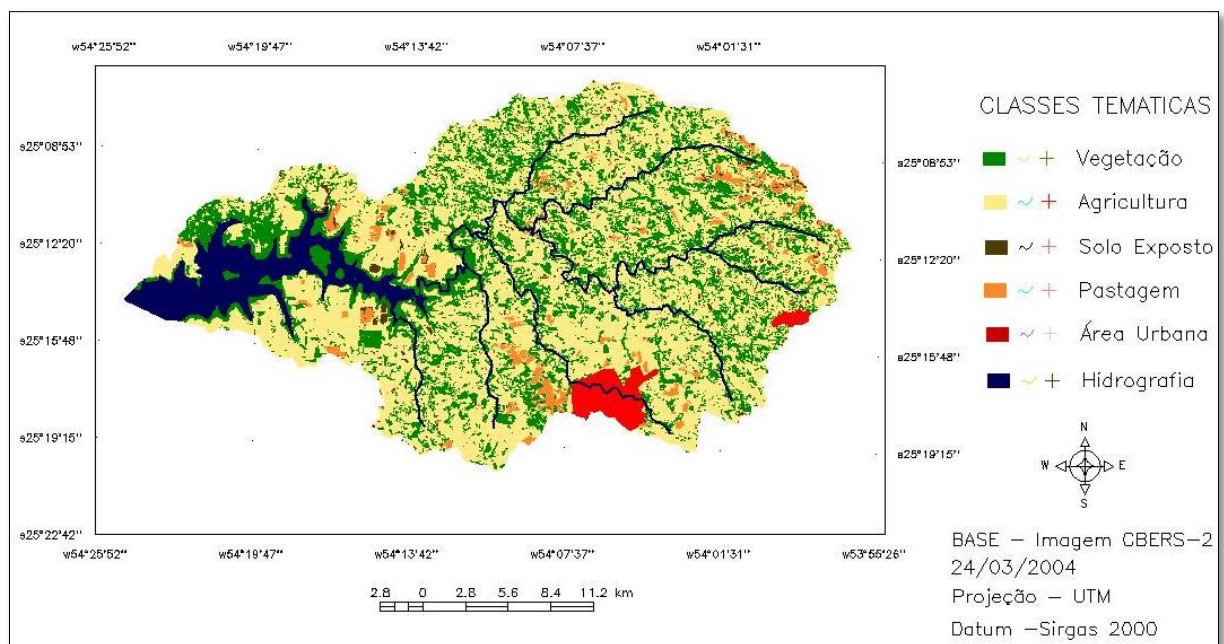


Figura 19 – Mapa de uso e cobertura do solo da bacia do rio Ocoy - 03/2004.

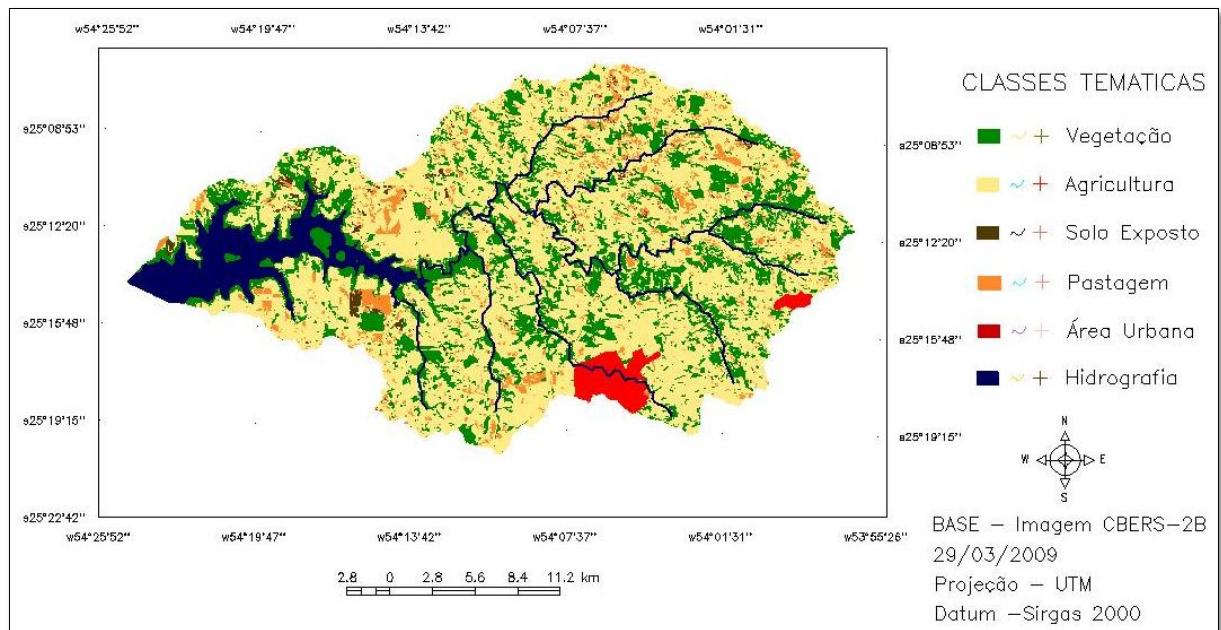


Figura 20 – Mapa de uso e cobertura do solo da bacia do rio Ocoy – 03/2009

A Tabela 2 apresenta os parâmetros de data, as classes temáticas de interesse e a quantidade de alterações em km² da vegetação natural e diferentes tipos de uso do solo, que se caracteriza por ser o principal foco da pesquisa. Assim pode-se analisar como e onde estas alterações ocorreram e o principal, quantificar as classes e alterações ocorridas.

Verificou-se com a quantificação e o comparativo entre as imagens que, a vegetação natural sofreu uma redução de 34 km² entre os anos de 2004 e 2009, consequência da falta de fiscalização e cumprimento da legislação onde os agricultores não se atêm as normas e realizam o corte ilegal da madeira para uso do solo que é fértil e de boa produtividade. É possível identificar isto em um comparativo entre a Figura 19 e 20, onde nota-se a região noroeste com maior alteração na vegetação. Sua área em km² foi de 208 para 174, o que representou 29 e 24% da área sucessivamente. Estas áreas de vegetação que sofreram diminuição deram espaço para a agricultura e para áreas de pastagem, sendo que esta última classe foi a que obteve maior ganho de área, com 19 km². O aumento para pastagem ocorreu devido aos solos já estarem mais profundos, com restrição na penetração das raízes, Neossolos neste caso, então são mais apropriados e rendem melhor com este uso.

Tabela 2 – Quantificação das classes temáticas, vegetação, agricultura, solo exposto e hidrografia – CBERS-2 e CBERS-2B.

Classe Temática	Área em km ²	
	03/2004	03/2009
Vegetação	208	174
Agricultura	423	440
Pastagem	25	44
Solo exposto	9	7

Fazendo uso de imagens Landsat-8, Dal Pozzo (2013) encontrou resultados semelhantes aplicando a metodologia de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), sendo que encontrou em julho de 2013 e fevereiro de 2014, 257 km² de vegetação natural. A diferença entre os resultados encontrados por Dal Pozzo (2013) para a mesma área, da bacia do rio do Ocoy, tem possibilidade de explicação na metodologia adotada (MLME/NDVI) e nos satélites/sensores que também eram diferentes deste projeto. Além de que também os valores na fase de segmentação realizada por Dal Pozzo (2013) foram diferentes dos selecionados nesta pesquisa.

Nota-se que as áreas agrícolas obtiveram um ganho de 19 km² juntas (agricultura e solo exposto), o que demonstra maior uso do solo com o passar dos anos. A classe de solo exposto foi a que sofreu a menor alteração com 2 km² apenas de ganho, mas esta como já mencionado, esta associada a agricultura.

Realizando-se a análise destes valores é possível perceber o aumento gradual do desmatamento para fins agropecuários. As áreas agrícolas em março de 2009 ocuparam 62% da área do mapa, o que demonstra o gradativo uso do solo. O que gera preocupação é como se dá o manejo do solo, levando em conta que seu incorreto uso, pode vir a trazer consequências a todos os outros elementos da paisagem com erosão, com uso de agrotóxicos e outros impactantes, inclusive podendo interferir na hidrografia dentro de alguns anos. Identificou-se maior aumento de área para a pastagem com aumento de 3% para 6%, podendo este fato ser explicado pelo solo não possuir mais qualidade para o plantio, estarem assim mais profundos tendo seu melhor uso para a pastagem do gado sendo assim mais lucrativo para estes produtores rurais que transformaram áreas agrícolas e de vegetação natural em pastagem para o gado.

Analisando a área do Lago de Itaipu tem-se uma ideia do índice de acerto ou erro destes parâmetros sim, sendo que podemos identificar nas duas imagens a mata ciliar em torno do lago, um aspecto característico da região e que dá uma válida ideia de acerto. Fazendo uso do classificador Isoseg com um limiar de aceitação de 75% gera-se maior número de classes a se trabalhar e evitando confusão nas respostas espectrais, sendo ambas as imagens (mapas) apresentaram 49 km² de área de hidrografia, porém este não é objetivo desta pesquisa.

A área urbana não foi quantificada, seu recorte foi inserido no polígono da bacia na produção dos mapas temáticos, sendo que o objetivo do trabalho é quantificar e mapear o uso e cobertura do solo e vegetação natural.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta pesquisa, destacou-se a importância de um *software* livre como o Spring e as metodologias presentes nele como o Modelo Linear de Mistura Espectral. Comprovando serem de aplicabilidade positiva quando o intuito é realizar o mapeamento de uso e cobertura do solo em modo multitemporal e quantificar área de interesse.

Os métodos utilizados obtiveram boas respostas e identificação da vegetação natural, áreas agrícolas e de pastagem, juntamente com a quantificação destes, comprovou ser um método eficiente quando a finalidade é mapear a vegetação natural e as diferentes classes do uso do solo.

Através do MLME produziram-se as imagens-fração dos dois satélites, CBERS-2 e CBERS-2B, assim sendo selecionou-se apenas a imagem-fração água de cada satélite. A imagem-fração água foi a única a realçar todos os elementos alvo da pesquisa e para a próxima etapa de segmentação, a segmentadora agregou os *pixels* semelhantes com maior grau de exatidão. Fazendo uso de limiares de similaridade 6 e área 12 , gerou-se duas imagens segmentadas que foram posteriormente classificadas em Ioseg com limiar de aceitação de 75% e mapeadas através das classes de interesse, que foram, vegetação, agricultura, solo exposto ,pastagem ,área urbana e hidrografia.

Com a quantificação se observou a redução na vegetação natural neste curto período de tempo (2004-2009), sendo que em 2004 possuía 208 km² de área e após cinco anos, foi reduzida a 174 km², perdendo 34 km² de vegetação. As áreas de agricultura e solo exposto obtiveram ganho 17 km² e 2 km² respectivamente , as zonas de pastagem aumentaram de 25 a 44 km², com ganhos na agropecuária de 38 km² em área de uso.

Concluiu-se que o mapeamento de uso e cobertura do solo da bacia do rio Ocoy foi de positiva aplicação e gerou resultados que abrem mais discussões sobre o manejo no solo e controle de desmatamento da vegetação natural dentro da bacia e nas áreas circunvizinhas.

Comprovou ser o MLME uma metodologia interessante e assertiva no mapeamento temático, assim exibindo a necessidade da sua disseminação entre a comunidade acadêmica para que em áreas de bacia, ou em áreas que necessitem do monitoramento multitemporal a fim de analisar os impactos e alterações já

geradas e assim poder elaborar formas e métodos para que se controle o uso e a cobertura do solo. E não apenas o MLME, é preciso incentivar o uso de todas as geotecnologias disponíveis para manutenção da bacia do rio Ocoy e outras localidades. As análises multitemporais através do MLME e mapeamento temático possibilitam um conhecimento que abre possibilidades para futuras tomadas de decisão e estudos em prol do monitoramento ambiental.

REFERÊNCIAS

- BORGES, K. M. R.; DOS SANTOS P. M. C., **Modelo Linear de Mistura Espectral – MLME aplicado ao monitoramento do Cerrado, Bacia do Rio Carinhonha (MG-BA)**. Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA Centro de Sensoriamento Remoto – CSR. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 de abril de 2009, INPE, p. 5663-5669.
- CAMARA, G. MOREIRA, A. M. V., **Conceitos Básicos em Ciência da Geoinformação**, INPE, 2015.
- CAMARA, G. VALERIANO, D. VIANEI, J. **Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal**, INPE, Coordenadoria Geral de Observações da Terra, Projeto PRODES, São José dos Campos ,30 de outubro de 2013.
- CHUVIECO, E. **Fundamentos de teledetección espacial**. Madrid: Edições Rialp. 1996. 568 p.
- CROSTA, Álvaro Penteado - **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Ed. Rev. - Campinas, SP: IG/UNICAMP, 1993.
- Cultivando Água Boa, 2013, **Cenário Local: A Bacia do Paraná III** Disponível em <<http://www.cultivandoaguaboa.com.br/o-programa/cenario-local-a-bacia-do-parana-3>>. Acesso em 26 de Fevereiro de 2015.
- DAL POZZO, K.G. - **Estimativa Do Índice De Vegetação - 2013/2014 - Da Bacia Hidrográfica Do Rio Ocoy – Oeste Do Paraná**
- EMBRAPA – Satélites de Monitoramento. Disponível em: http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/sensores_operantes.html > Acesso em 07 de Abril de 2015.
- ESPINDOLA, G.M; CRUSCO, N.A; EIPHANIO, J.C.N; **Aplicação da Metodologia do PRODES Digital em Imagens CCD/CBERS-2** – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil 2013.
- FREITAS; HAERTEL, V; SHIMABUKURO, Y, E; **Modelo Linear De Mistura Espectral Em Imagem De Moderada Resolução Espacial** – INPE, São José dos Campos, Bol. Ciênc. Geod, sec. Artigos, Curitiba, v. 14, nº 1, p.55-71, jan-mar, 2008.
- FIGUEIREDO, Divino. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto. Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB**. Brasília - DF, 2005. Disponível em <http://72.14.205.104/search?q=cache:r9r3jyl5bKsJ:www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf+divino+figueiredo,+conceitod+basicos+sensoriamento+remoto&hl=pt-BR&ct=clnk&cd=1&gl=br> Acesso em 09 de maio de 2015.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, COORDENADORIA GERAL DE OBSERVAÇÃO DA TERRA - **Programa Amazônia – Projeto PRODES**.

Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal, São Jose dos Campos, 30 de outubro de 2013.

JÁCOMO, S. A.; FERREIRA A. A.; FERREIRA, M. E.; FERREIRA L. G.; **Verificação dos Efeitos dos Métodos de Realce Espectral sobre a Detecção de Mudanças no Estado de Goiás, a partir de Imagens Landsat**, Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p.4095-4102.

MELO, D. H. C. T. B. **Uso de dados Ikonos II na análise urbana: testes operacionais na zona leste de São Paulo** / D. H. C. T. B. Melo. - São José dos Campos: INPE, 2002. 146p. - (INPE-9865-TDI/870).

MOREIRA, M. A., Editora UFV - **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologia de Aplicação**, 2012, p. 151-337.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 3 ed. São Paulo: Blucher, 2008.

NERY, C. V. M. **Uso de Imagens do Satélite CBERS-2B Para a Detecção de Áreas Desmatadas no Norte de Minas Gerais**. 3 Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologia de Geoinformação, Recife – PE ,2010.

Plano da Bacia Hidrográfica do Paraná 3 - Características Gerais da Bacia. Unioeste – Universidade Estadual do Oeste do Paraná e Itaipu Binacional. Cascavel, 2011. Disponível em: http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/parana/plano_de_bacia/Produto_1_BP3_2011_v04.pdf

Projeto PRODES, Monitoramento Da Floresta Amazônica Brasileira Por Satélite – **INPE**, 2015, Disponível em: < <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php> > Acesso em 08 de Abril de 2015.

QUINTANO, C.; MANSO, F.A.; SHIMABUKURO, Y. E. ; PEREIRA, G. **Aplicação do modelo linear de mistura espectral para o mapeamento de queimadas no Parque Nacional das Emas**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.7910.

RICHARDS, J. A. Thematic mapping from multitemporal image data using the principal components transformation. **Remote Sensing and Environment**, v. 16, p. 35,1988.

RICHARDS, J. A. Remote sensing digital image analysis: an introduction. Berlin: Springer-Verlag, 1986. 281 p..

RUDORFF, F. T.; **PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO**, Divisão de Sensoriamento Remoto - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos-SP bernardo@ltd.inpe.br.

SHIMABUKURO, Y. E.; NOVO, E. M.; PONZONI, F. J. **Índice de vegetação e modelo linear de mistura espectral no monitoramento da região do pantanal.** Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira, p. 1732,1998.

SERVELLO, E.M; DISPERATTI, A.A; LOPES, A.N.B; DOS SANTOS, J.R; FILHO, P.C.D. **Mapeamento de Uso da Terra na Região Centro-Sul do Paraná com Imagens CBERS a Partir da Técnica de Modelo Linear de Mistura Espectral -** Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná – UNICENTRO - Irati - PR, Brasil.

WOODCOCK, C.E.; COLLINS, J.B.; GOPAL, S.; JAKABHAZY ,V.D;; LI ,X .; MACOMBER, S.; YHERD ,S.; HARWARD ,V.J; LEVITAN, J.; WU, Y.; WARBINGTON ,R Mapping Forest Vegetation Using Landsat TM Imagery and A Canopy Reflectance Model. **Remote Sensing Enviroment**, New York, v.50 ,n. 3, p.240, 1994.