

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS, LETRAS E ARTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA – CURSO DE MESTRADO

ERICSON HIDEKI HAYAKAWA

ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DOS SEDIMENTOS
SUSPENSOS DO ALTO RIO PARANÁ VIA IMAGENS ORBITAIS: REGIÃO DE PORTO
SÃO JOSÉ - PR

MARINGÁ - PR

2007

ERICSON HIDEKI HAYAKAWA

ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DOS SEDIMENTOS
SUSPENSOS DO ALTO RIO PARANÁ VIA IMAGENS ORBITAIS: REGIÃO DE PORTO
SÃO JOSÉ - PR

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Geografia, área de concentração: Análise Regional e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Edvard Elias de Souza Filho.

Maringá

2007

**“ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DOS SEDIMENTOS
SUSPENSOS DO ALTO RIO PARANÁ VIA IMAGENS ORBITAIS: REGIÃO DE PORTO SÃO
JOSÉ – PR”**

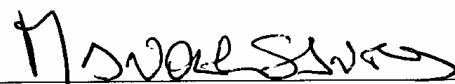
Dissertação de Mestrado apresentada a Universidade
Estadual de Maringá, como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre em Geografia, área de
concentração: Análise Regional e Ambiental.

Aprovada em **13 de fevereiro de 2007.**

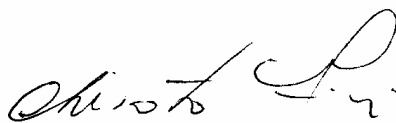
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Edvard Elias de Souza Filho
Universidade Estadual de Maringá
(orientador)



Prof. Dr. Manoel Luiz dos Santos
Membro convidado - UEM



Prof. Dr. Chisato Oka Fiori
Membro convidado - UFPR

Dedico este trabalho

Aos meus pais Jorge Yoshito Hayakawa e Luiza Mitsue Hayakawa, minha irmã Margareth
Mayumi Hayakawa e avó Tamie Hayakawa

AGRADECIMENTOS

Fruto de um período específico de dois anos, este trabalho é antes disso decorrente de uma trajetória acadêmica que contou com vários personagens, alguns coadjuvantes, outros principais, porém, todos fundamentais ao amadurecimento pessoal e profissional. De antemão, minhas sinceras desculpas aos que não foram citados.

Primeiramente agradeço ao professor Dr. Edvard Elias de Souza Filho, que mesmo sem o contato durante a graduação ou em projetos de iniciação (sabia apenas que eu fui orientado do professor Dr. José Cândido Stevaux), confiou e me auxiliou no decorrer da dissertação. Eu, sem experiência e noção alguma em sensoriamento remoto, sempre pude contar com sua prontidão em me atender e me instruir. Em momentos de preocupação o professor mesmo sem saber conseguia em apenas alguns minutos de conversa tirar minhas dúvidas, tranquilizar-me e me fazer pensar que o estudo era simples e fácil. Não sei como, mas eu acreditava nisso, mesmo que novas tarefas eram definidas.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Metodológico), pela concessão parcial de bolsa, este, instrumento básico e fundamental à dedicação aos estudos; aquisição de materiais para a pesquisa, livros, xérox, permanência próximo à universidade entre outros, sendo fruto e direito dos alunos que no decorrer da graduação se dedicaram em projetos de iniciação científica, estágios, publicações, prepararam-se para a seleção ao mestrado, etc.

Aos professores ligados ao GEMA (Grupo de Estudos Multidisciplinares do Ambiente) da Universidade Estadual de Maringá pelas contribuições teóricas, incentivo a pesquisa e disponibilidade em atender e guiar-me no decorrer de toda minha trajetória acadêmica.

A geógrafa Maria de Moraes (Laboratório de Sedimentologia – GEMA) pela paciência, prontidão e conselhos na etapa de manipulação dos materiais coletados em campo, assim, como em todo decorrer do mestrado.

Aos inúmeros colegas e/ou amigos participantes do GEMA que me auxiliaram nesta trajetória, ora na parte teórica, ora nos momentos de lazer e descontração. O meu sincero **OBRIGADO** ao Aguinaldo Silva, Orlando Rogério Campanini, Ismar Renan Andrade, Eduardo Moraes, Vanessa Cristina Santos, Rafaela Harumi Fujita, Carolina Barros, Pollyana Biazin, Hiran Zani, Sidney Kuerten, Marta Sala, Fabrício Coradini, Vladimir de Souza, Edinéia Grizio, Edimara Rupolo, Débora Martins, Maurício Meurer, Marcos Juliano Dutra, Diego Garcia Paiva, Edilaine Destefani, Patrícia Branco do Nascimento, Adilson Coelho,

Marta Sala, Márcia Bubena, Rafael Klimek, Priscila Gon, Édipo Cremom, Sarah Toso, Leandro Zandonadi entre outros não menos importantes, porém, que não me recordei.

Aos diversos colegas e/ou amigos que direta ou indiretamente e ligados ou não ao universo acadêmico foram importantes na conclusão do trabalho. O meu obrigado a Patrícia Fernandes, Vanderley Magalhães, Diane Belusso, Renato Paes, André Luiz Amâncio Franco, Maristela Moresco, José Antonio Arenas Ibarra “Pepe”, Cristiano Astrath, Angélica Nogueira, Leila Semensatto, Ricardo Araújo, Marlon Grunemberg, Viviane Vená, José Carlos, Davis João, João Paulo Santana, Sérgio (Bacataré) entre outros.

A todos os colegas e/ou amigos ligados ao Grupo de Oração Universitário Miles Domini e GPP (Grupo de Partilha e Perseverança) bem como todos os participantes do Movimento Universidades Renovadas pelos momentos de descontração, fortalecimento pessoal e **ORAÇÃO**.

Ao professor Dr. Flávio Jorge Ponzoni do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Exemplo de profissional a ser seguido e que me socorreu na fase de tratamento das imagens orbitais, muitas vezes, deixando de realizar suas tarefas para me atender.

A professora Dra. Evelyn Novo e Dr. Cláudio Barbosa (INPE) pela disponibilidade e contribuição teórica.

Aos pós-graduandos em Sensoriamento Remoto do INPE: Flávio Fortes Camargo, Marcos Adami e Marco Aurélio Barros pelo auxílio, trocas de informações e pela estadia em São José dos Campos.

A todos os professores do departamento de geografia da Universidade Estadual de Maringá pelas contribuições no decorrer da vida universitária, bem como aos membros da secretaria de Pós-Graduação em Geografia (Cida) e do Departamento de Geografia (Mirian e João).

A minha FAMÍLIA pelo apoio incondicional em toda a minha vida, onde palavras não seriam suficientes para expressar todo o meu AMOR e GRATIDÃO. A Cinthya, que surgiu na reta final deste trabalho, mas que está sendo essencial para me dar alegria, força e ânimo para novas empreitadas e, finalmente a DEUS, fonte de Força, Alegria e Paz, principalmente nos momentos de dificuldades, confortando-me quando eu mais precisava. TU ÉS E SEMPRE FOI PROVIDENCIA EM MINHA VIDA.

“Pouca ciência afasta de Deus. Muita, a ELE reconduz”

(Louis Pasteur)

“Existem mais coisas entre o céu e a terra do que sonha nossa vã filosofia.”

(William Shakespeare)

“E eu vos digo: pedi, e dar-se-vos-á; buscai, e achareis; batei, e abrir-se-vos-á. Pois todo aquele que pede, recebe; aquele que procura, acha; e ao que bater, se lhe abrirá.

(Lucas 11, 9-10)

RESUMO

A conclusão da construção da barragem de Porto Primavera (UHE Engenheiro Sérgio Motta) em 1998 e seu reservatório formado a partir do final daquele ano provocaram alterações como redução da carga suspensa do rio Paraná a jusante do reservatório, o que alterou a cor e a transparência da água, assim como diversas outras características do canal fluvial. Por essas razões, o objetivo deste trabalho é verificar a variabilidade espacial e temporal do transporte sedimentar (carga suspensa) do rio Paraná no segmento a jusante da barragem de Porto Primavera, região de Porto São José - PR por meio de dados espectrais das imagens orbitais CBERS/2. A metodologia consiste na integração entre dados espectrais e variáveis como carga suspensa, batimetria e velocidade de fluxo adquiridos em coletas de campo realizadas concomitantemente às passagens do satélite. Os resultados indicam que para a coleta de campo de 12/11/05 a variação de reflectância do canal mostrou-se conectada à variabilidade da carga suspensa total, evidenciado principalmente nas bandas 1 e 2. Para a coleta de campo de 13/05/06 não houve imageamento, porém, percebe-se que a variação de carga suspensa total possui conexão com a variação espectral do corpo d'água para cenas de várias datas, evidenciados nas bandas 1 e 2. A análise multitemporal demonstrou a variabilidade da carga suspensa total no canal entre as cenas de diferentes datas de aquisição destacando uma clara distinção entre as águas com influência e sem influência do rio Paranapanema no rio Paraná. Por fim, o trabalho permitiu a verificação da aplicabilidade do sensoriamento remoto para o estudo do transporte sedimentar, principalmente em um rio que apresenta baixos índices de carga suspensa.

Palavras-chave: rio Paraná, barragem, carga suspensa, reflectância.

ABSTRACT

The construction of Porto Primavera dam (UHE Engineer Sergio Motta) in 1998 and its reservoir formed from the end of that year, caused alteration like suspended load reduction in the Paraná river downstream of the dam. This modified the water color and the transparency, as well as many other characteristics of the fluvial channel. For these reasons, verify the spatial and multirate variability of the suspended load of the Paraná river in the segment downstream of the Porto Primavera dam, next Porto São José - PR area through of spectral data of orbital images CBERS/2 is the mainly objective of this work. The methodology consists of the integration between spectral data and variable fluvial data as suspended load, bathymetry and speed of flow acquired in field collections in the same day that the satellite registered the images. The results indicate that for 12/11/05 field collection the variation of reflectance in the fluvial channel is connected with the total suspended load variability, evidenced mainly in bands 1 and 2. For the 13/05/06 field collect haven't had registering of images, however, the variation of total suspended load have connection with the water body spectral variation for scenes of some dates, evidenced in bands 1 and 2. The multirate analysis demonstrated the total suspended load variability in the channel between scenes of different dates showing the clear distinction between waters with influence and without influence of the Paranapanema river in the Paraná river. Finally, the work allowed the verification and applicability of the remote sensing for the sedimentary transport study, mainly in a poor suspended load river.

Keywords: Paraná river, dam, suspended load, reflectance.

LISTA DE ILUTRAÇÕES

Figura 1	Localização da área de estudo e perfis transversais.....	18
Figura 2	Espectro eletromagnético e ordenação da energia eletromagnética em função do seu comprimento de onda e frequência.....	32
Figura 3	Distribuição espectral da energia solar na atmosfera/superfície terrestre.....	33
Figura 4	Trajetória da radiação solar e suas interações com a água e atmosfera até a captação do sinal pelo sensor orbital.....	35
Figura 5	Variação da dispersão da radiância em função da quantidade de sedimentos suspensos.....	41
Figura 6	Satélite CBERS/2 em órbita.....	43
Figura 7	Seqüência dos procedimentos adotados para coletas de dados de campo.....	46
Figura 8	Localização dos perfis de coleta de dados de campo em trecho de canal único no rio Paraná e sobre influencia do rio Paranapanema.....	47
Figura 9	Seqüência dos procedimentos cumpridos para o tratamento das imagens CBERS/2.....	48
Figura 10	Tela apresentando modo de apresentação em LEGAL, utilizado para cálculo de reflectância aparente e para normalização radiométrica.....	49
Figura 11	Tela de apresentação do 5S (Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum).....	50
Figura 12	Imagens brightness e greenness e suas respectivas máscaras apresentando os pontos claros e escuros para a cena 12/11/05.....	52
Figura 13	Fluxograma representativo da obtenção dos pontos de controle radiométricos claros e escuros a partir das imagens greenness e brigtness.....	52
Figura 14	Batimetria, dados de vazão e velocidade de fluxo do rio Paraná em área de influência do rio Paranapanema para o dia 13/05/06 em 4 seções transversais.....	54
Figura 15	Batimetria, dados de vazão e velocidade de fluxo do rio Paraná para o dia 13/05/06 em três seções transversais.....	55
Figura 16	Carga suspensa no rio Paraná. Perfil 1 na coleta de 12/11/05.....	56
Figura 17	Carga suspensa no rio Paraná. Perfil 3 na coleta de 12/11/05.....	57

Figura 18	Carga suspensa no rio Paraná. Perfil 1 na coleta de 13/05/06.....	58
Figura 19	Carga suspensa no rio Paraná. Perfil 2 na coleta de 13/05/06.....	59
Figura 20	Carga suspensa no rio Paraná. Perfil 3 na coleta de 13/05/06.....	59
Figura 21	Carga suspensa no rio Paraná em área de influência do rio Paranapanema. Perfil 1 na coleta de 13/05/06.....	61
Figura 22	Carga suspensa no rio Paraná em área de influência do rio Paranapanema. Perfil 2 na coleta de 13/05/06.....	62
Figura 23	Carga suspensa no rio Paraná em área de influência do rio Paranapanema. Perfil 3 na coleta de 13/05/06.....	62
Figura 24	Carga suspensa no rio Paraná em área de influência do rio Paranapanema. Perfil 4 na coleta de 13/05/06.....	62
Figura 25	Reflectância do perfil 1 do rio Paraná para as bandas 1, 2, 3 e 4 na coleta de 12/11/05.....	64
Figura 26	Reflectância do perfil 2 do rio Paraná para as bandas 1, 2, 3 e 4 na coleta de 12/11/05.....	64
Figura 27	Reflectância do perfil 1 do rio Paraná para a banda 1.....	65
Figura 28	Reflectância do perfil 2 do rio Paraná para a banda 1.....	65
Figura 29	Reflectância do perfil 3 do rio Paraná para a banda 1.....	65
Figura 30	Reflectância do perfil 1 do rio Paraná para a banda 2.....	66
Figura 31	Reflectância do perfil 2 do rio Paraná para a banda 2.....	66
Figura 32	Reflectância do perfil 3 do rio Paraná para a banda 2.....	66
Figura 33	Reflectância do perfil 1 do rio Paraná para a banda 3.....	67
Figura 34	Reflectância do perfil 2 do rio Paraná para a banda 3.....	67
Figura 35	Reflectância do perfil 3 do rio Paraná para a banda 3.....	67
Figura 36	Reflectância do perfil 1 do rio Paraná para a banda 4.....	68
Figura 37	Reflectância do perfil 2 do rio Paraná para a banda 4.....	68
Figura 38	Reflectância do perfil 3 do rio Paraná para a banda 4.....	68
Figuras 39, 40, 41, 42	Reflectância do perfil 1, 2, 3 e 4 respectivamente do rio Paraná em área de influência do rio Paranapanema para a banda 1.....	70
Figuras 43, 44, 45 e 46	Reflectância do perfil 1, 2, 3 e 4 respectivamente do rio Paraná em área de influência do rio Paranapanema para a banda 2.....	71

Figuras 47, 48, 49 e 50	Reflectância do perfil 1, 2, 3 e 4 respectivamente do rio Paraná em área de influência do rio Paranapanema para a banda 3.....	71
Figuras 51, 52, 53 e 54	Reflectância do perfil 1, 2, 3 e 4 respectivamente do rio Paraná em área de influência do rio Paranapanema para a banda 4.....	72
Figuras 55, 56, 57, 58, 59 e 60	Representação da variação de reflectância da área do estudo na banda 1 para setembro de 2004, novembro de 2004, junho de 2005, julho de 2005, novembro de 2005 e julho 2006 respectivamente.....	74
Figuras 61, 62, 63, 64, 65 e 66	Representação da variação de reflectância da área do estudo na banda 2 para setembro de 2004, novembro de 2004, junho de 2005, julho de 2005, novembro de 2005 e julho 2006 respectivamente.....	75
Figuras 67, 68, 69, 70, 71 e 72	Representação da variação de reflectância da área do estudo na banda 3 para setembro de 2004, novembro de 2004, junho de 2005, julho de 2005, novembro de 2005 e julho 2006 respectivamente.....	76
Figuras 73, 74, 75, 76, 77 e 78	Representação da variação de reflectância da área do estudo na banda 4 para setembro de 2004, novembro de 2004, junho de 2005, julho de 2005, novembro de 2005 e julho 2006 respectivamente.....	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Alterações do regime hidrológico do rio Paraná decorrente da construção da UHE Sérgio Motta.....	26
Quadro 2	Intervalos espectrais e suas respectivas cores.....	32
Quadro 3	Informações sobre a câmera imageadora de alta resolução CCD do CBERS/2.....	43
Quadro 4	Carga total e média de sedimentos suspensos do rio Paraná em área de influência do rio Paranapanema.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADCP	Perfilador de Corrente por Acústico Doppler
5S	Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum
CBERS	<i>China Brazil Resources Satellite</i> (Satélite Sino-Brasileiro de Sensoriamento Remoto)
LEGAL	Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico
PN	Parapanema
PR	Paraná
SIG	Sistema de informação geográfica
SIS	Sedimentos inorgânicos em suspensão.
SPRING	Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas
SOS	Sedimentos orgânicos em suspensão
STS	Sedimentos totais em suspensão
UHE	Usina hidrelétrica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA DO ESTUDO	18
3	TRANSPORTES DE SEDIMENTOS E INFLUÊNCIA DE BARRAGEM	20
4	FUNDAMENTOS GERAIS DE SENSORIAMENTO REMOTO	30
4.1	Comportamento espectral da água e elementos intervenientes	33
4.2	Utilização de imagens orbitais para avaliação de sedimentos.....	39
4.3	Características do sensor orbital utilizado	42
5	METODOLOGIA (MATERIAIS E MÉTODOS)	45
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
	REFERÊNCIAS	80

1 INTRODUÇÃO

Canais fluviais são importantes elementos para a atividade humana já que são utilizados como meio de transporte, fontes de energia hidrelétrica, de água potável, bem como supridores de recursos alimentares por meio da pesca e da água para irrigação, sem contar que em alguns locais a existência de terras férteis em planícies de inundação situadas nas margens dos rios também permite o cultivo em larga escala. Por outro lado, o uso da calha fluvial expõe os ocupantes aos efeitos dos eventos extremos relacionados aos rios, tais como as inundações ou os períodos de estiagem prolongados.

Dessa forma, estudos de caráter hidrológicos e geomorfológicos de canais fluviais são necessários na análise e compreensão de um grande número de problemas como abastecimento, navegação, controle de cheias, recreação, etc., além de permitir o entendimento de processos erosivos, de transporte, de evolução, entre outras dinâmicas.

Nesse sentido, o rio Paraná, cuja importância é definida pela sua abrangência (o décimo do mundo e mais importante sistema fluvial do centro-sul brasileiro), indica a realização de estudos que vise o conhecimento de processos como remoção, transporte e deposição de partículas sedimentares a fim de que se possam conhecer peculiaridades da dinâmica da bacia fluvial em questão. Destaca-se o fato de que o rio Paraná sofre alterações em sua dinâmica fluvial devido à presença de inúmeras barragens. Neste caso, levar-se-á em consideração a influência da barragem de Porto Primavera (Usina Hidrelétrica Engenheiro Sérgio Motta) em específico, uma vez que, após a sua conclusão e a formação do reservatório no final de 1998 houve significativas alterações na dinâmica do alto curso do rio Paraná (SOUZA FILHO et al., 2001).

A partir dessas premissas e com auxílio de análises hidrossedimentológicas pode-se encontrar dados que auxiliem na compreensão de dinâmicas geomorfológicas, hidráulicas, ecológicas, etc., elementos chaves na representação dos processos verificados no canal fluvial. Porém, mesmo com estudos que discutem as alterações e os impactos causados pelas construções de barragens no rio Paraná, muitas pesquisas são pontuais e dificultam a análise em escala abrangente impossibilitando prognósticos regionais, por exemplo.

De outro lado, as imagens orbitais e a possibilidade de trabalho com banco de dados georreferenciados (SIGs) tornaram-se importantes ferramentas na interpretação e compreensão das dinâmicas espaciais. Com isso, podem-se utilizar os produtos gerados por sensores remotos na interpretação de dinâmicas fluviais, por meio, por exemplo, da obtenção

de dados de campo concomitantes ao imageamento do satélite visando avaliar e intercorrelacionar os dados espectrais contidos nas cenas orbitais com os dados de campo, na busca de uma compreensão da dinâmica e de possíveis alterações sedimentológicas, hidrológicas e geomorfológicas na área que compreende o canal fluvial, além de evidenciar se os dados obtidos via sensores remotos são propícios ou não para algumas análises fluviais.

Dessa forma, o estudo é justificado frente a integração entre dinâmicas espaciais e ferramentas de pesquisa como geoprocessamento e sensoriamento remoto, importantes auxiliares na compreensão de processos que ocorrem tanto no reservatório, como no canal fluvial e áreas continentais, podendo contribuir em possíveis planos de gerenciamento e/ou monitoramento de algumas variáveis hidrológicas e/ou geomorfológicas do rio Paraná a partir da interação entre dados sinóticos e factuais e sua aplicabilidade a uma grande escala, ademais, estudos desta natureza são pouco comuns na área que compreende o alto rio Paraná.

Por essas razões, o objetivo deste trabalho é analisar a variabilidade espacial e temporal do transporte sedimentar (carga suspensa) do rio Paraná no segmento a jusante da barragem de Porto Primavera, região de Porto São José – PR, por meio dos dados espectrais contidos nas imagens orbitais CBERS/2. Nos objetivos específicos pretendem-se correlacionar dados espectrais das imagens CBERS/2 com dados hidrossedimentológicos obtidos em campo; correlacionar dados espectrais das imagens CBERS/2 com levantamentos batimétricos realizados no canal fluvial e por fim, analisar a variabilidade de reflectância em diferentes passagens do satélite.

2 DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA DO ESTUDO

O alto rio Paraná possui seu segmento superior barrado pelas UHEs Jupuí e Porto Primavera, e a parte inferior represada pela UHE de Itaipu. O segmento compreendido entre a barragem de Porto Primavera e o remanso de Itaipu é o único trecho em que o rio ainda corre livre, o que possibilita a observação de extensos depósitos sob a forma de ilhas, barras, planície de inundação e terraços que não foram perdidos com as barragens (SOUZA FILHO, 1993).

É neste trecho não inundado pelas barragens que se localiza a área do estudo, em segmento entre a barragem de Porto Primavera e a localidade de Porto São José, porção noroeste do Estado do Paraná. A área de coleta de dados de campo compreende dois locais no rio Paraná: um que possui influência das águas do rio Paranapanema e outro sem influência direta. (FIGURA 1).

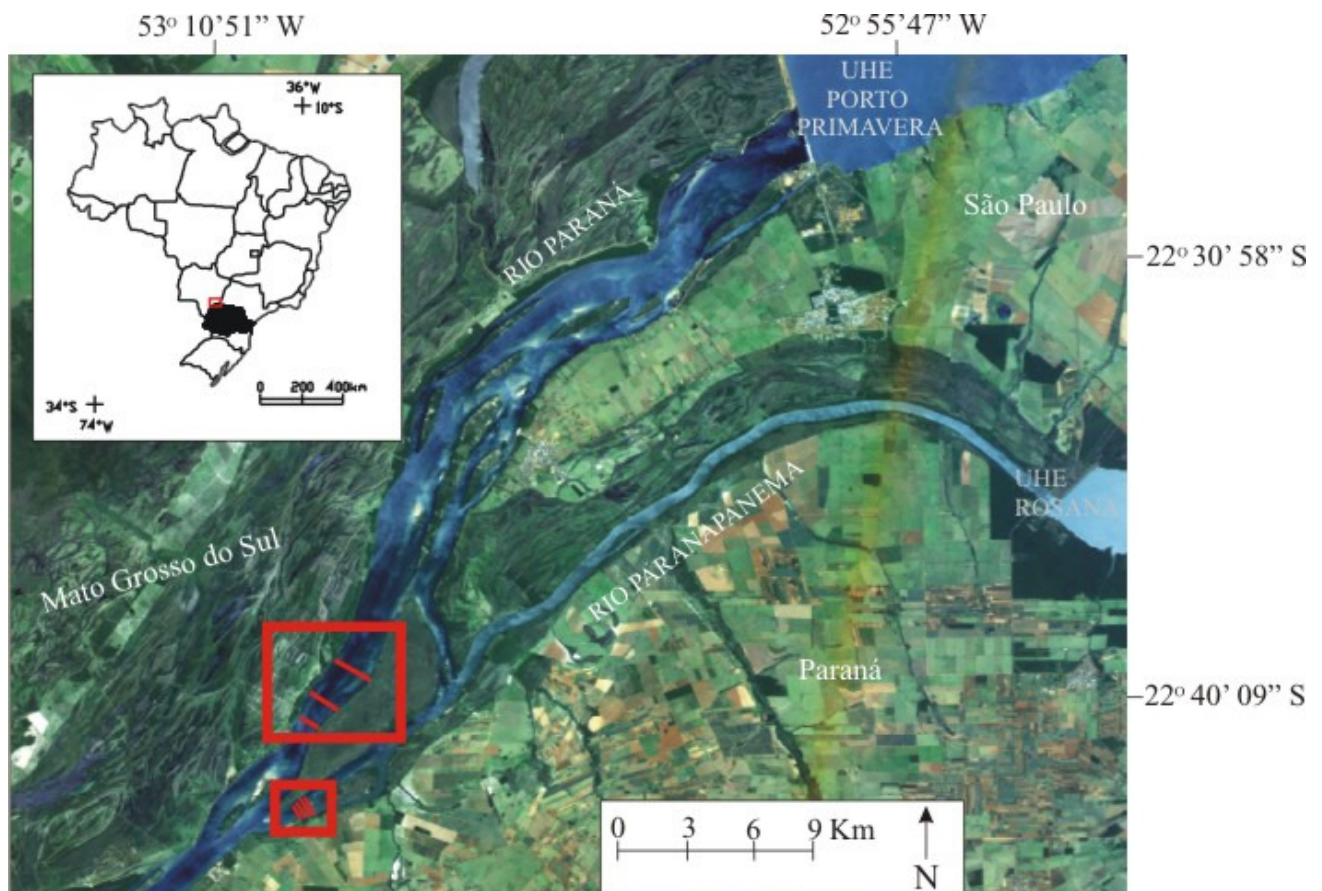


Figura 1: Localização área de estudo e dos perfis transversais (linhas em vermelho) onde foram coletadas as amostras de água para análise de carga suspensa. (Câmera CCD, Satélite CBERS II, 09/06/2005, composição R (B3), G (B2), B (B1)).

O substrato da área do estudo é formado por arenitos da Formação Caiuá (K) e por depósitos antigos do próprio rio, parcialmente cimentados por hidróxido de ferro (SOUZA FILHO, 1993). Os arenitos também ocorrem junto à margem esquerda do rio, mas a maior parte de suas margens estão escavadas em depósitos argilosos da própria planície fluvial.

O segmento estudado possui padrão multicanal, com fluxo dividido por ilhas e localmente por barras arenosas e conta com ampla planície de inundação na margem direita.

A vegetação da área apresenta-se significativamente alterada devido às inúmeras ações antrópicas. Hoje se restringe a pequenos fragmentos de floresta nas áreas próximas ao leito do canal e no conjunto de ilhas (CAMPOS; SOUZA, 1997), principalmente nas áreas mais altas formadas pelos diques marginais. Nas áreas mais baixas é possível encontrar grandes áreas de vegetação herbácea e de vegetação higrófila.

A retirada da vegetação original próxima ao rio Paraná ocorreu devido o processo de ocupação da região que no estado do Paraná foi estimulado primeiramente pela expansão da cafeicultura na região norte, substituída posteriormente por pastagens e culturas temporárias. Já no lado sul mato-grossense a substituição das florestas foi acionada pela implantação de projetos agropecuários (soja e bovinocultura) (CAMPOS; SOUZA, 1997). Quanto às ilhas, a retirada da vegetação foi estimulada inicialmente na década de 1950 pela cafeicultura, posteriormente substituída por pastagens e lavouras de subsistência (CORRÊA, 1998).

A área faz parte da zona de transição entre a Floresta Estacional Semidecidual Submontana presente no estado do Paraná e o “cerrado” característicos do estado do Mato Grosso do sul e do sudoeste do estado de São Paulo (SOUZA¹, 1998 apud SOUZA et al., 2004). Trata-se de uma área de rica diversidade vegetal e alta Tensão Ecológica definido pelo contato entre espécies da Floresta Estacional e de cerrado diretamente influenciadas pelos períodos de inundação e estiagem (COMUNELLO, 2001).

Por fim, o clima subquente da área varia entre Tropical Úmido com 1 a 2 meses secos (rio Paraná, baixo Ivaí e Paranapanema) e Tropical Super Úmido com sub-seca (baixo Piquiri, médio Ivaí e Paranapanema). Apresenta temperatura média anual superior a 20° e precipitações maiores que 1.500 mm/ano. De acordo com a classificação de Koeppen, o clima local é definido por CfA e CWA (pluvial temperado sempre úmido e com mês seco) respectivamente (SOUZA FILHO, 1993).

¹ SOUZA, M. C.; *Estrutura e composição florística da vegetação de um remanescente florestal da margem esquerda do rio Paraná (Mata do Araldo, Município de Porto Rico, PR)*. 1998. 145 p. PhD Dissertation, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1998.

3 TRANSPORTES DE SEDIMENTOS E INFLUÊNCIA DE BARRAGEM

O conhecimento das características e das dinâmicas sedimentares em canais fluviais é de grande interesse não apenas aos estudos de geomorfologia e de hidráulica fluvial, mas também de várias ciências concernentes às ciências ambientais. Processos como extração de areia para construção civil, dragagem para implantação e conservação de hidrovias, assoreamento de barragens, implantação de praias artificiais e portos são algumas das atividades freqüentes em rios de médio e grande porte que dependem diretamente desses estudos (MARTINS; STEVAUX, 2005).

Do ponto de vista ecológico, o estudo do comportamento hidrossedimentológico torna-se importante porque inúmeros organismos bênticos entre outros mantêm uma estreita relação de dependência direta com uma série de variáveis abióticas do canal como concentração de sedimentos, temperatura da água, velocidade da corrente, profundidade, entre outros.

Segundo Christofolletti (1981), a carga detrítica de um canal é a mistura de partículas de varias espécies, tamanhos e formas, distinguindo-se mecanicamente pela sua densidade, tamanho, diâmetro e pela medição da esfericidade, cujos fluxos e transportes são respostas aos processos e aos estados de equilíbrio atuantes no sistema fluvial. Fatores como distribuição das precipitações, estrutura geológica, condições topográficas e cobertura vegetal são importantes determinantes no tipo e quantidade de material transportado.

Considerando que toda a bacia hidrográfica é responsável pelo fornecimento de material detrítico aos canais fluviais, pode-se dizer que este fenômeno é um dos mais importantes no processo de esculturação do sistema fluvial bem como das paisagens encontradas na superfície terrestre, inferindo a esse processo uma forma de conhecer e interpretar a evolução histórica de paisagens na escala geológica correlacionando com condições morfoclimáticas passadas e presentes.

Segundo Christofolletti (1981), os processos de sedimentação fluvial podem ser derivados de dinâmicas como:

- Intensa remoção de detritos das vertentes devido às práticas agrícolas (retirada da cobertura vegetal), os zoneamentos urbanos e utilização dos cursos d'água para diversos fins;
- Erosão e deposição detrítica nos canais, interferindo em determinados modos de uso da terra e das águas;

- Prejuízos estéticos ou físicos derivados dos sedimentos em suspensão ou dos materiais dissolvidos para diversos usos das águas fluviais.

Ou seja, as atividades antrópicas estão diretamente relacionadas aos principais fluxos de sedimentos nos canais fluviais, uma vez que alterando as características da bacia de drenagem leva a uma modificação da carga detrítica que a rede hidrográfica recebe naturalmente. Conforme a magnitude da modificação, o sistema fluvial pode entrar em processos de degradação das vertentes, do canal etc. Com isso, pode-se dizer que qualquer espécie de planejamento urbano e rural deve ser instruída de diretrizes que envolvam processos relacionados à dinâmica das vertentes e à dinâmica fluvial.

Por exemplo, tamanha importância da carga sedimentar no canal, qualquer alteração envolvendo esta variável pode provocar um desequilíbrio do perfil longitudinal devido sua relação direta com a geometria hidráulica do canal. Atividades como extração de areia também contribui em maior ou menor escala para alterar a dinâmica das formas de leito e as características da carga de fundo de um rio (LEOPOLD² et al., 1964 apud STEVAUX, 2002).

Quanto ao tipo de carga sedimentar transportada, evidenciam-se três tipos: a carga dissolvida, a carga dos sedimentos em suspensão e a carga do leito do rio, cujos transportes são definidos pela intensidade dos fluxos do canal (CHRISTOFOLETTI, 1981).

A **carga dissolvida** é constituída pelos elementos e compostos químicos resultantes da decomposição das rochas e de materiais orgânicos. Sua concentração está diretamente relacionada com a descarga de água subterrânea e do escoamento superficial para o débito do rio, sofrendo assim variações na escala temporal e espacial.

Os componentes denudacionais e os não-denudacionais são as principais fontes naturais de sais dissolvidos nos cursos de água. O primeiro refere-se aos processos relacionados à meteorização, configurando a denudação química das áreas continentais. Já o último, são os elementos não participantes da erosão da superfície terrestre, tais como as emanções vulcânicas, os gases atmosféricos, os sais da atmosfera e a matéria orgânica dos solos que, em sua maioria resulta de produtos combustíveis derivados da fotossíntese, (CHRISTOFOLETTI, 1981). Elementos como clima, geologia, topografia, vegetação e o tempo gasto para o escoamento (superficial ou subterrâneo) também influenciam diretamente na composição química das águas dos rios. Sua variabilidade é definida pelos períodos de precipitação. Em épocas chuvosas quando o escoamento superficial é mais significativo, há uma diminuição de sais dissolvidos por unidade de volume, já nas épocas secas, a

² LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M.G.; MILLER, J. P. Fluvial Processes in Geomorphology. Dover, 522 p.

contribuição subterrânea é mais intensa, assim, a concentração de sais dissolvidos torna-se mais elevada.

A **carga de leito** é constituída por partículas de granulometria maior como a areia e cascalho, transportadas por meio da saltação, deslizamento, rolamento e/ou até suspensão na superfície do leito, (CHRISTOFOLETTI, 1981) sendo o principal elemento que influencia o ajuste da forma do canal, (KNIGHTON, 1998). Como o volume e a densidade das partículas são maiores, a velocidade da carga do leito é menor que a do fluxo, uma vez que as partículas podem se movimentar de modo intermitente.

No transporte da carga de leito dois conceitos são imprescindíveis para a compreensão do transporte fluvial: capacidade e competência. Este se refere ao tamanho e densidade das partículas transportadas pelo canal (que diminui em direção a jusante do rio, uma vez que a granulometria do sedimento tornam-se menores), já o primeiro refere-se à quantidade de sedimentos transportados.

Segundo Leopold³ (1953 apud CHRISTOFOLETTI, 1981), a redução na competência ao longo do canal é proporcionada pela diminuição da força de cisalhamento. Isto é explicado porque a turbulência é o elemento fundamental na movimentação das partículas do leito, principalmente nas vizinhanças da superfície do leito devido à rugosidade que depende da granulometria dos sedimentos. Com a diminuição da granulometria em direção da jusante, diminuirá a rugosidade e, também, o valor de turbulência. Assim, mudanças na rugosidade do leito provocarão alterações na competência do rio, pois modifica a turbulência e o cisalhamento do canal, sem implicações necessariamente na velocidade de fluxo.

Outro elemento importante para descrever a progressiva redução do material aluvial em direção de jusante refere-se à abrasão e o selecionamento, onde a abrasão é a redução do tamanho das partículas através de processos mecânicos, tais como choques e atritos, enquanto o selecionamento resulta do transporte diferencial das partículas de tamanhos diferentes, (CHRISTOFOLETTI, 1981), via força de cisalhamento.

Destaca-se que numa bacia hidrográfica a redução do tamanho dos sedimentos de montante a jusante no canal principal pode ser alterada devido ao aporte de sedimentos oriundos de afluentes que confluem com o canal principal, tendo em vista isso, quando se analisa a carga sedimentar deve-se levar em consideração toda a bacia hidrográfica e não apenas o canal principal.

³ LEOPOLD, Luna B. Downstream changes of velocity in rivers. *American Journal of Science*. 251 (8): 606-624, 1953.

Por fim, a **carga em suspensão** é caracterizada pelas partículas de granulometria reduzida como silte e argila que se mantêm em suspensão devido ao fluxo turbulento. O discernimento do que é carga em suspensão e o que é carga de leito baseia-se mais no mecanismo de transporte e não no tamanho do sedimento, onde a carga em suspensão é mantida pela turbulência da água (CHRISTOFOLETTI, 1981).

O transporte de carga em suspensão não necessita de forças de alta intensidade. A carga suspensa participa das características físicas da água, sendo carregada na mesma velocidade da água e, quando a turbulência for insuficiente para manter as partículas em suspensão, elas se precipitam. Quanto à mistura vertical, está é efetuada pelo movimento de turbilhamento que dá uma pequena variação de concentração de acordo com a profundidade, diferente da fração do material de fundo (KNIGHTON, 1998).

A carga suspensa está diretamente ligada às áreas de denudação (erosão superficial da bacia, erosão dos depósitos e barras do canal, etc.) variando de acordo com as peculiaridades da bacia hidrográfica, mantendo-se predominantemente maior na época de chuvas, assim, deve-se considerar a variação sazonal da carga suspensa que aporta no canal, que normalmente aumenta em períodos de tempestade (ou escoamento superficial sazonal) decorrente da descarga ainda alta. Salienta-se que a quantidade de carga suspensa depende do momento da coleta, pois pode variar em relação à passagem da onda de cheia.

Por exemplo, no rio Creedy (Devon) a alta concentração durante o período do verão (abril-setembro) refletiu a melhor disponibilidade de sedimento naquele momento. Salienta-se o fato de que 90% do total de carga suspensa foi transportada em apenas 6% do tempo (22 dias por ano), enquanto que para a carga dissolvida foi de 56% do ano (204 dias por ano) (WEBB; WALLING⁴, 1982 apud KNIGHTON, 1998).

A partir das peculiaridades que definem os tipos de carga sedimentar, pode-se analisar e obter informações do comportamento hidrológico do canal bem como correlacionar a tipos de canais, litologia das vertentes, períodos pluviométricos, etc., gerando informações tanto de hidrologia como de geomorfologia entre outros eventos ambientais que ocorram no sistema fluvial em sua dinâmica global (MARTINS; STEVAUX, 2005). Entretanto, análises a partir do tipo de carga sedimentar transportada devem ser realizadas com ressalvas, uma vez que segundo Knighton (1998), a distinção do tipo de carga transportada é um tanto arbitrária, já que há trocas de partículas entre os modelos de transporte.

⁴ WEBB, B. W.; WALLING, D.E. The magnitude and frequency characteristics of fluvial transport in a Devon drainage basin and some geomorphological implications. *Catena* 9, 9-24, 1982.

Segundo Paiva (2001), análises qualitativas e quantitativas de sedimentos transportados são fundamentais para elaborar relatórios que tratam de problemas como assoreamento de rios, assoreamento de reservatórios, e às vezes até inviabilidade da utilização do canal para irrigação, navegação, etc. devido à quantidade de sedimentos presente no canal fluvial, além de esclarecer outras dinâmicas que ocorrem no canal fluvial.

No caso do rio Paraná, estudos hidrossedimentológicos devem levar em consideração o fato de que o alto curso do rio Paraná sofre influências significativas como a barragem da UHE Engenheiro Sérgio Motta que alterou toda a dinâmica hidrológica e geomorfológica do rio Paraná. Em suma, o segmento situado à jusante da UHE sofre com alterações como controle da vazão, corte do suprimento de carga de fundo, diminuição do suprimento de carga suspensa, remoção das formas de leito e mudança do padrão da erosão marginal (SOUZA FILHO et al., 2004).

Alterações físico-biológicas e socioeconômicas causadas pela construção de um reservatório são inevitáveis e diretamente proporcionais ao tamanho do empreendimento e à dimensão do canal, que ao longo do tempo buscará uma nova condição de estabilidade frente às alterações sofridas (BRANDT, 2000). Independente da dimensão do reservatório, todo barramento provocará de alguma maneira alterações no sistema fluvial. Do ponto de vista hidrossedimentológico, a construção de barragens provoca a retenção de sedimentos a montante, liberando apenas uma pequena proporção de carga.

Alteração no tipo de material transportado predominando transporte de areia média, areia fina, areia muito fina são outros indicativos de como a barragem alterou a dinâmica fluvial do canal, o que gera instabilidade morfológica e altera a velocidade de deslocamento das formas de leito que passa a buscar um novo equilíbrio (CRISPIM, 2001).

Knighton (1998) em estudos no rio Colorado (Estados Unidos da América) detectou que após a construção do reservatório de Hoover houve uma redução extrema de sedimentos suspensos no canal, onde a carga anual que era de 125 -150 milhões de toneladas (pré-1930) reduziu-se para aproximadamente 100 000 toneladas após a barragem, traduzindo-se em redução da linha da costa do delta devido o baixo aporte de sedimentos no baixo Mississipi (MEADE; PARKER⁵, 1985 apud KNIGHTON, 1998). Eventos como estes podem reduzir a capacidade de armazenagem e a expectativa de vida de um reservatório, afetar características à jusante do rio, afetar a navegação, aumentar o risco de inundações entre outras conseqüências.

⁵ MEADE, R.H.; PARKER, R. S. Sediment in rivers of the United States. In: *National Water Summary, 1984*, United States Geological Survey Water Supply Paper 2275, 49-60, 1984.

Porém, mesmo que o reservatório impeça a passagem dos sedimentos, isto não significa necessariamente que a jusante do reservatório a água estará limpa, uma vez que outros fatores dentro do sistema fluvial podem ocultar os impactos das barragens. Como exemplo, tem-se o caso detectado por Olive; Olley⁶ (1997 apud BRANDT, 2000) que notaram alta presença de sedimentos devido à presença de afluentes localizados a jusante de duas barragens em rios da Austrália.

No caso da barragem de Porto Primavera, Souza Filho (1999) considerou que o reservatório poderia causar sensível modificação da qualidade de água, diminuição da carga suspensa, bloqueio da carga de fundo e um maior controle do regime hidrológico. O autor denotou que a dinâmica hidráulica poderia ser modificada, assim como os processos erosivos e deposicionais. As modificações incluiriam a atenuação dos picos de cheia e o aumento da permanência de descargas médias. Como consequência, o aporte de finos na planície fluvial diminuiria, o padrão de movimentação das formas de leito seria alterado, assim como a dinâmica do talvegue fluvial. Em suma, o rio estaria iniciando um processo de ajuste fluvial que seria realizado por meio do aprofundamento do leito e pela erosão marginal.

Baseados em tais premissas Rocha (2001) e Crispim (2001) realizaram um levantamento sistemático de parâmetros hidrológicos nas seções de Porto Primavera e de Porto São José, respectivamente. O primeiro autor focou o estudo sobre o comportamento da velocidade de fluxo, carga suspensa e carga de fundo, concluindo que a barragem havia provocado um aumento da velocidade de fluxo na seção de Porto Primavera, um aumento da velocidade de deslocamento das formas de leito, o corte no suprimento de carga de fundo e uma diminuição significativa do aporte de carga suspensa.

Rocha (2001) documentou ainda a diminuição considerável do material de fundo e o aprofundamento do canal, e verificou que na época o transporte de sedimentos em suspensão era quase nulo (concentração média menor que 2 mg/l). A distribuição espacial da concentração mostrava valores maiores junto às margens, e a distribuição temporal mostrava um ligeiro aumento em descarga mais elevada. Tal situação foi justificada pela contribuição da erosão marginal e pela re-suspensão de sedimentos de fundo ainda existente.

Crispim (2001) analisou uma série de variáveis hidrológicas (QUADRO 1) como: vazão, velocidade de fluxo, profundidade, temperatura da água, condutividade, pH, oxigênio dissolvido, concentração de sedimentos suspensos, textura do material de fundo e morfologia

⁶ OLIVE, L. J.; OLLEY, J. M. River regulation and sediment transport in a semiarid river: the Murrumbidgee River, New South Wales, Australia. In: HUMAN IMPACT ON EROSION AND SEDIMENTATION, PROCEEDINGS OF SYMPOSIUM S6 DURING THE 5th SCIENTIFIC ASSEMBLY OF THE IAHS, Rabat, Morocco, 23 April to 3 May. IAHS Public. Vol. 245, 283-290, 1997.

das formas de leito e da seção transversal do canal, evidenciando as alterações sofridas pelo canal.

Parâmetro fluviais	Resumo dos resultados das análises
Vazão	Redução no desvio padrão relativo à média anual após o fechamento da barragem. Notável variação diária da vazão resultado do manejo da barragem.
Velocidade de fluxo	Decréscimo da velocidade pós-fechamento
Profundidade	Aumento da transparência da água pós-barramento.
Temperatura da água	Sem diferenças representativas
Condutividade	Pouca variação na média da condutividade elétrica antes e pós-barragem
pH	pH se torna levemente ácido pós-barragem
Oxigênio dissolvido	Sem alterações significativas na concentração de O ² pós-barragem.
Concentração de sedimento suspenso e carga total	Redução significativa na concentração de material suspenso.
Textura de material de fundo	Mudança no tipo de material transportado predominando transporte de areia média, areia fina, areia muito fina e lama
Morfologia das formas de leito e da seção transversal do canal	Alteração significativa na velocidade de deslocamento das formas de leito.

Quadro 1: Alterações do regime hidrológico do Rio Paraná decorrente da construção da UHE Sérgio Motta.

Fonte: Crispim, (2001). p. 12. (Adaptado).

No rio Paraná, as primeiras evidências da diminuição de carga suspensa foram notadas em novembro de 1998, quando a coloração da água mudou e a transparência aumentou e, graças a existência de estudos realizados desde a década de 1980 sobre transporte de sedimentos no rio Paraná, em especial onde se encontra a estação fluviométrica de Porto São José (PR), foi possível descrever a variabilidade da carga suspensa do rio Paraná nesta seção antes e pós barramento de Porto Primavera (SOUZA FILHO et al., 2004).

Souza Filho et al. (2004) relata a partir de estudos anteriores que na década de 1980 durante o período de seca (inverno) a carga suspensa transportada era de 30 mg l⁻¹, já nos períodos de cheia (verão) caía para até 10 mg l⁻¹, apresentando uma média anual de 24,9 mg l⁻¹. Depois da conclusão do reservatório, notou-se que o valor máximo de sedimentos foi de 21,5 mg l⁻¹ no verão e mínimo de 2,8 mg l⁻¹ no inverno, com média anual de 10,8 mg l⁻¹.

Segundo a avaliação desses dados, os autores notaram que a carga suspensa do rio Paraná não só diminuiu como também houve uma mudança na distribuição da carga no decorrer do ano.

Dentre outros elementos que podem estar alterando o transporte de sedimentos no canal fluvial a jusante da UHE destaca-se a abertura das comportas do reservatório que provocam oscilações na vazão fluvial e conseqüentemente alteram a carga sedimentar do canal aumentando-a quando as comportas estão abertas. Segundo Souza Filho et al. (2004), considerando que o fluxo do canal é controlado pelas comportas e que não há sedimentos argilosos significativos no leito do canal, barras são uma das poucas fontes de carga suspensa do canal, principalmente no período de maiores descargas uma vez que o canal está sofrendo erosão em busca de um ajuste ao novo fluxo.

Percebe-se que em um curto espaço de tempo a construção de reservatórios no rio Paraná provocou e ainda tem provocado inúmeros impactos no canal, como é o caso de erosão marginal por “pipping”, surgida após o fechamento da barragem de Porto Primavera em virtude das operações realizadas no reservatório (SOUZA FILHO, 1999; SOUZA FILHO et al., 2004).

Alterações na dinâmica fluvial atingiram também outros elementos que estão diretamente relacionados com o canal. Como exemplo, a alteração da distribuição de organismos bênticos causada pela mudança das variáveis hidro-sedimentológicas do canal provocada pela barragem (STEVAUX; TAKEDA, 2002). A Planície de Inundação é outra área altamente impactada com a construção do UHE de Porto Primavera.

Dessa forma, o rio Paraná que num período de 1500 vem passando por um processo de abandono do sistema anastomosado teve em algumas décadas toda a sua dinâmica natural alterada devido à construção de reservatórios que modificaram todo o seu regime hidrológico, acarretando atualmente num processo de re-equilíbrio ou reajuste do canal que conseqüentemente acarretará modificações em toda paisagem do canal bem como no ecossistema que o integra (SOUZA FILHO et al., 2004).

As alterações mencionadas propagam-se de montante para jusante e são caracterizadas pela remoção das formas de leito. O alcance de tal ajuste ainda está em estudo, mas uma das formas de avaliar sua abrangência é conhecer a dinâmica do transporte fluvial de maneira a identificar o potencial de aporte de carga detrítica no sistema e estimar o tamanho do segmento necessário para compensar o corte de suprimento imposto pela barragem.

Mesmo com estudos que abranjam os impactos causados pelas construções de barragens e o transporte de sedimentos no rio Paraná, muitos desses estudos são pontuais e dificultam a análise em escala abrangente impossibilitando prognósticos regionais, por

exemplo. Devido à complexa dinâmica e conexão que existe no transporte da carga sedimentar, são importantes estudos que venham esclarecer acerca deste fenômeno, principalmente tratando-se de canais fluviais de grande expressão.

Segundo Martins e Stevaux (2005), a quantificação hidrossedimentológica de um canal fluvial constitui-se em uma grande dificuldade a ser enfrentada. Observa-se na literatura métodos para medição de carga sedimentar custosos e de difícil implantação nos cursos d'água. Ademais, para a realização de pesquisas que envolvam hidrossedimentologia necessita-se quase que invariavelmente de coletas de sedimentos “*in loco*”, o que acaba dificultando estudos ou pesquisas de caráter preditivo, gerencial ou com curto intervalo de tempo, principalmente para grandes áreas.

A quantificação do transporte de sedimentos é motivo de muita discussão, uma vez que de acordo com método adotado há possibilidade de se gerar informações impertinentes. Somada a influência de barragens torna-se ainda mais difícil principalmente porque a dinâmica do canal é condicionada pela abertura ou não das comportas, no entanto, é fundamental conhecer e definir o comportamento dos canais fluviais e sua dinâmica hidrossedimentológica para a elaboração de possíveis planos de gerenciamento, viáveis apenas com amplo conhecimento das dinâmicas que ocorrem no canal fluvial bem como na parte continental além das técnicas e ferramentas existentes.

Atualmente, com a disseminação do uso de ferramentas de trabalho como o geoprocessamento e o sensoriamento remoto, inúmeras análises espaciais podem ser verificadas em laboratório evitando coletas de materiais “*in loco*” o que demanda tempo, recursos financeiros e humanos. Observam-se na literatura estudos que averigam se as imagens geradas pelos satélites quando tratadas pertinentemente são confiáveis para retratar o comportamento espectral dos alvos da superfície terrestre através da verificação de dados de reflectância, etc.

No caso da carga suspensa de um rio, podem-se coletar amostras de água para a verificação da quantidade, calibre e composição mineralógica e depois comparar com os dados de reflectância de uma imagem ou de uma série temporal de imagens a fim de se obter algum modelo que represente pertinentemente esta variação.

Encontrando um modelo que represente a variação reflectância vs. sedimentos, é possível elaborar planos de monitoramento e gerenciamento que não demandem de coletas “*in loco*” devido à regularidade na geração de imagens e a praticidade de manipulação.

Caso haja conexão e pertinência entre os dados coletados, surge a possibilidade de compreender inúmeros processos que ocorrem no canal fluvial bem como em toda bacia

apenas por meio da observação de imagens de satélite, auxiliando assim em programas de gerenciamento de bacias. Com isso, a coleta de sedimentos no canal fluvial ou reservatório seria necessário apenas em estudos mais específicos e detalhados ou é reduzida a poucos pontos.

Mesmo que não se encontre um modelo pertinente que exprima a relação reflectância vs. sedimentos de forma precisa e quantificada, a detecção apenas da variação espacial e temporal desses sedimentos pelas imagens são importantes indicativos do comportamento da variável dentro do canal em estudo.

Por fim, através das imagens orbitais tem-se uma nova ferramenta para estudos fluviais, porém, de antemão destaca-se que inúmeros são os fatores que devem ser considerados para a sua utilização. O sucesso das pesquisas que envolvam imagens orbitais merece cuidados na sua manipulação e devem considerar intervenientes como: atmosfera, velocidade do vento, índice de turbidez, tipos e quantidades de sedimentos, valor de reflectância espectral da água pura e com sedimentos em suspensão e clorofila entre outros. Porém, a partir de procedimentos adequados e revisão bibliográfica poder-se-á realizar um bom tratamento digital das imagens e superar possíveis obstáculos inerentes à pesquisa.

4 FUNDAMENTOS GERAIS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Elementos observados diariamente na televisão, jornais, revistas, livros, etc., como a previsão do tempo, imagens de regiões petrolíferas, de regiões florestais, desérticas, de áreas de conflito, de zonas rurais e urbanas entre outros evidenciam a importância de imagens orbitais no cotidiano da sociedade. De acordo com os interesses, as informações geradas podem ter caráter estratégico, de planejamento, militar, educacional, etc., o que pode desencadear processos positivos e negativos tanto a sociedade quanto ao meio.

Toda esta gama de informações geradas pelo sensoriamento remoto tornou-se possível devido ao aperfeiçoamento e progresso da tecnologia que, iniciado com câmeras fotográficas rudimentares instaladas em balões ou até em animais em séculos anteriores, hoje se tem modernos equipamentos e sensores orbitais que “fotografam” a Terra evidenciando peculiaridades dantes nunca vistas.

Considerando a dimensão da Terra e em especial as dimensões continentais do Brasil, o sensoriamento remoto vem suprindo inúmeras carências informacionais que são utilizadas para diversos fins e áreas, como na oceanografia, meteorologia, geografia, geologia, cartografia, entre outros, tornando-se importante ferramenta no levantamento de informações sobre os recursos naturais auxiliando posteriormente em possíveis projetos de no monitoramento do meio, por exemplo.

Isto fica evidente na vasta bibliografia encontrada em estudos que contemplam a utilização de imagens orbitais e sua correlação com os elementos da superfície terrestre, sublinhando a importância do sensoriamento remoto como ferramenta para análise espacial, já que as imagens orbitais representam uma das únicas formas de se monitorar o meio em escalas que abrangem tanto o global como o local. Outra vantagem refere-se à rapidez, eficiência, periodicidade e visão sinóptica que as caracterizam (CRÓSTA, 1992).

Dessa forma, o sensoriamento remoto faz jus a sua finalidade que Lillesand (1994) pioneiramente definiu como: Sensoriamento remoto é a ciência e a arte de obter informações de um objeto, área ou fenômeno através da análise de dados adquiridos por meio de um dispositivo que não está em contato com o objeto, área ou fenômeno que está sob investigação. (*“Remote sensing is the science and art of obtaining information about an object, area, or phenomenon through the analysis of data acquired by a device that is not in contact with the object, area, or phenomenon under investigation”*).

De forma mais específica e enriquecida, Novo (1988) define sensoriamento remoto como a utilização de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, espaçonave etc., com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a energia da radiação eletromagnética e os elementos componentes da superfície terrestre em suas mais diversas manifestações.

Toda essa praticidade e eficiência na coleta, interpretação e análise do meio supre a caoticidade e os empecilhos existentes nos antigos modelos de análise existentes. Em franca expansão desde a década de 1960, a utilização da técnica de superposição de mapas temáticos propunha o reconhecimento e a caracterização de unidades estruturais básicas da paisagem procurando uma observação mais integrada da mesma, mas devido à limitação física quanto ao número e diversidade de mapas, o trabalho tornava-se oneroso e frágil metodologicamente. Entretanto, a partir da década de 1970 a disponibilidade de dados de sensoriamento remoto propiciou a aquisição e armazenamento de informações que possibilitava ao usuário uma forma integrada de compreender as dinâmicas espaciais e, conseqüentemente, a elaboração de planos de manejos mais integrados e pertinentes.

O sensoriamento remoto fundamenta-se na integração entre a radiação eletromagnética e os objetos que compõem a superfície terrestre (energia *vs.* matéria), onde toda matéria que possui temperatura acima de zero grau absoluto (0 Kelvin) emite energia, tornando-se assim fonte de energia eletromagnética. Sol e a Terra são as duas fontes principais desta energia. Quando se considera o Sol como fonte, os sensores detectam a energia refletida pelos objetos terrestres, sendo a faixa do espectro solar a mais importante. Quando se considera a Terra como fonte de energia eletromagnética considera-se a faixa do termal como mais apropriada na detecção da energia emitida pelos corpos terrestres.

A partir do espectro eletromagnético (FIGURA 2) percebe-se a ordenação da energia eletromagnética em função do seu comprimento de onda e frequência. Elaborado a partir da subdivisão de regiões com características homogêneas entre si, auxilia na compreensão da interação entre a energia radiante e o objeto.

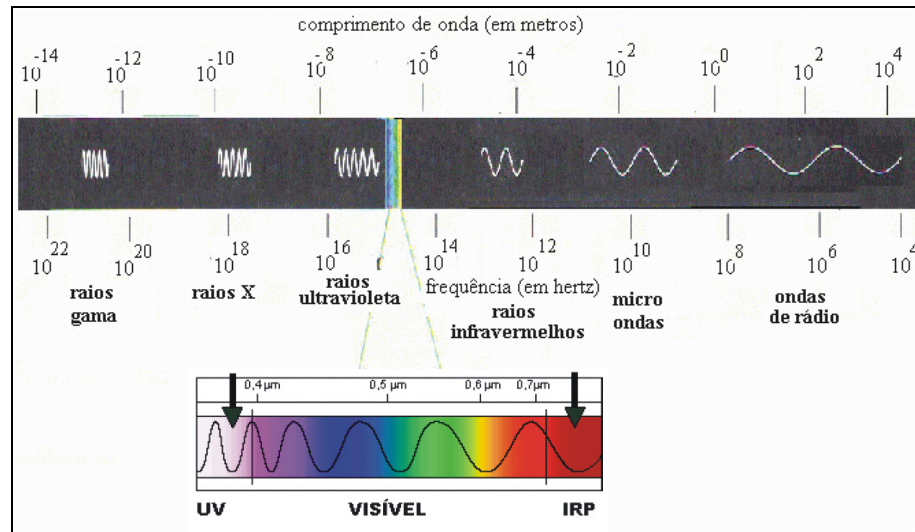


Figura 2: Espectro eletromagnético e a ordenação da energia eletromagnética em função do seu comprimento de onda e frequência.

Fonte: Programa Educar – CDCC/USP, [199?]

Em sensoriamento remoto a faixa espectral mais importante abrange a região do visível até a região de microondas. O quadro 2 contém os intervalos espectrais associados às cores percebidas pelo ser humano.

Cor	Intervalo de Comprimento de Onda (μm)	Comprimento de Onda Típico (μm)
Violeta	0,390 - 0,455	0,430
Azul Escuro	0,455 - 0,485	0,470
Azul Claro	0,485 - 0,505	0,495
Verde	0,505 - 0,550	0,530
Amarelo-verde	0,550 - 0,575	0,560
Amarelo	0,575 - 0,585	0,580
Laranja	0,585 - 0,620	0,600
Vermelho	0,620 - 0,700	0,640

Quadro 2: Intervalos espectrais e suas respectivas cores.

Fonte: Moraes (2005). p. 13. (Adaptado).

Em algumas regiões do espectro eletromagnético a atmosfera se apresenta de forma opaca e não permite a passagem de radiação eletromagnética. São as conhecidas “bandas de absorção da atmosfera” (NOVO, 1988). Trata-se de uma espécie de “cortina” onde a atmosfera e alguns de seus constituintes (gases) podem impedir, filtrar ou atenuar a passagem de energia eletromagnética proveniente do sol, variando de acordo com as propriedades dos diversos gases existentes na atmosfera terrestre (FIGURA 3). A região do espectro eletromagnético onde a atmosfera é transparente e quase não afeta a energia eletromagnética

solar são definidas como “janelas atmosféricas”, local onde é realizado o sensoriamento remoto dos objetos terrestres.

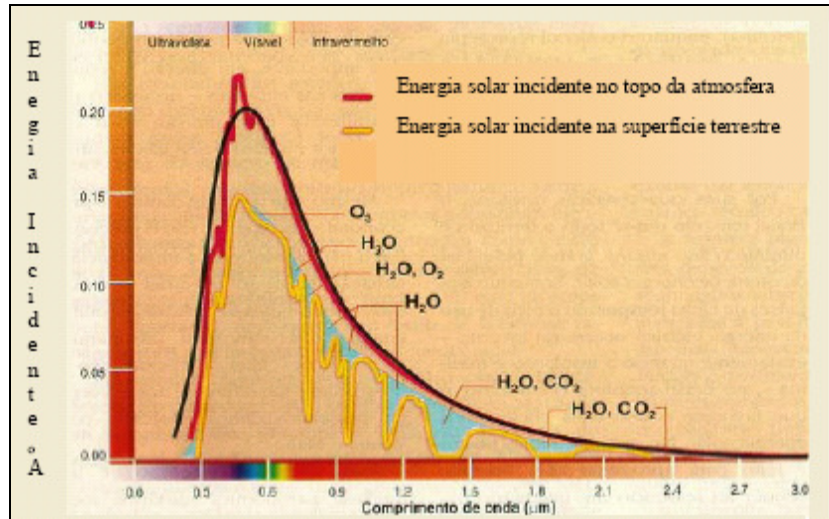


Figura 3: Distribuição espectral da energia solar na atmosfera/superfície terrestre.
Fonte: Moraes, 2005. p. 16.

Tendo em vista estas dinâmicas, são necessários instrumentos e conhecimentos pertinentes a fim de que se possa utilizar e interpretar corretamente os produtos oriundos do sensoriamento remoto, considerando não só as peculiaridades e variáveis da atmosfera como também do objeto estudado a fim de que se obtenha realmente o comportamento espectral dos alvos.

4.1. Comportamento espectral da água e elementos intervenientes

Quando um fluxo de energia eletromagnética (energia incidente) atinge um objeto, esta sofre interações com o material e tem parte ou a totalidade de sua incidência sendo refletida, absorvida e/ou transmitida pelo objeto. A capacidade de reflexão, absorção e transmissão de radiação eletromagnética são denominadas respectivamente de reflectância, absorptância e transmitância, baseada no princípio de conservação de energia.

O comportamento espectral de um objeto pode ser definido como sendo o conjunto dos valores sucessivos da reflectância do objeto ao longo do espectro eletromagnético, também conhecido como a assinatura espectral do objeto. A assinatura espectral do objeto

define as feições deste, sendo que a forma, a intensidade e a localização de cada banda de absorção é o que caracteriza o objeto (MORAES, 2005).

Entretanto, mesmo em espécies ou objetos similares podem-se observar assinaturas espectrais diferenciadas, uma vez que os objetos interagem de maneira diferenciada espectralmente com a energia eletromagnética incidente, pois apresentam diferentes propriedades físico-químicas e biológicas. Por exemplo, numa área de agricultura pode-se encontrar uma área onde o cultivo encontra-se mais sadio e desenvolvido e, em outra área o mesmo pode se encontrar enfraquecido, com pragas ou doente. Essa conjuntura gerará uma resposta espectral diferenciada em virtude do nível de desenvolvimento ou vitalidade diferenciada.

A partir das diferentes interações há possibilidade de distinção e o reconhecimento dos inúmeros objetos terrestres sensoriados remotamente, reconhecidos através da variação da porcentagem de energia refletida em cada comprimento de onda, assim, o conhecimento do comportamento espectral dos objetos terrestres é muito importante para a escolha da região do espectro sobre a qual se pretende adquirir dados para determinada aplicação.

No caso do comportamento espectral da água, em suma é definida por apresentar baixos valores de radiância. Apenas uma pequena parte da radiância medida pelo sensor contém informações sobre a água propriamente dita principalmente na faixa espectral que compreende a radiação fotossinteticamente ativa.

Segundo Novo (2001), a representação de um corpo d'água em uma imagem orbital resulta da soma de quatro diferentes fluxos de radiação: 1) pela reflexão do fluxo de radiação direta do Sol que atinge a superfície d'água; 2) pela reflexão do fluxo de radiação difusa que atinge a superfície d'água; 3) pelo fluxo espalhado pela atmosfera; 4) pelo fluxo que é espalhado no interior do volume de água, é refletido pelo fundo e emerge da coluna d'água após atravessar a interface água/ar. Apenas o último apresenta informações do corpo d'água e seus constituintes na presença dos demais (FIGURA 4).

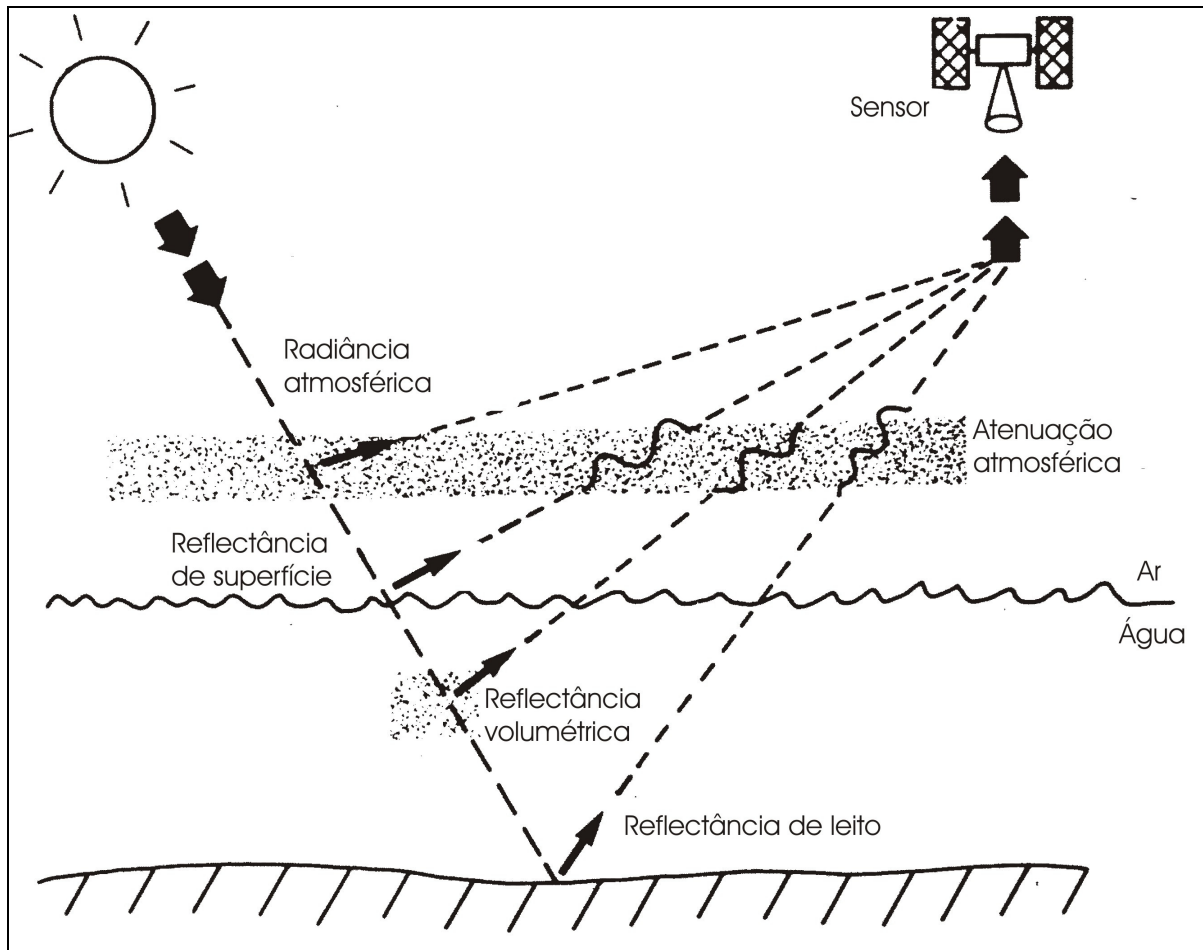


Figura 4: Trajetória da radiação solar e suas interações com a água e atmosfera até a captação do sinal pelo sensor orbital.

Fonte: Alföldi, 1982. p. 318. (Adaptado).

Encontrada na natureza em três estados físicos, a água apresenta comportamento espectral totalmente diferenciado. O comportamento espectral da água líquida pura apresenta baixa reflectância (menor que 10%) na faixa compreendida entre 0,38 e 0,7 μm e máxima absorção acima de 0,7 μm . Essa alta absorção facilita o mapeamento de corpos d'água a partir da informação espectral do infravermelho onde a reflectância é praticamente nula, o que auxilia na discriminação da água de outros elementos pois a água se apresenta muito escura, quase negra, especialmente quando o corpo de água é profundo e livre de materiais dissolvidos e/ou suspensos (CENTENO, 2003).

Essas interações explicam porque em imagens orbitais os corpos de água apresentam-se escuros, portanto, com baixa reflectância, muitas vezes menores que 20%. Barbosa (2005) afirma que de 85 a 90% da radiância captada pelo sensor resulta da interação com a atmosfera, assim, apenas de 10 a 15% do sinal registrado pelo sensor traz informações sobre o

corpo d'água. Destes, apenas uma pequena parcela é relativa às porções superficiais da coluna d'água.

A partir da compilação de vários estudos, Sathyendranath⁷ et al. (2000 apud BARBOSA, 2005) concluiu com precisão que a caracterização de absorção da água pura pode ser considerada invariante. O coeficiente de absorção da água pura é mínimo na região compreendida entre 400 e 500 nm, indicando alta transmitância. Seu aumento passa a ser significativa a partir de 550 nm com pico na região do infravermelho. Já o coeficiente de espalhamento da água pura reage contrário ao da absorção, pois é máximo na região do azul e, decresce exponencialmente em direção ao infravermelho. Dessa forma, a luz neste comprimento de onda consegue atravessar a água com maior facilidade e penetra mais fundo em lagos de águas claras, auxiliando em estudos a respeito do fundo de corpos de água.

Jensen (2000) ratifica a afirmativa anterior e ressalta que ao desenvolver um filme especial para penetração na água, pesquisadores da Kodak na década de 1970 notaram que o melhor intervalo de comprimento de onda para tal estava situado entre 0,44 – 0,54 μm . Esta informação foi utilizada para a criação da banda azul (0,45 – 0,52 μm) ou também chamada banda de penetração da água do Landsat Thematic Mapper, onde, se a coluna de água estiver limpa é possível observar áreas entre 10 a 30 metros de profundidade.

Entretanto é raro encontrar na natureza um corpo d'água completamente puro. O mais comum é encontrá-lo com outros elementos em estado dissolvido ou em suspensão, o que altera a resposta espectral e aparência da água, devido à mudança na absorção de energia bem como no espalhamento. Segundo Centeno (2003), os principais elementos opticamente ativos encontrados na água são:

- Sedimentos em suspensão: caracteriza-se por partículas de solo ou matéria orgânica dissolvida ou não que podem mudar a cor da água significativamente.
- Turbidez: a reflectância é linearmente proporcional à turbidez entre 0,5 e 0,7 μm (verde e vermelho) e dependendo do grau de turbidez esta faixa pode ser estendida até 0,9 μm . Acima de 0,9 μm a água, mesmo turva, absorve toda a energia incidente.
- Clorofila: sua presença na água reduz a reflectância na faixa da cor azul e aumenta a reflectância principalmente na região correspondente a cor verde até no vermelho. A presença de clorofila é um índice da produção primária e eutrofização do corpo de água devido à presença de algas.

⁷ SATHYENDRANATH, S.; BUKATA, R.P.; ARNONE, R. Colour of Case 2 Waters: in Remote Sensing of Ocean Colour, Coastal, and Others Optically-Complex, Waters, Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group-Report. Number 3, 2000.

- Macrófitas, neve ou vapor também colaboram para alterar a resposta espectral da água.

De acordo com Novo (2001), Curran e Novo (1988), além dos elementos opticamente ativos presentes na água, a análise do seu comportamento espectral deve-se levar em consideração também a presença de outros fatores do meio que alteram a resposta espectral, tais como:

- Atmosfera, principalmente na região de maior penetração de luz na água (entre 400 e 500 nm) e de maior interação entre a radiação eletromagnética e os componentes da coluna d'água. Dados de Kirk⁸ e Mobley⁹ (1994 apud NOVO, 2001) indicam que até 90% da energia detectada sobre um corpo d'água por um sensor a bordo de um satélite pode ser atribuída à interferência atmosférica. Os principais elementos atmosféricos são umidade (determina a absorção e espalhamento devido à quantidade de aerossóis), nuvens e pressão, além de elementos como o vento.
- Transmitância, que na água é muito alta e variável. Este elemento responde pela energia emergente do volume d'água, sempre munida de informações relativas a diferentes profundidades para um mesmo corpo d'água.
- Reflectância da superfície, que na água é mais elevada que a do volume e é afetada por fatores como o vento e a geometria de aquisição.
- Geometria do sensor, de acordo com o ângulo o qual a radiação alcança a água e o sensor pode determinar o grau de correlação entre a carga suspensa e a radiância capturado pelo sensor.
- Profundidade da água, este elemento pode alterar a estimativa de carga suspensa, porem, só ocorrerá caso a água seja muito limpa e/ou rasa, pois assim haverá influência do leito do canal na radiância captada pelo sensor.
- Interface água/atmosfera, define a quantidade e a característica da radiação que entra e deixa a água, portanto, influencia na relação carga suspensa e reflectância, entretanto, inúmeros estudos comprovam que se o sensor estiver corretamente ajustado, a influência é mínima (RITCHIE¹⁰ et al., 1976; AHERN¹¹ et al., 1977 apud CURRAN e NOVO, 1988).

⁸ KIRK, J.T.O. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. 2. ed. New York: Cambridge University Press, 1994. 509 p.

⁹ MOBLEY, C.D. Light and water: radiative transfer in natural waters. San Diego: Academic Press, 1994, 592p.

¹⁰ RITCHIE, J. C.; SCHIEBE, F.R.; MCHENRY, J.R. Remote sensing of suspended sediments in surface waters. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 42, 1539-1545, 1976.

Os principais intervenientes atmosféricos referem-se ao espalhamento e absorção. O primeiro provoca uma mudança da propagação solar quando ela interage com partículas atmosféricas, assim, os fótons não são perdidos, mas apenas redirecionados em diversas direções sem haver mudança no comprimento de onda eletromagnética, assim, o que chega ao sensor é a própria onda eletromagnética e não resultado da interação da irradiação solar com um alvo. Já o último refere-se à absorção de vários comprimentos de ondas provocados principalmente por moléculas de gases. Como exemplo cita-se o ozônio que absorve radiação ultravioleta, dióxido de carbono que absorve no infravermelho próximo (termal), além do vapor d'água e poluição entre outros (POLIDÓRIO; FRANCO et al., 2005). Soma-se ainda, fatores como iluminação e vento que também podem interferir na reflectância da água.

Quanto a radiação que penetra no corpo d'água, esta sofre alterações como mudança de direção além dos processos de espalhamento e absorção. A mudança de direção é devido à refração da radiação, pois há uma mudança de velocidade ao penetrar no meio líquido. O espelhamento refere-se aos choques entre a radiação com as partículas dissolvidas e/ou em suspensão. Já a absorção refere-se à energia absorvida que foi transformada em energia química pela fotossíntese ou em energia calorífica através do aquecimento da água. Esse fato promove a geração de uma radiação ascendente alterada em vários comprimentos de onda pelos intervenientes aquáticos (ESTEVES, 1998).

Além da baixa reflectância da água e da atenuação atmosférica, devem-se levar em consideração outros obstáculos como à baixa sensibilidade e a grande largura entre as bandas espectrais que muitos sensores remotos possuem (MANTOVANI; NOVO, 1996), dificultando ainda mais a análise de variáveis limnológicas como a análise de carga em suspensão.

Dessa forma, a correta interpretação dos significados físicos das cores não é tarefa fácil, pois resulta de seu comportamento espectral acrescidas de intervenientes externos. Além dos fatores atmosféricos, elementos como precisão na calibração absoluta no sensor, efeitos topográficos, entre outros devem ser considerados, pois alteram os valores digitais das imagens e a reflectância ou a radiância das superfícies observadas. Por exemplo, ventos fortes podem criar na superfície da água uma reflexão especular, o que pode mascarar a

¹¹ AHERNM, F.J.; GOODENOUGH, D. G.; JAIN, S.C.; RA0, V. R.; ROCHON, G. Use of clear lakes as standard reflectors for atmospheric measurement. *Proceedings of the 11th Internatinal Symposium on Remote Sensing of Environment*. Ann Arbor: University of Michigan, p. 731-755, 1977.

concentração de sedimentos em suspensão (HAN; RUNDQUIST¹², 1998 apud JENSEN, 2000).

Por fim, mesmo com inúmeros entraves e variáveis, a utilização de dados de sensoriamento remoto para análises de corpos d'água são amplamente empregados na verificação de qualidade da água, previsão de produtividade entre outros. Tais informações são obtidas a partir de dados da radiação da subsuperfície, resultado da interação entre água-ar e da água com os elementos orgânicos e inorgânicos nela contida.

4.2. Utilização de imagens orbitais para avaliação de sedimentos

A previsão de sedimentos como já discutido é alvo de inúmeras discussões, principalmente sobre a pertinência da metodologia aplicada. Quantificados de forma direta ou indireta, os sedimentos suspensos possuem dinâmicas que impedem a elaboração de um método ou calibração de um modelo que abranja uma grande área, já que possui grande variabilidade espacial e temporal.

Contudo, atualmente o sensoriamento remoto está sendo amplamente utilizado em vários casos para analisar a concentração de sedimentos em suspensão em corpos de água bem como sua variabilidade a partir da sua correlação com reflectância nos comprimentos de onda do visível e no infravermelho próximo (ALFÖLDI, 1982).

Segundo Curran e Novo (1988), a utilização de técnicas de sensoriamento remoto para análise da carga sedimentar é amplamente difundida por vários pesquisadores. Tem-se, por exemplo, trabalhos que envolvem a análise da carga suspensa em reservatórios, em lagos e rios; em águas costeiras, além de pesquisas que envolvem índices de qualidade da água.

Por exemplo, em estudos nos Estados Unidos, Witte et al. (1982) analisaram a carga suspensa de canais fluviais por meio de sensoriamento remoto a fim de correlacionar com a erosão laminar da parte continental, e isto acabou gerando informações sobre a erosão da parte continental e o assoreamento de canais fluviais, lagos e reservatórios, auxiliando na geração de modelos de poluição e de planos de gerenciamento.

Porém, para que haja pertinência em estudos de carga suspensa, isto usualmente é realizado a partir da obtenção “*in situ*” de medidas de concentração de sedimentos suspensos

¹² HAN, L.; RUNDQUIST, D.C. The Impact of a Wind-roughened Water Surface on Remote Measurements of Turbidity. *International Journal of Remote Sensing*, 19 (1): 195-201, 1998.

para posterior correlação com os dados presentes nas imagens orbitais ou com medidas espectralradiométricas realizadas em campo a fim de tentar definir uma interação qualitativo-quantitativa da carga suspensa estatisticamente coerente.

Os principais elementos opticamente ativos nos corpos de água são os sedimentos suspensos que compreendem as partículas e cargas dissolvidas inorgânicas e orgânicas que se encontram nos corpos d'água. Tais partículas em geral são de pequeno tamanho, com o diâmetro de argila (3-4 μm), mas, conforme os tipos de fluxos podem atingir até o tamanho de areia grossa (131 – 250 μm).

Pesquisas descrevendo o comportamento espectral de água limpa e água com sedimentos em suspensão com concentração de argila e silte denotam que a reflectância espectral da água diminuiu continuamente depois dos 580 nm devido à absorção da coluna de água. Com o aumento da concentração de sedimento, a reflectância aumenta em todos os comprimentos de onda para ambos, argila e silte, o que explicita, portanto que o corpo de água com sedimentos em suspensão geralmente pode aparecer brilhando na imagem mais do que da água sem nenhum sedimento em suspensão (JENSEN, 2000).

Lodyi¹³ et al. (1997 apud JENSEN, 2000), determinou as características do espectro de reflectância de dois tipos de solos de Nebraska e de vários sedimentos em suspensão na água, e verificou que o aumento da concentração de minerais em suspensão em corpos de água fica evidenciado na faixa do visível e no infravermelho próximo em porções do espectro.

Coefficientes de correlação são utilizados para descrever a relação entre sedimentos em suspensão e reflectância de cada um dos 252 pontos de amostras do espectro. Para o sedimento argiloso os valores alcançam de 0,28 – 0,97, e para o siltoso, o alcance está entre 0,78 – 0,98. Para ambos os sedimentos os valores de $r > 0,90$ ocorrem no infravermelho próximo entre 714 e 880 nm, como já esperado (BHARGAVA; MARIAM¹⁴, 1990; HAN; RUNDIQUIST¹⁵, 1994 apud JENSEN, 2000). Os resultados dessa pesquisa sugerem que:

- O comprimento de onda que alcança de 580 – 690 nm pode gerar informações para o tipo de sedimentos na superfície da água

¹³ LODHI, M.A.; RUNDIQUIST, D. C.; HAN, L.; JUZILA, M.S. The Potential for Remote Sensing of Loess Soils Suspended in Surface Waters. *Journal of the American Water Resources Association*, 33(1): 111-127, 1997.

¹⁴ BHARGAVA, D.S.; MARIAM, D.W. Spectral Reflectance Relationship to Turbidity Generated by Different Clay Materials. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 56: 225-229, 1990.

¹⁵ HAN, L.; RUNDIQUIST, D.C. The response of both Surface Reflectance and the Underwater Light Field to Various Levels of Suspended Sediments: Preliminary Reslts. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 60: 1463-1471, 1994.

- O comprimento de onda do infravermelho próximo situado no intervalo de 714 – 880 nm pode ser usado para determinar a quantidade de sedimentos minerais na superfície da água onde os minerais estão concentradamente suspensos.

Whitlock et al. (1977) em estudos de caracterização do tipo de sedimento na água salienta que a relação nível de radiância de acordo com a concentração de sedimentos não varia linearmente. A linearidade só ocorre em casos especiais, dependendo do tipo de sedimento, concentração e comprimento de onda. Portanto, a relação entre concentração de sedimentos e reflectância por meio de imagens orbitais não podem ser universalmente aplicadas. Sua utilização deve levar em consideração variáveis como resolução espectral, concentração de sedimentos, características da água, tipos de sedimentos, entre outros fatores.

Alföldi (1982) encontrou uma importante correlação entre concentração de sedimentos suspensos em função do comprimento de onda e gerou duas conclusões: o aumento da reflectância está diretamente ligado ao aumento da concentração de sedimentos que promove a mudança do pico de reflectância para os comprimentos de onda maiores o que permite a utilização das “cores” como uma medida de concentração de sedimentos suspensos (FIGURA 5).

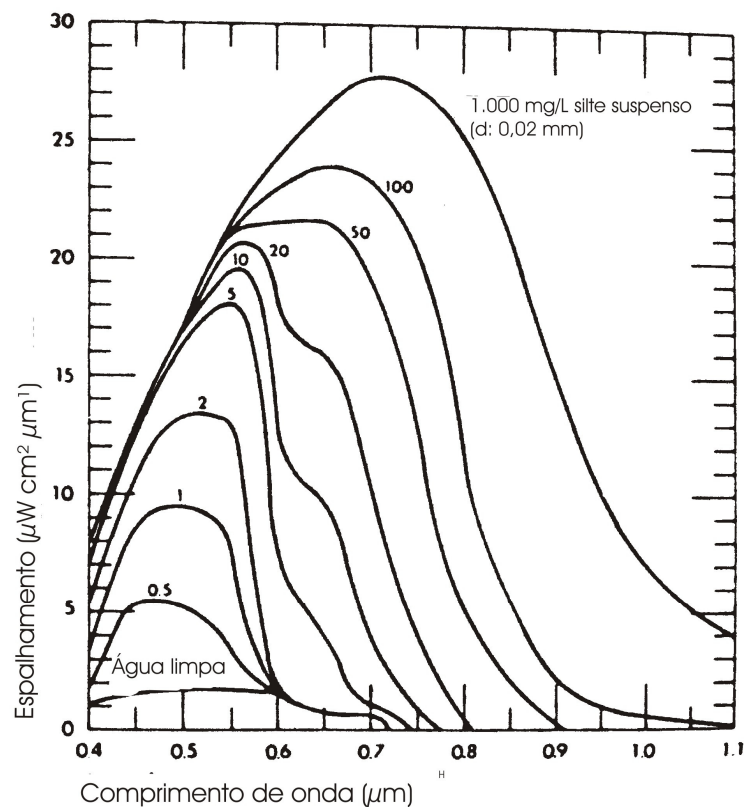


Figura 5: Variação da dispersão da radiância em função da quantidade de sedimentos suspensos.

Fonte: Alföldi (1982), p. 319. (Adaptado)

Estas conclusões denotam que para corpos de água com baixa concentração de sedimentos os comprimentos de ondas que melhor respondem à predição de carga suspensa são as de onda curta como a faixa do azul e verde e, na medida em que a carga aumenta as faixas espectrais mais sensíveis para predizer a variação sedimentar são as de maiores comprimentos de onda. Considerando que a carga suspensa do rio Paraná é baixa, o modelo de Alföldi (1982) possivelmente pode ser verificado, mesmo utilizando-se imagens de baixa resolução espectral.

Por fim, no segmento a jusante da atual UHE Engenheiro Sérgio Mota a mais de 15 anos realiza-se estudos sistemáticos em diversas áreas de conhecimento concernentes às ciências ambientais, inferindo conseqüentemente estudos geomorfológicos e hidrológicos antes e pós barramento da UHE o que auxiliou na formação de um amplo banco de dados. Entretanto, a utilização de imagens orbitais na análise de variáveis geomorfológicas e hidrológicas no rio Paraná ainda são escassos. Estudos anteriores não contavam com o comportamento espectral dos objetos sensoriados, pois se atinham mais à cartografia temática, entretanto, contribuíram significativamente para disseminação e utilização das imagens orbitais.

4.3. Características do sensor orbital utilizado

Este trabalho utilizou as imagens geradas pelo CBERS (China Brazil Resources Satellite, Satélite Sino-Brasileiro de Sensoriamento Remoto) cujas informações mais enriquecidas encontram-se disponíveis no endereço eletrônico <http://www.cbears.inpe.br/pt/index_pt.htm>.

Com órbita heliosíncrona a uma altitude de 778 km, o satélite CBERS (FIGURA 6) perfaz cerca de 14 revoluções por dia. Nesta órbita, o satélite cruza o Equador no sentido norte-sul sempre na mesma hora local, 10h30min da manhã, permitindo dessa forma que se tenham sempre as mesmas condições de iluminação solar (mesma hora solar) para a comparação de imagens tomadas em dias diferentes.

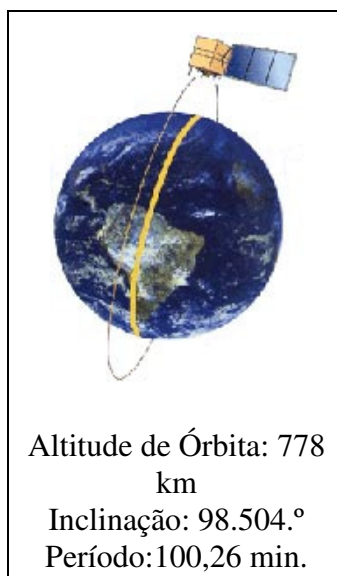


Figura 6: satélite CBERS em órbita.

Fonte: EMBRAPA – Monitoramento por Satélite. [2000?]

O satélite obtém a cobertura da Terra em 26 dias. Esse é o tempo necessário para se ter imagens de todo o globo terrestre com suas câmeras CCD (QUADRO 3) e IRMSS, que possuem campos de visada de 113 Km a 120 Km, respectivamente. Já com a câmera WFI, obtêm-se cenas com uma faixa de 890 km de largura e o tempo necessário para uma cobertura global é de cinco dias.

Câmera Imageadora de Alta Resolução CCD	
Bandas espectrais	0,51 - 0,73 μm (pancromático) - B5 0,45 - 0,52 μm (azul) - B1 0,52 - 0,59 μm (verde) - B2 0,63 - 0,69 μm (vermelho) - B3 0,77 - 0,89 μm (infravermelho próximo) - B4
Resolução espacial	20 m x 20 m
Faixa de imageamento	113 km
Campo de Visada (FOV)	8,3°
Visada lateral	$\pm 32^\circ$
Resolução temporal	26 dias no nadir; até 3 dias com visada lateral
Taxa de dados	2 x 53 Mbits/segundo

Quadro 3: Informações sobre a Câmera Imageadora de Alta Resolução CCD do CBERS/2.
Fonte: China-Brazil Earth Resources Satellites, [2000?].

Os satélites CBERS-1 e 2 são equipados com câmeras para observações ópticas de todo o globo terrestre, além de um sistema de coleta de dados ambientais. São sistemas únicos devido ao uso de câmeras que combinam características especiais para resolver a grande variedade de escalas temporais e espaciais típicas de nosso ecossistema.

Os satélites CBERS-1 e CBERS-2 fazem parte do Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais que baseado na utilização de satélites e plataformas de coleta de dados (PCDs) distribuídas pelo território nacional objetiva fornecer ao país dados ambientais diários coletados nas diferentes regiões do território nacional. Os dados CBERS são gravados por estações terrenas, no caso do Brasil, a estação está em Cuiabá (MT). O processamento dos dados para que sejam gerados os produtos a serem distribuídos aos usuários é feito em Cachoeira Paulista (SP).

5 METODOLOGIA (MATERIAIS E MÉTODOS)

A metodologia deste trabalho fundamenta-se na definição de Santos¹⁶ et al. (2001 apud PEREIRA, 2005), o qual considera que a variação espectral de uma imagem pode ser utilizada como parâmetro estatístico para a distinção dos alvos que a compõem, permitindo assim uma análise com base nas propriedades físicas da interação entre energia e matéria, onde o emprego de técnicas de tratamento de imagens permite identificar padrões que serão interpretados de acordo com as classes de interesse.

Assim, a análise dos dados espectrais das imagens CBERS II foram apoiadas por coletas de campo de sedimentos totais em suspensão (STS), sedimentos inorgânicos em suspensão (SIS) e sedimentos orgânicos em suspensão (SOS) coletados em seções transversais no canal em dias concomitantes aos de passagem do satélite CBERS/2. Este procedimento foi adotado a fim de que os dados coletados não sofram significativas alterações desencadeadas pelas operações realizadas na UHE Porto Primavera. Infelizmente, devido a contratempos físicos (naturais) e humanos, apenas uma coleta de campo foi coincidente com a passagem do satélite uma vez que em outras tentativas, ora o tempo estava desfavorável, ora o satélite estava danificado. Salienta-se que no dia de coleta de campo, seguindo classificação de Filho et al., (2005), o tempo apresentava-se adequado, ou seja, com sol, sem vento ou com brisa e com a superfície da água lisa ou com pequenas ondulações.

Este trabalho pretende apenas verificar se através das imagens CBERS há como correlacionar a reflectância do corpo d'água com o aporte de sedimentos, não com intuito necessariamente de quantificar, mas sim, de verificar a distribuição espacial da carga sedimentar e suas variações temporais. A partir disso, duas foram as etapas a serem cumpridas: a primeira refere-se a coleta de dados de campo (FIGURA 7) e a segunda ao tratamento das imagens (FIGURA 9).

¹⁶ SANTOS, N. B. F.; LOPES, R. A.; GUIMARAES, R. F.; MELLO, A. F.; CARVALHO JUNIOR, O. A. Emprego de Imagens Landsat7/ETM+ para Detecção da Calha Principal do Rio São Francisco com o Propósito de Auxiliar os Estudos de Navegabilidade. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz do Iguaçu. *Anais...* Foz do Iguaçu: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. p. 659-666.

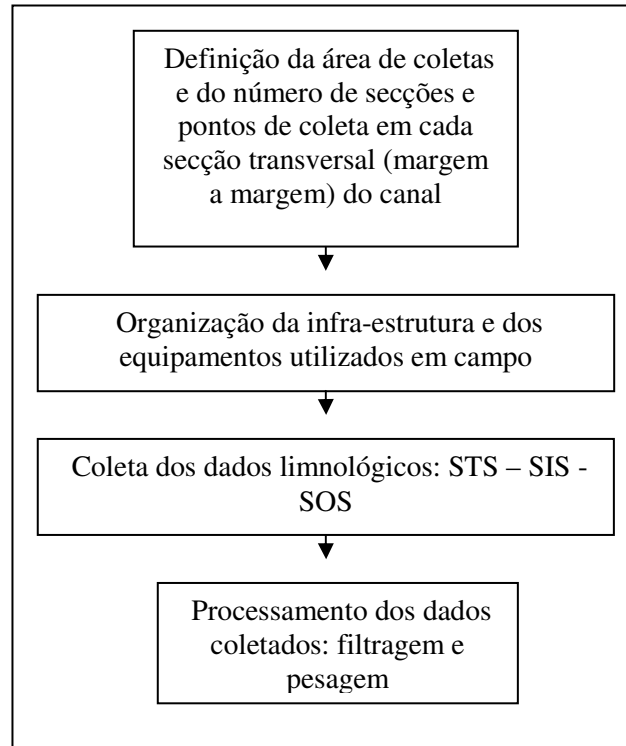


Figura 7: Seqüência dos procedimentos adotados para coletas de dados de campo

- A definição da área de coletas e do número de secções e pontos de coleta em cada secção transversal (margem a margem) do canal é facilmente visualizada no mapa de localização da área de estudo (FIGURA 8). A área sem influência do rio Paranapanema é formada por três perfis transversais com distância entre si de aproximadamente 2000 metros. Para a coleta de 12/11/05 considera-se apenas os perfis 1 e 3 com 5 e 6 pontos de coleta respectivamente em cada perfil. Para a coleta de 17/05/06 ampliou-se o número de pontos de coletas e perfis para a área sem influência do rio Paranapanema, que passou a ter 7 pontos de coleta em cada perfil. Já a área que abrange a zona de influência do rio Paranapanema é composta por 4 perfis transversais com 40 metros de distancia entre si e com 8 pontos de coleta em cada perfil.

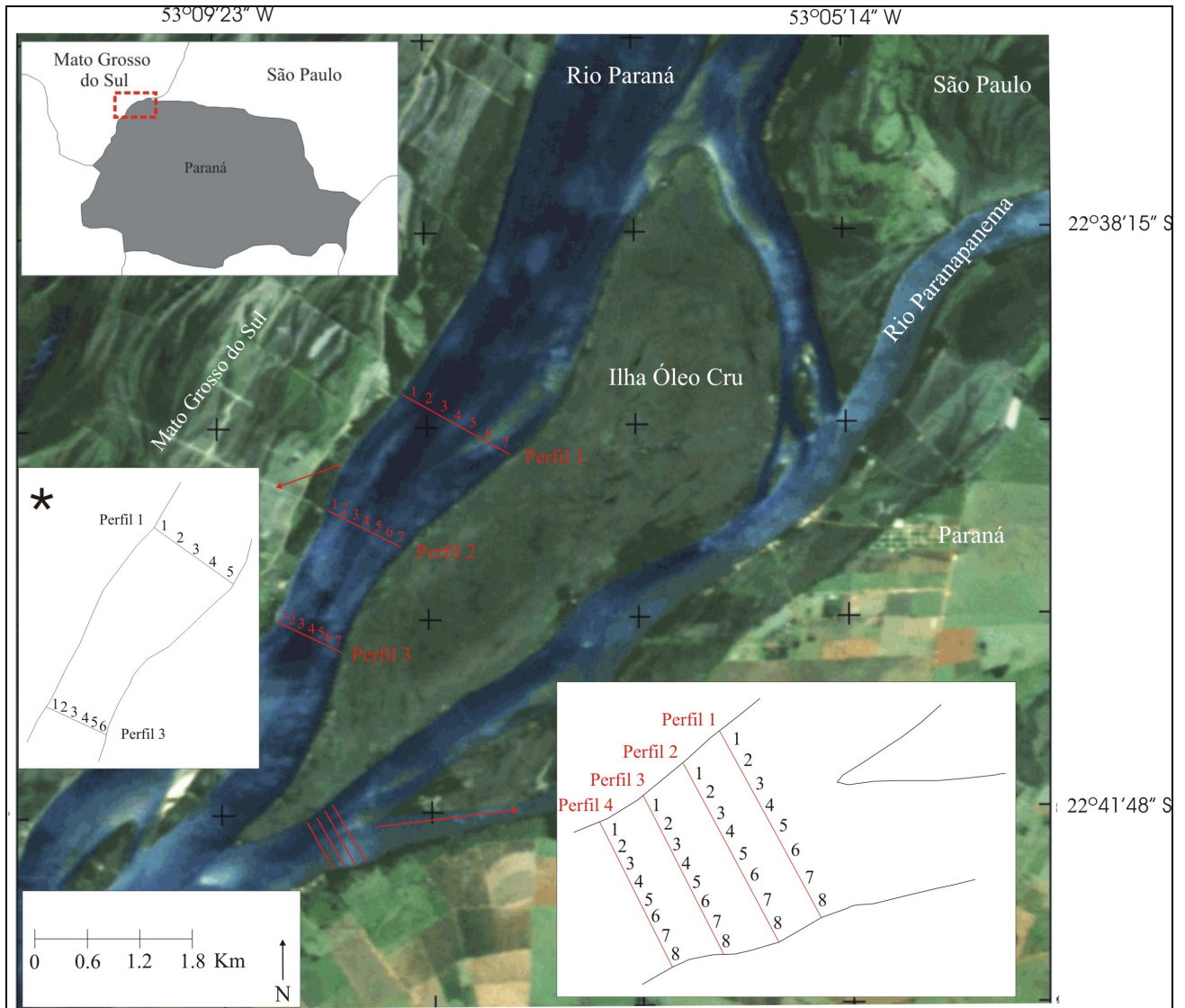


Figura 8: Localização dos perfis de coleta de dados de campo (13/05/06) em trecho com influência e sem influência do rio Paranapanema. (* perfis e seus respectivos pontos de coleta para o dia 12/11/05)

- Após a definição da área de coleta dos sedimentos, organizaram-se os equipamentos essenciais para saída de campo tais como: barco, garrafa de Van Door, disco de Secchi, garrafas para armazenar a água, ecobatímetro, GPS, caderno de anotações, baterias, ADCP, geradores, entre outros.
- A análise da carga em suspensão transportada foi baseada na metodologia de Orfeo¹⁷ (1995 apud MARTINS, 2004) o qual se fundamenta na coleta de água em seções transversais dos canais utilizando-se da garrafa de Van Door. Posteriormente realiza-se a filtragem da água utilizando-se de filtros pré-pesados que impedem a passagem de

¹⁷ ORFEO, O. *Sedimentología del río Parana en el area de su confluencia con el río Paraguay*. 1995. 289 f. Tesis (Doctoral) – Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, 1995.

partículas superiores a 47 μm , todos devidamente enumerados para posterior organização em planilha. Para acelerar a filtragem acoplou-se ao equipamento de filtragem uma bomba de vácuo que dinamiza o procedimento. Após esta etapa, os filtros foram deixados 24 horas em estufa a uma temperatura de 100 °C para posterior pesagem e verificação da carga suspensa total. O conhecimento da carga inorgânica foi obtido a partir da destruição da matéria orgânica presente. Para isso, os filtros foram deixados no equipamento denominado “mufla” por 4 horas a uma temperatura de 450 °C. Após esta etapa realizou-se nova pesagem para encontrar a diferença da carga suspensa total e da inorgânica.

Quanto à etapa de tratamento das imagens, tem-se:

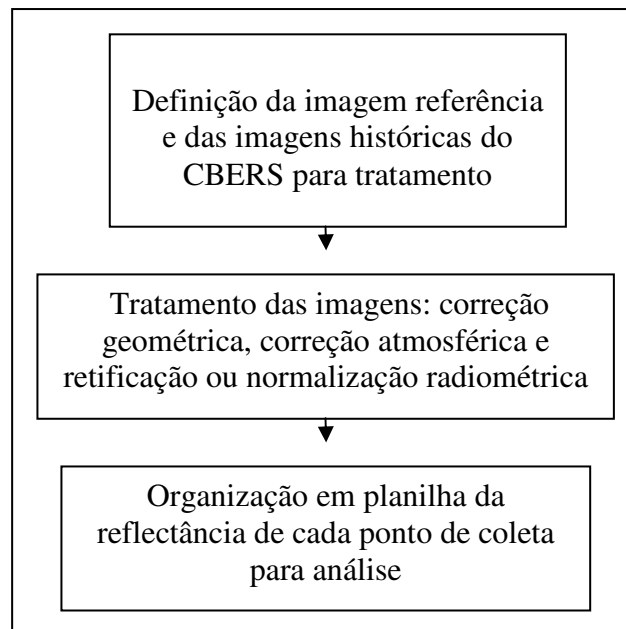


Figura 9: Seqüência dos procedimentos cumpridos para o tratamento das imagens CBERS/2.

- A análise e processamento dos dados foram efetuados pelo software SPRING (*Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas*), uma vez que se trata de um sistema de fácil acesso, baixo custo, com linguagem espacial de fácil programação chamada LEGAL (*Linguagem Espaço Geográfica baseada em Álgebra*, FIGURA 10) e que possibilita ao usuário operar um banco de dados sem limitações de escala, projeção ou fuso, além de integrar, em um único programa, dados de sensoriamento remoto num SIG (*Sistema de Informação Geográfica*).

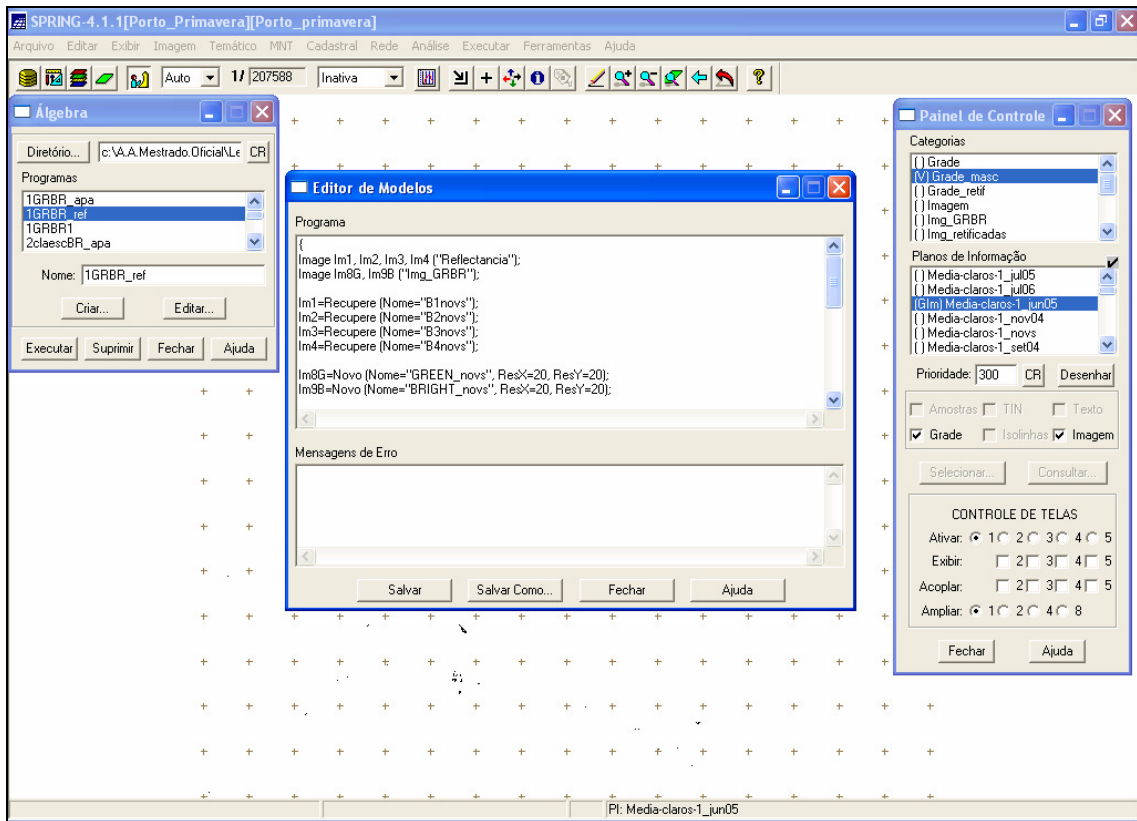


Figura 10: Tela apresentando modo de apresentação em LEGAL, utilizado para cálculo da reflectância aparente e para normalização radiométrica

- O tratamento das imagens refere-se ao processo de correção atmosférica e retificação radiométrica a partir das cenas escolhidas. Têm-se as cenas dos dias: 12/11/05 (imagem referência para retificação radiométrica, pois sua passagem foi concomitante a coleta de campo), 22/09/04, 13/11/04, 09/06/05, 31/07/05 e 04/06/2006 da órbita 161, ponto 125 do satélite CBERS 2. A escolha das cenas baseou-se na qualidade das imagens (principalmente ausência de nuvens) e pela proximidade de períodos de cheia e vazante.
- Após a escolha das imagens CBERS/2, realizou-se o Registro no Spring para correção geométrica para garantir que as coordenadas geográficas das imagens sejam concomitantes as mesmas coordenadas dos pontos de coleta e entre as diferentes datas. Após o registro, exportaram-se as imagens em RAW para o cumprimento da correção atmosférica.
- A correção atmosférica da imagem de 12/11/05 (imagem referência para a retificação radiométrica) foi efetuada pelo modelo 5S (*Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum* – Figura 11 efetuando-se a correção a partir da reflectância real ou de

superfície. Nas imagens de outras datas realizou-se a correção por meio de um aplicativo (reflet.ccd) em LEGAL.

Destaca-se que a utilização do 5S (FIGURA 11) é pertinente e fundamental às imagens CBERS já que o mesmo possui parâmetros de calibração específicos para este sensor. Com base nestes parâmetros, faz-se a entradas dos dados considerando elementos como: mês, dia e hora decimal da passagem do satélite, longitude e latitude em graus decimais, escolha do modelo, escolha do modelo de aerossol, escolha do modelo de concentração de aerossóis e seleção da banda espectral que está sendo corrigida.

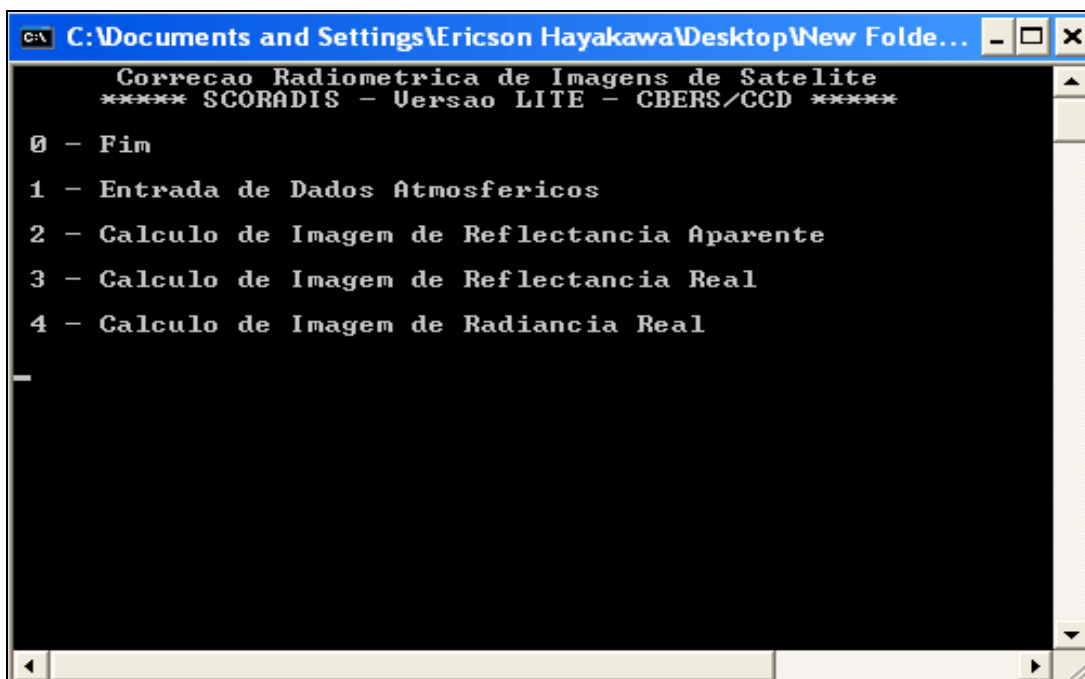


Figura 11: Tela de apresentação do 5S

Esse tratamento é necessário, pois o comportamento espectral de alvos terrestres é alterado por inúmeros elementos como efeitos do captor, calibração absoluta, efeitos atmosféricos e efeitos topográficos (ZULLO et al., 1995) e, além disso, sua aplicação ameniza processos como espalhamento e absorção das ondas eletromagnéticas promovidas pelos componentes atmosféricos.

A próxima etapa refere-se à retificação radiométrica ou normalização radiométrica. Considerando que imagens adquiridas em datas distintas apresentam condições atmosféricas e de iluminação diferentes, este procedimento torna-se necessário para tornar as imagens comparáveis, pois ameniza as distorções geométricas e radiométricas de alvos semelhantes.

De acordo com Hall¹⁸ et al. (1991 apud SILVA et al., 2003), esta técnica independe do conhecimento de propriedades atmosféricas e de calibração do sensor, assim, uma imagem radiometricamente corrigida em relação a uma imagem de referência deve parecer como se estivesse sido adquirida pelo mesmo sensor e nas mesmas condições atmosféricas da imagem de referência, eliminando-se assim a diferença de atmosfera e de iluminação entre as imagens, apenas permanecendo as variações decorrentes das respostas dos alvos. Segundo Hall et al. (1991) o algoritmo da retificação radiométrica identifica e “situa” pontos de controle da cena que representam elementos da paisagem com baixa mudança de reflectância durante o tempo (“pontos pseudo-invariantes espectralmente”).

As etapas para a normalização radiométrica foram efetuadas em LEGAL com os seguintes passos:

- a) criação de categorias no Spring para as imagens geradas;
- b) geração de imagens *greenness* (verdor) e *brightness* (brilho) para cada passagem a partir das imagens corrigidas atmosféricamente (FIGURA 12) por meio da leitura de pixel para definir o intervalo de fatiamento das imagens *greenness* e *brightness*, estas divididas nas classes Claro (solo exposto) e Escuro (água) elementos estes considerados como invariantes, assim como estradas, pistas de concreto, etc;
- c) geração de imagens temáticas para *greenness* (claro x escuro) e *brightness* (claro x escuro) representando os pontos invariantes;
- d) cruzamento em cada passagem das classes Claro X Escuro definidas anteriormente para verificar se os elementos invariantes definidos anteriormente coincidem tanto para *greenness* como para *brightness* gerando imagem temática;
- e) geração de grade que comporta o número médio de radiância utilizado para retificação das imagens;
- f) geração de imagens retificadas a partir da ratificação dos elementos invariantes e com base na imagem de referência.

Destaca-se que neste trabalho todas as imagens retificadas foram corrigidas atmosféricamente, porém, estudos como de Silva et al. (2003) garante que se apenas uma das imagens estiver corrigida, a normalização garante o ajuste radiométrico entre as imagens.

¹⁸ HALL, F. G.; STREBEL, D. E.; NICKESON, J. E.; GOETZ, S. J. Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multistate, multisensor images. *Remote Sens. Environ.* 35:11-27. Elsevier science publishing Co. Inc., New York, EUA, 1991.

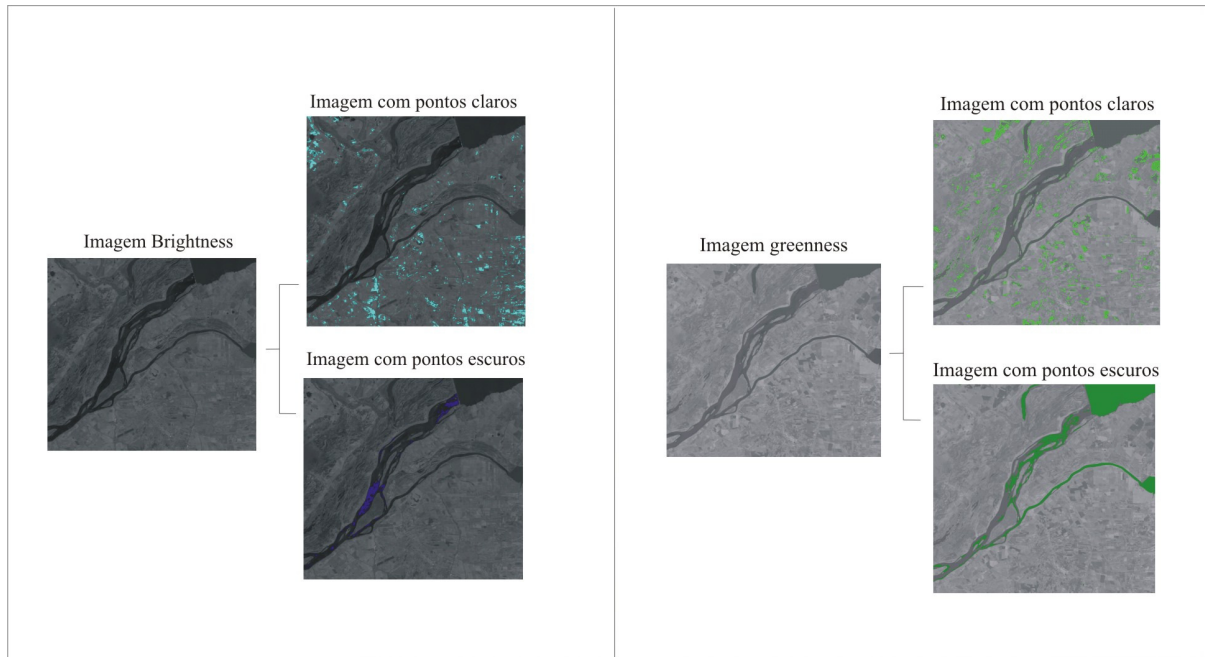


Figura 12: Imagens *brightness* e *greenness* e suas respectivas máscaras apresentando os pontos claros e escuros para a cena 12/11/2005.

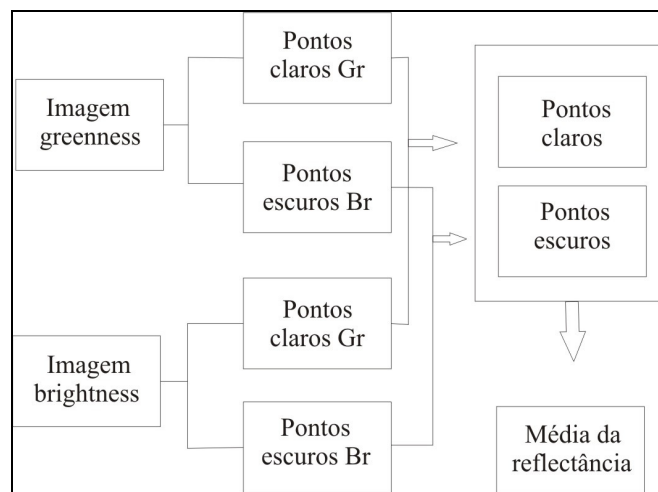


Figura 13: Fluxograma representativo da obtenção dos pontos de controle radiométricos claros e escuros a partir das imagens *greenness* e *brightness*.

Fonte: Souza¹⁹, 1997 apud Moreira, 2003. p. 274.

Com o término dessas etapas podem-se realizar as análises dos dados obtidos. Utilizam-se agora exclusivamente as imagens retificadas onde a partir das coordenadas geográficas realiza-se a leitura de pixel de cada ponto de coleta para estimar a reflectância e correlacionar com a quantidade de STS obtido pela filtragem e pesagem do ponto concomitante.

¹⁹ SOUZA, C.L. *Uso de imagens-índices e de imagens proporção para avaliar a quantidade de madeira em provoamentos de Pinus ssp.* 1997. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1997.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises dos resultados integram dados de batimetria, carga suspensa e reflectância do corpo d'água. De antemão, o principal empecilho refere-se ao baixo número de pontos de coleta, principalmente no campo do dia 12/11/2005, realizado exclusivamente em local que não há influência do rio Paranapanema.

Para o campo do dia 13/05/2006 aumentou-se significativamente o número de pontos de coletas e diminuiu-se a distância entre os perfis e, para efetuar uma análise comparativa, nesta campanha coletou-se na região onde o rio Paraná sofre influência do rio Paranapanema. Entretanto, nesta saída de campo o sensor remoto estava danificado e não houve imageamento, mesmo assim os dados coletados servem de parâmetros para as análises.

Devido aos obstáculos citados, tornou-se difícil a geração de uma análise pautada na relação entre dados de campo e dados sinópticos, exceto para a coleta do dia 12/11/05, porém, foi possível evidenciar a variação temporal e espacial da carga suspensa por meio de imagens orbitais, principalmente na área onde há influência das águas do rio Paranapanema.

No trabalho de campo adquiriram-se também dados como velocidade de fluxo e cálculo da descarga enquanto eram realizadas as coletas de sedimentos em suspensão.

Salienta-se que as análises desses dados traduzem a realidade condizente com o momento de coleta de campo, uma vez que há no canal variações decorrentes principalmente do funcionamento da UHE Engenheiro Sérgio Motta, além das dinâmicas sazonais.

A análise dos perfis batimétricos (FIGURA 14) na área de influência do rio Paranapanema (denominados nos perfis apenas por rio Paranapanema) demonstram as seguintes informações:

- respectivamente de montante a jusante os seguintes valores de vazão: 2595,85 m³/s, 2453,31 m³/s, 2373,76 m³/s e 2413,10 m³/s cujas velocidades médias de fluxos e extensão transversal são de 0,822 m/s (785 m), 0,875 m/s (713 m), 0,990 m/s (669 m) e 1,16 m/s (635 m) a jusante (perfil 4). É pertinente observar que houve uma queda acentuada dos valores de vazão, possivelmente explicada pela calibração do equipamento ADCP, já que em condições normais o rio não poderia diminuir abruptamente os valores de vazão.
- Os gráficos gerados pelo equipamento ADCP demonstram que a margem esquerda do rio Paraná que está sob influência do rio Paranapanema possui maior velocidade de fluxo, com média variando de 1 a 1,5 m/s representados pela cor verde/amarelo

predominantemente. No trecho exclusivo do rio Paraná, a velocidade média varia de 0,5 a 1 m/s, representados pelos tons azuis e verdes escuro.

- No perfil a montante (1) houve um corte no sinal do equipamento ADCP, o que definiu a ausência de medidas de velocidade de fluxo e vazão. Isso se deve provavelmente pela presença de uma barra de canal que reduziu abruptamente a profundidade para 0,5 m gerando a perda do sinal. Esta mesma barra também pode explicar a redução da velocidade de fluxo no centro do perfil seguinte (713 m), representado pelos tons azuis bem pronunciados.
- De montante a jusante, observa-se que a profundidade média do canal tem um aumento gradativo. O perfil a montante raramente ultrapassa os 4 m de profundidade, já o perfil a jusante, chega a ultrapassar os 6 m.

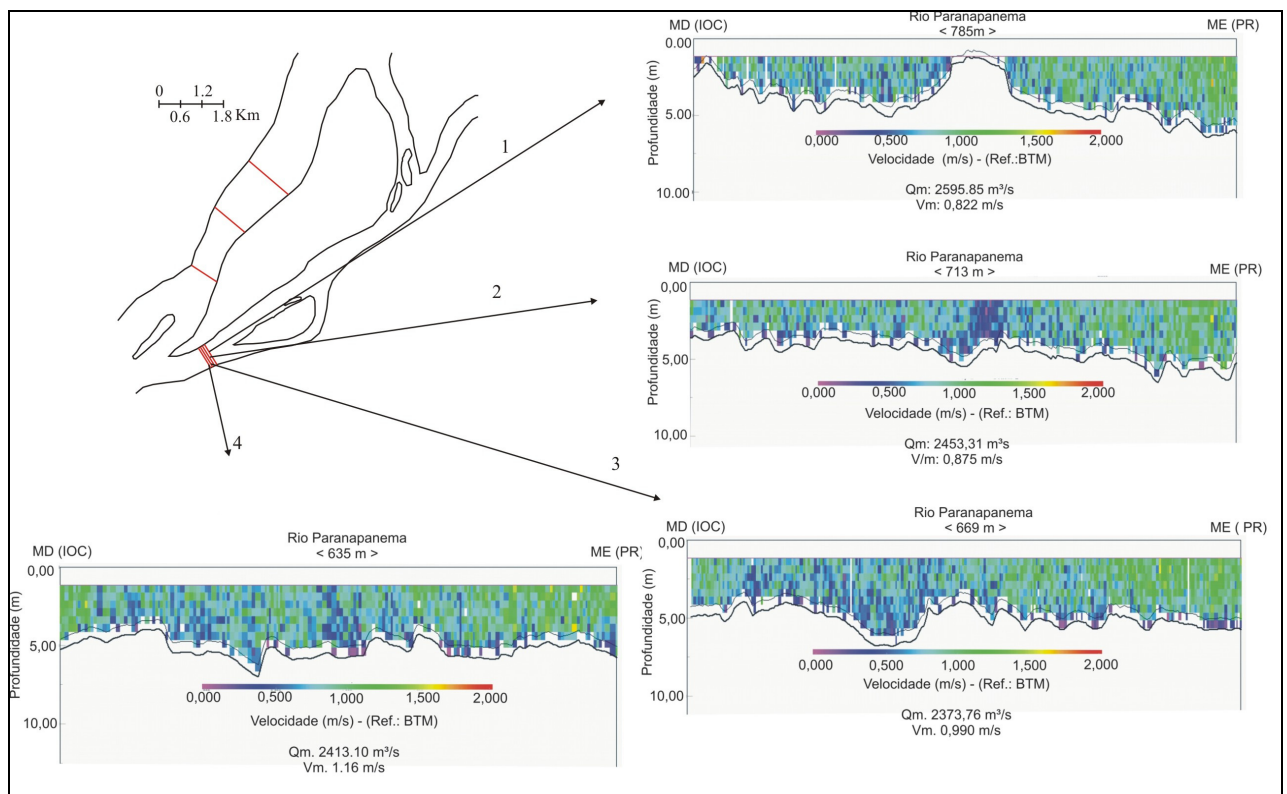


Figura 14: batimetria, dados de vazão e velocidade de fluxo do rio Paraná em área de influência do rio Paranapanema para o dia 13/05/06 em quatro seções transversais.

Tratando-se dos três perfis batimétricos, dados de velocidade de fluxo e vazão do rio Paraná em área sem influência do rio Paranapanema (FIGURA 15), nota-se que:

- Os perfis batimétricos representados seguem respectivamente de montante a jusante os seguintes valores de vazão: 6433,26 m³/s, 6464,83 m³/s e 6465,29 m³/s. No perfil a montante (1) o equipamento ADCP não gerou o dado de velocidade média, porém,

para os perfis restantes, tem-se 0,942 m/s e 0,865 m/s. A extensão transversal variou de 1555 m a montante, 1285 m e 898 m a jusante.

- De montante a jusante, há um aumento gradativo da profundidade do canal, que da média de 5 m a montante (PERFIL 1), chega até a 11 m a jusante (PERFIL 3). Observa-se no centro do canal aumento abrupto de profundidade.
- A velocidade média do rio Paraná em canal único foi superior ao do trecho com influência do rio Paranapanema, com média entre de 1,5 a 2 m/s, principalmente na área central do canal, destacado pelos tons laranja/avermelhados.

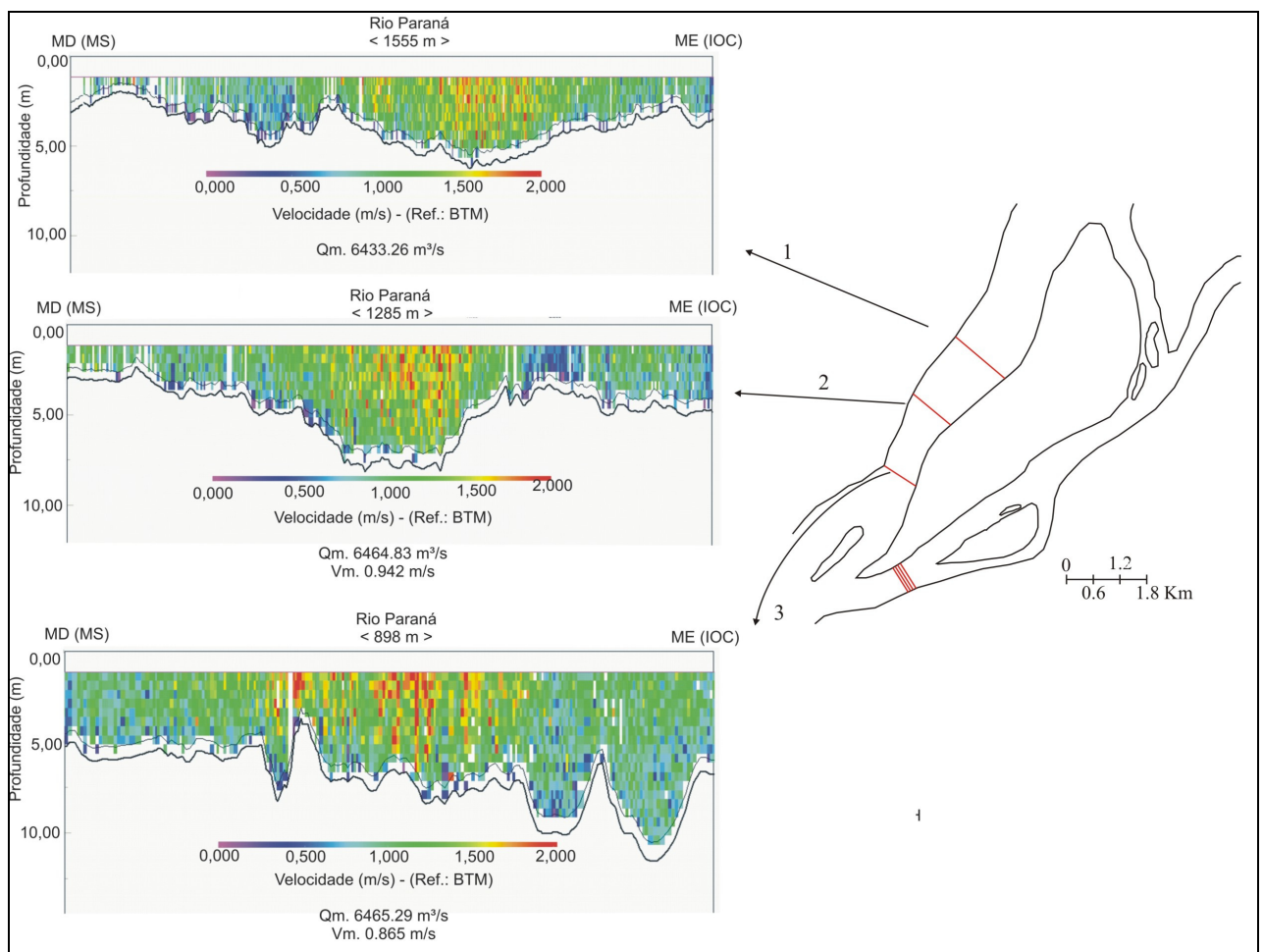


Figura 15: batimetria, dados de vazão e velocidade de fluxo do rio Paraná para o dia 13/05/06 em três seções transversais.

A análise da carga sedimentar suspensa (FIGURAS 16 e 17) transportada para a coleta do dia 12/11/05 retrata os seguintes dados:

- A partir dos dados de campo, chegou-se à concentração média de sedimentos suspensos de 0,74 mg/L para sedimentos totais, 0,35 mg/L para sedimentos inorgânicos e 0,38 mg/l para sedimentos orgânicos no dia 12/11/2005 considerando apenas a média dos 11 pontos de coleta.
- A média individual dos perfis foi distinta e o perfil 2 apresentou maior carga que o perfil 1. Para o perfil 1 a concentração média obtida para os 5 pontos de coleta foi de 0,62 mg/L para sedimentos totais (PR1_STS), 0,29 mg/L para sedimentos inorgânicos (PR1_SIS) e 0,33 mg/L para sedimentos orgânicos (PR1_SOS). Já o perfil 2 a concentração média do 6 pontos de coleta foi de 0,84 mg/L para sedimentos totais (PR2_STS), 0,4 mg/L para sedimentos inorgânicos (PR2_SIS) e 0,43 mg/L para sedimentos orgânicos (PR2_SOS).
- A disposição transversal das amostras indica que próximas às margens há um aumento sensível na concentração de sedimentos totais, inorgânicos e orgânicos. No perfil 1 a carga suspensa concentra-se próximo a margem direita (PONTO 2) e a partir do ponto 3 há um aumento sensível de concentração de sedimentos em direção a margem esquerda. O perfil 3 apresenta a distribuição de carga suspensa com pico na margem direita com decréscimo em direção a margem esquerda.
- Estes perfis não contam com dados de vazão e velocidade de fluxo, pois os equipamentos não permitiram a aquisição, porém, a batimetria equivale aos perfis 1 e 3 realizados no dia 13/05/06.

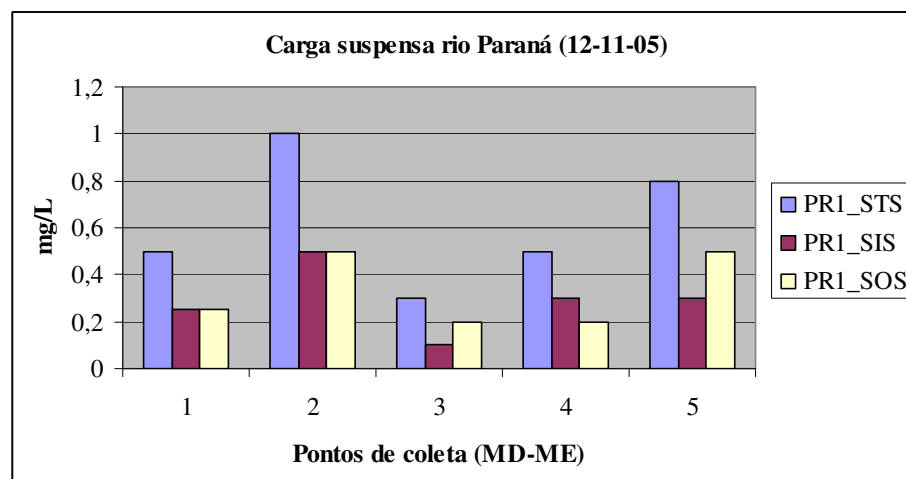


Figura 16: carga suspensa no rio Paraná. Perfil 1 na coleta do dia 12/11/05.

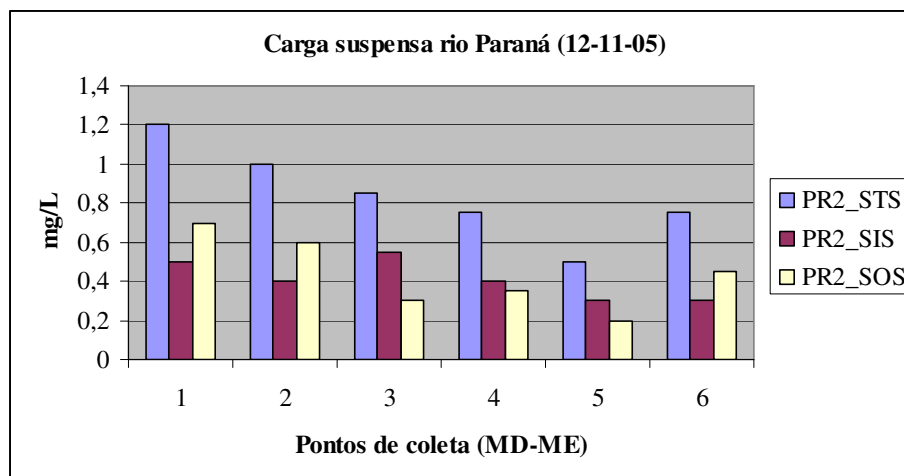


Figura 17: carga suspensa no rio Paraná. Perfil 3 na coleta do dia 12/11/05.

Para a coleta de campo do dia 13/05/06, acrescenta-se um perfil. As análises das figuras 18, 19 e 20 retratam o seguinte comportamento:

- Diferente da coleta de novembro de 2005, em maio de 2006 a carga suspensa do rio Paraná foi inferior denotando uma sensível variação temporal. A concentração média dos 7 pontos de coleta foi de 0,44 mg/L para sedimentos totais, 0,20 mg/L para sedimentos inorgânicos e 0,22 mg/l para sedimentos orgânicos.
- Considerando apenas os pontos de coleta, a média da carga suspensa entre os perfis foi semelhante. O perfil 1 apresentou concentração média de sedimentos totais (PR1_STS) de 0,44 mg/L, sedimentos inorgânicos (PR1_SIS) 0,20 mg/L e de sedimentos orgânicos (PR1_SOS) 0,23 mg/L. No perfil 2 a média de sedimentos totais (PR2_STS) foi de 0,41 mg/L, sedimentos inorgânicos (PR2_SIS) 0,18 mg/L e sedimentos orgânicos (PR2_SOS) 0,22 mg/L. Para o perfil 3 a carga de sedimentos totais (PR3_STS) foi 0,47 mg/L, sedimentos inorgânicos (PR3_SIS) 0,24 mg/L e sedimentos orgânicos (PR3_SOS) 0,22 mg/L.
- Como observado na coleta de novembro de 2005, a disposição transversal das amostras indica um aumento sensível na concentração de sedimentos totais, inorgânicos e orgânicos em direção as margens, com leve predomínio à margem direita assim como verificado na coleta de 12/11/05.
- O perfil 1 (FIGURA 18) apresenta a carga suspensa concentrada nas margens. Ao analisar a batimetria e a velocidade de fluxo do perfil (FIGURA 15), nota-se que na área com profundidade próxima de 5 metros e com maior velocidade há uma diminuição sensível de carga sedimentar. Quanto à carga inorgânica e orgânica, observa-se um equilíbrio de concentração. Neste perfil, a carga inorgânica apresenta-

se em maior quantidade próxima as margens, já a carga orgânica, apresenta-se praticamente homogênea transversalmente.

- No perfil 2 (FIGURA 19) a concentração de sedimentos suspensos é mais aleatória, salvo os picos próximos as margens, bem como no centro do canal. Observa-se uma diminuição de concentração de sedimentos, na área com menor velocidade de fluxo (FIGURA 15, PERFIL 2) próximos aos pontos de coletas 2 e 6. A concentração de carga inorgânica e orgânica mostra-se equilibrada, às vezes com pequenos picos de carga orgânica.
- O perfil 3 (FIGURA 20) possui maior concentração de carga sedimentar próxima a margem direita. A medida que a profundidade aumenta (FIGURA 15, PERFIL 3) concomitante a velocidade de fluxo, observa-se uma pequena redução da carga suspensa e a estabilidade de concentração. A carga inorgânica apresenta-se superior na margem direita, e à medida que se dirige a margem esquerda, há um equilíbrio entre as cargas e uma sensível redução frente à margem direita.
- A comparação entre os três perfis salienta que próximo às margens há um aumento sensível de carga suspensa e, em áreas mais profundas e mesmo com maior velocidade de fluxo observa-se uma redução de carga suspensa.
- Longitudinalmente não houve nenhuma alteração significativa.

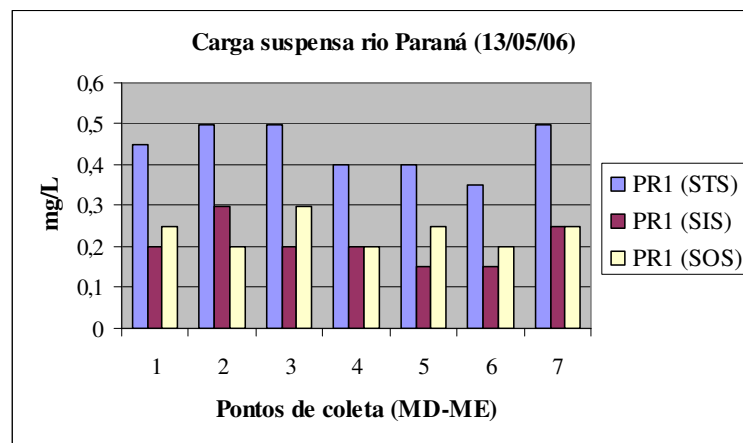


Figura 18: carga suspensa no rio Paraná. Perfil 1 na coleta do dia 13/05/06.

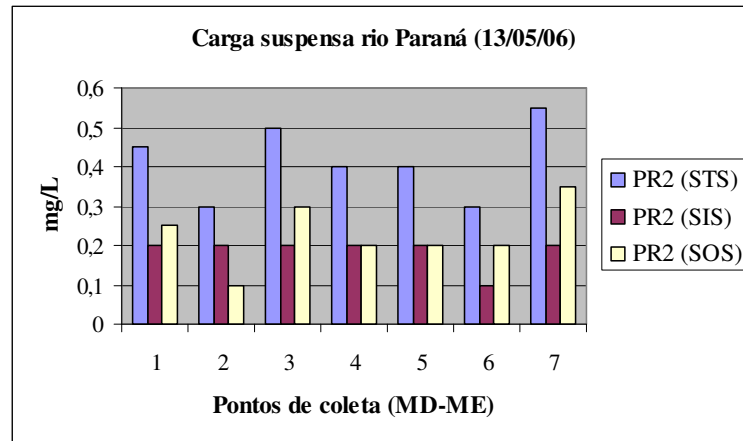


Figura 19: carga suspensa no rio Paraná. Perfil 2 na coleta do dia 13/05/06.

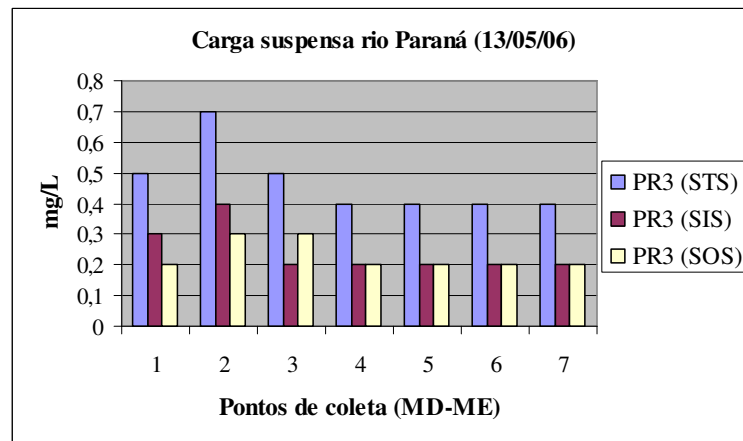


Figura 20: carga suspensa no rio Paraná. Perfil 3 na coleta do dia 13/05/06.

Para a coleta do dia 13/05/2006 no trecho com a influência do rio Paranapanema ficou clara a contribuição deste afluente no rio Paraná em carga suspensa. A partir das figuras 21, 22, 23 e 24 verifica-se que:

- A concentração média dos 32 pontos de coleta foi de 0,79 mg/L para sedimentos totais, 0,36 mg/L para sedimentos inorgânicos e 0,43 mg/l para sedimentos orgânicos, praticamente o dobro da carga verificada no rio Paraná em seu trecho de canal único (QUADRO 4).

Perfil	Total em mg/L dos 32 pontos de coleta	Média em mg/L dos 8 pontos de cada perfil
PN1_STS	5,1	0,63
PN1_SIS	2,25	0,28
PN1_SOS	2,85	0,35
PN2_STS	6,4	0,8
PN2_SIS	2,55	0,31
PN2_SOS	3,85	0,48
PN3_STS	6,65	0,83
PN3_SIS	3,05	0,38
PN3_SOS	3,6	0,45
PN4_STS	7,3	0,91
PN4_SIS	3,8	0,47
PN4_SOS	3,5	0,43

Quadro 4: carga total e média de sedimentos suspensos do rio Paraná em área de influência do rio Paranapanema .

- A média de carga suspensa entre os perfis foi crescente longitudinalmente como mostra a tabela 4. Do perfil 1 (montante) até o perfil 4 (jusante) houve um aumento de carga suspensa, principalmente para material inorgânico.
- A figura 21 apresentando o perfil 1 mostra claramente um pico de concentração de carga suspensa nas margens do canal, principalmente na margem esquerda, esta com influência direta do rio Paranapanema. Ao analisar a batimetria e a velocidade de fluxo (FIGURA 14 - PERFIL 1), nota-se que a margem esquerda é mais profunda e com maior velocidade de fluxo. Quanto à carga inorgânica e orgânica, observa-se o predomínio da segunda, onde ambas possuem características semelhantes, com picos nas margens.
- Na figura 22 o perfil 2 possui concentração de sedimentos predominante na margem esquerda, com aumento gradativo a partir do centro do canal. Este comportamento pode ser atribuído também à carga inorgânica e principalmente a orgânica, no caso predominante. A análise batimétrica (FIGURA 14) deixa claro que transversalmente há um aumento gradativo de profundidade em direção à margem esquerda. Na mesma figura, observa-se que a velocidade de fluxo é distinta entre as águas com influência do rio Paranapanema e do rio Paraná, com ponto de separação no centro do perfil transversal, onde a velocidade de fluxo é menor e é representado pela cor azul escura, diferente da margem esquerda, com maior velocidade.

- A figura 23 que apresenta o perfil 3 possui a distribuição da carga suspensa total, inorgânica e orgânica semelhante aos perfis 1 e 2, com concentração nas margens, principalmente na esquerda. A análise batimétrica (FIGURA 14) mostra que o leito é transversalmente homogêneo, sem aumento de profundidade abrupta ou muito significativa. Quanto à velocidade de fluxo, percebe-se o comportamento semelhante aos perfis anteriores, com maior velocidade de fluxo na área com influência das águas do rio Paranapanema, representado pela cor verde claro.
- A figura 24 mostra o perfil 4, único que apresentou comportamento distinto em relação aos perfis anteriores. Além dos picos nas margens, há um aumento sensível de carga suspensa no centro do canal, com predomínio agora de carga inorgânica. A análise batimétrica demonstra transversalmente um leito com profundidade homogênea. Quanto à velocidade de fluxo, a margem esquerda se destaca assim como a extrema margem direita.
- A partir das figuras 21, 23 e 24 nota-se que transversalmente há concentração de sedimentos nas margens, tanto na área com influência direta do rio Paranapanema como na margem direita. Somente a figura 22 não apresentou pico de carga suspensa na margem direita. Pode ter ocorrido o distanciamento da pluma de carga na hora da coleta de campo, porém, as outras figuras demonstram claramente uma possível contribuição marginal na margem direita, além de possuir também maior velocidade de fluxo, evidenciado pela figura 14 e seus respectivos perfis. Quanto à margem esquerda, a maior concentração de carga suspensa reflete possivelmente a maior quantidade de sedimentos presentes e oriundos do rio Paranapanema.

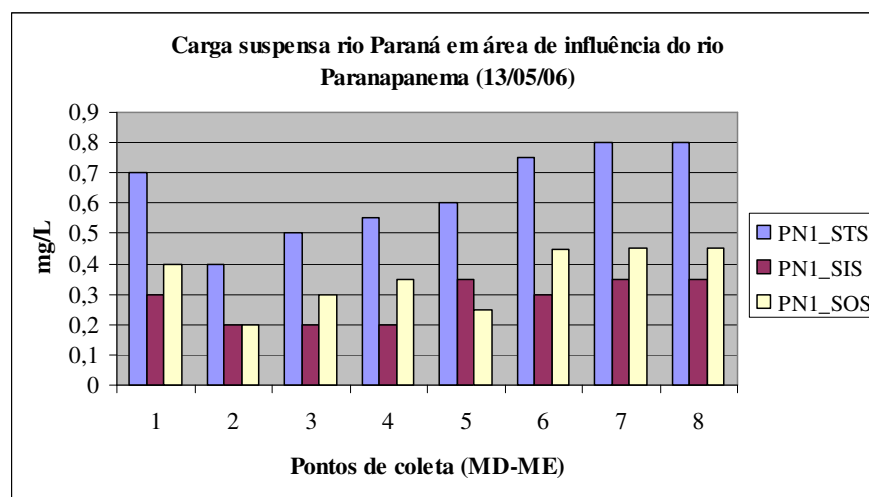


Figura 21: carga suspensa no rio Paraná em área de influência do rio Paranapanema. Perfil 1 na coleta do dia 13/05/06.

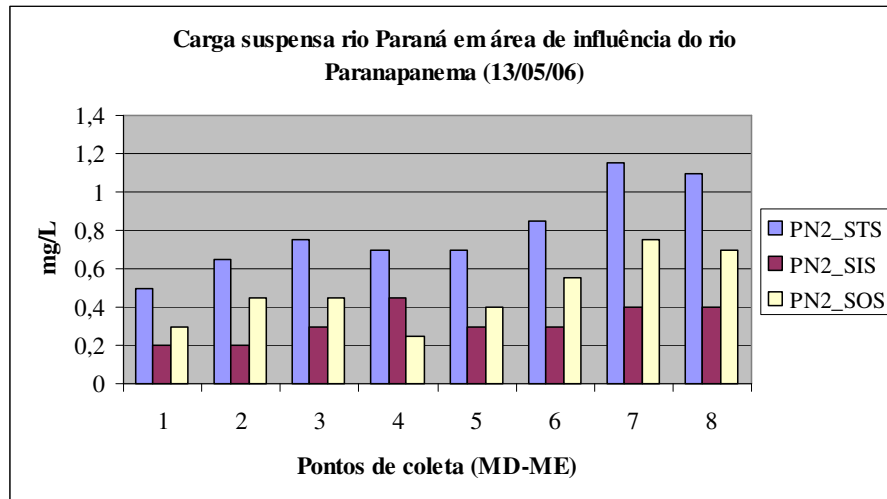


Figura 22: carga suspensa no rio Paraná em área de influência do rio Paranapanema. Perfil 2 na coleta do dia 13/05/06.

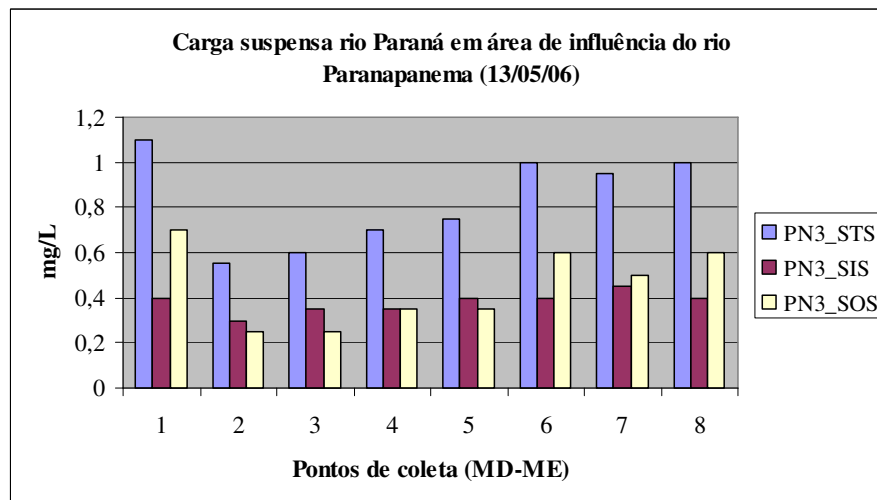


Figura 23: carga suspensa no rio Paraná em área de influência do rio Paranapanema. Perfil 3 na coleta do dia 13/05/06.

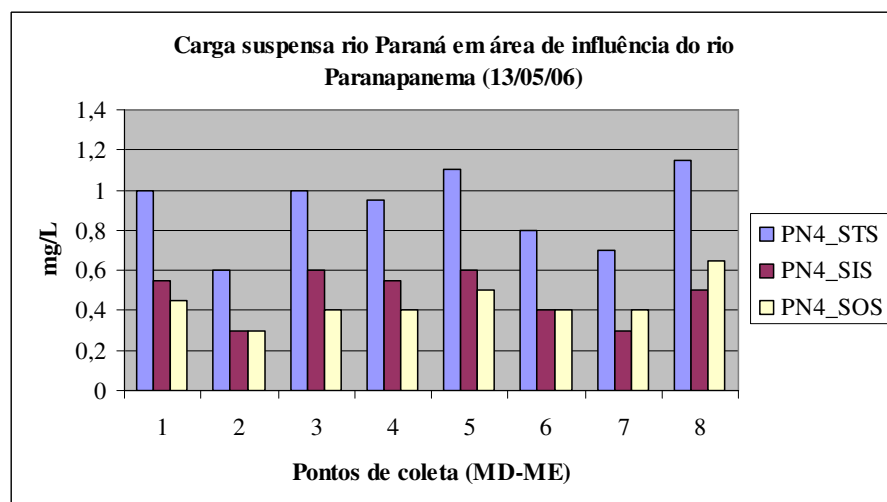


Figura 24: carga suspensa no rio Paraná em área de influência do rio Paranapanema. Perfil 3 na coleta do dia 13/05/06.

Comparando-se a carga suspensa coletada no dia 13/05/06 no rio Paraná em trecho único com a área que sofre influência do rio Paranapanema nota-se um comportamento distinto. Na área sem influência do rio Paranapanema as áreas mais profundas e com maior velocidade de fluxo apresentavam menor carga suspensa, já na área que sofre influência ocorre o contrário. Infelizmente para a coleta de 12/11/2005 não foi possível realizar análise comparativa, uma vez que os dados referem-se apenas a área sem influência do rio Paranapanema.

Efetuada a análise dos dados batimétricos, velocidade de fluxo e carga suspensa e integrando-as aos dados espectrais dos perfis transversais nota-se muitas vezes uma conexão entre variação da carga suspensa e reflectância.

A relação entre reflectância e carga suspensa nos perfis do dia 12/11/05 mostra que há uma conexão entre diminuição de reflectância concomitante a redução de carga suspensa.

- Para o perfil 1 (FIGURA 25) as bandas 1, 2 e 3 foram as que mais representaram esta variação transversal. Para o perfil 2 (FIGURA 26), até os pontos de coleta 5 e 6 todas as bandas do sensor orbital apresentam a variação de carga suspensa e reflectância congruentes. Nota-se que do ponto de coleta 1 até o 4 as curvas de reflectância possuem variação semelhante a carga suspensa representados pelas figuras 16 e 17. Para os pontos 5 e 6, enquanto a carga suspensa tem maior concentração de carga no ponto 6, no gráfico de reflectância há um pico no ponto de coleta 5.
- A baixa variação de sedimentos orgânicos e inorgânicos e a baixa resolução espectral dificultam a definição do tipo de carga suspensa predominante no canal. Qualquer análise dessa variável poderia ser equivocada.
- Semelhante a variação longitudinal de carga suspensa, os valores de reflectância também tiveram um leve aumento em direção a jusante para todas as bandas.

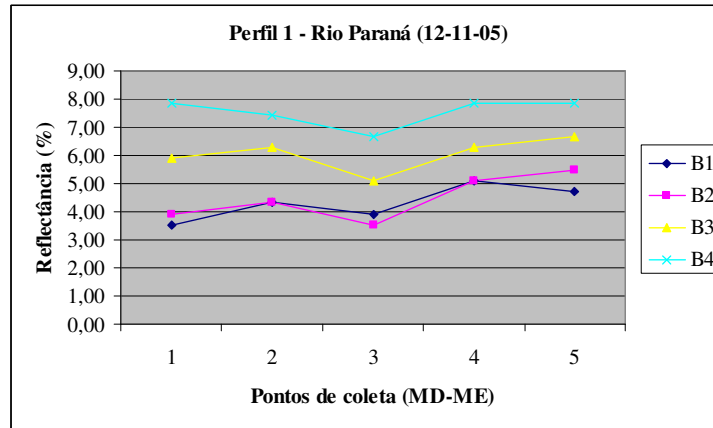


Figura 25: reflectância do perfil 1 do rio Paraná para as bandas 1, 2, 3 e 4 na coleta de dia 12/11/05. (MD: Mato Grosso do Sul; ME; Ilha Óleo Cru)

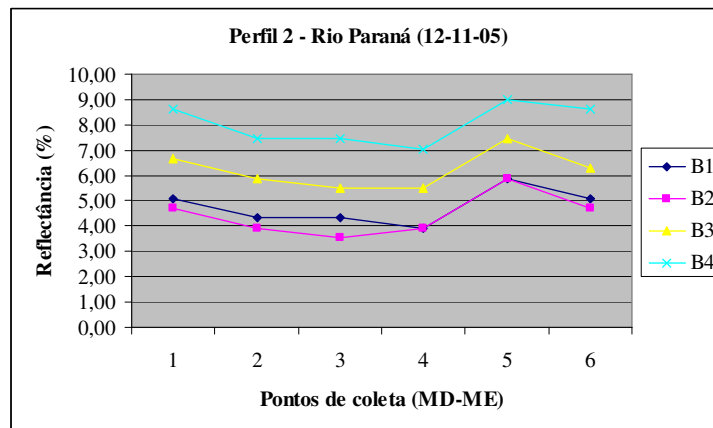


Figura 26: reflectância do perfil 2 do rio Paraná para as bandas 1, 2, 3 e 4 na coleta de 12/11/05. (MD: Mato Grosso do Sul; ME; Ilha Óleo Cru)

Salvo a coleta do dia 12/11/05, para a análise de reflectância do rio Paraná em outras datas deve-se considerar a ausência de coleta de campo concomitante a passagem do satélite. Têm-se apenas os dados hidrossedimentológicos do dia 13/05/06 que servem de parâmetros para a análise e traduzem os seguintes dados:

- Nota-se que a banda 1 do perfil 1, 2 e 3 (FIGURAS 27, 28 e 29) do rio Paraná em diferentes datas de passagem do satélite tem comportamento espectral homogêneo margem a margem. Os meses de menor reflectância foram setembro 2004 e julho 2006.
- A banda 2 apresenta curva de reflectância (FIGURAS 30, 31 e 32) semelhante a banda 1. Os perfis 2 e 3 apresentaram-se de forma homogênea transversalmente sem concentração de picos de reflectância.
- A banda 3 (FIGURAS 33, 34 e 35) também apresenta comportamento espectral aleatório, de difícil interpretação.

- A banda 4 (FIGURAS 36, 37 e 38) não apresenta variação significativa de reflectância transversalmente que indique maior ou menor concentração de carga suspensa.

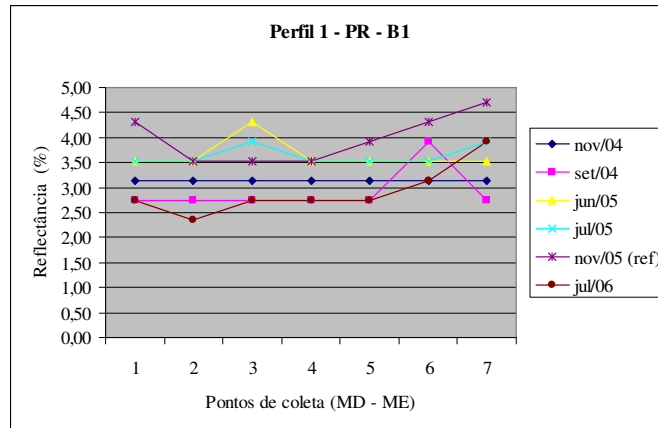


Figura 27: reflectância do perfil 1 do rio Paraná para a banda 1. (MD: Mato Grosso do Sul; ME; Ilha Óleo Cru).

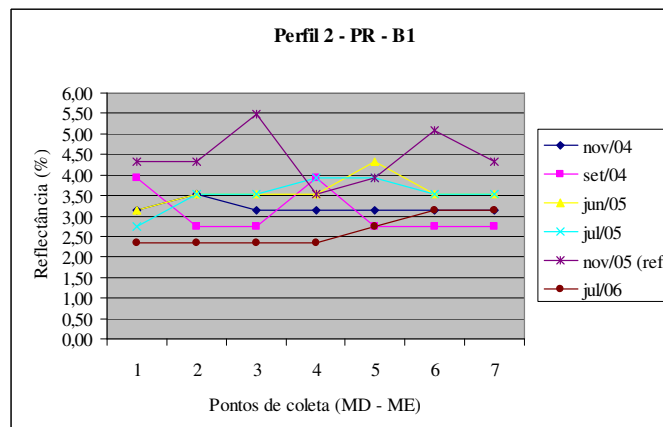


Figura 28: reflectância do perfil 2 do rio Paraná para a banda 1. (MD: Mato Grosso do Sul; ME; Ilha Óleo Cru).

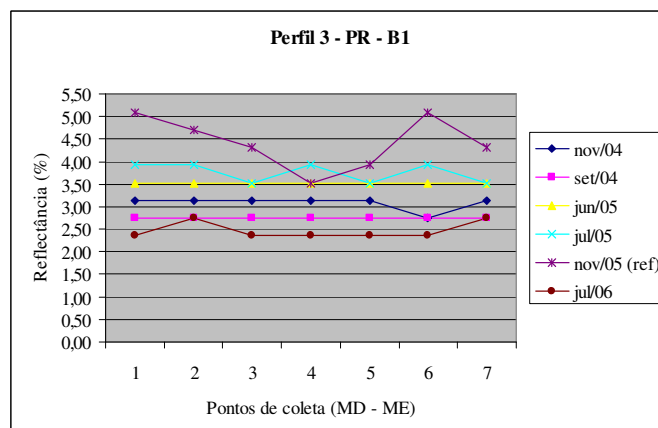


Figura 29: reflectância do perfil 3 do rio Paraná para a banda 1. (MD: Mato Grosso do Sul; ME; Ilha Óleo Cru).

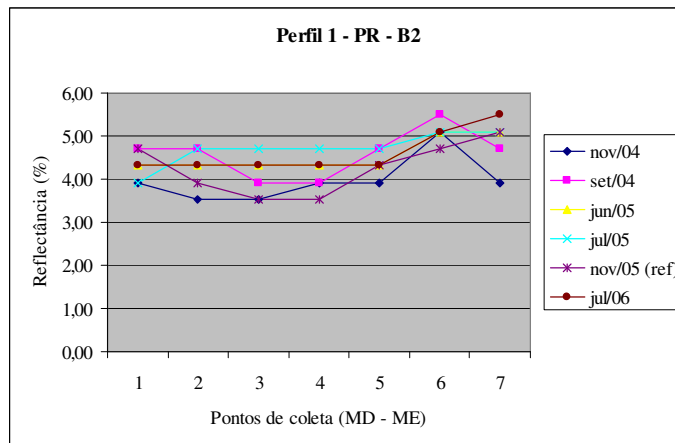


Figura 30: reflectância do perfil 1 do rio Paraná para a banda 2. (MD: Mato Grosso do Sul; ME; Ilha Óleo Cru).

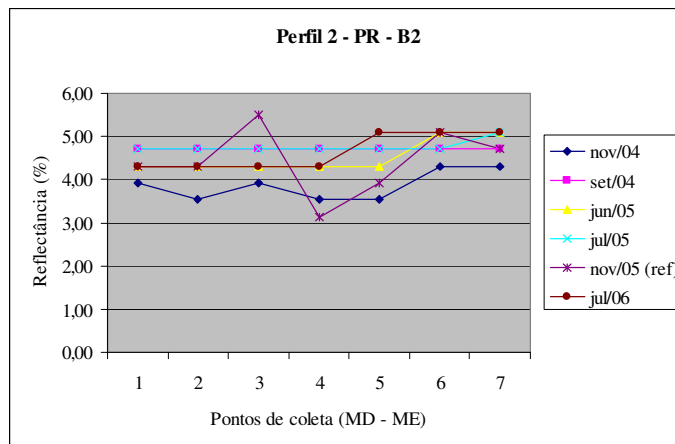


Figura 31: reflectância do perfil 2 do rio Paraná para a banda 2. (MD: Mato Grosso do Sul; ME; Ilha Óleo Cru).

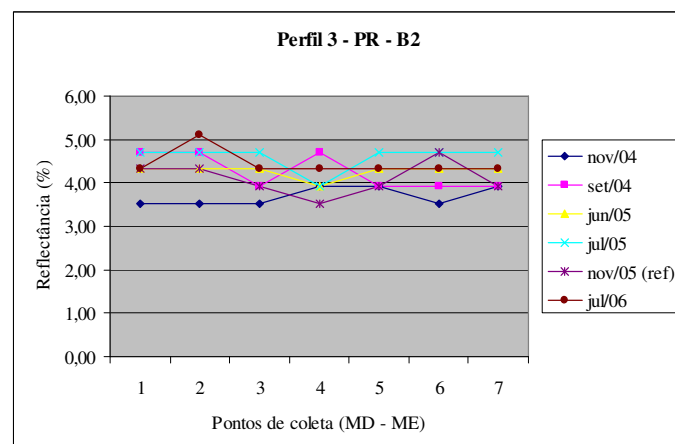


Figura 32: reflectância do perfil 3 do rio Paraná para a banda 2. (MD: Mato Grosso do Sul; ME; Ilha Óleo Cru).

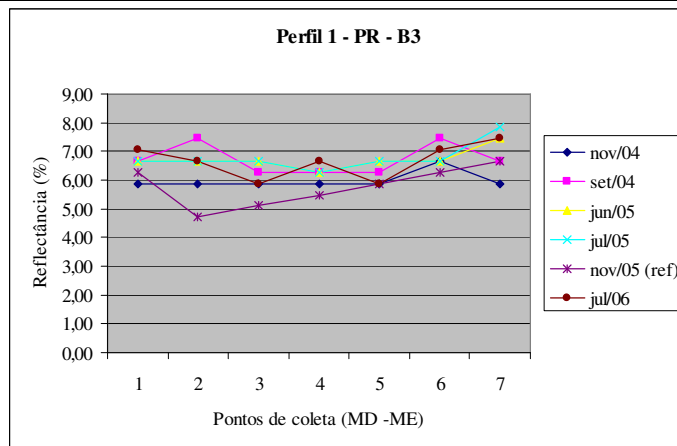


Figura 33: reflectância do perfil 1 do rio Paraná para a banda 3. (MD: Mato Grosso do Sul; ME; Ilha Óleo Cru).

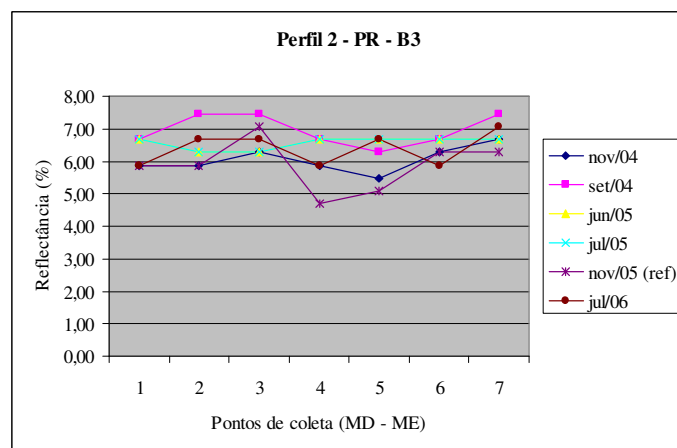


Figura 34: reflectância do perfil 2 do rio Paraná para a banda 3. (MD: Mato Grosso do Sul; ME; Ilha Óleo Cru).

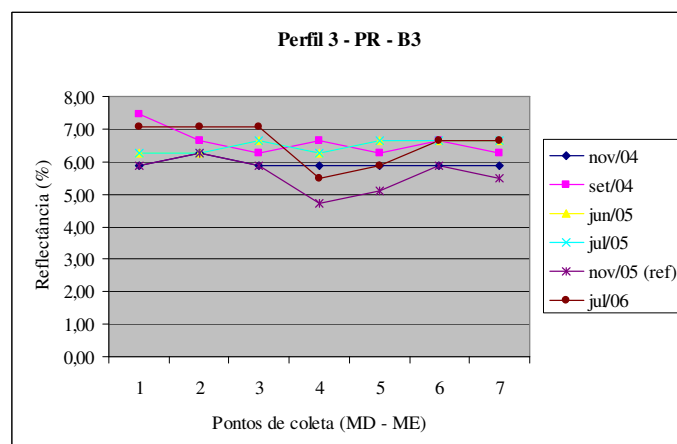


Figura 35: reflectância do perfil 3 do rio Paraná para a banda 3. (MD: Mato Grosso do Sul; ME; Ilha Óleo Cru).

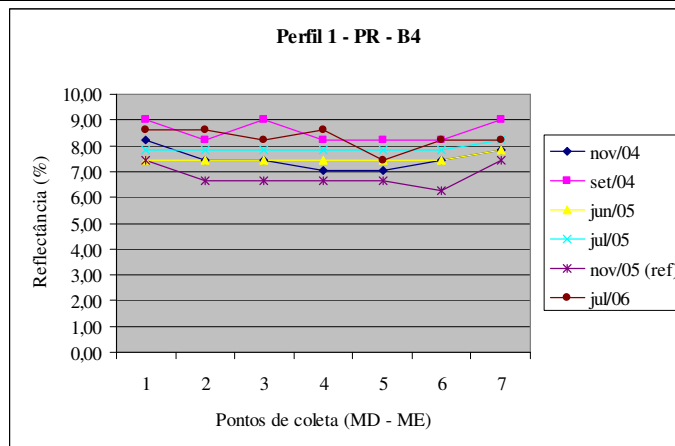


Figura 36: reflectância do perfil 1 do rio Paraná para a banda 4. (MD: Mato Grosso do Sul; ME; Ilha Óleo Cru).

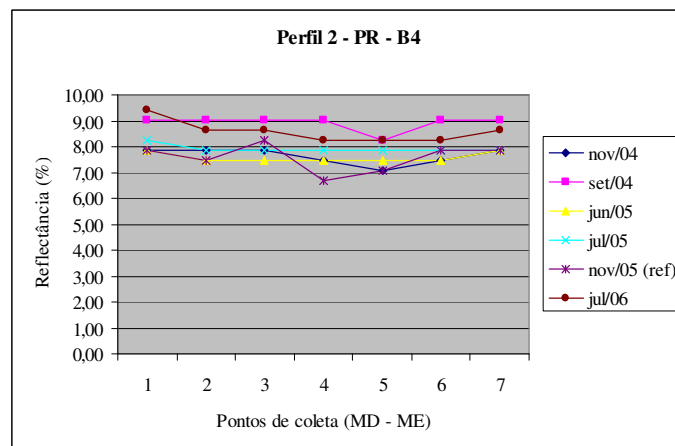


Figura 37: reflectância do perfil 2 do rio Paraná para a banda 4. (MD: Mato Grosso do Sul; ME; Ilha Óleo Cru).

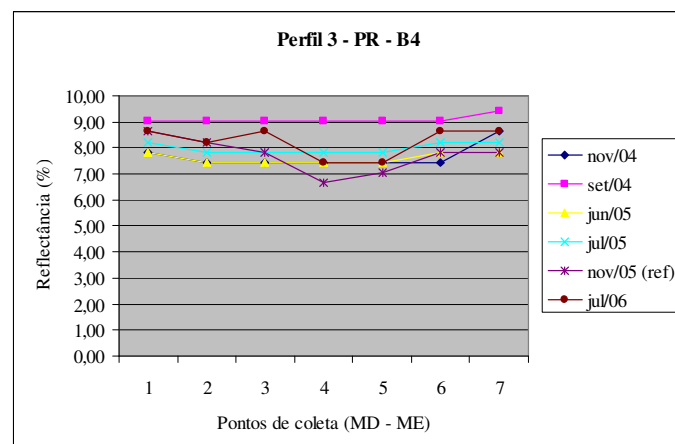


Figura 38: reflectância do perfil 3 do rio Paraná para a banda 4. (MD: Mato Grosso do Sul; ME; Ilha Óleo Cru).

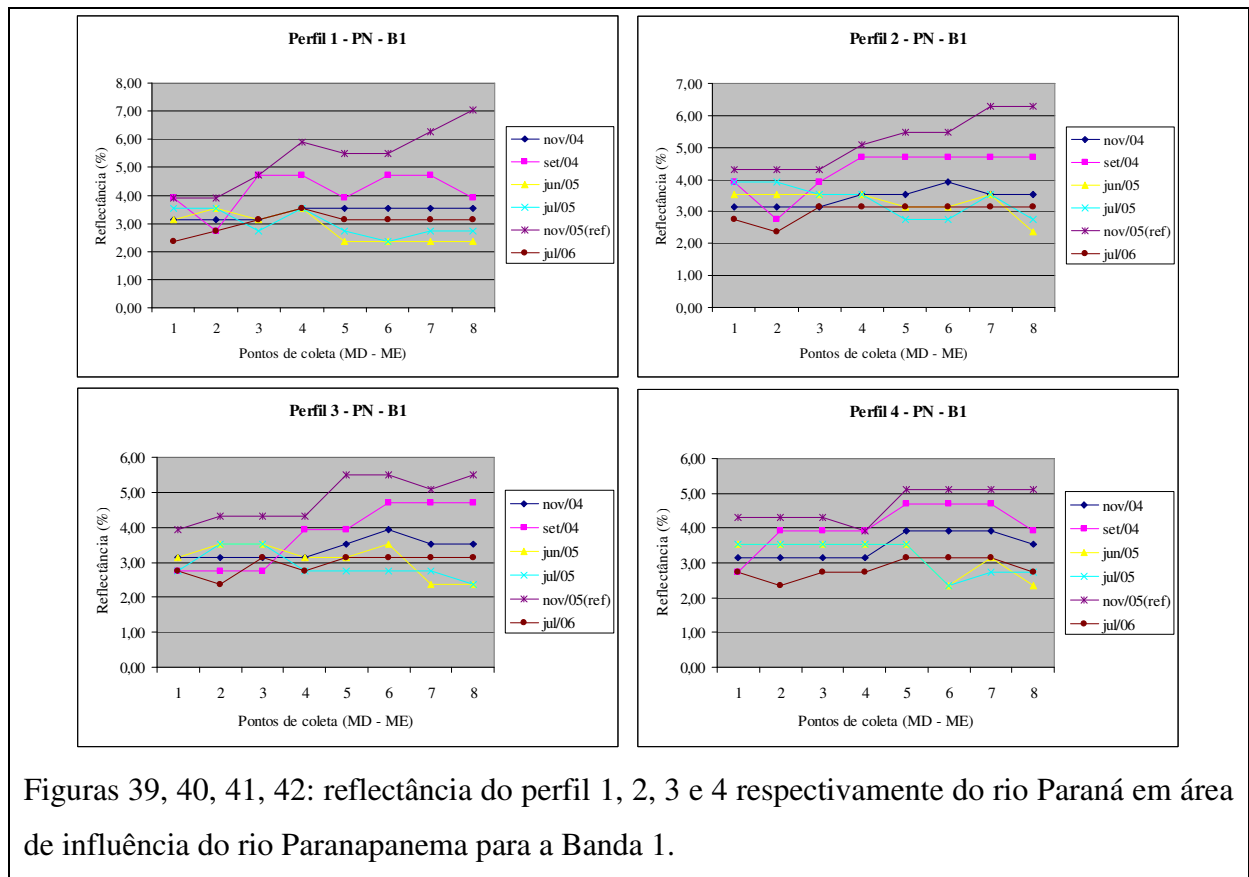
Ao comparar e integrar dados de reflectância com a carga suspensa nota-se que nos dados de carga suspensa do dia 13/05/06 (FIGURAS 18, 19 e 20) há uma mínima variação de concentração de carga suspensa, com sensível convergência nas margens do canal. Isso pode estar refletindo na baixa variação de reflectância observado em praticamente todas as bandas em suas diferentes escalas temporais nas figuras 27 a 38.

Já a integração dos dados de carga suspensa e reflectância do rio Paraná em área de influência do rio Paranapanema para a coleta do dia 13/05/06 é comprometida devido à ausência de imageamento, dessa forma, a análise espectral demonstrará o comportamento do canal em diferentes datas e os dados de campo servem de parâmetro para possíveis correlações.

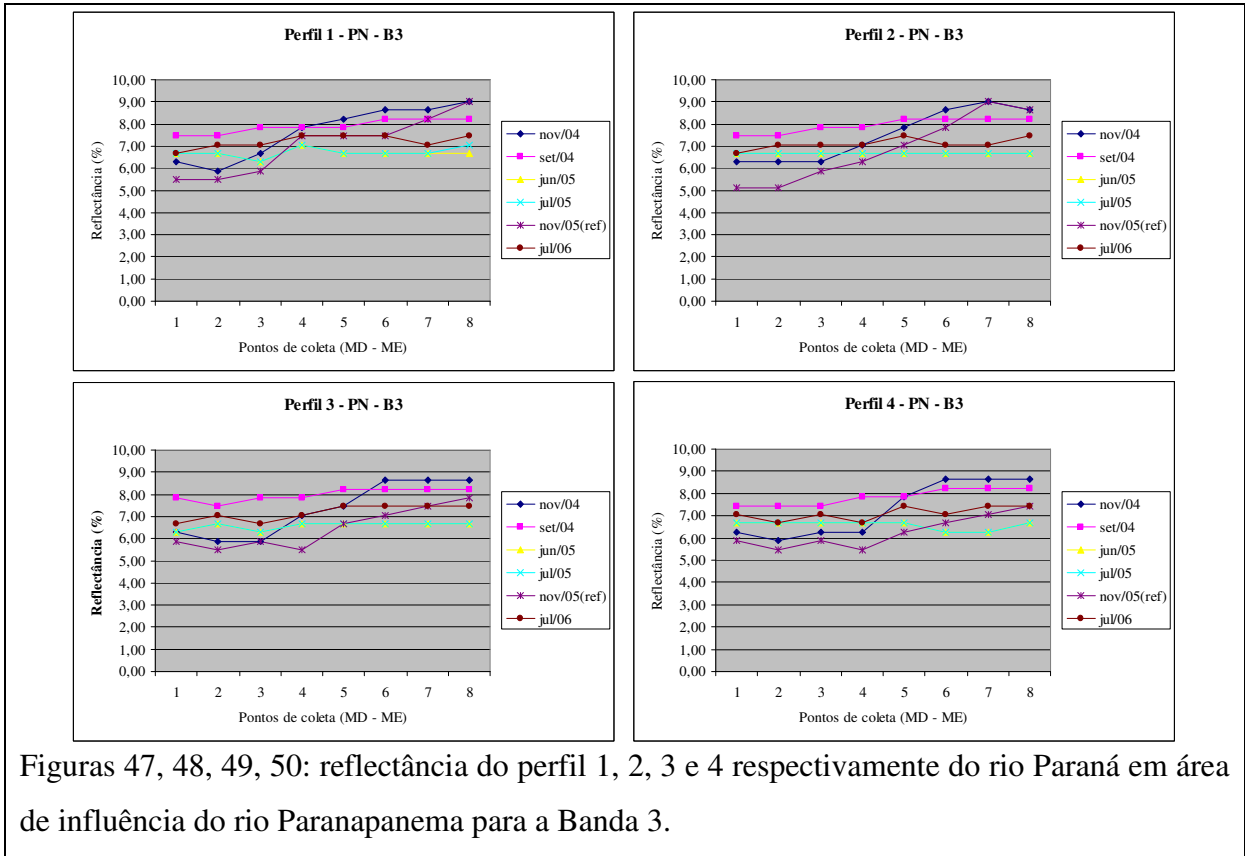
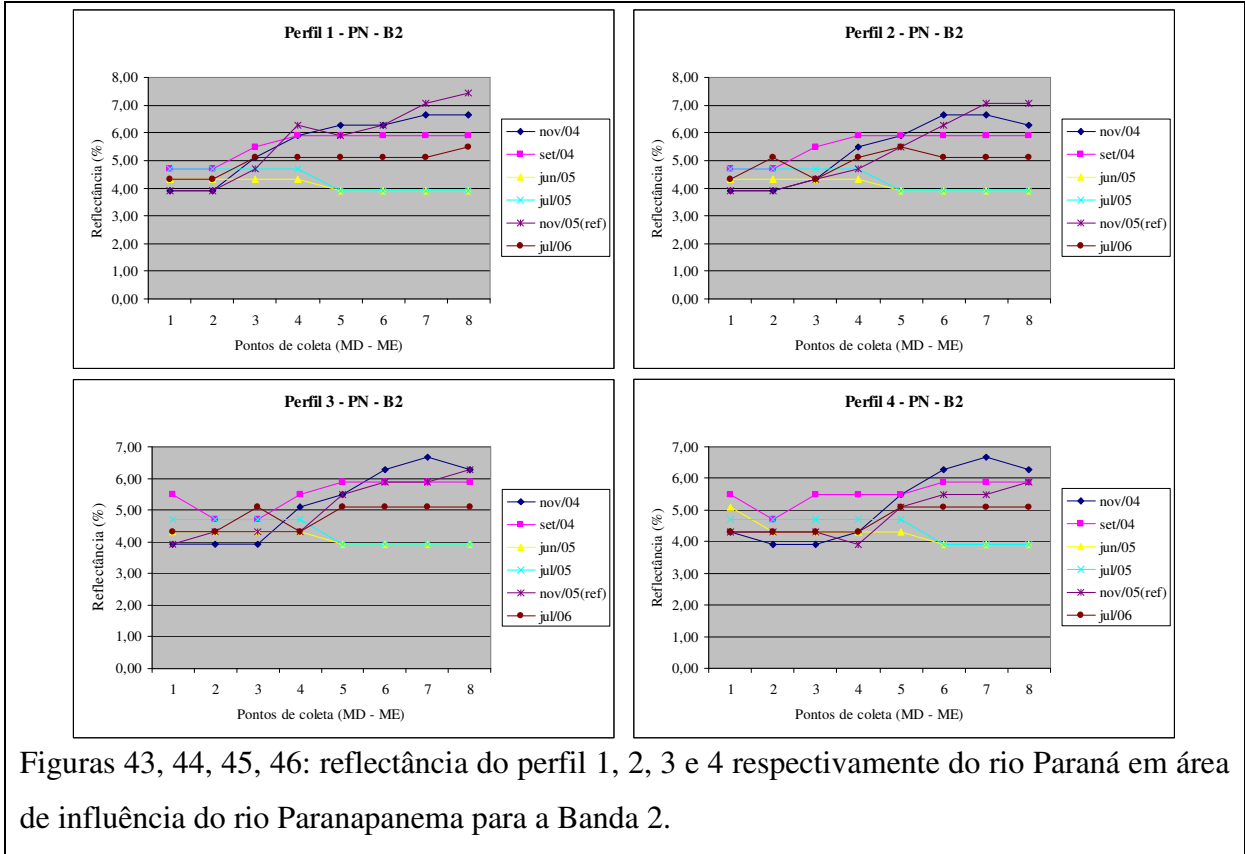
As figuras 39 a 54 representam o comportamento espectral na área com influência do rio Paranapanema e denotam que:

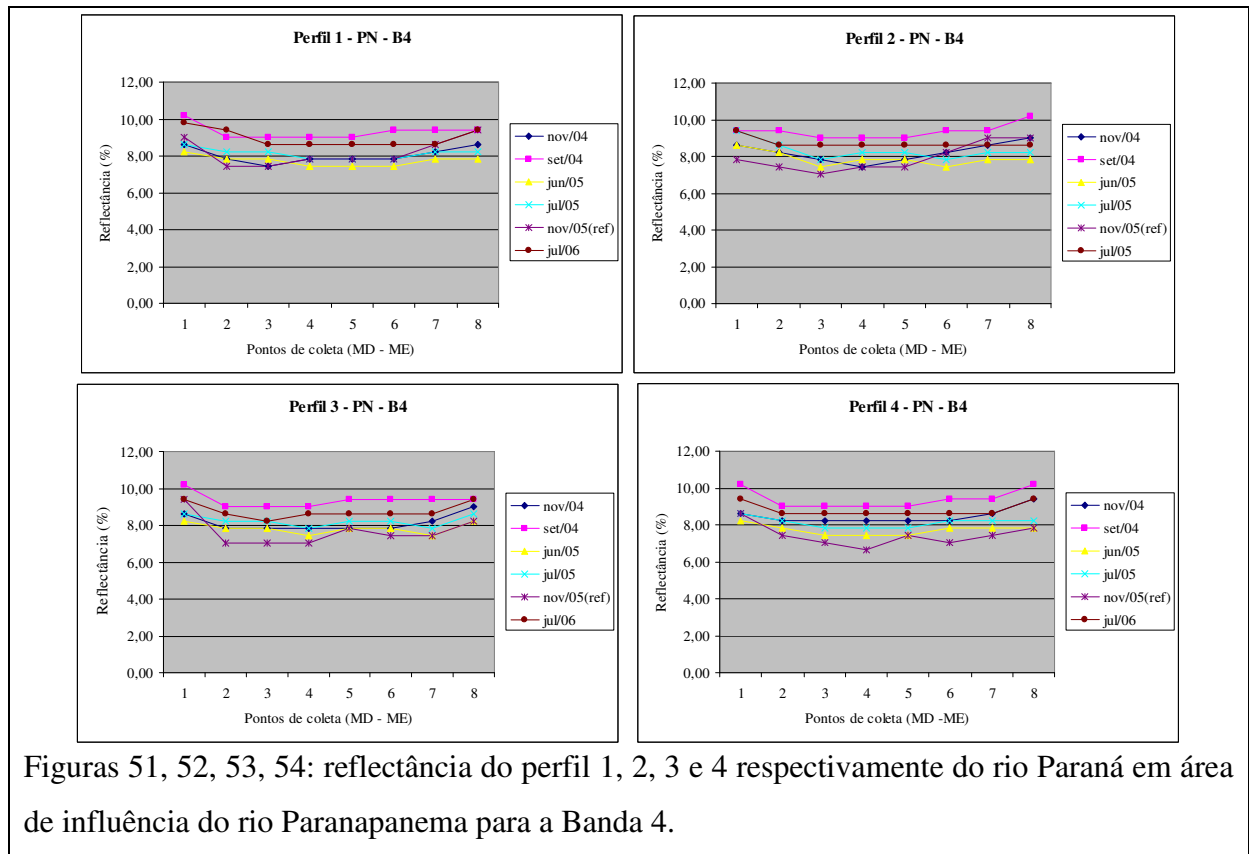
- Para a banda 1, os perfis 1, 2, 3 e 4 (FIGURAS 39, 40, 41 e 42) apresentaram comportamento espectral semelhante. Tem-se um significativo aumento de reflectância em direção a margem esquerda, área de influência direta das águas do rio Paranapanema. Os meses com maior reflectância são setembro e novembro de 2004, menor reflectância são novembro de 2004, junho e julho de 2005 e julho de 2006. Os meses de junho e junho de 2005 tiveram uma queda de reflectância em direção a área de influência do rio Paranapanema.
- A banda 2 (FIGURAS 43, 44, 45 e 46) evidenciou comportamento semelhante a banda 1, com maior reflectância na área de influência do rio Paranapanema, exceto para as passagens dos meses de junho e julho de 2005 onde ocorre a redução de reflectância. Nota-se que nos perfis 3 e 4 nas passagens de setembro de 2004, novembro de 2004 e junho de 2005 a presença de picos de reflectância na margem direita do canal.
- A banda 3 (FIGURAS 47, 48, 49 e 50) apresentou comportamento próximo das bandas 1 e 2, ou seja, com maior reflectância transversal na área com influência do rio Paranapanema. Setembro e novembro de 2004 foram novamente os meses com maior reflectância, bem como junho e julho de 2005 os meses com menor.
- Para a banda 4 (FIGURAS 51, 52, 53 e 54) os perfis apresentaram-se praticamente homogêneos transversalmente, com pequenos picos próximos as margens. Setembro e novembro de 2004 destacam-se pela maior reflectância e junho e julho de 2005 e novembro de 2005 com menor.

- Em geral, os perfis apresentaram para as bandas 1, 2 e 3 comportamento semelhante onde a partir do ponto de coleta 5 há um aumento significativo de reflectância na área com influência do rio Paranapanema, exceto para junho e julho 2005 que normalmente apresentava diminuição de reflectância. O aumento de reflectância coincide com a distribuição da carga suspensa, que é maior na área de influência do rio Paranapanema, portanto, tal concentração pode estar refletindo no comportamento espectral observado em cenas de diferentes datas.



Figuras 39, 40, 41, 42: reflectância do perfil 1, 2, 3 e 4 respectivamente do rio Paraná em área de influência do rio Paranapanema para a Banda 1.



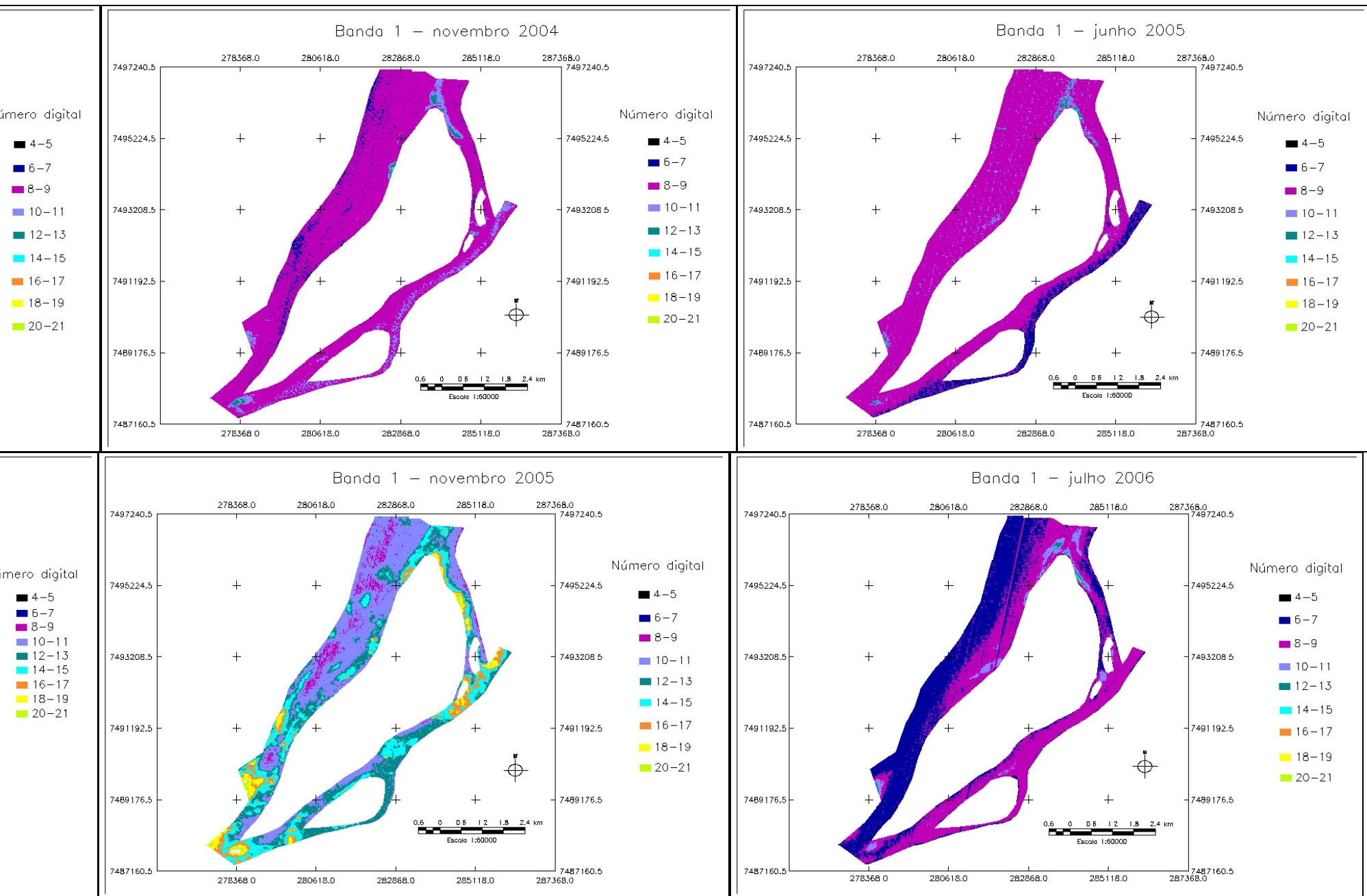


O comportamento espectral da área do estudo é ilustrado pelas figuras 55 a 78 que evidenciam a variação temporal e espacial da carga suspensa total do rio Paraná. Percebe-se que:

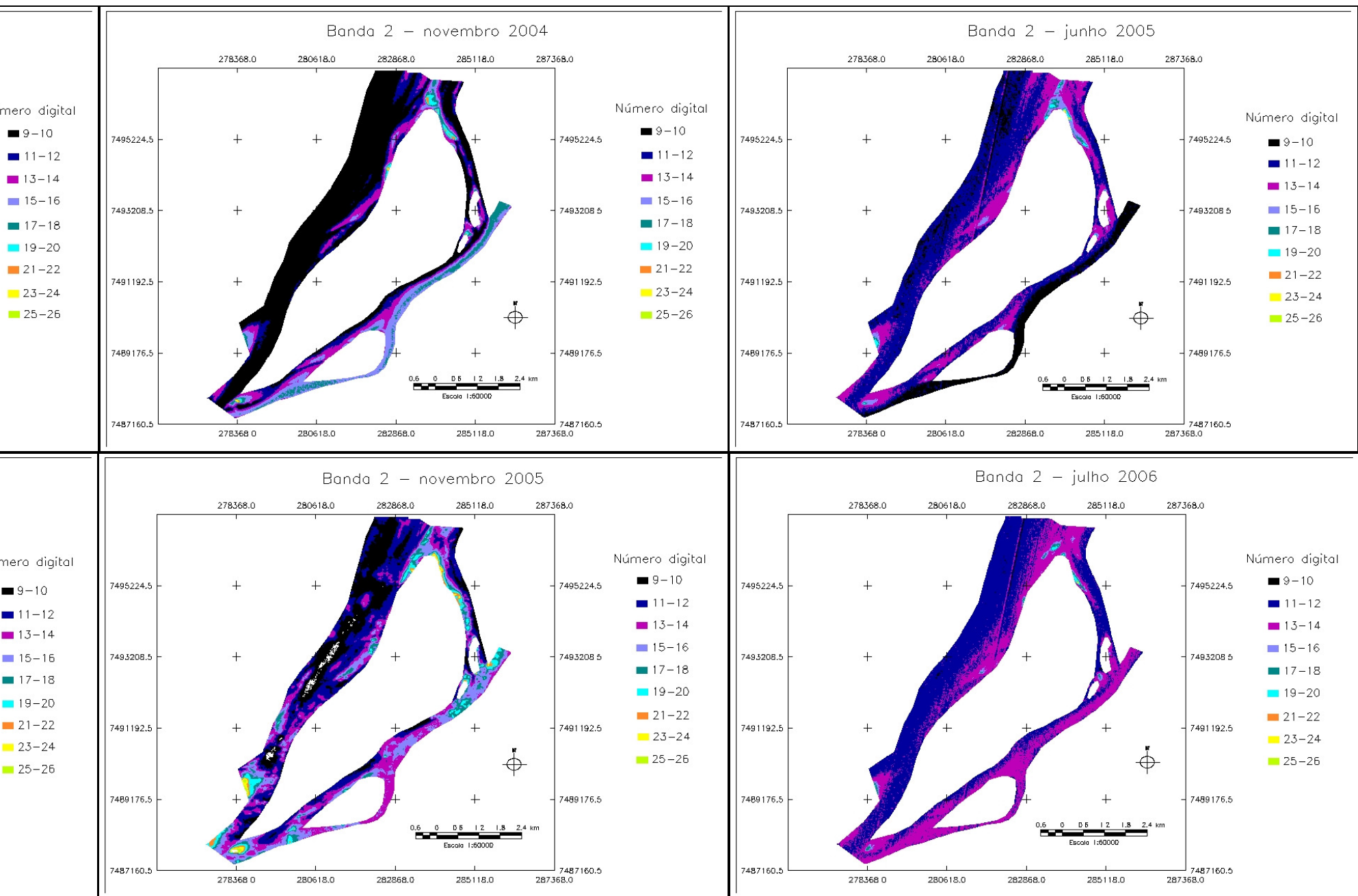
- Nota-se que as figuras 55, 56, 57, 58, 59 e 60, referentes a banda 1 na área de influência do rio Paranapanema possui distinção espectral em cada perfil transversal. Nas áreas de trecho único do rio Paraná observa-se um padrão espectral mais homogêneo, diferente da área com influência do rio Paranapanema que apresenta as imagens de setembro de 2004, junho e julho de 2005 uma clara distinção espectral. As duas últimas denotam menor reflectância para a área com influência do rio Paranapanema. Para as imagens de novembro de 2004, novembro 2005 e julho 2006 observam-se um comportamento espectral mais homogêneo, tanto na área de influência do rio Paranapanema quanto na área de trecho único do rio Paraná.
- Para a banda 2 (FIGURAS 61, 62, 63, 64, 65 e 66) há maior distinção espectral principalmente na área com influência do rio Paranapanema. As imagens de junho e julho de 2005 apresentaram menor reflectância na área do rio Paranapanema. Nas áreas de trecho único do rio Paraná observa-se padrão espectral homogêneo.

- A banda 3 (FIGURAS 67, 68, 69, 70, 71 e 72) apresentou menor distinção espectral, tanto em ordem temporal como espacial. Observam-se poucas áreas que se distinguem com maiores ou menores reflectância. Apenas as imagens de setembro e novembro de 2004 apresentaram maior reflectância nas áreas com influência do rio Paranapanema. Já as imagens de junho e julho de 2005 que se apresentaram com menor reflectância na área com influência do rio Paranapanema nas bandas 1 e 2, na banda 3 apresentaram-se praticamente homogêneas margem a margem.
- As imagens de setembro e novembro de 2004 foram as que apresentaram maior diferenciação de reflectância para a banda 4 (FIGURAS 73, 74, 75, 76, 77 e 78) na área de influência no rio Paranapanema. Para outras datas o comportamento espectral do canal fluvial apresentou-se uniforme, principalmente no trecho de canal único do rio Paraná. Para as cenas de junho e julho de 2005 que normalmente apresentavam-se com menor reflectância nas bandas 1 e 2, neste caso para junho praticamente não há distinção em toda a área do estudo. Já para julho, nota-se maior reflectância para toda a área com influência do rio Paranapanema.

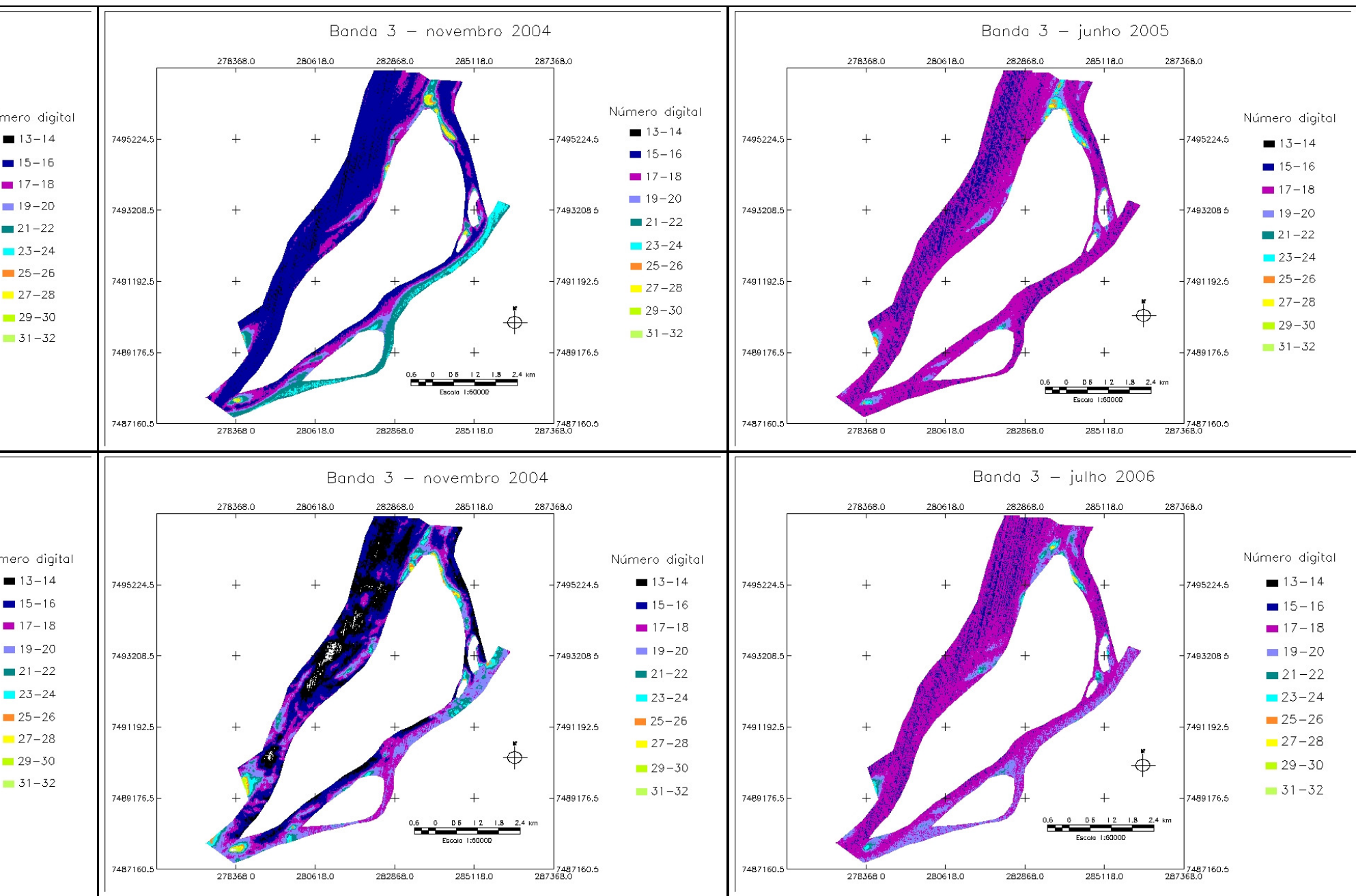
As figuras salientam como o canal apresenta-se espectralmente em diferentes escalas temporais e espaciais, evidenciando a distinção de reflectância principalmente na área de influência do rio Paranapanema, que ora possuía menor reflectância, ora maior, definido possivelmente pelo aspecto sazonal da concentração de carga suspensa.



reflectância da área do estudo na banda 1 para setembro 2004, novembro 2004, junho 2005, julho 2005, novembro 2005 e julho 2006 respectivamente.



reflectância da área do estudo na banda 2 para setembro 2004, novembro 2004, junho 2005, julho 2005, novembro 2005 e julho 2006 respectivamente.

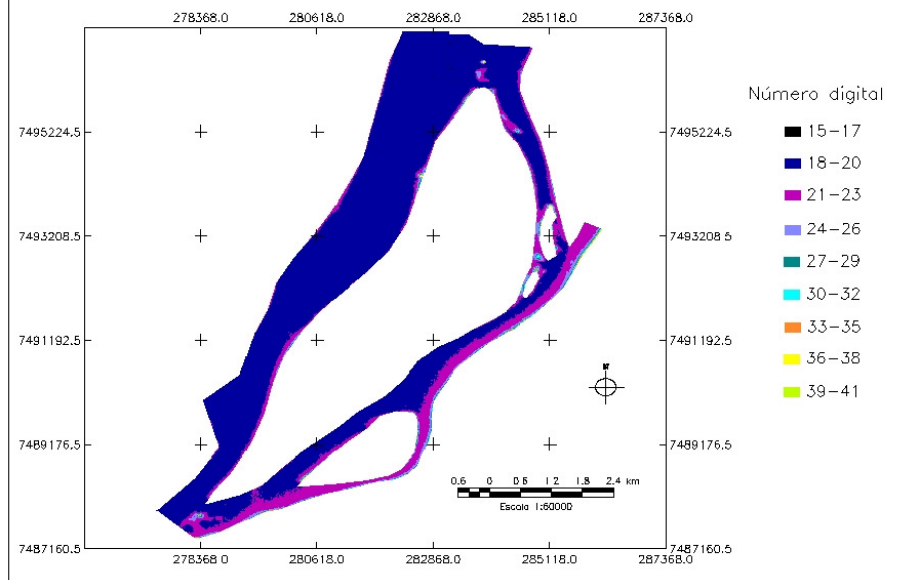


reflectância da área do estudo na banda 3 para setembro 2004, novembro 2004, junho 2005, julho 2005, novembro 2005 e julho 2006 respectivamente.

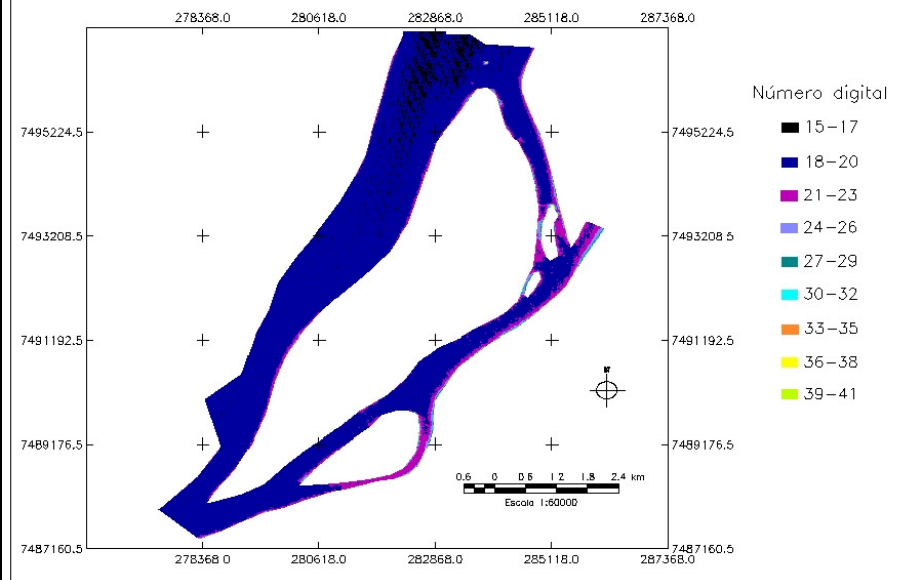
mero digital

- 15-17
- 18-20
- 21-23
- 24-26
- 27-29
- 30-32
- 33-35
- 36-38
- 39-41

Banda 4 - novembro 2004



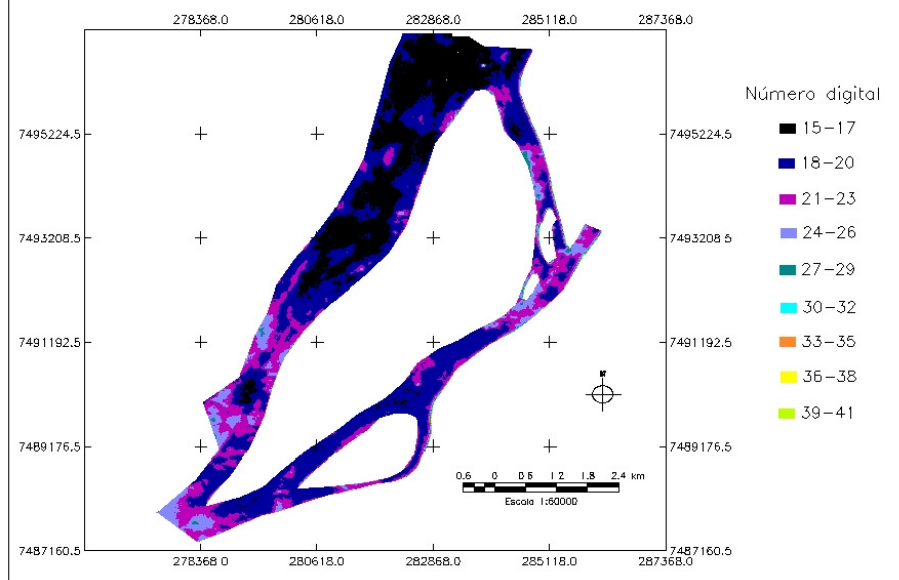
Banda 4 - junho 2005



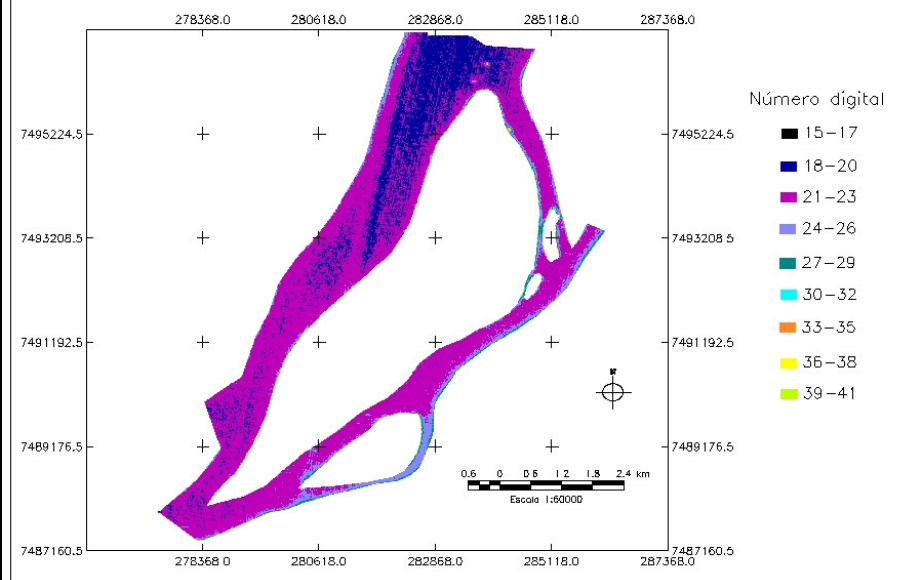
mero digital

- 15-17
- 18-20
- 21-23
- 24-26
- 27-29
- 30-32
- 33-35
- 36-38
- 39-41

Banda 4 - novembro 2005



Banda 4 - julho 2006



reflectância da área do estudo na banda 4 para setembro 2004, novembro 2004, junho 2005, julho 2005, novembro 2005 e julho 2006 respectivamente.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia aplicada baseada na obtenção de variáveis limnológicas assim como no pertinente tratamento das imagens orbitais mostrou-se confiável, porém, devido a obstáculos de ordem natural e material, tornou-se complicado a conexão com todos os dados de saída de campo. Entretanto, os objetivos propostos na pesquisa fundamentados na integração de dados como batimetria, carga suspensa e reflectância foram em suma alcançados e traduzem com pertinência a avaliação espacial e temporal de carga suspensa no rio Paraná por meio de imagens orbitais.

A análise batimétrica dos dois trechos de coleta do rio Paraná, ambos com aumento de profundidade a jusante demonstraram que não houve interferência direta do leito do canal nos dados de reflectância em áreas menos profundas. Segundo Novo (comunicação pessoal), caso houvesse influência direta do leito, haveria picos de reflectância como indicativos.

A correlação entre cada perfil transversal com dados de carga suspensa sugere que a maior reflectância nas margens deve ser atribuída a provável erosão marginal, esta, por sua vez, definido pela oscilação de vazão do canal atribuído a barragem de Porto Primavera.

A margem com influência do rio Paranapanema sofreu aumento significativo de carga suspensa, porém, tal fato pode ser atribuído ao maior aporte total de sedimentos no último canal, uma vez que a concentração de sedimentos na margem esquerda não é restrita aos pontos de coleta muito próximos às margens, mas sim, em toda área que contempla águas oriundas do rio Paranapanema.

No trecho sem influência do rio Paranapanema observou-se nas duas coletas de campo que nas áreas de maior velocidade de fluxo e profundidade não há uma concentração significativa de sedimentos suspensos. Estudos prévios (SOUZA FILHO et al., 2004) salientam que uma das principais fontes de carga suspensa do rio Paraná após a barragem de Porto Primavera passou a ser seu próprio leito, principalmente barras, porém, em áreas profundas possivelmente a contribuição de sedimentos de leito pode estar minimizada.

A comparação entre carga suspensa (figuras 16 e 17) e reflectância (figuras 25 e 26) para o dia 12/11/05 mostrou-se harmonizada, ou seja, a variação para mais ou para menos de carga suspensa total proporcionava respectivamente a variação de reflectância no canal. Os dois perfis transversais apresentaram semelhanças espectrais, principalmente para as bandas 1, 2 e 3.

A análise dos gráficos de reflectância na área de influência do rio Paranapanema evidenciam que as bandas 1, 2 e 3 (azul verde e vermelho) foram as mais sensíveis na variação de carga suspensa total, demonstrado pelo aumento gradual de reflectância da margem direita a margem esquerda. Já a banda 4 (infra-vermelho) não apresentou variação significativa, apresentando-se praticamente invariável nos perfis transversais. Esta situação está de acordo com a teoria de Älföldi (1982) que indica que as bandas de menores comprimentos de onda são apropriadas a identificar a variação de pequenas quantidades de carga suspensa, já quando o canal fluvial apresenta alta concentração de carga suspensa, a observação é facilitada em bandas de maior comprimento de onda.

A partir dos gráficos de reflectância e das figuras (55 a 78) notam-se a variação multitemporal da carga suspensa do rio Paraná. Observou-se, por exemplo, que as imagens de junho e julho de 2005, meses tipicamente de baixa precipitação, a área de influência do rio Paranapanema apresentou menor reflectância do que em relação às imagens de outras datas. Tal situação indica a necessidade de aquisição de dados sobre a concentração de matéria orgânica dissolvida, clorofila, entre outros elementos opticamente ativos, a fim de que se possam inferir análises mais precisas.

Devido à baixa variação de sedimentos orgânicos e inorgânicos e a baixa resolução espectral, não é possível identificar com precisão qual banda respondeu melhor na definição de matéria orgânica ou inorgânica, bem como definir outros índices limnológicos. Qualquer resultado gerado seria equivocado.

Por fim, mesmo com baixa taxa de carga suspensa encontrou-se uma distinção espectral no canal sugerindo a possível variabilidade hidrossedimentológica dos rios Paraná e Paranapanema. Em suma, pode-se dizer que os objetivos definidos no projeto foram cumpridos, mesmo com alguns empecilhos. Com o avanço dos sensores orbitais e progresso em itens como resolução espacial, espectral e radiométrica, a estimativa e quantificação da concentração de sedimentos através de imagens orbitais podem ser alcançadas com êxito e confiabilidade.

REFERÊNCIAS

- ALFÖLDI, T. T. Remote sensing for water quality monitoring. In: JOHANNSEN, C. J.; SANDERS, J. L. (Org.). *Remote sensing for resource management*. Ankeny: Soil Conservation Society of America, 1982. p. 317-328.
- BARBOSA, C. C. F. *Sensoriamento remoto da dinâmica da circulação da água do sistema planície do Curuai/Rio Amazonas*. 2005. 255 f. Tese (Doutorado)-Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.
- BRANDT, S. A. Classification of geomorphological effects downstream of dams. *Catena*, New York, EUA, v. 40. p. 375-401, 2000.
- CAMPOS, J.B & SOUZA, M.C. 1997, Vegetação. In: VAZZOLER, A. E. A. de M; AGOSTINHO, A. A; HAHN, N. S. (Org.). *A planície de inundação do alto rio Paraná: aspectos físicos, biológicos e socioeconômicos*. Maringá: EDUEM, 1997. p. 331-342.
- CENTENO, J. S. *Sensoriamento remoto e processamento de imagens digitais*. Curitiba: Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, 2003.
- CHINA-BRAZIL EARTH RESOURCES SATELLITE. *Câmera Imageadora de Alta Resolução CCD do CBERS/2*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, [2000/]. Disponível em <http://www.cbers.inpe.br/pt/programas/cbers1-2_cameras.htm>. Adaptado. Acesso em: 6 mar. 2006.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia Fluvial*. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1981.
- COMUNELLO, E. *Dinâmica de inundação de áreas sazonalmente alagáveis na planície aluvial do alto Rio Paraná*. 2001. 40 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ambientais Aquáticos Continentais)-Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2001.
- CORRÊA, G. T. *O uso do solo no arquipélago Mutum-Porto Rico – Alto rio Paraná, (PR/MS)*. 1998. 27 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)-Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 1998.
- CRISPIM, J. de Q. *Alterações na hidrologia do canal após a construção do reservatório Engenheiro Sérgio Motta (represa de Porto Primavera) Rio Paraná*. 2001. 25 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)-Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2001.
- CRÓSTA, A. P. *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. Campinas:IG/UNICAMP, 1992.
- CURRAN, P. J., NOVO, E. M. L. de M. The relationship between suspended sediment concentration and remotely sensed spectral radiance: a review. *Journal of Coastal Research*, Charlottesville, Virginia, v. 4, n 3, p. 351-368, 1988.

EMBRAPA – Monitoramento por Satélite. *Satélite CBERS/2 em órbita*. Campinas: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. [2000?]. Disponível em <<http://www.cnpm.embrapa.br/vs/fotos/vs06061.gif>>. Acesso em: 6 mar. 2006.

ESTEVES, F. de A. *Fundamentos de limnologia*. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FILHO, W. P.; BARBOSA, C. C. F.; NOVO, E. M. L. de M. Influência das condições do tempo em espectros de reflectância da água. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. *Anais...* Goiânia: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005. p. 415-422.

HALL, F. G.; STREBEL, D. E.; NICKESON, J. E.; GOETZ, S. J. Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multirate, multisensor images. *Remote Sensing Environment*, New York, EUA., 35:11-27, 1991.

JENSEN, J. Remote Sensing of Water. In: JENSEN, John. *Remote sensing of the environment: an earth resource perspective*. New Jersey: Prentice Hall, 2000. p. 379 -530.

KNIGHTON, D. *Fluvial forms & processes: a new perspective*. New York: Oxford University Press Inc., 1998.

LILLESAND, T.M.; KIEFFER, R. W. *Remote sensing and image interpretation*. 3. ed. Wiley, USA, 1994.

MANTOVANI, J. E.; NOVO, E. M. L de M. Comportamento espectral da matéria orgânica dissolvida. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. *Anais...* Salvador: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996. p. 917-923.

MARTINS, D. P. *Dinâmicas das formas de leito e transporte da carga de fundo no alto rio Paraná*. 2004. 65 f. Dissertação (Mestrado em Geografia)-Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2004.

MARTINS, D. P.; STEVAUX, J. C. Formas de leito e transporte de carga de fundo do Alto Rio Paraná. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 6, p. 43-50, 2005.

MORAES, E. C.. *Fundamentos de sensoriamento remoto* (Apostila do Curso a Distância de Introdução ao Sensoriamento Remoto). São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Divisão de Sensoriamento Remoto, 2005.

MOREIRA, M. A. *Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação*. 2. ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2003.

NOVO, E. M. L. de M. *Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1988.

NOVO, E. M. L. de M. Comportamento espectral da água. In: MENESES, Paulo Roberto; MADEIRA NETO, José da Silva (Org.). *Sensoriamento Remoto: reflectância de alvos naturais*. Brasília, DF: UNB; Planaltina, Embrapa Cerrados, 2001. p. 203-224.

PAIVA, J. B. D. Métodos de Cálculo do Transporte de Sedimentos em Rios. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. de. (Org). *Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2001. p. 313-364.

PEREIRA, V. R. *Utilização de imagens CBERS 2 CCD para monitoramento do comportamento da carga sedimentar do rio Paraná e foz do Paranapanema*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia)-Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005.

POLIDÓRIO, A. M.; FRANCO, C.; IMAI, N. N.; TOMMASELLI, A. M. G.; GALO, M. de L. B. T. G. Correção radiométrica de imagens multiespectrais CBERS e Landsat ETM usando atributos de reflectância e de cor. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. *Anais...* Goiânia: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005. p. 4241-4248.

Programa Educar – CDCC/USP. *Espectro eletromagnético e a ordenação da energia eletromagnética em função do seu comprimento de onda e frequência*. São Paulo: CDCC/USP-SC, [199?]. Disponível em <<http://educar.sc.usp.br/optica/espectro.gif>>. Acesso em: 1 mar. 2006.

ROCHA, J. A. da. *O canal do rio Paraná nas proximidades de Porto Primavera*. 2001. 32 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)–Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2001.

SILVA, P. G. da; GRAÇA, P. M. de A.; SANTOS, J. R. dos; SHIMABUKURU, Y. E. Avaliação da correção atmosférica e retificação radiométrica em estudos multitemporais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003. p. 2135-2142.

SOUZA FILHO, E. E. de. *Aspectos da geologia e estratigrafia dos depósitos sedimentares do rio Paraná entre Porto Primavera (MS) e Guaíra (PR)*. 1993. 214 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

SOUZA FILHO, E. E. de. Diagnóstico do meio físico e condições emergentes da planície do rio Paraná em Porto Rico. *Geonotas*, Maringá, v. 03, n. 03, p. 1-10, 1999.

SOUZA FILHO, E. E. de; ROCHA, P. C.; CORREA, G. T.; COMUNELLO, E. O ajuste fluvial e a erosão das margens do rio Paraná em Porto Rico (Brasil). In: REQUI/ICQPLI, 5., 2001, Lisboa. *Anais...* Lisboa, 2001. v. 0. p. 01-05.

SOUZA FILHO, E. E. de; ROCHA, P. C.; COMUNELLO, E.; STEVAUX, J. C. Effects of the Porto Primavera dam on physical environment of the downstream floodplain. In: THOMAZ, S.M.; AGOSTINHO, A. A.; HAHN, S. S. (Org.). *The upper Paraná River and its floodplain: physical aspects, ecology and conservation*. Leiden, The Netherlands: Backhuys Publishers, 2004. p. 55-76.

SOUZA, M. C., ROMAGNOLO, M. B., KITA, K. K. Riparian vegetation: ecotones and plant communities. In: THOMAZ, S.M.; AGOSTINHO, A. A.; HAHN, S. S. (Org.) *The upper Paraná River and its floodplain: physical aspects, ecology and conservation*. Leiden, The Netherlands: Backhuys Publishers, 2004. p. 353-368.

SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. CAMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M., GARRIDO, J. *Computers & Graphics*, 20 (3) 395-403, May-Jun 1996.

STEVAUX, J. C.; TAKEDA, A. M. Geomorphological processes related to density and variety of zoobenthic community of the upper Paraná River, Brazil. *Geomorphology*, Berlin, Stuttgart, 129: 143-158, 2002.

WHITLOCK, C. H.; USRY, J. W.; WITTE, W. G.; GURGANUS, E. A. Laboratory measurements of upwelled radiance and reflectance spectra of Calvert, Ball, Jordan, and Feldspar soil sediments. NASA Technical Paper, Virginia, USA, n. 1039, 1977.

WITTE, W. G.; WHITLOCK, C. H.; MORRIS, W. D.; GURGANUS, E. A. Laboratory upwelled radiance and reflectance spectra of Kerr reservoir sediment waters. NASA Technical Paper, Virginia, USA, n. 1993, 1982.

ZULLO JÚNIOR, J.; FA GU, X; LAMPARELLI, R.; GUYOT, G; BEZERRA, P.C. Pré-processamento das imagens de satélite. *Caderno de informações georreferenciadas*, Campinas, SP, v. 1, 1995.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

H413a Hayakawa, Ericson Hideki
Análise da variabilidade espacial e temporal dos sedimentos suspensos no Alto Rio Paraná via imagens orbitais : região de Porto São José, PR / Ericson Hideki Hayakawa. -- Maringá : [s.n.], 2007.
83 f. : il. figs., graf.

Orientador : Prof. Dr. Edvard Elias de Souza Filho
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2007.

1. Geomorfologia fluvial. 2. Carga suspensa - Rio Paraná. 3. Barragens. 4. Reflectância - Rio Paraná. I. Universidade Estadual de Maringá. Programa de Pós-Graduação em Geografia. II. Título.

CDD 21.ed. 551.483