

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOMÁTICA**

**INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA  
NA REFLECTÂNCIA ESPECTRAL DA ÁGUA DO  
RESERVATÓRIO PASSO REAL, RS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Daniela Wancura Barbieri**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2012**

**INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA  
REFLECTÂNCIA ESPECTRAL DA ÁGUA DO  
RESERVATÓRIO PASSO REAL, RS**

**Daniela Wancura Barbieri**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geomática, Área de Concentração Tecnologia da Geoinformação, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Geomática.**

**Orientador: Prof. Dr. Waterloo Pereira Filho**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2012**

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Geomática**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado.

**INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA  
REFLECTÂNCIA ESPECTRAL DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO UHE  
DE PASSO REAL, RS**

elaborada por  
**Daniela Wancura Barbieri**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Geomática**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Waterloo Pereira Filho, Dr. (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Roberto Cassol, Dr. (UFSM)**

---

**Janete Teresinha Reis, Dr<sup>a</sup>.**

Santa Maria, 22 de março de 2012.

## AGRADECIMENTOS

Ao término desta dissertação, faz-se necessário alguns agradecimentos:

- A Universidade Federal de Santa Maria, pela possibilidade de cursar um curso de Pós-Graduação com qualidade;
- Em especial à minha família, meus pais Roberto e Valéria e aos meus irmãos Cezar e Bruno, por estarem presentes em todos os momentos desta caminhada;
- Ao Telmo, pelo apoio em momentos difíceis, paciência, carinho e compreensão nos momentos de ausência;
- Ao professor Waterloo Pereira Filho; pela confiança, e dedicação na orientação desta pesquisa;
- Ao Flávio Wachholz e ao Felipe Correa pela dedicação, orientação, sugestões e disponibilidade de ler este trabalho;
- As amigas e colegas: Aline, Carline, Andreise, Mariele, Hilda, Flaviene, Vanessa e Ana Letícia, pela amizade no decorrer do curso;
- A banca examinadora Janete Reis e Roberto Cassol;
- A Capes pela concessão da bolsa de estudo;
- E a todos q contribuíram com este momento,

*Obrigada!!  
Daniela*

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Geomática  
Universidade Federal de Santa Maria

### **INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA REFLECTÂNCIA ESPECTRAL DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO PASSO REAL, RS**

AUTOR: DANIELA WANCURA BARBIERI

ORIENTADOR: WATERLOO PEREIRA FILHO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 22 de março de 2012.

A reflectância da água relacionada aos índices pluviométricos permite a caracterização das alterações naturais e severas no metabolismo da água. Neste sentido, o presente estudo tem por objetivo estabelecer a relação entre o índice pluviométrico e as alterações nos valores de reflectância da água no reservatório da UHE Passo Real- RS, localizado no norte do Rio Grande do Sul. Quanto a metodologia foram utilizadas 11 imagens MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) (MOD09), provenientes do Catálogo de imagens da NASA, a fim de compor um ano hidrológico. Os dados de precipitação são provenientes da Defesa Civil do estado do Rio Grande do Sul, totalizando para o estudo o levantamento de 31 estações de coleta pluviométrica. Os dados de transparência da água e Total de Sólidos em Suspensão (TSS) foram obtidos a partir de 31 pontos amostrais realizados em 8 trabalhos de campo. A análise levou em conta o acúmulo de precipitação no período de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias anterior à passagem do satélite. Foram utilizados os dados de reflectância da banda do vermelho (648 nm) para relacionar com a chuva, em 3 compartimentos do reservatório, que representaram as principais áreas de captação: rio Ingaí, rio Jacuí-Mirim e rio Jacuí. Os dados limnológicos, precipitação e reflectância da água foram integrados para verificar suas relações. Verificou-se que o ano de 2009 apresentou períodos distintos quanto ao regime de chuvas, de Janeiro a Julho seco e de Agosto a Dezembro chuvoso. A reflectância apresentou a taxa de 0,28 a 2,05% no período seco enquanto no período chuvoso foi de 0,44 a 3,27%. Os valores médios de transparência do Disco de Secchi (DS) foi de 1,2 m. Entretanto no período seco a transparência foi de 1,7 m e no período chuvoso de 0,7 m. O valor mínimo de TSS foi de 0,5 mg/L e máximo de 31 mg/L no período seco e de 1 a 33 mg/L no período chuvoso. As menores concentrações de TSS foram encontradas no mês de Abril 1 mg/L quando foram registrados os menores índices de precipitação (<50mm). No entanto, a maior concentração ocorreu em Outubro de 33 mg/L quando ocorrem as maiores concentrações pluviométricas na bacia de captação (224 mm). Verificou-se correlações significativas entre a reflectância da água com a chuva antecedente a passagem do sensor, sendo que o valor acumulado de chuva em 20 dias anteriores a imagem de satélite foi o que apresentou correlação de 0,88 com a reflectância para o setor do rio Jacuí e 0,83 no setor do rio Jacuí-Mirim. O compartimento aquático definido pelo rio Ingaí a melhor correlação (0,83) ocorreu com o acumulado de chuva no período de 25 dias. Portanto, as imagens MODIS registram as chuvas ocorridas em um período de 20 dias antes da passagem do satélite. Especificamente no compartimento do rio Ingaí este efeito ocorre para um período de 25 dias.

Palavras-chave: Reservatório; Precipitação Pluviométrica; Reflectância

## **ABSTRACT**

Master Thesis  
Post-Graduation Program in Geomatics  
Federal University of Santa Maria

### **Influence of Pluviometric Rainfall on the Spectral Reflectance in Passo Real reservoir, RS, Brazil**

**AUTHOR: DANIELA WANCURA BARBIERI**

**ADVISER: WATERLOO PEREIRA FILHO**

**Date and Place of Defense: Santa Maria, 22 the march of 2012.**

The water's reflectance related to pluviometric rate allows a characterization of natural and severe changes on the water's metabolism. Accordingly, the purpose of this research is to establish a relation between pluviometric rates and the changes on the water's reflectance values in Passo Real reservoir, localized on the north of Rio Grande do Sul. As methodology 11 MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) images from NASA's Image Catalog were used to compose one hydrological year. The rainfall data are originating from the Civilian Defense Department of the state of Rio Grande do Sul, adding up to 31 stations of pluviometric gatherings to the research. The water's transparency data (Total of Solids in Suspension) (TSS) were acquired from 31 sample points during 8 field works. The analysis has considered the accumulation of rainfall in the period of 5, 10, 15, 20, 25, and 30 days before the satellite's passage. Red band (648nm) reflectance data were used in 3 compartments of the reservoir which represent the main spots of gathering: Ingaí river, Jacuí-Mirim river and Jacuí river. The limnological data, rainfall and water's reflectance were added to verify their relations. It has been verified that the year of 2009 presented distinct periods as the dry rain regimen from January to July and rainy from August to December. The reflectance rates were from 0,28 to 2,05% in the dry period while from 0,44 to 3,27% in the rainy period. The medium transparency values from the Secchi Disc (SD) were 1,2 m. However in the dry period, the transparency was 1,7m and in the rainy period 0,7 m. The TSS's minimum value was 0,5 mg/L and maximum of 31 mg/L in the dry period and from 1 to 33 mg/L in the rainy period. The lower TSS's concentrations were gathered in the month of April 1mg/L when the lower rainfall rates were registered. Nonetheless, the highest concentration was registered in October (33 mg/L) when the highest rainfall rates were registered in the water basin (224mm). It has been verified meaningful relations to the water's reflectance and to the rain preceding the sensor's passage to the rain's accumulated value during 20 preceding days to the satellite's passage was what presented the correlation of 0,88 to the reflectance of the sector of Jacuí river and 0,83 to the sector of Jacuí-Mirim river. The aquatic compartment defined by Ingaí river had the best correlation (0,78) when the accumulated of rain was of a period of 25 days. Therefore, the MODIS images register the rains in a period of 20 days before the satellite's passage. Specifically in the compartment of Ingaí river, this effect occurs in a period of 25 days.

**Key words:** Basin (reservoir); Pluviometric rainfall; Reflectance

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Localização da bacia de captação do Passo Real no Rio Grande do Sul- Brasil .....	15
Figura 2	Fotos de paisagens presentes no entorno do reservatório Passo Real.....	17
Figura 3	Fluxos de radiação detectados por sensores a partir de sistemas Aquáticos .....	27
Figura 4	Curva de espalhamento (A) e absorção (B) da água pura .....	32
Figura 5	Comportamento espectral da água, conforme a concentração dos sólidos em suspensão.....	35
Figura 6	Curvas espectrais com diferentes concentrações de sedimentos em suspensão medidos em Unidade de Turbidez Nefelométrica (NTU)..	37
Figura 7	Fluxograma de desenvolvimento da pesquisa.....	40
Figura 8	Representação dos pontos amostrais no reservatório Passo Real e pontos utilizados em cada setor do reservatório .....	43
Figura 9	Localização dos pontos de coleta dos dados de precipitação.....	46
Figura 10	Padrão mensal da precipitação na bacia de captação do reservatório.....	55
Figura 11	Precipitação Pluviométrica mensal na bacia de captação do reservatório Passo Real .....	56
Figura 12	Testes aplicados para determinação da banda de análise.....	57
Figura 13	Estatística descritiva mensal dos valores de reflectância da água do reservatório Passo Real .....	58
Figura 14	Mapas de reflectância da água medidos pelo MOD09-canal 1 .....	60
Figura 15	Transparência do disco de Secchi no mês de Mar.09 .....	61
Figura 16	Transparência do disco de Secchi no mês de Mar.09 .....	62
Figura 17	Mapas de Transparência da água no reservatório Passo Real .....	63
Figura 18	Relação entre dados de transparência e reflectância no vermelho no mês de julho	65
Figura 19	Transparência da água no reservatório Passo Real: A) Transparências encontradas <i>in loco</i> ; B) Imagem de reflectância (canal 1- MODIS); C) Estimativa da transparência da água a partir de dados de reflectância da imagem MODIS .....	66
Figura 20	Mapas de TSS no reservatório Passo Real .....	68
Figura 21	Reflectância e o acumulado de chuva em cinco dias antecedentes aos dados do satélite .....	70
Figura 22	Reflectância e o acumulado de chuva em dez dias antecedentes aos dados do satélite .....	71
Figura 23	Reflectância e o acumulado de chuva em quinze dias antecedentes aos dados do satélite .....	73
Figura 24	Reflectância e o acumulado de chuva em vinte dias antecedentes aos dados do satélite.....	75

Figura 25	Dispersão da precipitação pluviométrica com a reflectância para 20 e 25 dias de acumulo .....	75
Figura 26	Correlações estatisticamente significativas com 95, 99 e 99,9% de confiança entre reflectância e precipitações acumuladas .....	76
Figura 27	Reflectância e o acumulado de chuva em vinte e cinco dias antecedentes aos dados do satélite .....	77
Figura 28	Reflectância e o acumulado de chuva em trinta dias antecedentes aos dados do satélite.....	79



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Classificação da intensidade da precipitação conforme o valor em milímetros.....	20
Quadro 2	Características das plataformas Terra e Aqua .....	28
Quadro 3	Características e aplicações de cada banda do sensor MODIS .....	29
Quadro 4	Aplicação das principais bandas do produtos MOD09, para estudos em sistemas aquáticos continentais .....	30
Quadro 5	Representação Visual dos mapas de precipitação, reflectância, TSS e DS .....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Dados utilizados de acordo com o período de análise .....	42
Tabela 2	Setores com pontos amostrais utilizados .....	43
Tabela 3	Valores de r referentes as correlação de reflectância e precipitação (5 dias) .....	71
Tabela 4	Valores de r referentes as correlação de reflectância e precipitação (10 dias).....	72
Tabela 5	Valores de r referentes as correlação de reflectância e precipitação (15 dias).....	73
Tabela 6	Valores de r referentes as correlação de reflectância e precipitação (20 dias).....	76
Tabela 7	Valores de r referentes as correlação de reflectância e precipitação (25 dias) .....	78
Tabela 8	Valores de r referentes as correlação de reflectância e precipitação (30 dias) .....	79

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

BH - Bacia Hidrográfica

CEEE - Companhia Estadual de Energia Elétrica

JA – BH Jacuí

JM - Jacuí-Mirim

MDE – Modelo Digital de Elevação

MNT – Modelo Numérico do Terreno

MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

PP – Precipitação Pluviométrica

PR – Passo Real

REM – Radiação Eletromagnética

SPRING - Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas

TSS - Totais de sólidos em suspensão

UHE – Usina Hidrelétrica

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	13
1.1	Características gerais da área de estudo .....	14
1.2	Organização da dissertação .....	18
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	19
2.1	Ciclo Hidrológico .....	19
2.2	Precipitação .....	20
2.2.1	Precipitação no Rio Grande do Sul .....	21
2.3	Fundamentos de Limnologia .....	23
2.4	Sensoriamento Remoto .....	24
2.5	Sistema Óptico - Sensor MODIS .....	27
2.5.1	Produto MOD09 .....	30
2.6	Sensoriamento Remoto da água .....	31
2.6.1	Resposta espectral da água pura .....	32
2.6.2	Transparência da água .....	33
2.6.3	Resposta espectral da água de acordo com seus constituintes opticamente ativos.....	34
2.6.4	Totais de sólidos em suspensão .....	36
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	39
3.1	Banco de dados geográficos .....	41
3.2	Definição do período de análise .....	41
3.3	Definição das estações amostrais e setores de análise .....	42
3.4	Imagens MODIS .....	43
3.4.1	Características Gerais e aquisição das Imagens .....	43
3.4.2	Registro e Reamostragem das Imagens .....	44
3.4.3	Dados de reflectância .....	45
3.4.4	Mapas de reflectância .....	45
3.5	Dados de precipitação pluviométrica .....	46
3.5.1	Precipitação média numa determinada área .....	48
3.5.2	Mapas de precipitação .....	49
3.6	Classes de visualização .....	49
3.7	Trabalho de campo .....	50
3.7.1	Variáveis Limnológicas .....	50
3.7.2	Total de Sólidos Suspensos .....	50
3.7.3	Transparência da água .....	51
3.7.4	Espacialização das variáveis limnológicas .....	52
3.8	Técnicas estatísticas .....	52
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	54
4.1	Precipitação pluviométrica e reflectância da água : contexto geral.. .....	54
4.1.1	Precipitação pluviométrica .....	54
4.1.2	Reflectância da água .....	57
4.2	Variáveis Limnológicas: Transparência da água e Totais de Sólidos em Suspensão .....	61
4.2.1	Transparência da água .....	61
4.2.2	Relação da transparência do Disco de Secchi e reflectância da água .....	64
4.2.3	Totais de Sólidos em Suspensão .....	67
4.3	Influência da chuva na reflectância da água .....	69

4.3.1	Acumulado de 5 dias de precipitação pluviométrica .....	69
4.3.2	Acumulado de dez dias de precipitação pluviométrica .....	71
4.3.3	Acumulado de quinze dias de precipitação pluviométrica .....	72
4.3.4	Acumulado de vinte dias de precipitação pluviométrica .....	74
4.3.5	Acumulado de vinte e cinco dias de precipitação pluviométrica .....	77
4.3.6	Acumulado de trinta dias de precipitação pluviométrica .....	78
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES</b> .....	<b>80</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>83</b>

### 1 INTRODUÇÃO

Dentre os recursos naturais, a água é um dos que mais sofre alterações em suas características. Estas mudanças e degradações são devido as formas de exploração, degradação e erosão da bacia de captação. A intervenção humana sobre o relevo quer seja em áreas urbanas ou rurais, demanda a ocupação e transformação da superfície de áreas próximas aos cursos dos rios provocando frequentes e agravantes impactos ambientais.

O conjunto de todos os aspectos físico-naturais das bacias, em especial as áreas em estudo, Reservatório Passo Real, devem ser analisados de forma criteriosa, uma vez que qualquer dano que aconteça a uma bacia hidrográfica terá consequências diretas e indiretas sobre os canais fluviais e conseqüentemente em reservatórios afetando a qualidade e disponibilidade da água.

O regime fluvial depende, em grande parte, da quantidade de água que eles recebem que varia em função da intensidade e da quantidade de chuva, da natureza do solo ou rocha sobre os quais eles derivam e da topografia da superfície. A precipitação pode ser um forte elemento natural de degradação, sempre associado à erosão dos solos e a conseqüente, alteração da topografia local, ou de uma bacia hidrográfica.

O monitoramento da qualidade da água utilizando sensoriamento remoto é um campo bastante promissor, as características que podem ser detectadas pelos sensores remotos são presença de plantas aquáticas, quantidade de sólidos em suspensão, níveis de clorofila e transparência da água, sendo que estes parâmetros alteram a coloração da água. No entanto, o total pluviométrico do local associado ao uso da terra poderá alterar a reflectância da água pura, permitindo a caracterização das alterações naturais e severas na superfície (NOVO, 1988; RUDORFF, 2006).

No contexto brasileiro, destaca-se a atuação de pesquisas desenvolvidos por Evlyn Márcia Leão de Moraes Novo (1989; 2007); Waterloo Pereira Filho (2005); Cláudio Clemente Faria Barbosa (2005); Lênio Soares Galvão (2001), Flávio

Wachholz (2011), trabalhos esses que serviram de base para o desenvolvimento da referente pesquisa, pois têm sido desenvolvidos com objetivos de identificar a capacidade dos diferentes sensores, no que diz respeito às pesquisas relacionadas à refletância da água e a relação com seus constituintes opticamente ativos (PEREIRA FILHO, 2009).

Desta forma, o objetivo principal da pesquisa é estabelecer a relação entre o índice pluviométrico e as alterações nos valores de reflectância da água no ambiente lântico definido pelo reservatório da UHE Passo Real- RS. Os objetivos específicos são:

- Analisar dados de precipitação da bacia de captação do reservatório Passo Real, e relacionar com o índice médio de reflectância da água medido pelo MODIS, através do produto MOD09;
- Identificar as relações entre as variáveis limnológicas referentes a transparência da água e Totais de Sólidos em Suspensão com a variável reflectância, oriunda do sensor MODIS;
- Estabelecer o intervalo de tempo entre a precipitação pluviométrica e a reflectância da água que apresente melhor correlação das alterações espectrais destes ambientes em função das chuvas.

### **1.1 Características gerais da área de estudo**

No Rio Grande do Sul foram construídos reservatórios no alto curso do Rio Jacuí com a finalidade de atender a demanda energética. Seguindo a sequencia do Rio Jacuí, o Reservatório Passo Real foi o segundo a ser construído (1973) com a maior área de inundação, 233,4 Km<sup>2</sup> (COAJU, 2010). Considerado maior lago artificial do Estado, com a contribuição de três principais afluentes, o Rio Jacuí propriamente, o Rio Jacuí-Mirim e o Rio Ingaí (CRUZ, 1996; COAJU, 2010).

De acordo com ANEEL(2004) a Barragem Passo Real, faz parte do sistema Jacuí de geração de energia, em outra perspectiva, a intenção de sua construção era o funcionamento como regulador da quantidade da água nos reservatórios à sua jusante, principalmente UHE Jacuí. É responsável por 65% da energia gerada pela Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE) e 35% da carga consumida pelo

Estado, possuindo uma potência de 158 MW. A figura 1 mostra a localização da área de estudo.

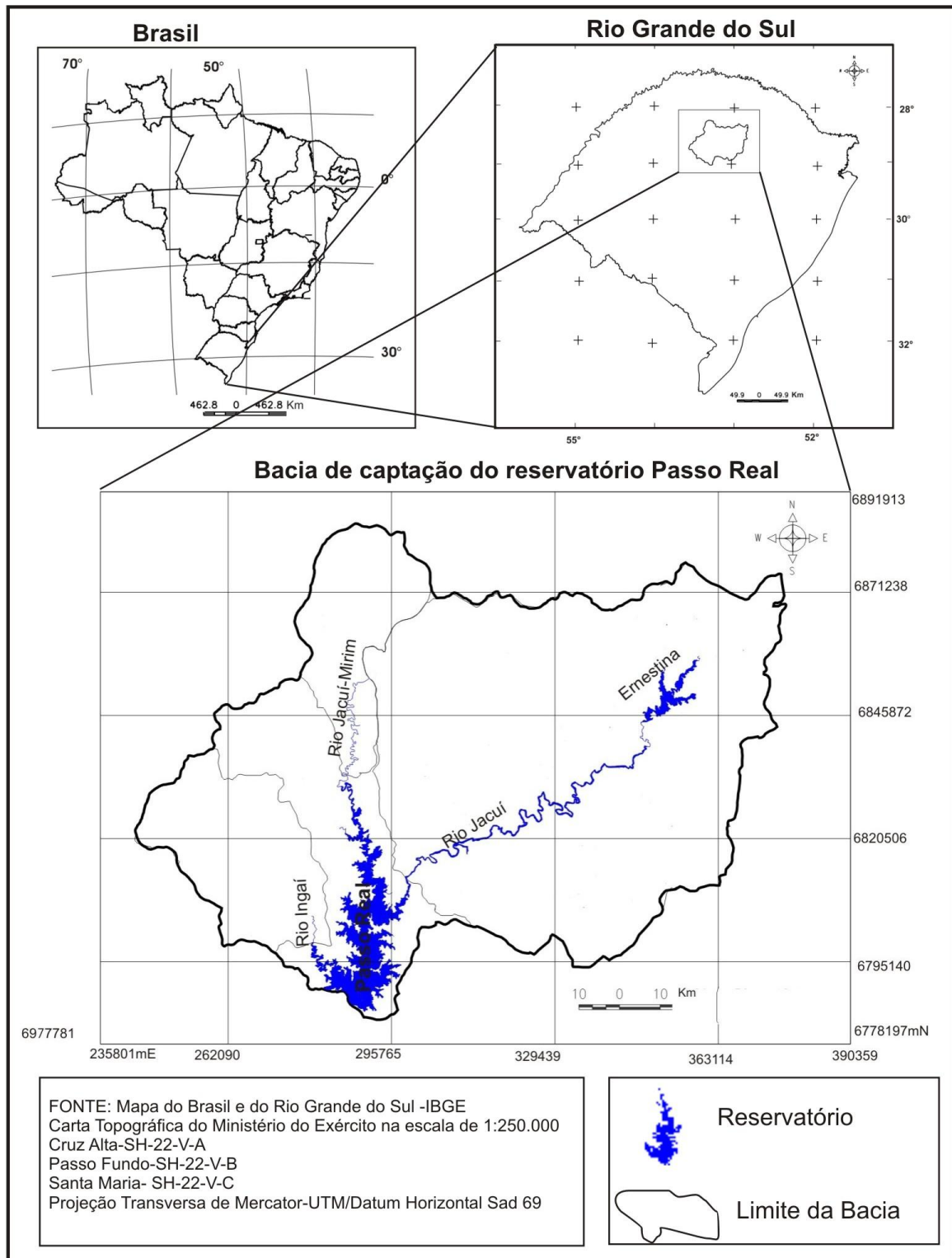


Figura1: Localização da bacia de captação do Passo Real no Rio Grande do Sul - Brasil



Diversos municípios são atingidos pelo reservatório, pode-se destacar na margem direita Fortaleza dos Valos que teve a maior área alagada, de 46,5 % do município, Quinze de Novembro, Ibirubá e Selbach e na margem esquerda Alto Alegre, Campos Borges e Salto do Jacuí, sendo que as sedes dos municípios apresentam aspectos de núcleo urbano de pequeno porte. O reservatório tem um volume de 3.671 km<sup>3</sup> em uma área total de 24.882 hectares (COAJU, 2010).

No Estado, há quatro grandes províncias geomorfológicas: a Planície Costeira, o Escudo Sul-rio-grandense, a Depressão Periférica e o Planalto, cada uma com características distintas. O Planalto ocupa a metade norte e uma porção no sudoeste do RS, e se subdivide em 7 regiões fisiográficas, sendo o Planalto Médio uma delas. O relevo dessa região é suave ondulado e bastante homogêneo, com predomínio de solos do tipo Latossolos, Nitossolos e Argilossolos, nas áreas mais acidentadas em relevo forte ondulado são encontrados Cambissolos e Neossolos. Na região do Planalto Médio (local de estudo) são encontrados Latossolos Vermelhos, no entanto, por apresentarem textura mais arenosa são mais pobres em fertilidade e mais susceptíveis a erosão, exigindo práticas conservacionistas intensivas quando usados com culturas anuais (STRECK et al., 2008).

Em relação ao clima, na região Sul do Brasil predomina o clima subtropical, sendo este uma transição entre o clima tropical, predominante no Brasil, e o clima temperado das médias latitudes. As estações do ano são bem definidas, assim como os índices pluviométricos, ao sul do Estado do Rio Grande do Sul, a precipitação média situa-se entre 1.299 e 1.500mm e, ao norte a média está entre 1.500 e 1.800mm (SARTORI 1993).

Sartori (1993) afirma a inexistência de meses secos no Rio Grande do Sul e que nenhum mês do ano se caracteriza por índices pluviométricos inferiores à 100 mm. Os meses mais chuvosos com precipitação acima de 150 mm são abril, junho e setembro e os menos chuvosos com precipitação entre 100-150 mm são fevereiro e agosto sendo estas informações sem a presença de fenômenos atmosféricos.

De acordo com Overbeck et al. (2009) a cobertura vegetal nativa da BH do reservatório Passo Real é ocupada por Savana (cerrado e campo) e Floresta Ombrófila Mista. A Floresta Ombrófila mista está presente principalmente na Bacia do Rio Jacuí, associada as maiores altitudes (500 a 700 m), pois exige para seu

desenvolvimento de 90 a 150 dias frios no ano e altos índices pluviométrico (IBGE, 1986). A região de savana predomina na BH do Jacuí-Mirim e Ingaí. De acordo com IBGE (1986), a vegetação para esta região é savana-lenhosa, tendo como características principais a presença de matas galerias, capões e campos.

De acordo com Pereira Filho e Galvão (1997) na porção montante ao reservatório há intensa exploração agrícola, o que causa consequências no reservatório na fase de adubação, preparo do solo, em certas épocas do ano, principalmente na de plantio, ou seja, na primavera geralmente, os solos ficam completamente expostos à ação da intempérie e com as chuvas, são susceptíveis de serem lixiviados ao reservatório. No reservatório Passo Real a área correspondente à faixa de 100m de seu entorno apresenta-se ocupada de maneira intensiva por atividades agropecuárias baseadas principalmente no setor primário (trigo, soja e milho) (Figura 2A, 2B, 2C e 2D). Ocorre, também, a presença de ocupação residencial, predominantemente, com fins de lazer.

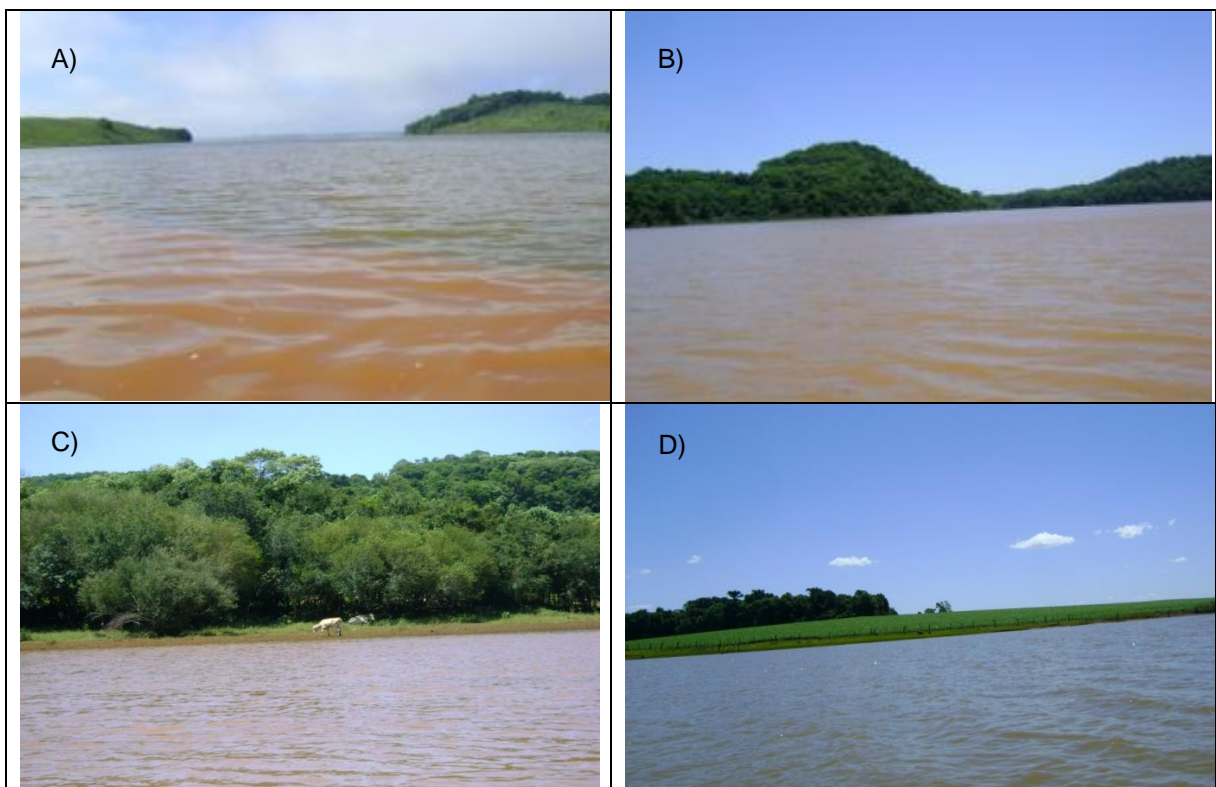


Figura 2 – Fotos de paisagens presentes no entorno do reservatório Passo Real  
Fonte: Trabalho de campo. Barbieri (Jan. 2010).

## 1.2 Organização da dissertação

Este trabalho foi dividido em mais quatro capítulos, descritos a seguir:

- *CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA*: Neste capítulo são abordados sobre Limnologia; técnicas de sensoriamento remoto; imagem empregada no estudo da qualidade da água em sistemas aquáticos; as características dos componentes opticamente ativos na água; precipitação.
- *CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS*: Neste capítulo são descritos os materiais e métodos empregados na execução do trabalho.
- *CAPÍTULO 4 – RESULTADOS*: Apresentação dos resultados obtidos e sua discussão.
- *CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS*: Neste capítulo são apresentadas as conclusões obtidas a partir dos resultados, bem como considerações e recomendações para a continuidade do trabalho.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Ciclo Hidrológico

A característica essencial de qualquer volume de água superficial localizada em rios, lagos, tanques, represas artificiais e águas subterrâneas são a sua instabilidade e mobilidade. As três fases de água (sólida, líquida e gasosa) são parte do ciclo dinâmico da água, a fase mais importante deste ciclo para o homem é justamente a fase líquida, em que ela está disponível para pronta utilização.

O conceito de ciclo hidrológico está ligado ao movimento e à troca de água nos seus diferentes estados físicos. Este movimento permanente deve-se ao Sol, que fornece a energia para elevar a água da superfície terrestre para a atmosfera (evaporação), de acordo com Tucci (2006) a água evaporada se mantém na atmosfera, em média apenas 10 dias. É à gravidade, que faz com que a água condensada se caia (precipitação) e que, uma vez na superfície, circule através de linhas de água que se reúnem em rios até atingir os oceanos (escoamento superficial) ou se infiltre nos solos e nas rochas, através dos seus poros, fissuras e fraturas (escoamento subterrâneo).

Nem toda a água precipitada alcança a superfície terrestre, já que uma parte, na sua queda, pode ser interceptada pela vegetação e volta a evaporar-se. A água que infiltra no solo é sujeita a evaporação direta para a atmosfera e é absorvida pela vegetação, que através da transpiração, a devolve à atmosfera. Este processo chamado evapotranspiração ocorre no topo da zona não saturada, ou seja, na zona onde os espaços entre as partículas de solo contêm tanto ar como água (CARVALHO E SILVA, 2006; TUCCI, 2006).

Os fatores que impulsionam o ciclo hidrológico são a energia térmica solar, a força dos ventos, que transportam vapor d'água para os continentes, a força da gravidade responsável pelos fenômenos da precipitação, da infiltração e deslocamento das massas de água. Os principais componentes do ciclo hidrológico são a evaporação, a precipitação, a transpiração das plantas e a percolação, infiltração e a drenagem (TUNDISI, 2003).

## 2.2 Precipitação Pluviométrica

A precipitação pluviométrica uma das variáveis meteorológicas que mais contribuem para o estudo de bacias hidrográficas, pois representa a principal entrada de água no sistema, sendo, a chuva a principal forma de precipitação. Em escassez ou excesso a precipitação pluviométrica que atinge o solo poderá escoar ou infiltrar, dependendo das características físicas da bacia de captação poderá influenciar diretamente na rede de drenagem aumentando ou diminuindo a vazão dos cursos de água (TUCCI, 1998; RENNÓ, 2004).

Períodos de estiagem ou de chuvas intensas são responsáveis por grandes prejuízos socioeconômicos. O Sul do Brasil, por exemplo, por ter sua economia baseada na agricultura e pecuária, é especialmente afetada por estes fenômenos adversos, havendo, portanto a necessidade de construção de reservatórios. Neste contexto VILLELA e MATOS (1975), destacam que nos estudos referentes á drenagens, construção de reservatórios e barragens entre outros, os dados de precipitação serão muitas vezes necessários para o dimensionamento das obras e conduzirão a resultados mais seguros quanto melhor for sua definição, isso faz com que a precipitação seja considerada como uma das variáveis climáticas de maior influência na qualidade do meio físico-natural, o que reflete, direta ou indiretamente nas atividades humanas (SARTORI, 1993).

Alguns autores classificam a intensidade da precipitação, para Ayoade (1986), a intensidade da precipitação é sua quantidade dividida pela duração, em horas ou minutos, o autor propõe o índice de intensidade média, onde um dia é considerado chuvoso quando tem pelo menos 0,25 mm de precipitação. Neste contexto, Moreira (2002) propõe uma classificação da intensidade da precipitação, que vai de chuvisco até extremamente forte, de acordo com a quantidade em milímetros (Quadro 1).

VALOR EM mm	Classificação
0-1 mm	Chuvisco
1-10 mm	Chuva Fraca
10-20 mm	Chuva Moderada
20-30 mm	Chuva Moderada a Forte
30-40 mm	Chuva Forte
40-50 mm	Chuva Muito Forte

>50 mm	Chuva Extremamente Forte
--------	--------------------------

Quadro 1 - Classificação da intensidade da precipitação conforme o valor em milímetros.  
Fonte: MOREIRA, 2002.

### 2.2.1 Precipitação pluviométrica no Rio Grande do Sul

O regime de chuvas na região Sul é influenciado por alguns fenômenos atmosféricos, entre os mais importantes, cita-se a passagem de sistemas frontais e os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) (MADDOX, 1980), que são responsáveis por grande parte dos totais pluviométricos registrados. Neste contexto, os sistemas frontais são causados pelo encontro de massas de ar com características distintas, é composto classicamente por uma frente fria, uma frente quente e um centro de baixa pressão em superfície, denominado ciclone que gira no sentido horário no Hemisfério Sul. (OLIVEIRA, 1986; CAVALCANTI, 2009).

Os CCM são áreas de instabilidade que se formam no Paraguai e norte da Argentina, deslocando-se para leste e atingindo os estados do sul com elevados índices de precipitação, ventos fortes, granizos (SILVA DIAS, 1996). É importante destacar que estes são fenômenos meteorológicos severos, à medida que provocam grandes quantidades de precipitações em curto período de tempo. Considerando de curta duração a permanência de um CCM, conforme destacado por Velasco e Fritsch (1987), as primeiras células convectivas que ainda precedem à definição do início do CCM podem ocorrer tanto no início da tarde como no início da noite. O fim do CCM ocorre em sua grande maioria por volta do meio-dia seguinte. Pode-se notar que o tempo de vida mais frequente está entre 10 e 20 horas. São definidos como sendo um conjunto de nuvens cumulonimbus (Cb) frias e espessas que apresentam forma circular e crescimento vertical (MADDOX, 1980).

A variabilidade interanual da precipitação no Sul do Brasil é fortemente influenciada pelo Índice de Oscilação Sul (IOS). Vários fatores afetam a variabilidade da precipitação na região, podendo ser responsáveis por excessos ou escassez, entre os quais destacam-se o El Niño que é um fenômeno atmosférico-oceânico caracterizado por um aquecimento anormal das águas superficiais no oceano Pacífico Tropical e a La Niña fenômeno oceânico-atmosférico com características

opostas ao EL Niño, e que caracteriza-se por um esfriamento anormal nas águas superficiais do Oceano Pacífico Tropical (CPTEC, 2009), sendo estes causadores de impactos na circulação atmosférica regional e global. Berlato e Cordeiro (2005) ressaltam que esses fenômenos geram precipitação pluvial superior e inferior à média climatológica.

Para estudar precipitação no Rio Grande do Sul devem ser levados em consideração trabalhos realizados por Nimer (1977); Sartori (1979, 2000, 2003) a qual contribui significativamente através de estudos rítmicos de precipitação, em clima urbano e em percepção climática, dando ênfase à Região Central do Estado.

A precipitação no Rio Grande do Sul conforme Sartori (2003), são essencialmente de origem frontal, porém para a autora são os fatores de natureza dinâmica, responsáveis pela gênese dos estados de tempo, que definem o clima ao longo do ano no Rio Grande do Sul, através do mecanismo sazonal de atuação dos sistemas atmosféricos regionais.

Ainda, segundo a autora acima, os sistemas que controlam a Circulação Secundária Regional são a Massa Polar Atlântica (MPA), Massa Polar Velha (MPV) e Frente Polar Atlântica (FPA), com pequena participação da Massa Tropical Atlântica (MTA), Massa Tropical Atlântica Continentalizada (MTAc), Massa Tropical Continental (MTC), Frente Quente de Nordeste e as Instabilidades Tropicais (ITs).

O controle dos tipos de tempo pelos sistemas de origem polar, segundo a autora, em cerca de 90% dos dias do ano: 39% dos dias sob controle da Massa Polar Atlântica (MPA), 31% sob domínio da Massa Polar Velha (MPV) e 20% dominados pela Frente Polar Atlântica (FPA). A precipitação anual varia de 1250 mm (Planície Litorânea) a 2250 mm (Serra do Nordeste), o que demonstra a influência do relevo na distribuição da pluviometria.

Sartori (1993) analisou as variações pluviométricas e o regime das chuvas na Região Central do RS durante um segmento temporal de 78 anos. A autora utilizou-se de valores que vão desde 60mm a 150mm, para referir-se à meses secos até meses mais chuvosos. Como meses mais chuvosos (maior que 150 mm) destacam-se abril, junho e setembro e como chuvosos (100-150 mm) apresentam-se os demais meses, o que significa falta de sazonalidade na distribuição mensal das chuvas.

A análise de dados, como precipitação, quantificação de temperatura, umidade do ar e radiação solar comprovam subsídios importantes quanto ao uso e ocupação agrícola das terras. Conforme Botelho et al (1999, p. 278-281):

A análise de dados climáticos (variações de temperatura, totais pluviométricos e distribuição de precipitação) revela informações importantes como período de maior potencialidade erosiva das chuvas, riscos de estiagens, geadas, etc, em especial para o uso e ocupação agrícola das terras (...). O uso da cartografia e informações geomorfológicas objetiva representar a fisionomia da paisagem (...). O estudo e mapeamento dos solos como subsídios aos projetos de planejamentos ambientais são essenciais.

A precipitação pode ser um forte elemento natural de degradação, sempre associado à erosão dos solos e conseqüentemente alterando a topografia do local, ou seja, a fisionomia da paisagem seja de uma região, de um estado ou de uma bacia hidrográfica.

### **2.3 Fundamentos de Limnologia**

De acordo com Esteves (1998) a Limnologia é o estudo ecológico de todas as massas de água continentais independentemente de suas origens, dimensões ou concentrações salinas. Em um conceito mais abrangente Tundisi (2008) conceitua Limnologia como o estudo das águas continentais do planeta, incluindo lagos, represas, rios, lagoas, áreas pantanosas, lagos salinos e também estuários. Para o autor os sistemas aquáticos interagem com sua bacia e com os diversos subsistemas e componentes. As características das bacias definem o funcionamento de lagos, rios e represas.

Os ambientes aquáticos se distinguem em três regiões: a) região sob influência dos rios tributários, b) região transicional funcionando como um intermediário entre rio e lago; c) região de caráter mais lacustre, sujeita às ações de abertura de vertedouros e das turbinas. A expansão dessas áreas depende de fatores como fluxo de água, da entrada dos tributários, do tempo de retenção e das características de construção da represa (TUNDISI, 2008).

Para Esteves (1998) o maior avanço da limnologia está para a construção de reservatórios, pois repercute em impactos ambientais espaço-temporais, tais como:



o aumento da taxa de sedimentação na confluência com seus afluentes, a inundação de áreas florestais e agrícolas, causando alterações físicas e químicas no meio aquático e modificações substanciais na fauna e na flora silvestre.

Os reservatórios geralmente recebem maior contribuição de seus tributários, o que promove o desenvolvimento de gradientes químicos e físicos dentro de reservatórios implicando na produtividade biológica e na qualidade da água. Nesse caso, os sedimentos suspensos e outras matérias particuladas são advindos em maior quantidade em eventos de chuva e conseqüente elevação do fluxo dependendo da dimensão longitudinal do reservatório (FORD, 1990; THORNTON, 1990).

Olmanson et al.,(2008) e Pulliainen et al. (2001), destacam que a partir do sensoriamento remoto é possível desenvolver técnicas confiáveis e de baixo custo para medições sinóptica dos principais indicadores de qualidade da água de lagos e reservatórios que podem ser usados pela administração agências para complementar os dados da qualidade da água obtida pela amostragem terrestre. Neste contexto foi priorizadas no decorrer do trabalho as variáveis opticamente ativas, totais de sólidos em suspensão e transparência do disco de Secchi.

## **2.4 Sensoriamento Remoto**

Os dados de sensoriamento remoto têm-se mostrado extremamente benéficos para estudos e levantamentos de recursos naturais, principalmente por sua visão sinótica, que permite ver grandes extensões de área em uma mesma imagem, por sua resolução temporal que permite a coleta de informações em diferentes épocas do ano, e por sua resolução espectral que permite a obtenção de informações sobre um alvo na natureza em distintas regiões do espectro (SAUSEN, et al., 1999).

Imagens de satélite tem um potencial significativo para melhorar o monitoramento e avaliação regional de lagos e reservatórios no que diz respeito a qualidade da água e condições tróficas. Embora os vários sistemas de satélite tem sido utilizados para avaliação da qualidade da água, a combinação de cobertura temporal, resolução espacial, e disponibilidade de dados torna o sistema

particularmente útil para a avaliação (KLOIBER, et al., 2002; OLMANSON et al., 2008).

Desta forma Pulliainen et al. (2001) demonstraram que a estimativa de qualidade da água a partir de dados de sensoriamento remoto para numerosos lagos dentro de uma região poderia ser alcançado por meio de observação do solo através de dados para apenas um representante de alguns lagos da região.

Para Rudorff (2002, p.1) “sensoriamento remoto é um termo utilizado na área das ciências aplicadas que se refere à obtenção de imagens a distância, sobre a superfície terrestre”. Neste contexto, Florenzano (2002, p.9) destaca que “Sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre através da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície”. Assim, considera-se sensoriamento o uso de informações de um referido objeto sem que haja contato direto com o mesmo.

Um sensor a bordo do satélite gera um produto de sensoriamento remoto denominado de imagem, estas imagens são adquiridas através de aparelhos denominados sensores remotos. Estes sensores são equipamentos capazes de coletar energia proveniente do objeto, convertê-la em sinal passível de ser registrado e apresentá-lo em forma adequada a extração de informações. Assim, o sensor é o instrumento que faz a coleta e o registro da radiação eletromagnética refletida ou emitida pelo alvo, ao qual apresenta a imagem de que se abstrair a informação (NOVO, 1989; RUDDORF, 2002).

Os satélites são compostos por bandas ou canais, ao qual cada uma representa uma faixa do espectro eletromagnético captada pelo satélite. Assim, Novo (1989) afirma que o espectro de energia refletida (reflexão da energia solar pelos objetos) divide-se em três sub-regiões: o visível (0,38 a 0,7  $\mu\text{m}$ ), infravermelho próximo (0,7 a 1,3  $\mu\text{m}$ ) e infravermelho médio (1,3 a 6  $\mu\text{m}$ ).

Estas zonas do espectro eletromagnético recebem a designação de bandas ou canais, em cada banda é produzida uma imagem que é estruturada em pixels, constituindo cada área do terreno, os pixels de uma determinada imagem têm sempre a mesma dimensão, instituída por resolução espacial.

De acordo com Novo (1989), a tecnologia de Sensoriamento Remoto é a detecção de alterações sofridas pela radiação eletromagnética quando interage com componentes da superfície terrestre, assim o que se registra é o fluxo radiante,

definido como a taxa de transferência de energia radiante por unidade de tempo que deixa a superfície em direção ao sensor.

Para se entender o fluxo radiante é necessário entender conceitos como radiância e reflectância. Como proposto por Novo (1989) radiância “é o fluxo radiante por unidade de ângulo que deixa uma fonte numa dada direção, por unidade de área perpendicular àquela direção”, ou seja, é a intensidade radiante proveniente de uma fonte extensa, em uma dada direção por unidade de área perpendicular a esta direção. Em termos matemáticos segundo Novo (2001) para se obter a radiância da água é necessário a equação:

$$L_w = L_w' / \cos(\theta) \quad (1)$$

Sendo:  $L_w$  a Radiância da água;  $L_w'$  a Radiância da água medida após a correção;  $\theta$  o ângulo zenital do Sol

Além disso, a distribuição espectral da radiância de uma superfície dependerá da reflectância espectral da superfície, sendo que depende do processo de interação entre energia e a matéria.

O fluxo radiante ao incidir sobre o alvo pode apresentar três formas de interação, absorptância, reflectância e transmitância. A absorptância se refere a razão entre o fluxo de energia absorvido e a energia incidente em uma superfície. A reflectância é dada pela quantidade de energia refletida em razão da energia que incide na superfície. E a transmitância é a razão entre o fluxo transmitido pelo fluxo incidente numa dada superfície (NOVO, 1989, JENSEN, 2009).

As medidas de sensoriamento remoto sobre a superfície são fortemente influenciadas pela atmosfera. Rudorff (2006), aponta que deve-se ter cuidado no estudo de sistemas aquáticos, pois a energia proveniente destes sistemas é relativamente baixa. Desta forma a radiação que atinge o sensor possui componentes originários do espalhamento pela atmosfera, das reflexões especulares da radiação solar direta e difusa, e do fluxo de radiação emergente da água, sendo este o que traz as informações sobre as substâncias em suspensão na coluna d'água. Devido a isso é necessário conhecer as origens dos fluxos de radiação que atingem o sensor. A Figura 3 apresenta os diferentes fluxos de radiação.

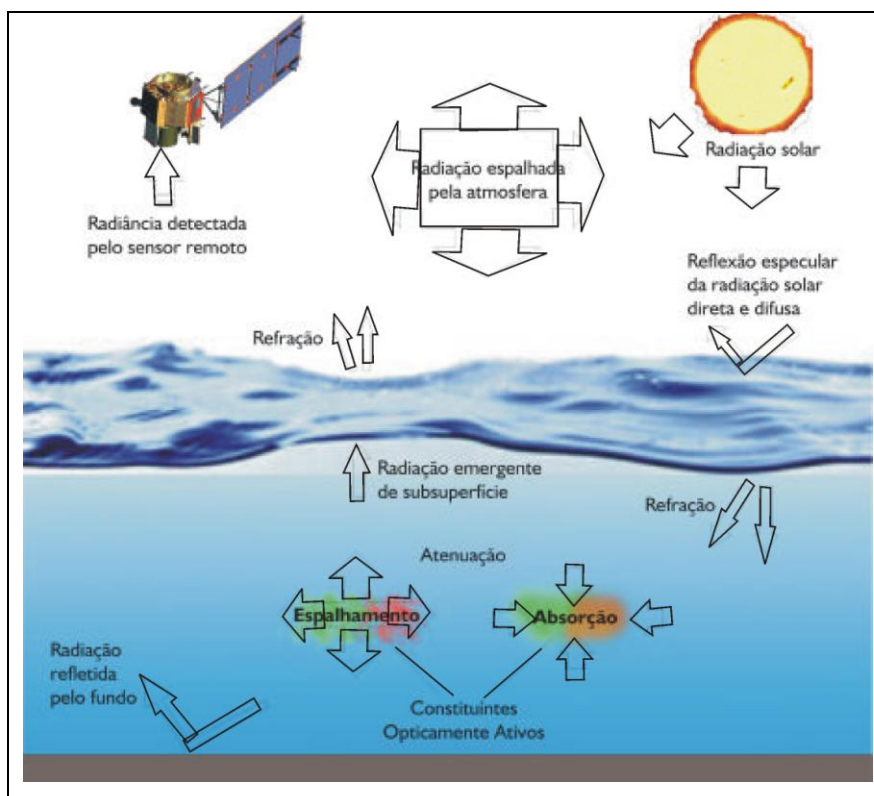


Figura 3: Fluxos de radiação detectados por sensores a partir de sistemas aquáticos  
 Fonte: RUDORFF (2006)

## 2.5 Sistema Óptico - Sensor MODIS

O sensoriamento remoto através de sistemas ópticos que operam na faixa do visível e infravermelho do espectro eletromagnético, representa atualmente uma ferramenta importante para estudos de bacias hidrográficas. Existem várias plataformas em operação que oferecem diferentes opções de resoluções de acordo com as necessidades de cada aplicação (JENSEN, 2009).

A comunidade científica juntamente com a National Aeronautics and Space Administration (NASA/E.U.A), ao ficarem cientes da carência de materiais para que pudessem entender a dinâmica global e assim anteceder as possíveis alterações nos ecossistemas, perceberam a necessidade de obter informações a respeito das dinâmicas dos ecossistemas e interferências humanas nestes ciclos, com uma maior precisão e uma maior repetitividade, bem como distinguir fenômenos regionais de globais. Baseado nesta necessidade foram desenvolvidos novos instrumentos para

a coleta destes dados, um exemplo, o sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*-MODIS (ANDERSON et al., 2003).

O sensor MODIS tem sua origem a partir de outros sensores precursores, sendo o principal deles AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) utilizados para monitoramento do tempo e clima, um outro precursor do MODIS é o CZCS (Coastal Zone Color scanner) com seis bandas espectrais e boa qualidade para captar variações na reflectância das águas oceânicas (RUDORFF, et al. 2007). O MODIS está presente em duas plataformas, TERRA e AQUA pertencentes ao programa *Earth Observing System* (EOS), sendo o principal instrumento destas duas. A plataforma TERRA lançada em dezembro de 1999, tem sua passagem pelo Equador às 10:30h na sua órbita descendente, sua repetitividade é de 16 dias no Equador, no entanto, a plataforma AQUA lançada em maio de 2002, cruza o equador às 13:30 na sua trajetória ascendente (FREITAS e NOVO, 2005). No Quadro 2, é possível verificar as características de cada uma.

Características	TERRA	AQUA
Inclinação	98,2°	98°
Passagem pelo Equador	10:30 h	13:30 h
órbita	Descendente	Ascendente
Período Orbital	98,88 minutos	99 minutos
Peso	5.190 kg	2.958 kg

Quadro 2: Características das plataformas Terra e Aqua  
Fonte: Adaptado de Rudorff, et al. (2007)

De acordo Rudorff, et al. (2007), o sensor MODIS apresenta alta sensibilidade radiométrica (12 bits) em 36 bandas espectrais entre o intervalo de 0,4 a 14,4  $\mu\text{m}$  do espectro eletromagnético. Duas bandas são adquiridas com resolução de 250 x 250 m, 5 bandas com resolução de 500 x 500 m e as 29 bandas restantes com 1x 1 Km de resolução. O fato de o sensor MODIS integrar as duas plataformas destaca a importância deste para estudos da dinâmica global.

As 36 bandas espectrais do MODIS, estão organizadas em função do seu comprimento de onda, observando que as bandas 1 a 7 estão direcionadas para as aplicações terrestres, as bandas entre 8 e 16 para observações oceânicas e as bandas 17 a 19 para medições atmosféricas por último, as bandas de 20 a 36

podem ser utilizadas por diferentes áreas de estudo. (RUDORFF, et al., 2007). O Quadro 3 apresenta as especificações de uso e propriedades de cada banda.

USO PRIMÁRIO	BANDA	LARGURA DE BANDA ( $\mu\text{m}$ )	RESOLUÇÃO ESPACIAL (m)
Superfície Terrestre/ Nuvem	1	0,620-0,670	250
	2	0,841-0,875	
Propriedades da Superfície/ Nuvem	3	0,459-0,479	500
	4	0,545-0,565	
	5	1,230-1,250	
	6	1,628-1,652	
	7	2,105-2,155	
Cor dos Oceanos/ Fitoplâncton/ Bioquímica	8	0,405-0,420	1000
	9	0,438-0,448	
	10	0,483-0,493	
	11	0,526-0,536	
	12	0,546-0,556	
	13	0,662-0,672	
	14	0,673-0,683	
	15	0,743-0,753	
Vapor d'água Atmosférico	16	0,862-0,877	1000
	17	0,890-0,920	
	18	0,931-0,941	
Temperatura nuvens/superfície	19	0,915-0,965	1000
	* 20	3,660-3,840	
	* 21	3,929-3,989	
	* 22	3,929-3,989	
Temperatura Atmosférica	* 23	4,020-4,080	1000
	* 24	4,433-4,498	
Cirrus	* 25	4,482-4,549	1000
	26	1,360-1,390	
	* 27	6,535-6,895	
Vapor d' água	* 28	7,175-7,475	1000
	* 29	8,400-8,700	
Ozônio	* 30	9,580-9,880	1000
Temperatura nuvens/superfície	* 31	10,780-11,280	1000
	* 32	11,770-12,270	

Altitude Topo da nuvem	* 33	13,185-13,485	1000
	* 34	13,485-13,785	
	* 35	13,785-14,085	
	* 36	14,085-14,385	

Quadro 3 - Características e aplicações de cada banda do sensor MODIS

Fonte: Anderson et al. (2003)

\* Bandas que cobrem a porção termal do espectro

Novo et al. (2007), destaca que a primeira grande vantagem dos dados do MODIS para aplicações ligadas aos estudos dos sistemas aquáticos é que a largura da faixa de recobrimento permite a aquisição de grandes extensões de rios e lagos, quando comparados a outros sensores de pequena área de recobrimento como o TM do Landsat 5, onde são necessárias várias cenas para recobrir uma região. Para a autora a outra grande vantagem está ligada à resolução radiométrica, a qual permite registrar variações de sinal de 4.096 níveis, ou seja, 12 bits. Essa diferença de níveis permite demonstrar a riqueza de informações presentes na cor da água das imagens MODIS.

### 2.5.1 Produto MOD09

O produto MOD09 é uma estimativa da reflectância na superfície, utilizado para estudo em sistemas aquáticos continentais, sendo seus dados computados a partir das bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 com os comprimentos de onda de 0,648  $\mu\text{m}$ , 0,858  $\mu\text{m}$ , 0,470  $\mu\text{m}$ , 0,555  $\mu\text{m}$ , 1,240  $\mu\text{m}$ , 1,640  $\mu\text{m}$ , e 2,130  $\mu\text{m}$ , respectivamente (NOVO, et al., 2007). No Quadro 4 são apresentadas as características referentes até a banda 4 utilizadas para estudos aquáticos.

Banda	Largura de banda ( $\mu\text{m}$ )	Aplicação em sistemas aquáticos continentais do produto MOD09
1	0,620-0,670	Sensível a variações na concentração de partículas inorgânicas em suspensão
2	0,841-0,876	Permite delimitar a superfície da água livre dos lagos e

		auxilia mapear o limite entre água e vegetação
3	0,459-0,479	Sensível á presença de matéria orgânica dissolvida na água
4	0,545-0,565	Sensível ao espalhamento pelas células fitoplanctônicas

Quadro 4 – Aplicação das principais bandas do produtos MOD09, para estudos em sistemas aquáticos continentais  
 Fonte: Novo, et.al (2007)

O instrumento MOD09, é utilizado com dados de entrada para outros produtos do MODIS, tais como MODIS (MOD04: aerossóis, MOD05: vapor d'água, MOD07: ozônio, MOD35: máscara de nuvens) e outros dados auxiliares (Modelo Digital de Elevação, pressão atmosférica) (RUDORFF, et al., 2007).

Novo et al. (2007) destaca dois tipos de informações que podem ser extraídas do produto MOD09, sejam elas as informações espaciais sobre corpos d'água, tais como tamanho, forma, variação ao longo do tempo decorrentes de problemas climáticos, antropogênicos e informação espectral e radiométrica sobre a superfície e coluna d'água, sendo relevante a cor e o brilho da água. Para a autora a cor e o brilho estão relacionados aos constituintes opticamente ativos na água.

O produto de reflectância da superfície (MOD09) utiliza um algoritmo de correção atmosférica, o qual remove os efeitos de espalhamento e absorção de gases e aerossóis, os efeitos da geometria de visada e de iluminação (Bidirectional Reflectance Distribution Function - BRDF) e problemas com nuvens esparsas (VERMOTE e VERMEULEN, 1999).

## 2.6 Sensoriamento Remoto da água

A água representa uma mistura complexa de diversos materiais dissolvidos ou particulados. Esses materiais possuem propriedades ópticas diversas, ou seja, interagem com a luz de maneira diferente, em função de sua concentração e natureza. A presença desses componentes na coluna d'água é responsável por modificações em sua cor, pois eles absorvem ou espalham seletivamente a luz incidente (ALCÂNTARA, 2006).



### 2.6.1 Resposta espectral da água pura

DEKKER, 1993; NOVO, 2001; BARBOSA, 2007; ALCÂNTARA, 2006, afirmam que a assinatura espectral da água é estabelecida pelos processos de absorção e espalhamento nos comprimentos de onda mais curtos. O coeficiente de absorção da água pura é mínimo na região compreendida entre 400 e 600 nm, aumentando rapidamente na região do infravermelho. O coeficiente de espalhamento da água pura, ao contrário, é máximo na região do azul, e decresce exponencialmente em direção ao infravermelho ilustrado na Figura 4. Entretanto, absorção da luz no meio aquático se deve a quatro componentes do sistema que passam a ser determinantes na reflectância de corpos d'água: substância orgânica dissolvida, biota fotossintetizadora, partículas orgânicas e inorgânicas em suspensão, e a própria água.

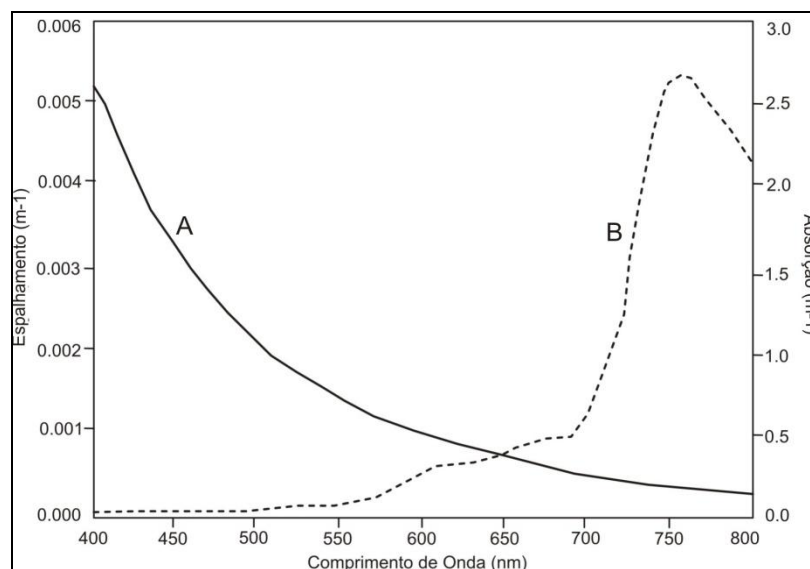


Figura 4– Curva de espalhamento (A) e absorção (B) da água pura.  
Fonte: Dekker (1993).

A água possui comportamento espectral distinto de acordo com as formas como se apresenta. A água líquida apresenta reflectância (menor que 10%) em

comprimentos de onda na faixa do visível (entre 0,38 - 0,70 $\mu$ m), sendo que nas demais regiões do espectro óptico há absorção da radiação incidente.

### 2.6.2 Transparência da água

A transparência da água tem grande importância para o sensoriamento remoto, pois esta se encontra diretamente relacionada aos componentes presentes na água e que vão conferir a cor resultante. Alguns dos elementos que são atuantes na definição da cor da água são os organismos fitoplanctônicos, o material particulado em suspensão e a matéria orgânica dissolvida (CORAZZA, 2010).

De acordo com Esteves (1998) do ponto de vista ótico, a transparência da água pode ser considerada o oposto da turbidez. A turbidez pode ser expressa em termos de coeficiente de dispersão ou alguma unidade empírica, como a turbidez nefelométrica ou NTU ("*Nephelometric Turbidity Units*"). De acordo com a CETESB (1987) a turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la (e esta redução se dá por absorção e espalhamento). A atenuação ocorre devido à presença de sólidos em suspensão, tais como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e de detritos orgânicos (algas, bactérias, e em menor proporção os compostos dissolvidos).

A avaliação da transparência é realizada com um disco branco de 20 a 30 cm de diâmetro, denominado disco de Secchi. A medida é obtida ao mergulhar o disco branco no lado de sombra do barco, através de uma corda marcada. A profundidade de desaparecimento do disco é inversamente proporcional à quantidade de compostos orgânicos e inorgânicos no caminho óptico. Em suma, a profundidade de desaparecimento do disco de Secchi corresponde àquela profundidade na qual a radiação de 400-740 nm (faixa visível), refletida do disco não é mais sensível ao olho humano. A profundidade obtida (em metros) é denominada transparência do disco de Secchi (em inglês muito usada *Secchi depth = Zsd*) ou profundidade do disco de Secchi (ESTEVES, 1998).

Neste sentido Poole e Atkins (1929, *apud* ESTEVES, 1998) afirmam que embora a profundidade do disco de Secchi não forneça dados sobre a qualidade e principalmente sobre a quantidade de radiação, pode-se utilizar a profundidade do

disco de Secchi para efeito do cálculo indireto do coeficiente vertical de atenuação. A profundidade do disco é aproximadamente o inverso do coeficiente de atenuação vertical (k), sendo que k pode ser calculado pela Equação:

$$K = \frac{1,7}{Z ds} \quad (2)$$

Onde: 1,7 é a constante calculada e  $Zds$  é a profundidade do disco de Secchi.

A profundidade do disco de Secchi pode, na ausência de equipamentos adequados, ser utilizada na avaliação da extensão da zona eufótica. Para tanto, multiplica-se o valor da profundidade do disco de Secchi pelo fator 2,7. O valor obtido é admitido como correspondente a 1% da radiação da superfície (ESTEVES, 1998).

### 2.6.3 Resposta espectral da água de acordo com seus constituintes opticamente ativos

Kirk (1994); Binding *et. al.* (2007) afirmam que a radiação visível de um corpo natural de água é determinada pelas propriedades ópticas inerentes a partir dos constituintes opticamente ativos (COAs) que se encontram dentro d'água. No entanto em alguns casos a influência de COA principalmente sedimentos suspensos e dissolvidos, fitoplâncton e matéria orgânica auxiliam na identificação e compreensão de formas e feições em espectros de reflectância (DIAS *et. al.*, 2005; RUDORFF, 2006; BINDING *et. al.*, 2007).

Esteves (1998) descreve que a radiação absorvida pela água é máxima em maiores comprimentos de onda como o vermelho e infravermelho, decrescendo em direção a região do azul e aumentando novamente no infravermelho. Esse coeficiente é influenciado, tanto pelas próprias moléculas de água como pelas substâncias húmicas dissolvidas: baixa absorção na faixa do vermelho e aumento desta com a diminuição do comprimento de onda (Figura 2).

Considerando que a água clara e a matéria orgânica dissolvida possuem baixa reflectância, por outro lado, os sedimentos em suspensão e fitoplâncton provocam o aumento da reflectância na água, sendo estes os resultados das

atividades do metabolismo aquático, que apresentam relação com as atividades desenvolvidas no ambiente terrestre (RUDORFF, 2006; WACHHOLZ, 2007).

Cada objeto na superfície terrestre apresenta uma curva espectral indicando reflectância espectral em diferentes bandas dos sensores remotos, seja ele no visível ou no infravermelho, assim “quanto maior for o pico de reflectância no gráfico, mais clara será a cor do objeto (alvo) caracterizado na imagem, quanto menor for o pico de reflectância no gráfico, mais escura será a cor do objeto (alvo) caracterizado na imagem.” (SAUSEN, et al., p.7, 1999).

Na figura 5 é possível visualizar duas fortes feições de absorção no azul e no vermelho devido aos pigmentos fotossintéticos (KIRK, 1994). Uma diferença encontrada nos espectros dessas águas foi da reflectância média ser um pouco maior e o pico de reflectância em 559 nm ser mais bem definido. Estas características de acordo com Kirk, (1994) e Binding et. al., (2007) são indícios de que tais águas possuem maior quantidade de fitoplâncton distribuído na coluna d’água durante a vazante, embora ainda em baixa concentração.

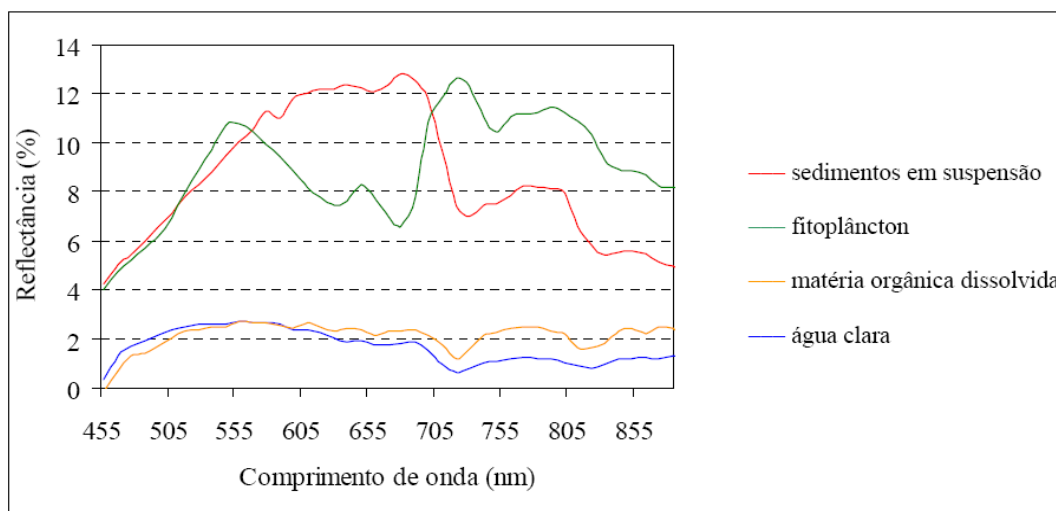


Figura 5 - Comportamento espectral da água clara e da água com os diferentes constituintes opticamente ativos  
Fonte: Rudorff (2006).

Neste contexto, entender a relação da reflectância espectral da água com os fenômenos/características de uma bacia hidrográfica facilita ao pesquisador estimar

a distribuição e a concentração de sólidos em suspensão sobre águas, sejam elas continentais, reservatórios, lagos ou em rios.

Em águas continentais, componentes orgânicos e inorgânicos conferem a cor apresentada pela água, sendo algumas passíveis de detecção por técnicas de sensoriamento remoto. Dentre estas substâncias e/ou partículas se destacam os pigmentos fotossintéticos como a Clorofila *a*, presente nos organismos fitoplanctônicos aquáticos, as partículas inorgânicas suspensas provenientes principalmente das bacias de captação do sistema aquático e o carbono orgânico dissolvido resultante da decomposição do material orgânico. Todos estes elementos imprimem características únicas nos dados de sensoriamento remoto, o que permite a identificação dos componentes e consequente monitoramento do ambiente aquático (CORAZZA, 2010).

#### 2.6.4 Totais de sólidos em suspensão

Os Totais de Sólidos em Suspensão (TSS) ou Material Particulado em Suspensão constituem-se de materiais orgânicos e inorgânicos, sendo os sedimentos orgânicos os maiores responsáveis pela cor da água. A alteração da cor da água deve-se a forte absorção da radiação eletromagnética nos menores comprimentos de onda da faixa do visível, principalmente na região do azul. Com várias bandas de absorção sobrepondo-se, estes compostos apresentam uma curva de absorção semelhante a matéria orgânica dissolvida, com valores altos no ultravioleta e azul, decrescendo até o verde e valores muito baixos no vermelho (MANTOVANI e NOVO, 1996; NOVO, 2001).

De acordo com Mobley (1994) as partículas orgânicas em suspensão possuem importância óptica se originam do crescimento, reprodução de bactérias e fitoplâncton e zooplâncton. No entanto o material inorgânico em suspensão está associado a minerais provenientes de intemperismo e erosão que são carregados por ação do vento e da chuva (Mantovani, 1993; Nobrega, 2002).

A análise de sólidos suspensos na água também foi estudada por Goodin et. al. (1993) utilizando análise derivativa em dados de alta resolução espectral. Na Figura 6 é apresentada a variação das curvas de reflectância de um corpo d'água

em função do acréscimo da concentração de material em suspensão. A forma das curvas permanece semelhante em toda a faixa (400-900nm), no entanto, a amplitude entre a reflectância máxima e a feição de absorção aumenta.

Ocorre um deslocamento do máximo de reflectância em direção aos maiores comprimentos de onda e maior distanciamento entre as curvas na faixa entre 550-700nm. Pode-se notar as seguintes feições nesta resposta espectral: um crescimento rápido da reflectância entre 400 e 550 nm, seguida por uma alta reflectância na faixa entre 550 e 650 nm, estas feições estão associadas ao espalhamento devido ao material particulado presente no sedimento e à baixa absorção da Radiação Eletromagnética (REM) pela água nesta região, um decréscimo rápido entre 650 e 700 nm, devido ao forte aumento de absorção da água nesta região; um pequeno pico de reflectância entre 780 e 800 nm; faixa correspondente a uma região de absorção mínima da água pura (BARBOSA, 2005; JENSEN, 2009).

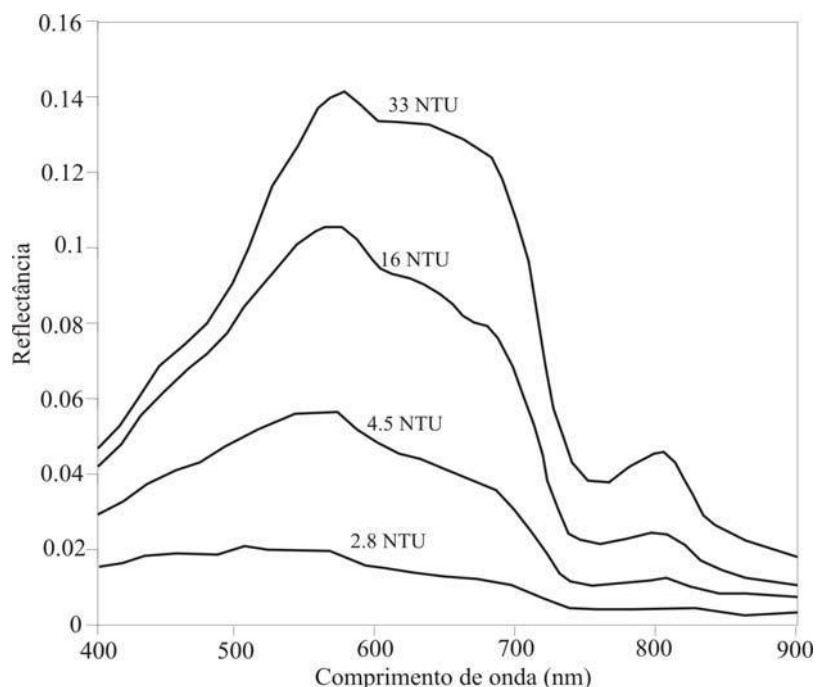


Figura 6 – Curvas espectrais com diferentes concentrações de sedimentos em suspensão medidos em Unidade de Turbidez Nefelométrica (NTU).  
Fonte: Adaptado de Goodin et. al., 1993.

A alteração da cor da água deve-se a forte absorção da radiação eletromagnética nos menores comprimentos de onda da faixa do visível, principalmente na região do azul. Com várias bandas de absorção sobrepondo-se, estes compostos apresentam uma curva de absorção semelhante a matéria orgânica dissolvida, com valores altos no ultravioleta e azul, decrescendo até o verde e valores muito baixos no vermelho (MANTOVANI e NOVO, 1996; NOVO, 2001).

Uma concentração típica de sedimentos inorgânicos não favorece o espectro de absorção da luz que depende das propriedades químicas do material, porém ocorre intensamente o espalhamento da radiação. Com o aumento da concentração de material inorgânico, a forma da curva do pico principal de reflectância tende a se apresentar mais íngreme devido ao aumento da sua altura (KIRK, 1994).

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

A identificação da relação da precipitação nas alterações dos valores de reflectância foi alcançada por meio das etapas metodológicas principais: busca de referencial teórico, coleta de dados, processamento e interpretação de dados e posterior correlação dos resultados obtidos conforme detalhado no fluxograma da Figura 7.



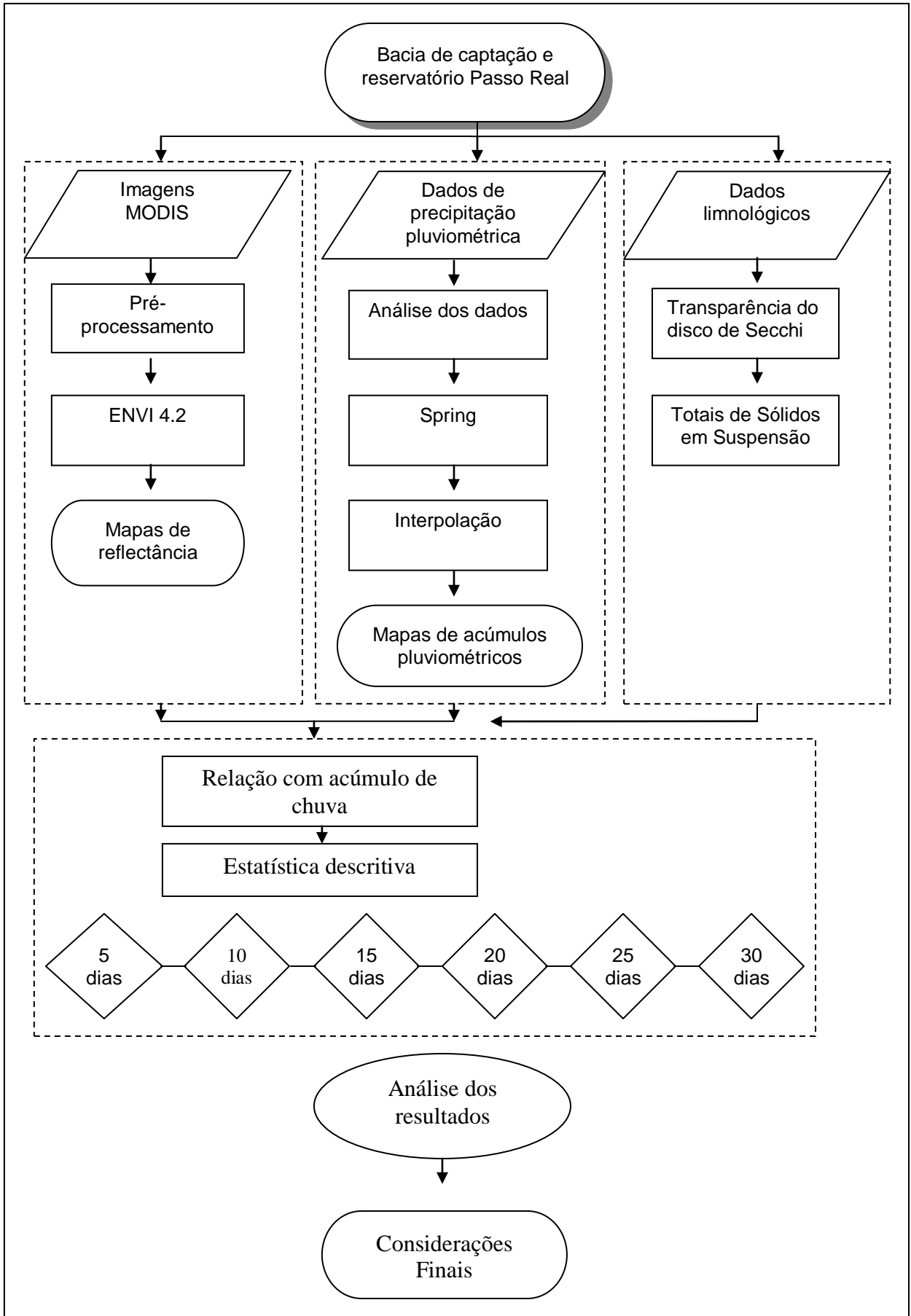


Figura 7: Fluxograma de desenvolvimento da pesquisa

### 3.1 Banco de dados geográficos

O banco de dados geográficos foi elaborado no *software* Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING) versão 4.3.3, com informações referentes a documentos cartográficos analógicos e georreferenciados. A base cartográfica utilizada para inserir informações como rede viária e cidades é oriunda de carta topográficas na escala de 1:250.000, dos municípios de Passo Fundo, Cruz Alta e Santa Maria disponibilizadas pela Diretoria de Serviço Geográfico – Ministério do Exército.

Os limites das bacia, rede de drenagem e declividade foram extraídas a partir de dados do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). A grade SRTM utilizada é oriunda de um banco de dados geomorfométricos para o território nacional denominado TOPODATA. E a partir do refinamento das informações originais do SRTM, foi gerado um Modelo Digital de Elevação (MDE) com melhor resolução espacial, convertendo de 3 arco-segundos (~90m) para 1 arco-segundo (~30m) preservando as características geométricas de detalhes do MDE (VALERIANO *et. al.*, 2011).

### 3.2 Definição do período de análise

Definiu-se para coleta de dados o período entre janeiro a dezembro de 2009 a fim de compor um ano hidrológico, buscou-se dentro das possibilidades climáticas e de disponibilização de imagens realizar uma frequência mensal de análise. No entanto, o mês de fevereiro que devido à presença de nuvens nas imagens não pode ser analisado. Foram utilizados dados do projeto Universal n.484712/2007-1. Foram selecionadas imagens do sensor MODIS em datas que ocorreram trabalhos de campo, no entanto encontraram-se problemas relacionados à cobertura de nuvens em algumas datas. Por esta razão buscou-se datas mais próximas a fim de justificar as respostas dos valores de alteração da reflectância em função da precipitação. Na Tabela 1 estão apresentadas as datas das imagens utilizadas com respectivas datas de coleta de dados limnológicos.

Tabela 1 – Dados utilizados de acordo com o período de análise

Mês	Data das imagens selecionadas	Data dos campo
<b>Janeiro</b>	22-01-2009	**
<b>Março</b>	18-03-2009	13 e 14 -3-2009
<b>Abril</b>	17-04-2009	17-4-2009
<b>Maiο</b>	21-05-2009	**
<b>Junho</b>	13-06-2009	4-6-2009
<b>Julho</b>	04-07-2009	13-7-2009
<b>Agosto</b>	13-08-2009	13-8-2009
<b>Setembro</b>	21-09-2009	**
<b>Outubro</b>	28-10-2009	21-10-2009
<b>Novembro</b>	29-11-2009	**
<b>Dezembro</b>	26-12-2009	

\*\* : As condições de tempo não possibilitaram a realização de trabalhos de campo

### 3.3 Definição das estações amostrais e setores de análise

Para averiguar a reflectância da água no reservatório foram definidos setores que representassem cada área de captação, ou seja, Ingaí, Jacuí-Mirim, Jacuí, Médio Curso e Dique (Figura 8), os pontos utilizados para cada setor foram originalmente determinados para a coleta de dados limnológicos onde foram escolhidos 31 pontos amostrais que contemplassem as diferenças espectrais encontradas no corpo d'água (Tabela 2).

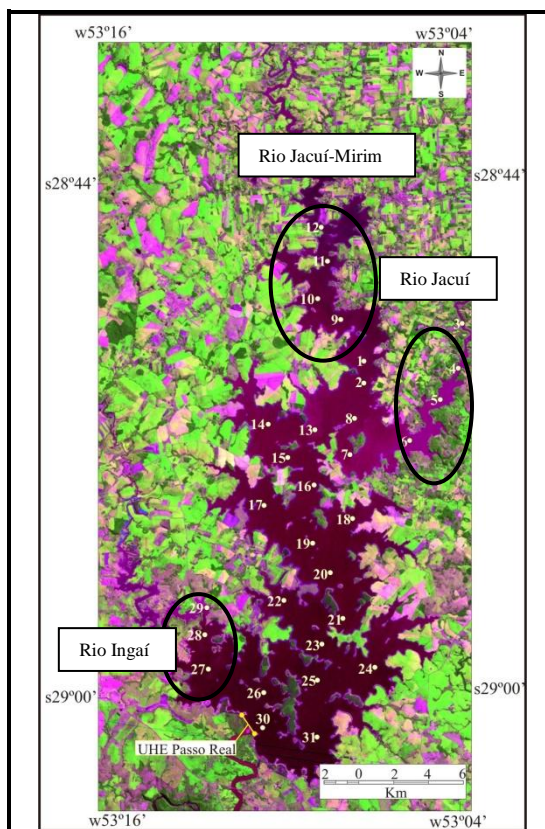


Figura 8: Representação dos pontos amostrais no reservatório Passo Real e pontos utilizados em cada setor do reservatório

Tabela 2: Setores com pontos amostrais utilizados

Setores	Pontos Utilizados
Rio Jacuí- Mirim	9, 10, 11, 12
Rio Jacuí	4, 5, 6
Rio Ingaí	27, 28, 29

### 3.4 Imagens MODIS

#### 3.4.1 Características Gerais e aquisição das Imagens

Os produtos utilizados para este trabalho, denominados MOD09 – Surface Reflectance são provenientes do catálogo de imagens da NASA. Os Produtos MOD09 estão disponíveis no *website* da EOS (Earth Observing System Data).

Possuem dados de reflectância de superfície diários, MOD09GA (bandas de 1 até 7 com 500m centradas em 648 nm, 858 nm, 470 nm, 555 nm, 1240 nm, 1640 nm, e 2130 nm, respectivamente) e MOD09GQ Bandas 1(648 nm) e 2(858 nm) com 250m. Estão organizadas em Tiles (quadrantes de 1200 x 1200km) (Vermote, et al., 1999), sendo estas identificadas pelo "tile" h13v11. Este produto estima a reflectância espectral de superfície para cada banda com correção atmosférica e função BRDF(Bi-directional Reflectance Distribution Function) (VERMOTE, et al., 1999).

Conforme Correia (2005) as imagens MOD09 passam por um processo de correção atmosférica, é esperado que os dados obtidos para distintas datas sejam altamente correlacionados. Desta forma, é possível obter análises quantitativas multitemporais, sem a necessidade de retificação radiométricas entre as imagens.

### 3.4.2 Registro e Reamostragem das Imagens

As imagens foram registradas e re-amostradas no *software* MRT (MODIS Reprojection Tool), capaz de georreferenciar, mosaicar, reamostrar e recortar as imagens (MRT MANUAL, 2001).

Os dados MOD09, originalmente na projeção integerized sinusoidal e no formato .hdf\*, foram convertidos para a projeção UTM e formato \*.GeoTiff. Foram registradas as Bandas 1 e 2 do produto MOD09GQ com 250m de resolução espacial, foi necessária a reamostragem da banda azul e verde (banda 3 e 4) oriunda do produto MOD09GA da resolução de 500 para 250 m. As bandas foram re-amostradas utilizando o interpolador vizinho mais próximo para conservar o valor radiométrico do pixel.

Todas as bandas foram georreferenciadas para projeção Lat/Long, e o modelo da terra adotado foi o WGS84. A projeção Lat/Long necessita que forneça a resolução espacial do pixel em graus. Efetuando a conversão, tem-se que 250 m equivale aproximadamente a  $0,0022496^\circ$  (FREITAS et al. 2005).

### 3.4.3 Dados de reflectância

Foram escolhidas 11 cenas para que representasse um ano hidrológico conforme especificado na Tabela 1. Obteve-se espectros de reflectância dos 31 pontos amostrais, nas quatro bandas processadas 1, 2, 3, 4 com centro de bandas nos comprimentos de onda de 0,648; 0,858; 0,470; 0,555;  $\mu\text{m}$  respectivamente, utilizando o programa ENVI versão 4.5. Esses dados serviram de suporte a análise, no intuito de identificar a participação dos sólidos em suspensão sobre os espectros.

### 3.4.4 Mapas de reflectância

A partir dos valores de reflectância obtidas nas imagens do sensor Modis elaborou-se mapas temáticos que permitiram identificar a variação espaço-temporal. Para este procedimento utilizou-se o Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (Spring) versão 4.3.3. Foram criados modelos de dados MNT (Modelo Numérico do Terreno) com os respectivos meses e datas das imagens, sendo que os valores de reflectância passaram a constituir a variável  $z$ , e as variáveis  $x$  e  $y$  a latitude e longitude respectivamente, da amostra.

Na sequência, para cada mês foi gerada uma grade regular das amostras. Utilizou-se como interpolador a média ponderada, no qual o valor de cota de cada ponto da grade é calculado a partir da média ponderada das cotas dos 8 vizinhos mais próximos a este ponto. Porém atribuiu-se pesos variados para cada ponto amostrado a partir de uma função que considera a distância do ponto cotado ao ponto da grade (INPE, 2011).

Definiram-se as classes dos valores de reflectância de acordo com o valor mínimo e máximo encontrado no corpo de água da banda selecionada em todas as datas utilizadas (0,0 e 4,0 respectivamente) totalizando 20 classes. Após a espacialização dos pontos em superfície aplicou-se a máscara correspondente ao limite do reservatório.

### 3.5 Dados de precipitação pluviométrica

Os dados utilizados para a realização da pesquisa foram provenientes das estações pluviométricas administradas pela Defesa Civil do Rio Grande do Sul no ano de 2009.

Os dados foram coletados através do pluviômetro tipo cunha com capacidade de 130 mm com área de captação de 15 cm<sup>2</sup>, divisão de 2,5 mm e material de Poliestireno Cristal. Este equipamento pode apresentar uma margem de erro de até 10% em comparação aos pluviômetros digitais ou mais sofisticados (DEFESA CIVIL, 2010).

Os dados de precipitação pluviométrica (PP) foram obtidos em 31 municípios localizados na bacia hidrográfica do Passo Real e a sua limítrofe. Os dados foram tabulados e organizados tendo as coordenadas geográficas para plotagem da sede municipal (Figura 9).

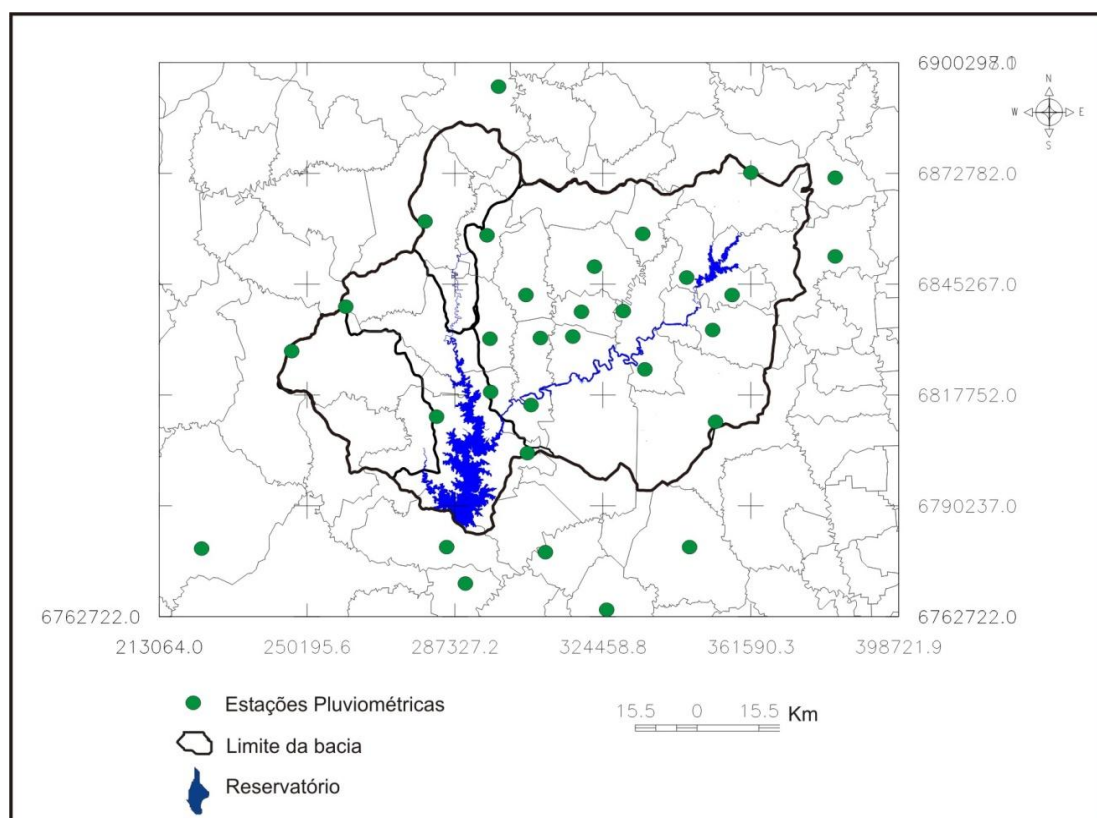


Figura 9 - Localização dos pontos de coleta dos dados de precipitação

De acordo com Tucci (1993), o objetivo de um posto de medição de chuvas é de obter uma série ininterrupta de dados de precipitações ao longo dos anos. No entanto em alguns casos pode ocorrer à existência de períodos sem informações ou de períodos com falhas nas observações dos dados, devido a problemas com o aparelho de medição ou com operador do posto.

Os dados coletados foram submetidos à análise antes de serem utilizados pela possibilidade de haver problemas tais como: a) preenchimento do valor errado; b) soma errada do número; c) valor estimado pelo observador por não se encontrar no local no dia da observação; d) crescimento de vegetação próxima ao posto; e) danificação do aparelho podem ocorrer nas séries históricas (TUCCI, 1993).

A primeira etapa na análise dos dados de precipitação consistiu na identificação dos erros e após foram preenchidas as falhas utilizando o método de ponderação regional.

Este método é considerado para preenchimento mensal. Para um posto que apresente falhas, as mesmas foram preenchidas com base na seguinte equação Tucci (1993):

$$Y = \frac{1}{3} * \left[ \frac{X1}{Xm1} + \frac{X2}{Xm2} + \frac{X3}{Xm3} \right] * Ym \quad (3)$$

Onde:

Y: é a precipitação do posto Y a ser estimada;

x1, x2, x3 = as precipitações correspondentes ao período que se pretende preencher, observadas em três estações vizinhas;

ym = precipitação média do posto Y

xm1, xm2, xm3 = as precipitações médias das três circunvizinhas.

De acordo com Tucci (1993) os postos de observação escolhidos devem estar em uma região climatológica semelhante ao posto a ser preenchido.



### 3.5.1 Precipitação média na área de captação do reservatório Passo Real

Para que fosse feita a análise e a relação com a reflectância calculou-se o total de precipitação pluviométrica média na bacia de captação do reservatório, utilizando os 31 postos de coleta, acumulando valores de 5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias anteriores a passagem do satélite.

De acordo com Tucci (1993) para calcular a precipitação média numa superfície qualquer, é necessário utilizar as observações dentro dessa superfície e nas suas vizinhanças. Aceita-se a precipitação média associada a um período de tempo como uma hora, dia, mês, ano. Existem métodos para determinar a precipitação média numa área, no entanto utilizou-se o método da média aritmética onde se admite que todos os pluviômetros têm o mesmo peso. A precipitação média é então calculada como a média aritmética dos valores medidos:

$$P_m = \frac{1}{n} * P_i \quad (4)$$

Onde:

P<sub>m</sub>: a precipitação média na área em mm

P<sub>i</sub>: precipitação média no inésimo pluviômetro

n: número total de pluviômetros

Este método de acordo com Tucci, (1993) ignora as variações geográficas da precipitação, portanto são aplicáveis apenas em regiões climatológicas semelhantes, áreas planas com variação gradual e suave do gradiente pluviométrico e com cobertura de postos de medição bastante densa. No entanto, a precipitação no Rio Grande do Sul conforme Sartori (2003) apresenta uma distribuição relativamente equilibrada das chuvas ao longo de todo o ano, porém para a autora são os fatores de natureza dinâmica os responsáveis pela gênese dos estados de tempo, que definem o clima no Rio Grande do Sul a partir do mecanismo sazonal de atuação dos sistemas atmosféricos regionais.

### 3.5.2 Mapas de precipitação pluviométrica

Para este procedimento utilizou-se SPRING versão 4.3.3. Com os dados das tabelas correspondentes a latitude, longitude e o valor da variável precipitação (x, y e z, respectivamente) fez-se a interpolação através do MNT desses valores por meio da média ponderada que possibilitaram a espacialização da variável. Na espacialização definiu-se a escala de valores de acordo com o mínimo e máximo de todos os meses de modo que todos os períodos tivessem a mesma escala de representação com a finalidade de facilitar a interpretação. Após a espacialização dos pontos em superfície aplicou-se a máscara correspondente ao limite da bacia de captação, criando-se um mapa de isoietas. Após foi gerado uma estatística das médias de cada acumulo pluviométrico em cada sub bacia afim de relacionar com os dados de reflectância.

### 3. 6 Classes de visualização

Para representação da precipitação e dos valores de reflectância foi utilizada a variável visual cor, dada por meio de um degradé de cores (Quadro 5).

Precipitação (mm)	Reflectância	DS (cm)	TSS (mg/L)	R	G	B
20) >400	1) 0.0 – 0.2	245 <	0 -2	0	0	165
19) 300 – 400	2) 0.2 – 0.4	230-245	2-3	0	0	220
18) 250 – 300	3) 0.4 – 0.6	215 -230	3-4	0	75	255
17) 200 – 250	4) 0.6 – 0.8	200 - 215	4-5	0	100	255
16) 190 – 200	5) 0.8 - 1.0	185 – 200	5-6	0	140	255
15) 180 – 190	6) 1.0 – 1.2	170- 185	6-7	0	180	255
14) 170 – 180	7) 1.2 – 1.4	155 – 170	7-8	0	240	255
13) 160 – 170	8) 1.4 – 1.6	140 - 155	8-9	90	255	165
12) 150 – 160	9) 1.6 – 1.8	125- 140	9-10	150	255	105
11) 140 -150	10) 1.8 – 2.0	110-125	10-11	180	255	75
10) 130 – 140	11) 2.0 – 2.2	100 -110	11-12	220	255	35
9) 120 – 130	12) 2.2 – 2.4	90- 100	12-13	255	255	0

8) 110 – 120	13) 2.4 – 2.6	80 -90	13-14	255	205	0
7) 100 – 110	14) 2.6 – 2.8	70 -80	14-15	255	150	0
6) 90 – 100	15) 2.8 – 3.0	60 -70	15-16	255	100	0
5) 80 – 90	16) 3.0 -3.2	50 - 60	16-17	255	75	0
4) 70 – 80	17) 3.2 -3.4	40 -50	17-18	255	15	0
3) 60 – 70	18) 3.4 – 3.6	30 - 40	18-19	215	0	0
2) 50 – 60	19) 3.6 – 3.8	20 - 30	19-20	165	0	0
1) 0 – 50	20) >3.8	10- 20	> 20	140	0	0

Quadro 5: Representação Visual dos mapas de precipitação, reflectância, TSS e DS

### 3.7 Trabalho de campo

#### 3.7.1 Variáveis Limnológicas

Os trabalhos de campo consistiram basicamente em coletas de dados limnológicos, espectrais e das características do entorno de cada ponto amostral. Para a localização em campo e o georreferenciamento dos pontos amostrais utilizou-se o aparelho do sistema de posicionamento global - GPS Garmin Etrex. Em cada ponto amostral do reservatório realizou-se a coleta de água de sub-superfície, na profundidade aproximada de 30 cm, com a utilização de um recipiente devidamente numerado com um litro de capacidade. Em alguns pontos pré-estabelecidos no reservatório também coletou-se água em três profundidades: em sub-superfície, na profundidade do disco de Secchi (transparência da água) e no limite da zona eufótica, definida como a profundidade do disco de Secchi multiplicada pelo fator 3 (ESTEVEZ, 1998).

#### 3.7.2 Total de Sólidos Suspensos

A determinação do total de sólidos em suspensão em nível de laboratório se deu conforme descrito em Wachholz (2007). Para a filtragem em laboratório utilizou-

se filtros de celulose de 0,45µm e diâmetro de 47 mm e filtros de microfibras de vidro com retenção de 0,8 a 8,0µm os quais permitem a filtração e calcinação, os quais foram secados previamente por 24 horas em estufa a uma temperatura de 50°C, a fim de eliminar a umidade. Posteriormente a secagem pesou-se os filtros em balança analítica com acurácia de 0,0001 g para obtenção do peso inicial ( $P_i$ ).

Após a realização da filtração, colocou-se novamente os filtros na estufa na mesma temperatura e tempo de permanência utilizado para a obtenção do peso inicial, (onde permaneceram por 24 horas em 50°C novamente). Esses filtros passaram ao processo de pesagem na mesma balança, obtendo-se o peso final ( $P_f$ ). A partir disso foi possível determinar o TSS na unidade mg/L para cada amostra com a equação utilizada por Wachholz (2007):

$$TSS = [P_f - P_i / V] \times 1000 \quad (5)$$

Sendo:

TSS - Total de Sólidos em Suspensão

$P_f$  - Peso Final (g)

$P_i$  - Peso Inicial (g)

V - Volume (L)

### 3.7.3 Transparência da água

Para determinar a transparência da água utilizou-se o disco de Secchi que se constitui em um disco branco de 25 cm de diâmetro acoplado a uma corda graduada. Para a realização desta medida foi observado fatores como: fazer as medições somente com céu claro, do lado sombreado do barco e observação sempre pela visão do mesmo pesquisador para que o resultado não fosse alterado. A medida da transparência corresponde ao desaparecimento do disco quando mergulhado na água (BARTRAN, 1996; WETZEL, 2000).

### 3.7.4 Espacialização das variáveis limnológicas

A partir dos valores das variáveis limnológicas obtidas mensalmente nos pontos amostrais elaborou-se mapas temáticos no software SPRING 4.3.3. Com os dados das tabelas correspondentes a latitude, longitude e o valor da variável fez-se a interpolação desses valores por meio da média ponderada utilizando o MNT que permitiram a espacialização de cada variável e identificaram a variação espaço-temporal, ao final foram gerados mapas temáticos das variáveis transparência e totais de sólidos em suspensão.

### 3.8 Técnicas estatísticas

No programa Excel foram aplicados testes estatísticos entre os dados de reflectância, dados pluviométricos e limnológicos. Dentre os testes estatísticos utilizados faz-se referência a: a) *correlação*, que avalia a associação existente entre duas variáveis; b) a *dispersão*, que avalia o quanto os dados são diferentes e distam de um valor central; c) a *regressão*, que informa que fração da variabilidade de uma característica é explicada estatisticamente pela outra variável; d) o *teste de hipóteses*, que permite identificar se as correlações obtidas são estatisticamente significativas. (CORAZZA, 2010).

Primeiramente a técnica de correlação de *Pearson* foi utilizada a fim de estabelecer relação entre os dados acumulados de precipitação com os resultados de reflectância obtidos a partir da imagem MODIS, e também em dados de reflectância com dados limnológicos das 31 estações amostrais, por exemplo, as 31 leituras de reflectância no comprimento de onda de 648 nm foram correlacionadas com os 31 dados de transparência da água obtidas nos pontos amostrais.

Este método mede o quanto duas variáveis tendem a variarem juntas. A correlação de Pearson retorna um valor  $r_s$  entre -1 e +1 (CALLEGARI-JACQUES, 2003). Para testar se o resultado  $r$ , formularam-se as hipóteses  $h = 0$  onde não há correlação e  $h \neq 0$  onde há correlação e considerou-se a distribuição  $t$  de Student, o qual retorna um valor  $t$  correspondente a um determinado nível de significância que

reflete a tendência de correlação entre os dados (CALLEGARI-JACQUES, 2003), foram considerados níveis de significância maiores ou igual a 95% e utilizando a tabela de valores críticos de  $r$  observaram-se os resultados, onde o valor  $t_{cal}$  for menor ao  $t_{tab}$ , que representa os valores críticos da distribuição  $t$  de Student, fornecido através de uma tabela pronto, pode-se afirmar que a correlação não é estatisticamente significativa. Se o  $t_{cal}$  for maior que o  $t_{tab}$  a correlação é significativa. (CALLEGARI-JACQUES, 2003).

Considerando a relação entre as variáveis, uma função pode explicar a variação de  $Y$  em  $X$ , dada por  $y = A+Bx$ . A regressão linear simples também conhecida como coeficiente de determinação, é o quadrado do coeficiente de correlação e fornece o valor médio de variabilidade de uma variável em função da outra (CALLEGARI-JACQUES, 2003).

Para os dados com correlação significativa foram gerados diagramas de dispersão. Sobre os diagramas de dispersão foram ajustadas equações lineares, permitindo o cálculo do valor de regressão, que expressa a dependência entre os parâmetros analisados.

### 4 RESULTADOS

Os resultados referentes a esta pesquisa encontram-se divididos em três partes a fim de atenderem os objetivos específicos propostos na introdução sendo elas: i) Precipitação pluviométrica e reflectância da água: visão geral; ii) Variáveis Limnológicas: Transparência da água e Totais de Sólidos em Suspensão; iii) Influência chuva na reflectância da água

#### 4.1 Precipitação pluviométrica e reflectância da água: contexto geral

##### 4.1.1 Precipitação pluviométrica

A precipitação pluviométrica na bacia de captação do Reservatório Passo Real no ano hidrológico de 2009 esteve acima da média anual no centro do Estado que foi de 1.600 a 1.700 mm registrados entre os anos de 1975 a 2000 (MATZENAUER, R. et.al. 2007). Os municípios de Fortaleza dos Valos com 2.297 mm, Ibirubá 2.298mm e Quinze de Novembro com 2.405 mm representam este aumento na média, configurando-se como um ano chuvoso. A explicação para este aumento é a ocorrência do fenômeno *El Niño* 2009 -2010, que ocasionou o aumento das precipitações no Sul do Brasil, considerado pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) *El Niño* de fraco intensidade. No entanto, a distribuição mensal foi irregular, no primeiro semestre de Jan.-Jul. os índices foram abaixo da média e de Ago.- Dez. acima da média, conforme pode ser apresentado na Figura 10.

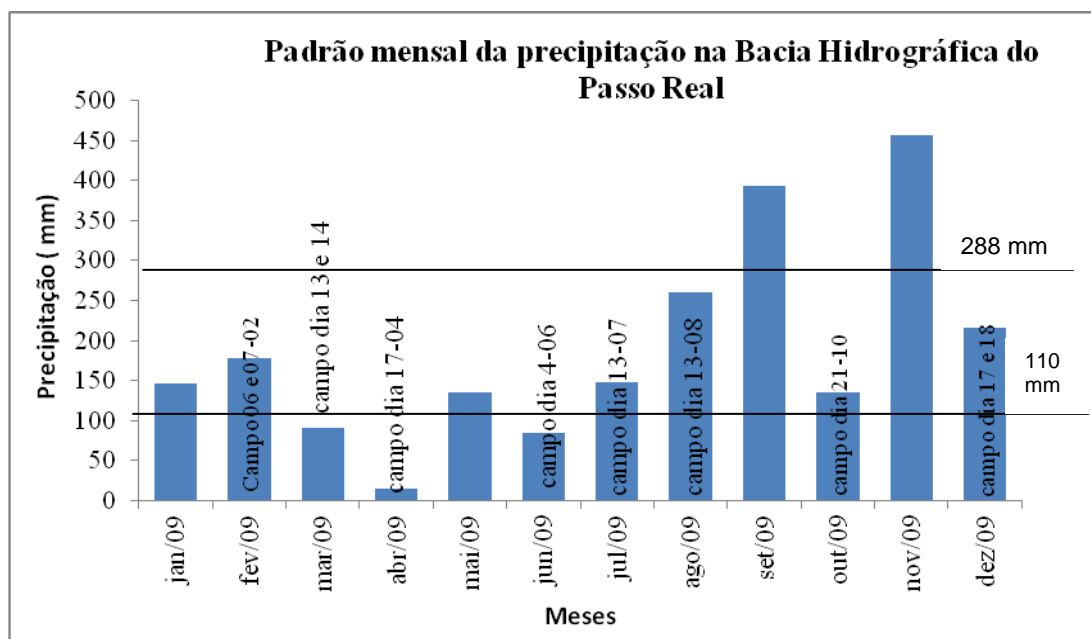


Figura 10- Padrão mensal da precipitação na bacia de captação do reservatório

Os valores de precipitação pluviométrica devem ser levados em consideração na análise dos dados de sensoriamento remoto e limnológicos, porque associados ao uso da terra apresentam fortes influências no transporte de material para as bacias de captação.

A espacialização dos dados pluviométricos por meio de mapas de isoietas (Figura 11) caracteriza uma irregularidade no volume de chuvas na bacia de captação do Passo Real em alguns meses. De acordo com Wachholz (2011), o período de Jan.09 a Jul.09 compreendem o período seco a normal influenciado pela *La Niña* (com 110 mm mensais), e Ago.09 a Dez.09, o período chuvoso influenciado pelo *El Niño* (com 288 mm mensais).

Verificou-se a variação quantitativa em alguns meses do ano. Houveram meses em que a quantidade de chuva foi menor, Abr.09 e Maio 09, respectivamente, o que pode caracterizar um período de estiagem (Figura 11). No entanto, a irregularidade das chuvas na bacia hidrográfica durante o ano hidrológico pode determinar particularidades limnológicas aos compartimentos aquáticos do reservatório (WACHHOLZ, 2011).



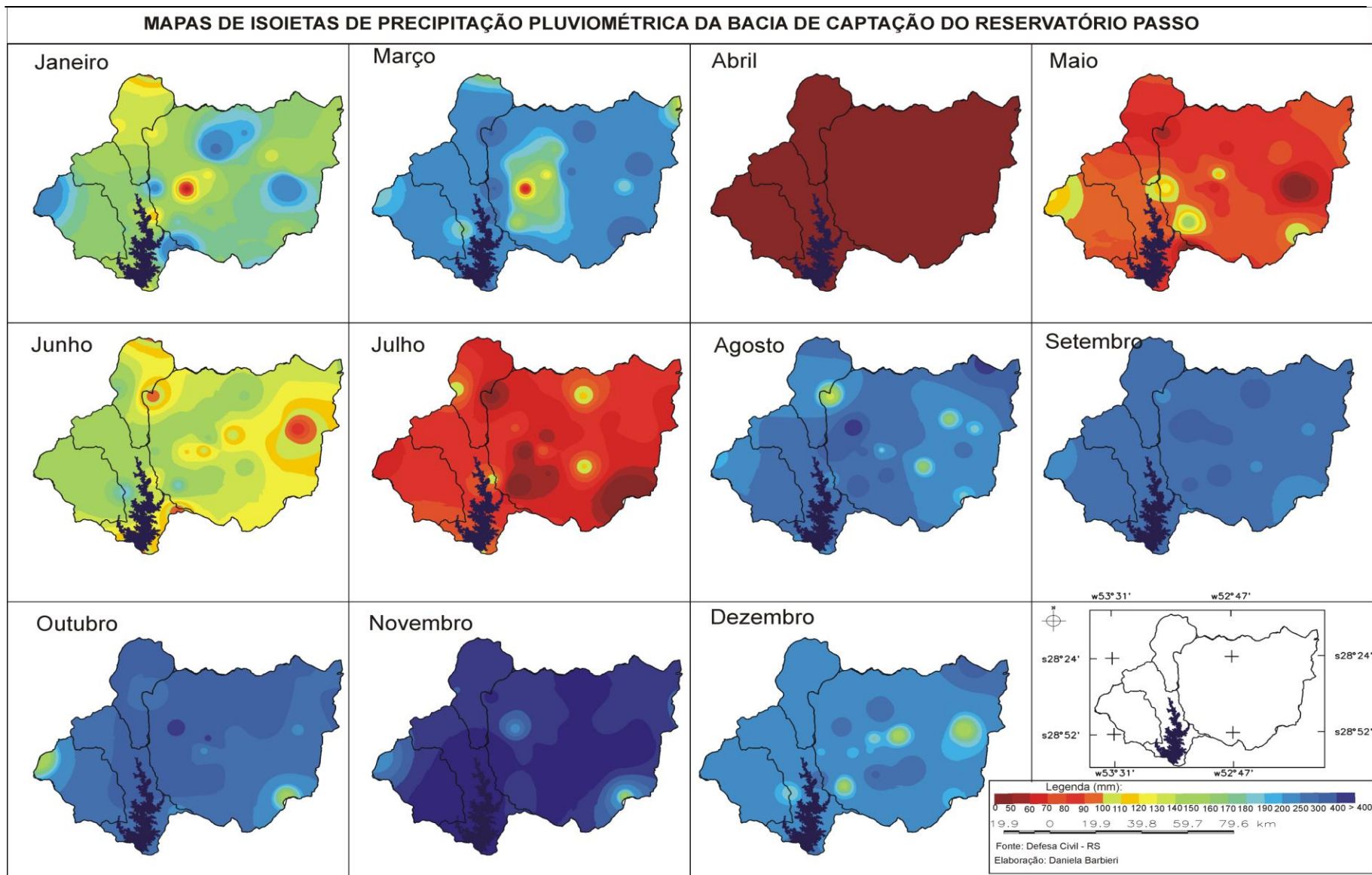


Figura 11- Precipitação Pluviométrica mensal na bacia de captação do reservatório Passo Real

#### 4.1.2 Reflectância da água

Com os valores de reflectância foram realizados testes nos comprimentos de onda do azul, verde, vermelho e infravermelho para averiguar qual banda do MODIS apresentava melhor correlação com dados de precipitação pluviométrica. Neste sentido, apenas a banda do vermelho (banda 1) foi utilizada para análise de reflectância pois apresentou resultados significativos para 95, 99 e 99,9 % de confiança. As bandas azul, verde e infravermelho não foram significativas para nenhum limite de confiança estabelecido, de tal modo os trabalhos realizados no reservatório Passo Real por Pereira Filho e Galvão (1997) e Pereira Filho et al. (2009) identificaram maior reflectância na faixa espectral do vermelho que é o comprimento mais afetado pelos sólidos em suspensão (KIRK, 1994).

A Figura 12 apresenta gráficos dos valores de correlações para o nível de significância de 95%, onde o  $t_{tab}$  é de 2,26 e o valor de  $r$  mínimo para as correlações serem estatisticamente significativas é de 0,63.

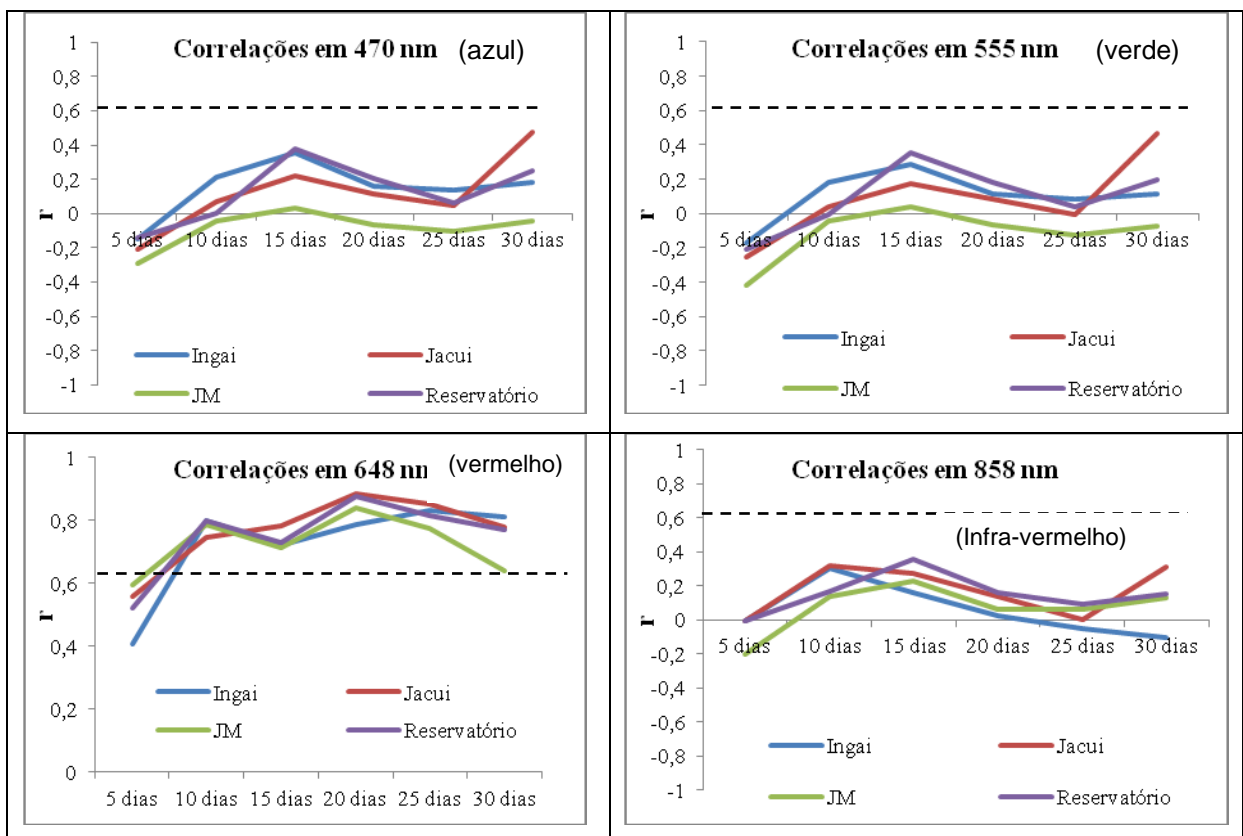


Figura 12- Testes aplicados para determinação da banda de análise

\*\*valores acima da linha tracejada (- - -) são significativos para 95% de confiança

A reflectância da água do reservatório Passo Real variou de 0,28 a 3,27 %. Na análise temporal considerando o período de precipitação pluviométrica seca a normal (Jan.09 a Jul.09) a reflectância foi de 0,28 a 2,05 %, sendo consideradas baixas, este período apresentou também baixa variação nos dados. Pode-se verificar que a reflectância seguiu o regime de chuvas, pois os valores de reflectância para este período foram semelhantes e relativamente baixas.

No período chuvoso (Ago.09 a Dez.09) a reflectância variou de 0,44 a 3,27% considerados valores de reflectâncias mais altos e também houve maior amplitude dos dados, principalmente no mês de Ago.09 que teve um desvio padrão de 0,82 (Figura 13 e 14).

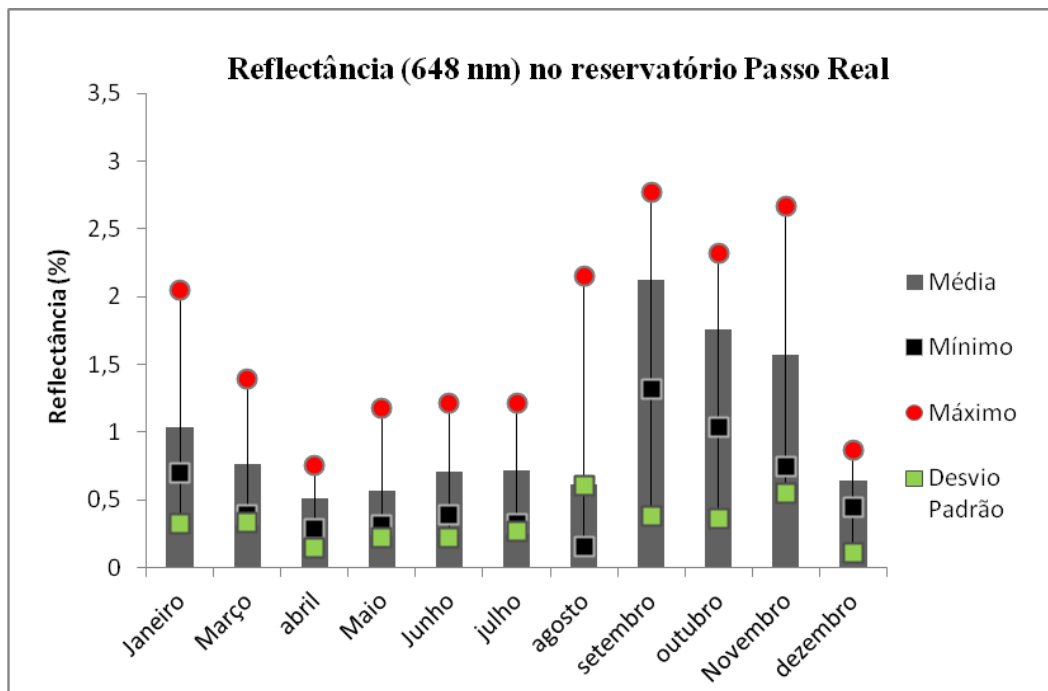


Figura 13- Estatística descritiva mensal dos valores de reflectância da água do reservatório Passo Real

No mês de abril a precipitação mensal foi 30 mm na bacia de captação do reservatório Passo Real, consoante a isto se obteve a menor média de reflectância no reservatório 0,5 %, conseqüentemente a maior transparência e menor concentração de TSS.

Com isso pode-se afirmar que uma maior reflectância no período chuvoso indica participação do regime de chuvas na variação da reflectância da água no Passo Real. No entanto, as máximas reflectâncias são encontradas nos setores de seus tributários e diminuem no sentido destes até o dique (sentido rio-barragem), o que indica que o reservatório Passo Real apresenta compartimentos aquáticos bem definidos e que ocorre a precipitação dos sólidos durante seu deslocamento no reservatório (Figura 14).

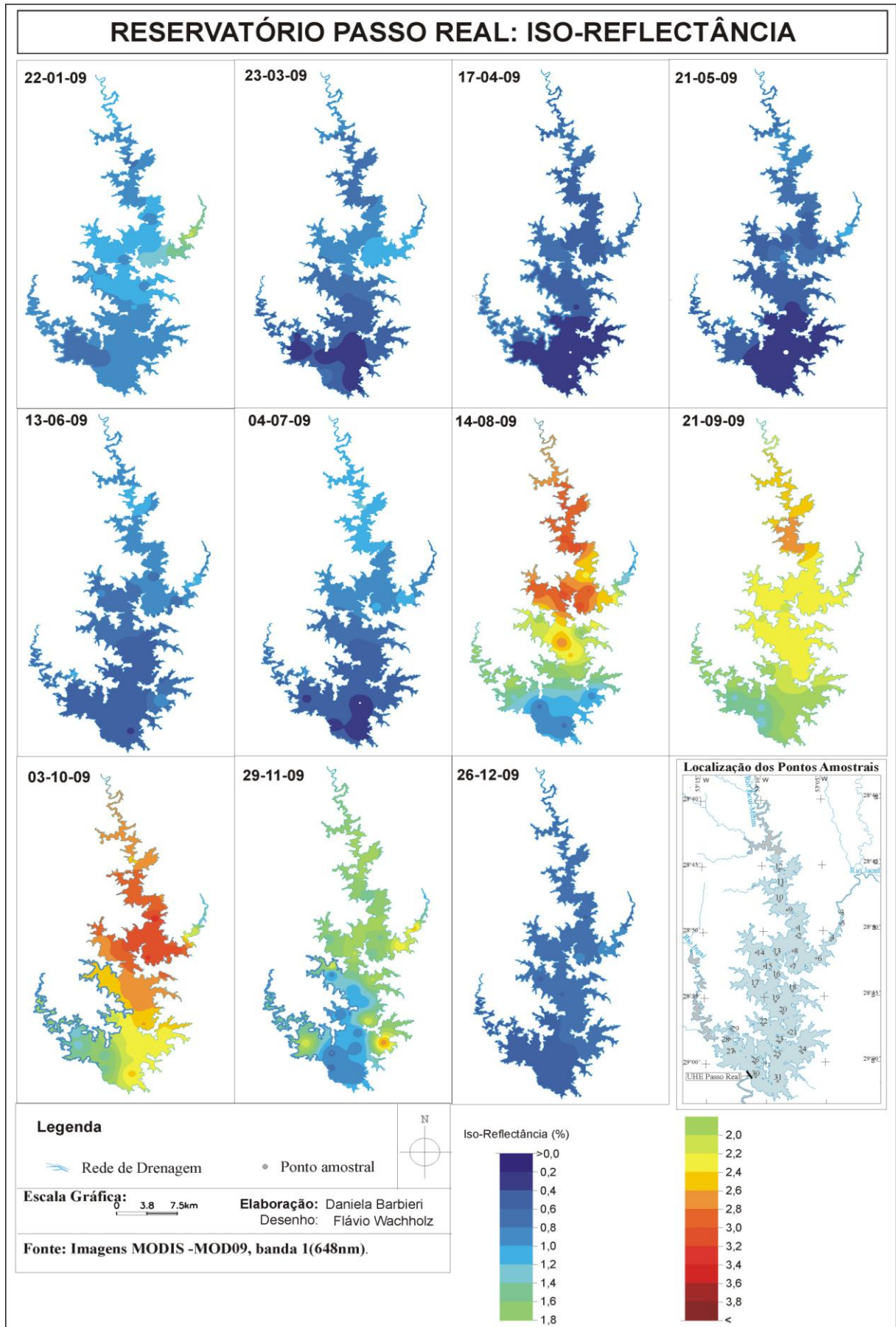


Figura 14- Mapas de reflectância da água medidos pelo MOD09-canal 1

## 4.2 Variáveis Limnológicas: Transparência da água e Totais de Sólidos em Suspensão

### 4.2.1 Transparência da água

Os altos valores pluviométricos podem ter alterado os valores de reflectância através do transporte de material em um reservatório (FORD, 1990) conseqüentemente influenciando na diminuição da transparência da água.

De acordo com Wachholz (2011) a transparência do Disco de Secchi (DS) média do reservatório Passo Real foi de  $1,2 \pm 0,9$  m. Considerando a precipitação pluviométrica, o autor afirma que Passo Real apresentou transparências de,  $1,7 \pm 0,8$  m no período normal a seco (Jan.09 a Jul.09) e  $0,7 \pm 0,3$  m no período chuvoso (Ago.09 a Dez.09).

Na análise temporal verificou-se que a transparência do DS teve comportamento semelhante nos meses de Fev.09 a Abr.09 sendo as águas consideradas transparentes por Wachholz (2011) principalmente do ponto 20 ao 30 (Figura 15 e 16).

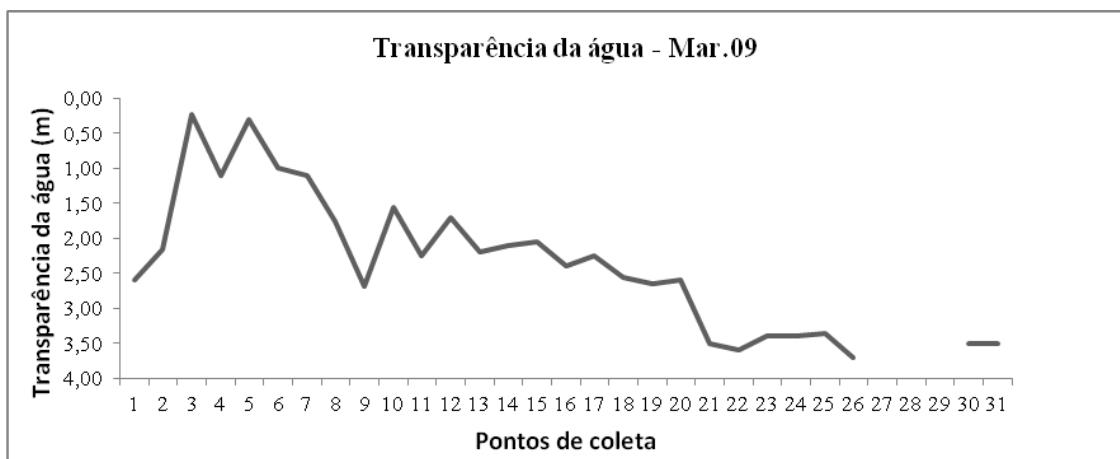


Figura 15– Transparência do disco de Secchi no mês de Mar.09

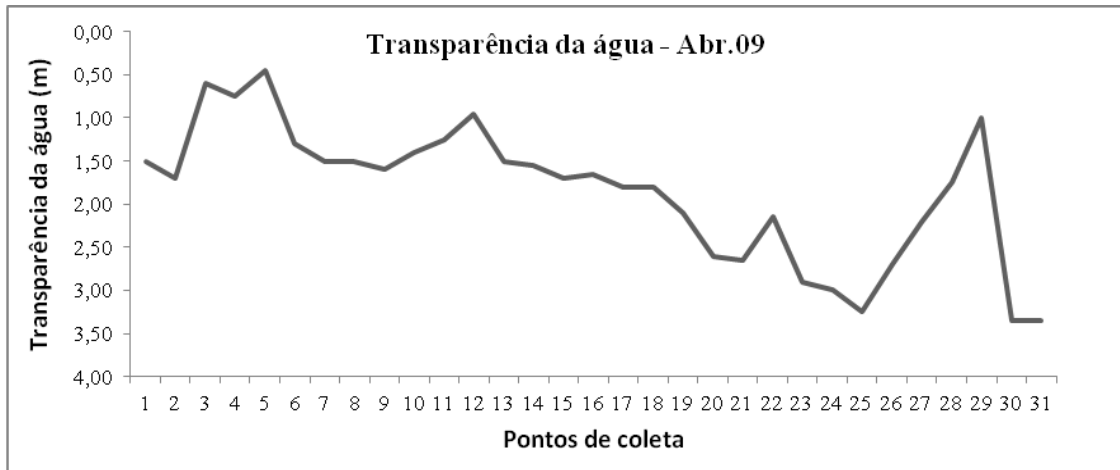


Figura 16 – Transparência do disco de Secchi no mês de Abr.09

Uma segunda semelhança pode ser encontrada de Jun.09 a Ago.09 quando as águas dos tributários deslocam-se para o centro do reservatório atingindo o médio curso, em Out.09 a Dez.09 o reservatório apresentou pouca variação, encontrava-se homogêneo e com as menores transparências. Na interpolação dos dados verificou-se que as menores transparências são encontradas setor dos tributários no sentido rio-barragem, principalmente em pontos referentes ao rio Jacuí (Figura 17).

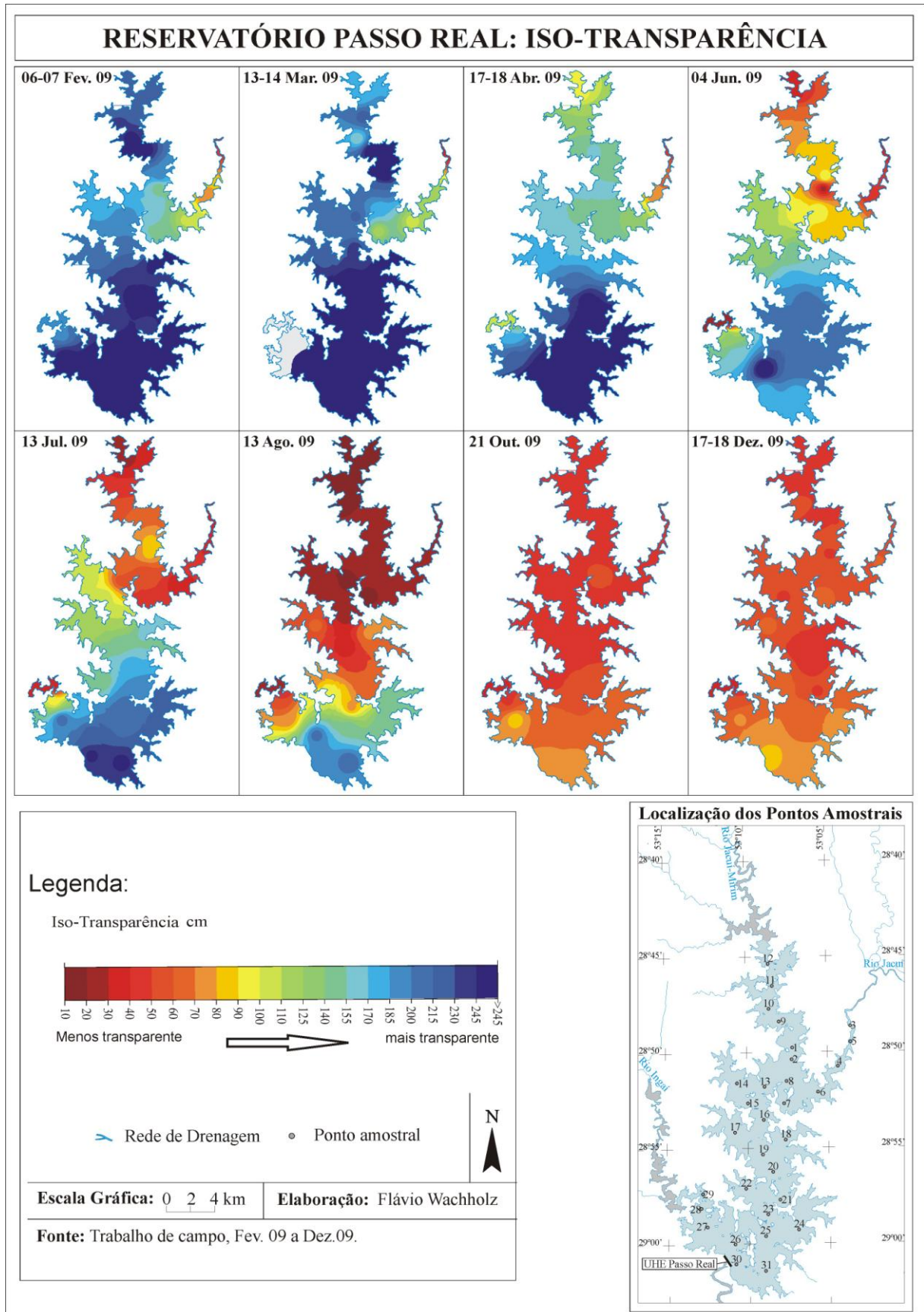


Figura 17: Mapas de Transparência da água no reservatório Passo Real  
 Fonte: Adaptado Wachholz (2011)



#### 4.2.2 Relação da transparência do Disco de Secchi e reflectância da água

O sensoriamento remoto tem grande importância para estudos de transparência da água. Diversos autores demonstram que existe uma relação entre a profundidade do disco de Secchi e a concentração dos sólidos em suspensão que pode ser correlacionada com dados de sensoriamento remoto. A reflectância espectral dos sólidos em suspensão na água se dá em função da quantidade e das características do material em suspensão na água (DEKKER, 1993; JENSEN, 2009).

Os resultados mostram correlação inversa entre a profundidade do disco de Secchi e a reflectância na região do vermelho estimada a partir da imagem MODIS. O uso do canal 1 apresentou correlação significativa para os dados do mês de julho (-0,88) e não significativa no mês de outubro de 2009. Portanto, a imagem mostrou bom desempenho para a estimativa da transparência da água quando a transparência foi maior (mês de julho com 1,16 metro).

As variações sazonais do (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) - NDVI da área de captação durante o ano está associado a diferentes fases das culturas agrícolas. O NDVI apresentou-se mais elevado entre Janeiro e Abril, Julho e Outubro (KONRAD, 2010). O mês de outubro corresponde a uma alta taxa de variação decrescente desse índice e, em trabalho de Wachholz (2011) também foi identificada a alta porcentagem de solo exposto devido ao preparo de solo para culturas de verão. Estas condições associadas à chuva e a vazão dos tributários ao reservatório proporcionaram naquele mês alta variabilidade na cor da água (como constatado em campo, variou de marrom a verde oliva) e menor transparência (0,52 metros em média).

O mês de julho apresentou uma tendência de que as maiores transparências localizam-se em estações amostrais situadas próximas ao dique. Naquele mês as profundidades superiores a 1,50 m, localizam-se a jusante do ponto 19, ou seja, na segunda metade do reservatório. Este conjunto de amostras apresentou melhor ajuste a equação linear (RMS = 0,13). Amostras a montante da estação 17 apresentaram menor ajuste a reta (RMS = 0,49). A Figura 18 mostra a dispersão entre a transparência da água e a reflectância na imagem.

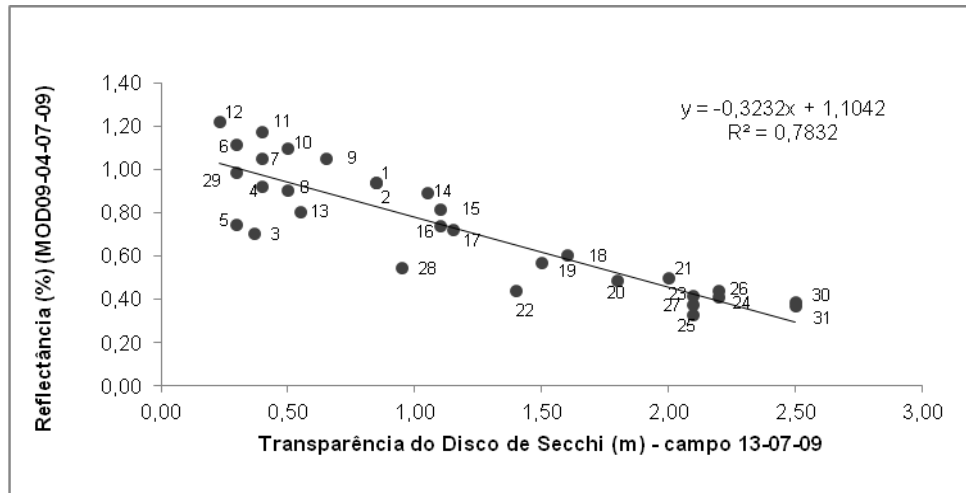


Figura 18: Relação entre dados de transparência e reflectância no vermelho no mês de julho.

A transparência estimada a partir da imagem de satélite mostrou-se coerente com a transparência avaliada *in loco*. A Figura 19 permite identificar os compartimentos aquáticos no reservatório com transparências semelhantes tanto nos dados de campo quanto nas estimadas pela imagem. Os setores do rio Jacuí (1), Jacuí-Mirim (2), Ingaí (3), estão enquadrados na mesma classe de profundidade tanto na imagem quanto nos dados de campo. As áreas inundadas dos três tributários são identificadas com menores transparências tanto no campo quanto aquelas transparências estimadas a partir da imagem. Em direção oposta é identificado o setor do dique como o de maior transparência nos dois procedimentos. O setor central do reservatório apresentou, naquele mês de julho, uma área de transição em relação à transparência.

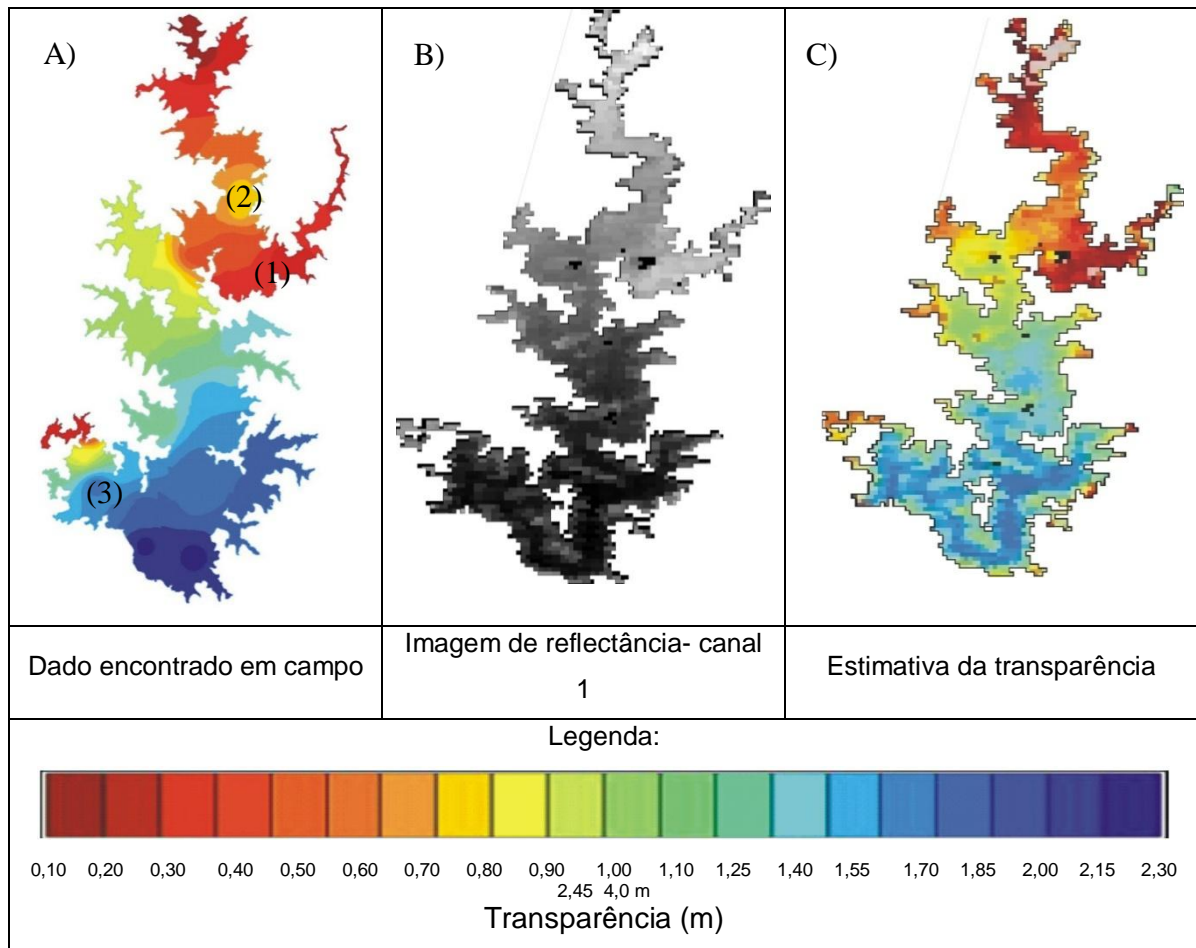


Figura 19 - Transparência da água no reservatório Passo Real (Julho): A) Transparências encontradas *in loco*; B) Imagem de reflectância (canal 1- MODIS); C) Estimativa da transparência da água a partir de dados de reflectância da imagem MODIS.

Considerando-se o mês de julho observa-se, ainda, que o desempenho das imagens MODIS é diferenciado em função da transparência da água. A estimativa da transparência da água não é eficiente para aquelas transparências da água inferiores a 0,5 metro. O conjunto de amostras com transparências inferiores a 0,5 metros não mostraram correlação significativa com a reflectância, os dados mostraram  $r = -0,23$ . Por outro lado, o conjunto de amostras com transparências superiores a esta profundidade apresentou correlação significativa com  $r = -0,90$  ( $n = 24$ ;  $p = 0,05$ ), maior do que com o conjunto completo de dados daquele mês. Com isso observa-se que as imagens estimam melhor transparência quando estes valores são superiores a 0,5 metro e reflectância na banda do canal 1 inferior a 1%.

O conjunto completo de dados daquele mês mostrou correlação significativa, porém menor ( $r = -0,88$ ). Este resultado, embora significativo, mostra que houve uma

diminuição da correlação devido à presença dos valores de transparências inferiores a 0,5 metro (pontos localizados próximo aos principais tributários). Neste sentido, pode-se inferir que dados do canal 1 inferiores a 1% de reflectância apontam para transparências superiores a 0,5 m e que as mesmas podem ser estimadas a partir de informação oriunda do MODIS. Por outro lado, reflectâncias superiores a 1% identificam locais com transparências inferiores a 0,5 m, mas, sob estas condições, não permitem estimar o valor de transparência com precisão.

#### 4.2.3 Totais de Sólidos em Suspensão

As concentrações médias de TSS no reservatório Passo Real variaram pouco durante o período de pesquisa. Considerando os períodos de precipitação pluviométrica, Passo Real apresentou mínimo de 0,5 mg/L e máximo de 31 mg/L no período normal a seco e 1 a 33 mg/L no período chuvoso. As menores concentrações de TSS foram encontradas no mês de Abr.09 1 mg/L quando foram registrados os menores índices de precipitação (<50mm) Wachholz (2011). No entanto a maior concentração ocorreu em Out.09 de 33 mg/L quando ocorrem as maiores concentrações pluviométricas na bacia de captação (224 mm). Neste sentido, novamente é confirmada a participação da precipitação pluviométrica no carregamento de materiais para o reservatório.

O aumento da transparência visualizado no item anterior é conferido no sentido do rio para o reservatório, sendo, portanto, a entrada dos rios representa os locais com a maior concentração do TSS, fato que pode ser observado principalmente em Dez.09 (Figura 20).

Segundo Wachholz (2011) a concentração média no rio Jacuí foi de 13 mg/L e no dique 4 mg/L, ou seja, segundo o autor, 9 mg/L podem estar sofrendo deposição. Verifica-se que a maior carga de TSS é oriunda do Rio Jacuí em praticamente todos os meses. No Rio Jacuí-Mirim são encontradas altas concentrações nos meses de Ago.09 e Dez.09. No Rio Ingaí as altas concentrações são encontradas de Jun.09 a Dez.09.

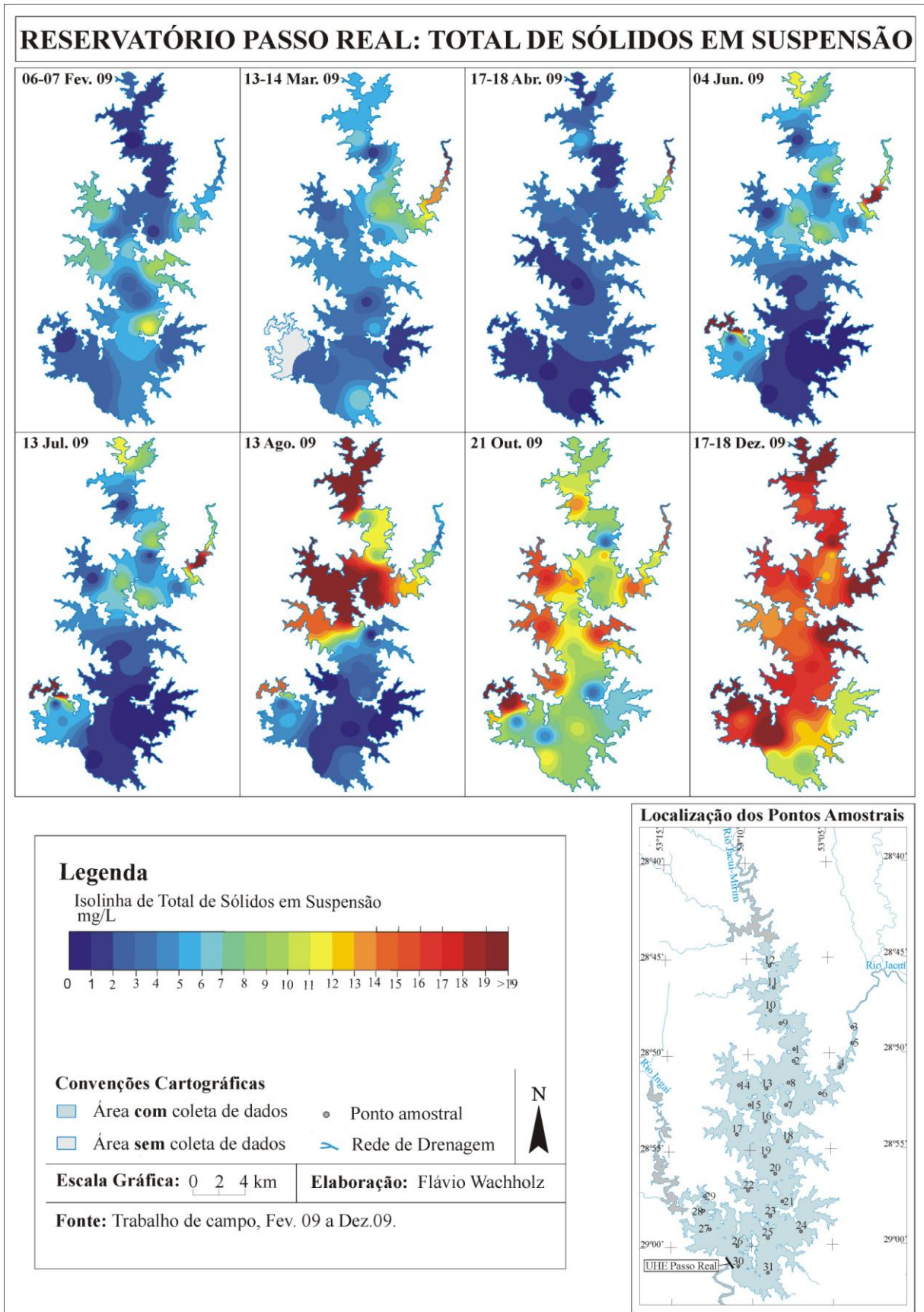


Figura 20 – Mapas de TSS no reservatório Passo Real  
Fonte: Adaptado Wachholz (2011)

### 4.3 Influência chuva na reflectância da água

#### 4.3.1 Acumulado de 5 dias de precipitação pluviométrica

De acordo com Tundisi (2008), o transporte de materiais pelos rios variam conforme a declividade, vazão, quantidade de precipitação pluviométrica e de diversas situações do *continuum* do rio, fatores estes que auxiliam no aumento de reflectância da água.

Segundo Wachholz (2011) o registro de chuvas acumuladas em cinco dias anteriores a passagem do sensor podem indicar as possíveis interferências nas variáveis limnológicas no Passo Real. Os dados de cinco dias de acumulados de chuva anteriores a coleta de imagens mostraram maior ocorrência de chuva em Ago.09 e Set.09 e nenhum registro em Abr.09.

O acúmulo pluviométrico de cinco dias anteriores as datas das imagens não tiveram correlações estatisticamente significativas com o valores de reflectância em 95 % de confiança em nenhum dos três compartimentos aquáticos correspondentes ao principais tributários. No mês de agosto o acúmulo de cinco dias registrou 129,9 mm, no entanto a reflectância mais alta foi registrada em setembro (2,64 %), verificou-se então que a resposta da precipitação leva mais do que cinco dias para influenciar na reflectância da água (Figura 21).

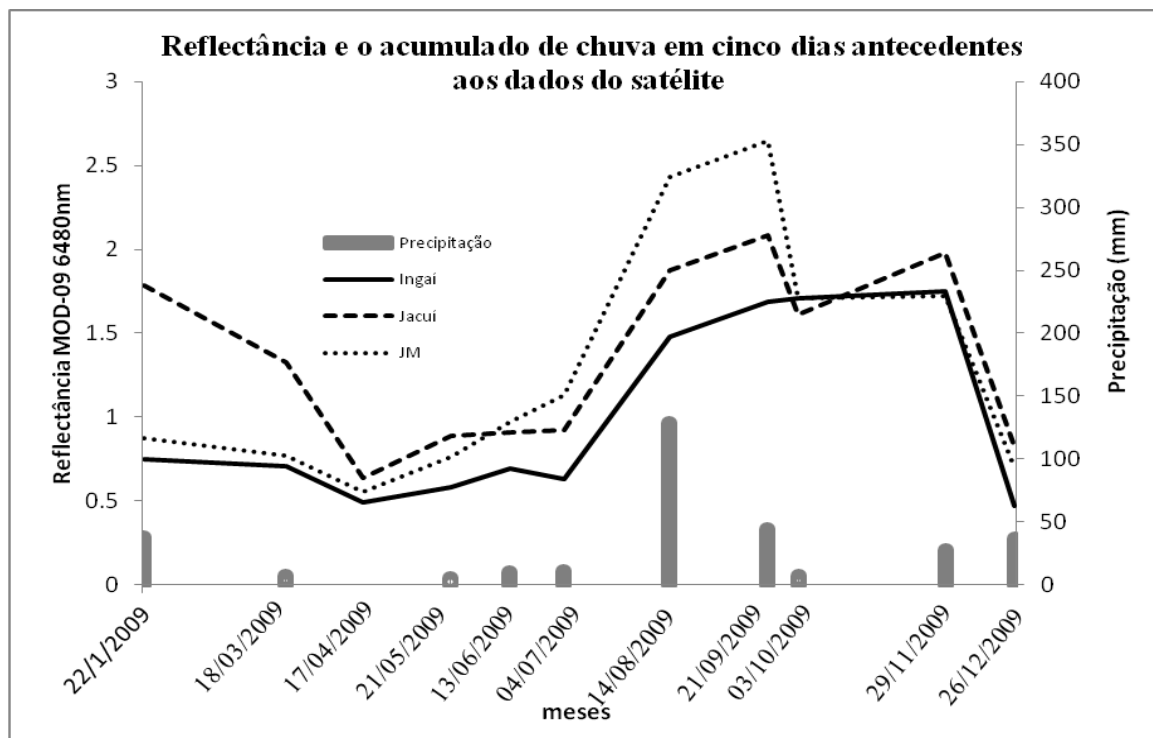


Figura 21- Reflectância e o acumulado de chuva em cinco dias antecedentes aos dados do satélite

As maiores correlações foram encontradas para pontos referentes ao setor do Rio Jacuí-Mirim ( $r = 0.59$ ) onde o valor acumulado da precipitação média da sub-bacia foi de 31,23 mm com máxima de 51,9 mm. A declividade média da bacia é de 7% tendo como máxima declividade 30%. Entretanto, quanto maior a declividade média da bacia, maior a velocidade de escoamento e conseqüentemente mais rápida será a resposta da precipitação na alteração dos valores de reflectância, associada á cobertura do solo, tipo de solo e uso da terra.

No entanto as menores correlações referentes aos tributários são do setor Ingai, ( $r = 0.40$ ), (Tabela 3) o acúmulo médio para cinco dias anteriores a passagem do sensor é de 31,81 mm, sendo a declividade média da sub-bacia de 5% considerado conforme De Biase (1992), praticamente plana.

A relação da precipitação da bacia de captação do reservatório com a reflectância em setores do médio curso e do dique não apresentaram correlações significativas, sendo os valores de  $r$  (0,47 e 0,14 respectivamente).

Tabela 3- Valores de r referentes as correlações de reflectância e precipitação (5 dias)

Setores	Ingai	Jacuí	JM
Acúmulos 5 dias	0.4072	0.5587	0.5964

#### 4.3.2 Acumulado de dez dias de precipitação pluviométrica

Os maiores registros acumulados de precipitação em 10 dias ocorreu no mês de Nov.09, porém as maiores reflectâncias foram encontradas no mês de Set.09. Este efeito de altas reflectâncias em set.09 pode ser explicado pelos elevados valores de acúmulo de precipitação registrados em dez dias no mês de Ago.09 (155 mm) anteriores a passagem do sensor (Figura 22).

O mês de Abr.09 não registrou PP acumulada em dez dias, no entanto as reflectâncias registradas pelo MODIS neste mês também foram mais baixas, em contrapartida, no mês de Set.09 o acúmulo pluviométrico atingiu 106 mm e a reflectância do rio JM foi a mais elevada (2,64 %).

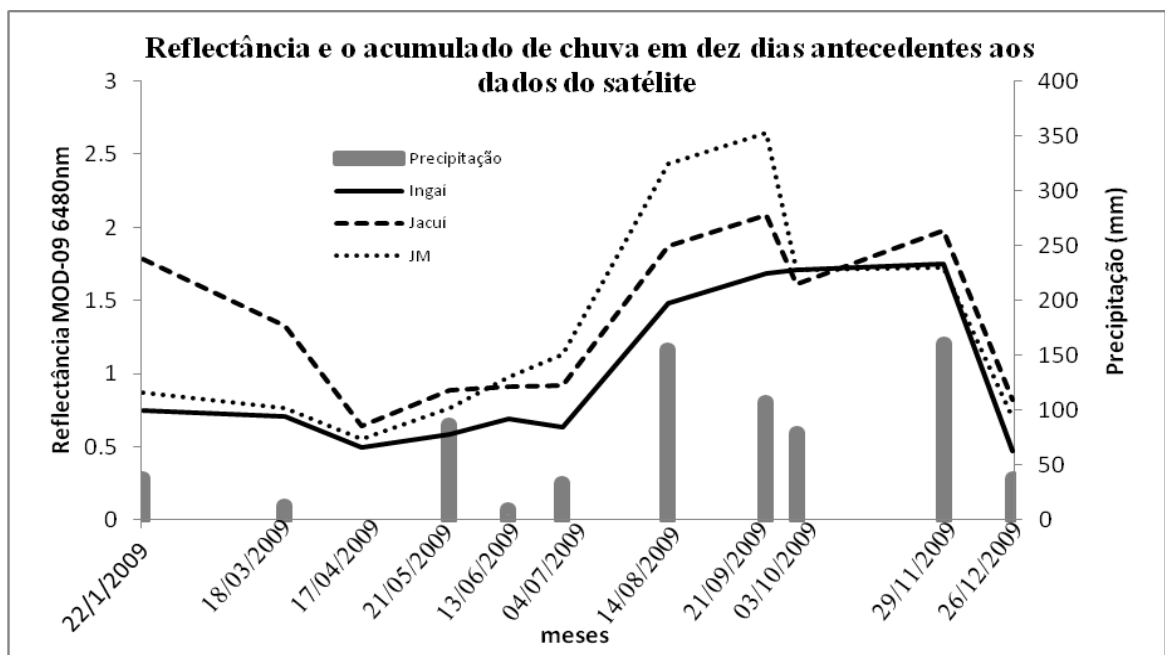


Figura 22- Reflectância e o acumulado de chuva em dez dias antecedentes aos dados do satélite



As correlações entre os acúmulos de precipitação pluviométrica em dez dias anteriores a passagem do sensor com dados de reflectância foram significativas em 99% de confiança para os três setores de análise (Jacuí, Jacuí-Mirim e Ingaí). Visto que diferentemente do acumulo de 5 dias, o setor que obteve maiores correlações foi do Rio Ingaí ( $r= 0,80$ ), seguido do Rio Jacuí-Mirim ( $r= 0,74$ ) e com a menor correlação o setor do Rio Jacuí ( $r= 0,74$ ). A Tabela 4, mostra os valores de  $r$  das referidas correlações.

Tabela 4 - Valores de  $r$  referentes as correlações de reflectância e precipitação (10 dias)

	<i>Ingai</i>	<i>Jacui</i>	<i>JM</i>
<b>5 dias</b>	0.4072	0.5587	0.5964
<b>10 dias</b>	0.8	0.7458	0.7866

#### 4.3.3 Acumulado de quinze dias de precipitação pluviométrica

O valor acumulado em quinze dias de PP foi elevado no mês de Nov.09 onde atingiu 276 mm na bacia de captação. No entanto, as maiores reflectâncias registradas foram no mês de Set.09, que devido ao acúmulo de 163 mm em 15 dias e ao fato de ser uma época de preparo do solo para o plantio pode ter ocasionado carreamento de materiais para o reservatório.

De acordo com a classificação da precipitação de Wachholz (2011) em período seco a normal (Jan.09 a Jul.09) e chuvoso (Jul.09 a dez.09) o acúmulo pluviométrico de quinze dias caracterizou bem essa classificação. O período chamado de seco a normal atingiu os 90 mm acumulados, enquanto o período chuvoso variou de 105 mm a 276 mm (Figura 23).

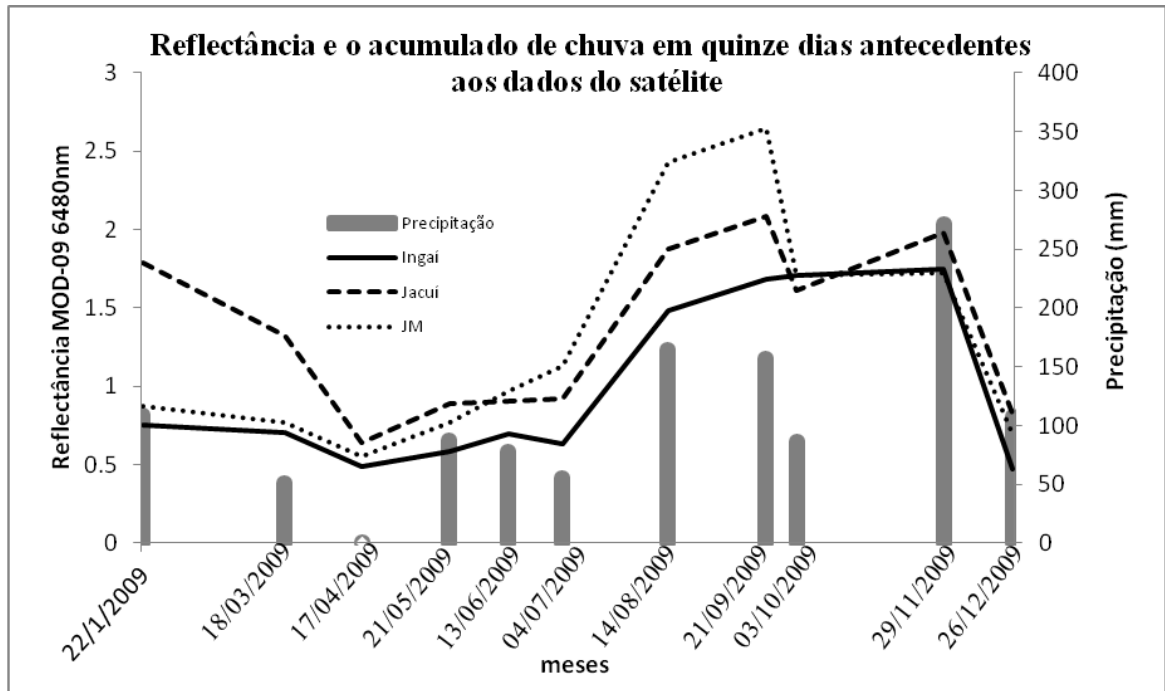


Figura 23 - Reflectância e o acumulado de chuva em quinze dias antecedentes aos dados do satélite

As maiores correlações entre precipitação acumulada de quinze dias e reflectância da água foram encontradas no setor do rio Jacuí ( $r = 0,78$ ), visto que o setor deste tributário foi estatisticamente significativo para 99 % de confiança (CALLEGARI-JACQUES, 2003)

O setor do rio Ingaí aparece com um  $r$  um pouco menor (0,72) e em seguida o rio JM com  $r = 0,71$ , sendo estes dois tributários significativos para 95% de confiança (Tabela 5).

Tabela 5 - Valores de  $r$  referentes as correlações de reflectância e precipitação (15 dias)

	<i>Ingaí</i>	<i>Jacuí</i>	<i>JM</i>
<b>5 dias</b>	0.4072	0.5587	0.5964
<b>10 dias</b>	0.8	0.7458	0.7866
<b>15 dias</b>	0.7222	0.7827	0.7153

#### 4.3.4 Acumulado de vinte dias de precipitação pluviométrica

Com base no número de dias de chuva, e dias acumulados de precipitação pluviométrica foi possível estabelecer uma tendência entre precipitação e reflectância da água no reservatório Passo Real.

O acumulado pluviométrico em 20 dias na bacia de captação foi de 295 mm no mês de novembro (Figura 24), de acordo com Wachholz (2007) caracterizam-se por fase de solo exposto, com maior susceptibilidade de perdas de solos. No entanto, foi possível verificar que a reflectância atingida de 1,97 % foi próxima da encontrada para um acúmulo de 277 mm no mês de Set.09 para os setores do rio Jacuí e Jacuí-Mirim indicando que a partir de certa quantidade de chuva os valores de reflectâncias na água tendem a estabilizar o que aponta para uma saturação dos sólidos em suspensão registrados pelo MODIS (Figura 25).

Neste sentido, verificou-se que em Out.09 os valores de reflectância dos três tributários tiveram queda, o que pode ser explicado pela diminuição da precipitação média de aproximadamente 130 mm, o que em contrapartida pode ser comprovada pela influência da precipitação no reservatório com o aumento da mesma em Novembro e, conseqüentemente, aumento da reflectância da água nos três rios que o abastecem.

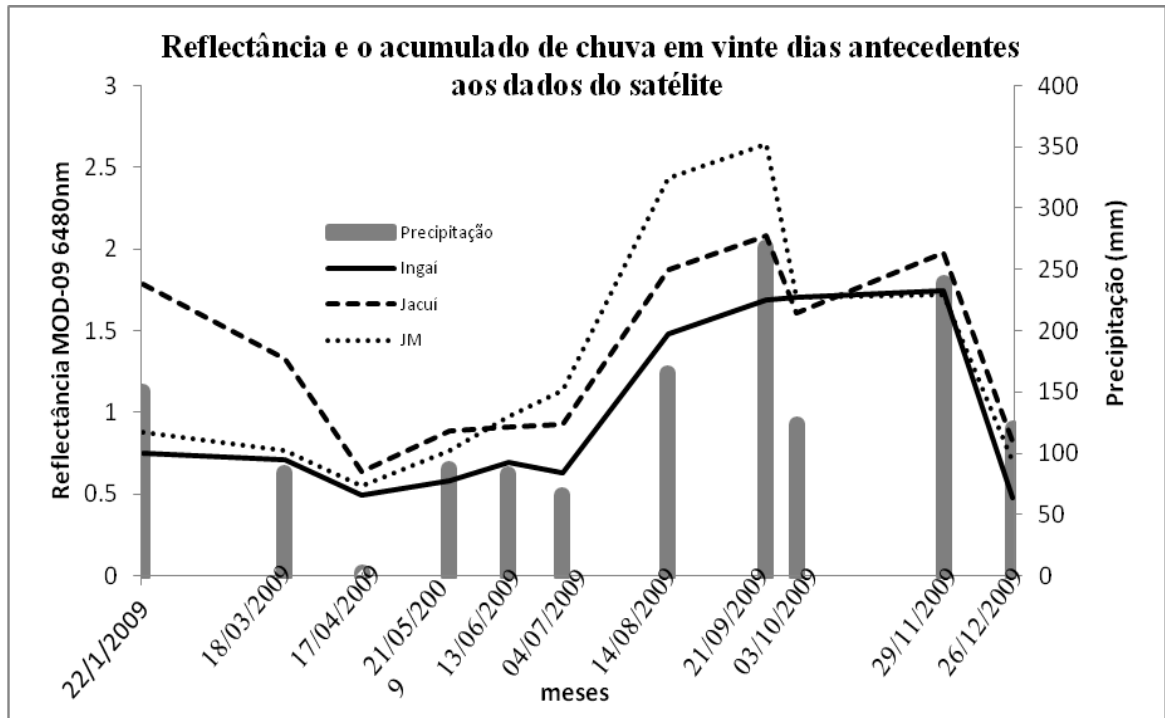


Figura 24 - Reflectância e o acumulado de chuva em vinte dias antecedentes aos dados do satélite

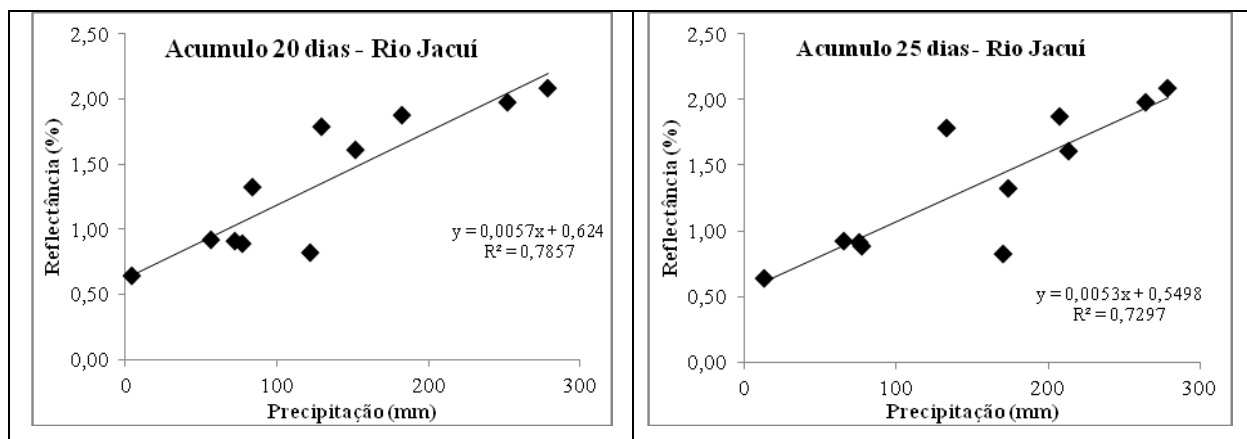


Figura 25- Dispersão da precipitação pluviométrica com a reflectância para 20 e 25 dias de acumulo

Em relação à resposta da precipitação na reflectância do reservatório foi observada uma variação conforme o setor que o abastece. A reflectância relacionada aos acúmulos de índices pluviométricos para 20 dias tiveram maior correlação na área de captação do Rio Jacuí e Jacuí Mirim ( $r = 0,88$  e  $r = 0,83$ , respectivamente). As águas provenientes da sub-bacia do Rio Ingaí apresentaram os menores valores de correlações se comparada aos outros tributários ( $r = 0,78$ )

para o acumulado de 20 dias (Tabela 6), no entanto teve sua melhor correlação (0,83) com o acumulado de chuva no período de 25 dias.

Tabela 6 - Valores de r referentes as correlações de reflectância e precipitação (20 dias)

\* Estatisticamente significativo para 99,9% de confiança

	<i>Ingai</i>	<i>Jacui</i>	<i>JM</i>
<b>5 dias</b>	0.4072	0.5587	0.5964
<b>10 dias</b>	0.8	0.7458	0.7866
<b>15 dias</b>	0.7222	0.7827	0.7153
<b>20 dias</b>	0.7869	* 0.886	0.8398

Na Figura 26 são apresentados as correlações de Pearson entre os valores das variáveis reflectância e precipitação onde são destacados as correlações estatisticamente significativas para 95%, 99% e 99,9% de confiança (CALLEGARI-JACQUES, 2003). Verifica-se que no rio Ingai e Jacuí-Mirim estas variáveis são significativas para 99% de confiança e no rio Jacuí estatisticamente significativos para 99,9% de confiança.

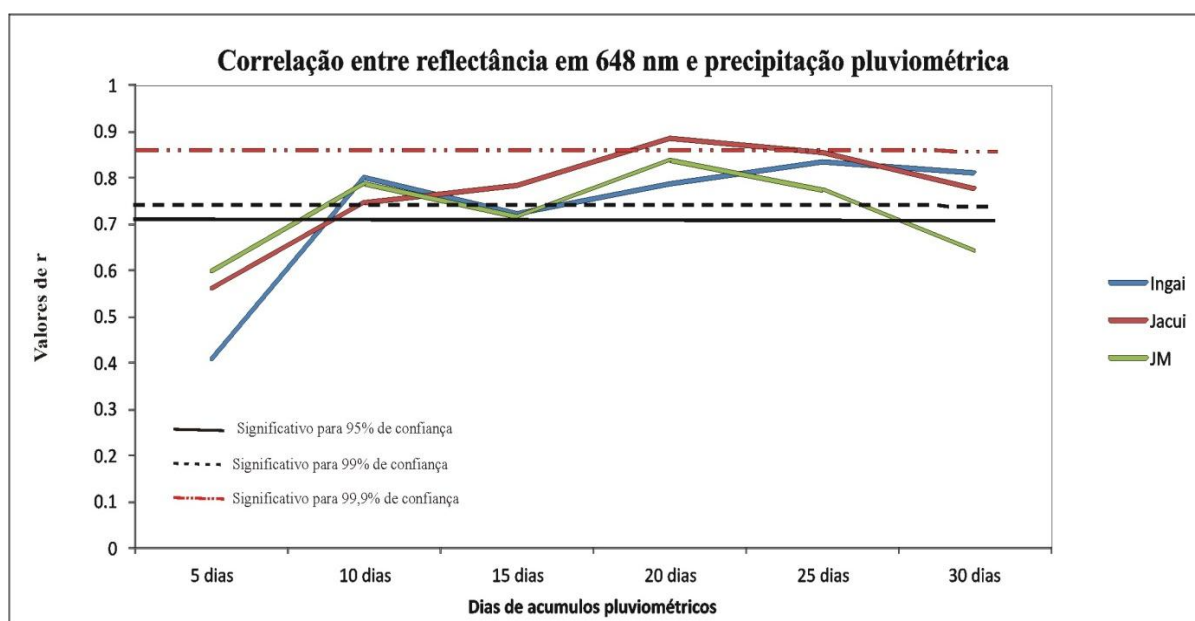


Figura 26- Correlações estatisticamente significativas com 95, 99 e 99,9% de confiança entre reflectância e precipitações acumuladas

Desta forma, estabeleceu-se através das correlações relacionadas entre as duas variáveis que o acúmulo em 20 dias foi que melhor representou o impacto da chuva sobre a reflectância da água registrada em imagens MODIS no Reservatório Passo Real.

#### 4.3.5 Acumulado de 25 dias de precipitação pluviométrica

As precipitações acumuladas em 25 dias no período seco (Jan.09 a Jul.09) não foram muito significativas, em contrapartida a precipitação após Ago.09 tiveram valores registrados mais altos, chegando a atingir 301 mm em Nov.09. Comparando a precipitação acumulada em 25 dias com o acúmulo em 20 dias, quando se obteve melhores correlações, verificou se que os valores não foram muito elevados, com exceção do mês de Mar.09 que registrou 81 mm de diferença em 5 dias com reflectância de 1,32%. No entanto pode-se dizer que os valores de precipitação passaram a ter pouca influência nos dados de reflectância (Figura 27).

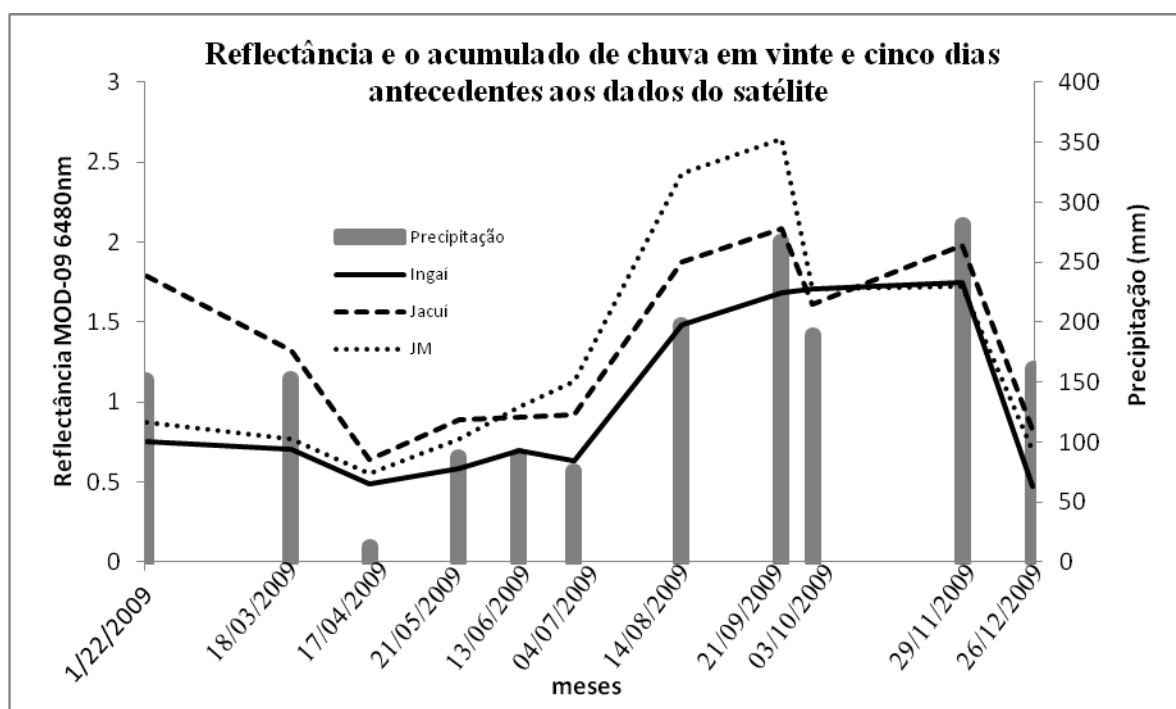


Figura 27- Reflectância e o acumulado de chuva em vinte e cinco dias anteriores aos dados do satélite

As águas provenientes da sub-bacia do Rio Ingaí apresentaram os menores valores de correlações se comparada aos outros tributários até o acúmulo de 20 dias porém teve seu pico com 25 dias de acúmulo de chuva, ou seja, provavelmente devido a menor vazão da água neste compartimento aquático.

Na Tabela 7 são apresentadas as correlações de Pearson entre os valores das variáveis reflectância e precipitação. Verificou-se que o setor do rio Jacuí com o acúmulo de 25 dias permanece significativo para 99,9% de confiança e os setores do rio Ingaí e Jacuí-Mirim com 99% de confiança.

Tabela 7 - Valores de r referentes as correlações de reflectância e precipitação (25 dias)

\* Estatisticamente significativo para 99,9% de confiança

	<i>Ingaí</i>	<i>Jacui</i>	<i>JM</i>
<b>5 dias</b>	0.4072	0.5587	0.5964
<b>10 dias</b>	0.8	0.7458	0.7866
<b>15 dias</b>	0.7222	0.7827	0.7153
<b>20 dias</b>	0.7869	0.886	0.8398
<b>25 dias</b>	0.8332	* 0.8542	0.7751

#### 4.3.6 Acumulado de 30 dias de precipitação pluviométrica

A precipitação acumulada que antecede a data da imagem em 30 dias apresenta índices pluviométricos elevados. Se comparada ao acúmulo de 25 dias, foram registrados 94 mm a mais no mês de novembro (Figura 28).

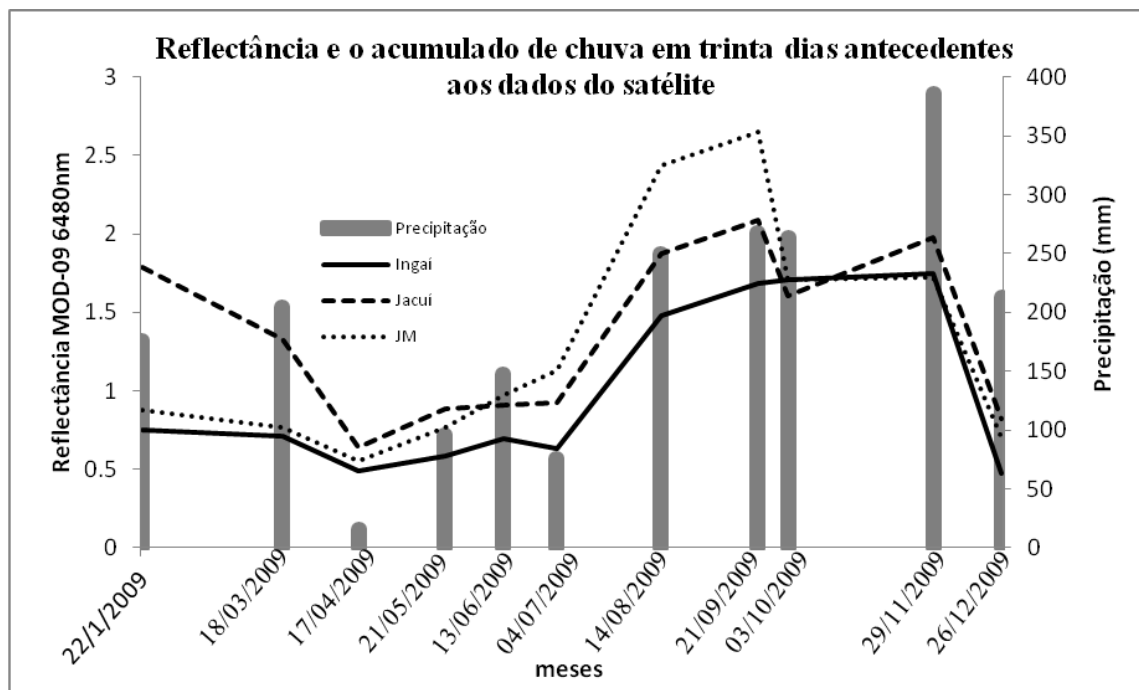


Figura 28 - Reflectância e o acumulado de chuva em trinta dias antecedentes aos dados do satélite

Através dos valores de correlações (Tabela 8) verifica-se que com o acumulado em 30 dias os valores de  $r$  diminuíram principalmente no setor do rio JM ( $r=0,63$ ). As precipitações no mês de Dez.09 são consideradas elevadas, no entanto, os valores de reflectância foram baixos. O que pode ser explicado pelas altas concentrações de clorofila *a* encontrada em trabalhos de campo, neste mês, no reservatório. Os setores dos tributários Ingai e Jacuí mantiveram-se significativos com 99% de confiança.

Verifica-se que com o valor acumulado de 30 dias a reflectância da água do reservatório medida através de imagens MODIS, não registram mais o efeito da chuva, fato este verificado pela diminuição nos valores de correlações a partir de 25 dias (Tabela 8).

Tabela 8 - Valores de  $r$  referentes as correlações de reflectância e precipitação (30 dias)

	<i>Ingai</i>	<i>Jacuí</i>	<i>JM</i>
<b>5 dias</b>	0.4072	0.5587	0.5964
<b>10 dias</b>	0.8	0.7458	0.7866
<b>15 dias</b>	0.7222	0.7827	0.7153
<b>20 dias</b>	0.7869	0.886	0.8398
<b>25 dias</b>	0.8332	0.8542	0.7751
<b>30 dias</b>	0.81	0.7782	0.6397



### 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a conclusão da referente pesquisa, faz-se necessário resgatar os objetivos do trabalho. O objetivo geral foi: “*Estabelecer a relação entre o índice pluviométrico e as alterações nos valores de reflectância da água no reservatório da UHE Passo Real- RS*”, este objetivo foi atingido, pois a metodologia utilizada permitiu estabelecer a relação da precipitação pluviométrica e a alteração dos valores de reflectância em função do valor acumulado de chuvas. As informações obtidas indicam a influência dos rios que abastecem o reservatório, o que proporcionam diferentes compartimentos aquáticos no reservatório da UHE Passo Real.

A seguir são apresentadas as principais considerações advindas dos objetivos específicos propostos neste trabalho.

1º Objetivo específico : “*Analisar dados de precipitação da bacia de captação do reservatório Passo Real, e relacionar com o índice médio de reflectância da água medido pelo MODIS, através do produto MOD09*”.

Pode-se afirmar que os valores de precipitação pluviométrica devem ser levados em consideração na análise dos dados de sensoriamento remoto e limnológicos, pois associados ao uso da terra apresentam fortes influências no transporte de material para as bacias de captação.

A partir da espacialização e análise dos dados de chuva verificou-se que o ano de 2009 esteve acima da média anual do Estado, fator este que favoreceu na relação com os dados de reflectância principalmente no período chuvoso. Percebeu-se que quanto maior os valores dos índices de chuva maior é a reflectância. Seguindo a tendência em que as precipitações influenciam nos padrões de reflectância do reservatório, períodos em que solo se encontra exposto, poderão impactar ainda mais os valores de reflectância.

Embora a resolução espacial de 250 m do sensor MODIS resulte em uma grande área e, portanto, ele se mostrou compatível útil em estudos do reservatório Passo Real devido a sua área inundada.

2º Objetivo específico: *“Identificar as relações entre as variáveis limnológicas transparência da água e Totais de Sólidos em Suspensão com a variável reflectância”.*

Com a disponibilidade de dados de 8 trabalhos de campo foi possível realizar uma análise temporal dos dados de transparência da água e totais de sólidos em suspensão. Verificou-se que a transparência do DS teve comportamento semelhante entre os meses de Fevereiro e Abril de 2009, sendo as águas consideradas transparentes principalmente nos pontos amostrais 20 a 30. Período este que apresentou baixos valores de precipitação anteriores a data de trabalho de campo.

Com a interpolação dos dados verificou-se que as menores transparências são encontradas setor dos tributários no sentido rio-barragem, principalmente em pontos referentes ao rio Jacuí. O aumento da transparência é conferido no sentido do rio para o reservatório, sendo, portanto, a entrada dos rios representa os locais com a maior concentração do TSS

As concentrações médias de TSS no reservatório Passo Real variaram pouco durante o período de pesquisa. Considerando os períodos de precipitação pluviométrica, Passo Real apresentou mínimo de 0,5 mg/L e máximo de 31 mg/L no período normal a seco e 1 a 33 mg/L no período chuvoso. Verificou-se que a maior carga de TSS é oriunda do Rio Jacuí em praticamente todos os meses. No Rio Jacuí-Mirim são encontradas altas concentrações nos meses de Ago.09 e Dez.09. No Rio Ingaí as altas concentrações são encontradas de Jun.09 a Dez.09.

Com o propósito de estimar a transparência da água através de imagens MODIS verificou-se que a estimativa não é eficiente para aquelas transparências da água inferiores a 0,5 metro. O conjunto de amostras com transparências inferiores a 0,5m não mostraram correlação significativa com a reflectância ( $r = -0,23$ ). Por outro lado, o conjunto de amostras com transparências superiores a esta profundidade apresentou correlação significativa com  $r = -0,90$ . Neste sentido, pode-se inferir que dados do canal 1 inferiores a 1% de reflectância apontam para transparências superiores a 0,5 m e que as mesmas podem ser estimadas a partir de informação oriunda do MODIS.

3º Objetivo específico: *“Estabelecer o intervalo de tempo entre a precipitação pluviométrica e a reflectância da água que apresente melhor correlação das alterações espectrais destes ambientes em função das chuvas”.*

Com a periodicidade obtida foi possível entender a dinâmica da precipitação em relação a alteração dos valores de reflectância. Em relação à resposta da precipitação na reflectância do reservatório foi observada uma variação conforme o rio que o abastece. A reflectância relacionada aos valores pluviométricos acumulado em 20 dias anteriores a passagem do satélite mostraram maior correlação na área de captação do Rio Jacuí e Jacuí Mirim ( $r= 0,88$  e  $r=0,83$ , respectivamente). Considerando o nível de significância o setor do Rio Jacuí, obteve 99,9% de confiança com relação ao acumulado em 20 dias e reflectância da água. As águas provenientes da sub-bacia do Rio Ingaí apresentaram correlação significativa de 99% da relação precipitação com a reflectância em 25 dias de acúmulo.

Desta forma, estabeleceu-se através das correlações relacionadas entre as duas variáveis que o acúmulo em 20 dias foi o que melhor representou o impacto da chuva sobre a reflectância da água registrada em imagens MODIS no Reservatório Passo Real. O que pode-se inferir que a partir de 30 dias as imagens MODIS não registram mais o efeito da chuva, isto pode mostrar também que a reflectância não sofre o efeito da chuva acumulada em mais do que trinta dias.

### REFERÊNCIAS

ALCÂNTARA, E. H. **Análise da turbidez na planície de inundação de Curuaí (PA, Brasil) integrando dados telemétricos e imagens MODIS/TERRA**. 2006. 220 p. (INPE-14621-TDI/1200). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2007/02.15.17.09>>. Acesso em: 08 dez. 2011.

ANDERSON, L. O.; SHIMABUKURO, Y. E.; DEFRIES, R. S.; MORTON, D. C. M.; ESPÍRITO-SANTO, F. D. B.; JASINSKY, E.; HANSEN, M.; LIMA, A.; DUARTE, V. Utilização de dados multitemporais do sensor MODIS para o mapeamento da cobertura e uso da terra. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 3443-3450. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. (INPE-12729-PRE/8019). Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.18.49>>. Acesso em: 09 jul. 2009.

ANDERSON, L. O.; LATORRE, M. L.; SHIMABUKURO, Y. E.; ARAI, E.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. **Sensor MODIS: Uma abordagem geral**. São José dos Campos: INPE, 2003. 53 p. (INPE-10131-RPQ/752). (INPE-10131-RPQ/752). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/marciana/2003/12.11.08.55>>. Acesso em: 09 jul. 2009.

ANEEL- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, Resolução Homologatória Nº 114, de 20 de Abril de 2004, Publicado no D.O de 22.04.2004, seção 1, p. 179, v. 141, n. 76. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/cedoc/reh2004114.pdf>. Acesso em: 22 de setembro de 2010.

ARRAUT, E. M. et al. Estudo do comportamento espectral da clorofila e dos sólidos em suspensão nas águas do Lago Grande de Curuai (Pará), na época de seca, através de técnicas de espectroscopia de campo. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005. p. 2447-2456.

AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. São Paulo: Difel, 1986.

BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto da dinâmica da circulação da água do sistema planície de Curuai/Rio Amazonas**. 2007. 282p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005.

BARTRAM, J; BALANCE, R. (Editores). **Water Quality Monitoring**: a practical guide to the design and implementation of freshwater quality studies and monitoring programmes. London: E & FN SPON, 1996.

BERLATO, M. A. ; CORDEIRO, A. P. A. . Variabilidade climática e agricultura do Rio Grande do Sul. In: Federação dos Clubes de Integração e Troca de Experiência-FEDERACITEa. (Org.). **As Estiagens e as Perdas na Agricultura: Fenômeno Natural ou Imprevidência?**. 1ª ed. Porto Alegre: Ideograf Editora Gráfica, 2005, v.1, p. 43-59.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. EDUSP, Editora da UFRGS, 1993.

BINDING, C. E., et. al., Spectral absorption properties of dissolved and particulate matter in Lake Erie, **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 4, 2007. p. 1702-1711.

BOTELHO, R. G. M.; GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da (org.). **Erosão e conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 1999.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística**: princípios e aplicações. Porto Alegre:Artmed, 2003.

CARVALHO, D.F.; SILVA, L.D.B. **Hidrologia**: Ciclo Hidrológico. 2006. Disponível em: <http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap2-CH.pdf>. Acesso em: 25 de março de 2012

CAVALCANTI, I.F.A., KOUSKY, V.E. 2003. Climatology of South American cold fronts. In: **VII International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography**, Wellington, New Zealand, 2009.

CEEE–GT (Companhia Estadual de Geração de Energia Elétrica – Geração e Transmissão). **Plano de uso e ocupação do solo no entorno do Reservatório da UHE Passo Real**. Porto Alegre: PROFFIL, 2009.

CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). **Guia de coleta e preservação de amostras de água**. São Paulo: CETESB, 1987.

COAJU – Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí. **Plano de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí**: consolidação das informações existentes sobre os recursos hídricos da bacia. Relatório Temático – RT 2, 2009, Passo Fundo, 2009.

COAJU – Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí. **História do Sistema Jacuí**. Disponível em: <[www.upf.br/coaju/download/Historia\\_Sistema\\_Jacui\\_1.ppt](http://www.upf.br/coaju/download/Historia_Sistema_Jacui_1.ppt)> Acesso em: 11 de outubro de 2010.

CORAZZA, R. **Relações entre variáveis espectrais e limnológicas no Reservatório da Usina Hidrelétrica Dona Francisca – RS**. 2010. 103f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

CORREIA, A. H.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; DUARTE, V. Utilização de dados reflectância MODIS (composições de 8 dias) para detecção de desmatamentos na Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 481-488. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. (INPE-12602-PRE/7895). Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.18.11.14>>. Acesso em: 12 mar. 2011.

CPTEC-INPE. Instituto Nacional de pesquisas Espaciais. **Produtos Especiais: El Niño, La Niña**. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/products/laninha/laninha3p.html>>. Acesso em: 1 de Jul., 2010.

CRUZ, P. T. **100 Barragens Brasileiras**: casos históricos, materiais de construção, projeto. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 1996.

DE BIASI, M. A Carta clinográfica: Os métodos de representação e sua confecção. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 6, p. 45-60, 1992.

DEFESA CIVIL DO RIO GRANDE DO SUL. In: Consulta de índices pluviométricos por período e município. Disponível em: [http://www2.defesacivil.rs.gov.br/estatistica/pluviometro\\_consulta.asp?consulta=4](http://www2.defesacivil.rs.gov.br/estatistica/pluviometro_consulta.asp?consulta=4). Acesso em 14 março. 2010.

DEKKER, A. G. **Detection of optical water quality parameters for eutrophic waters by high resolution remote sensing**. 222f. 1993. Doctor Thesis (Hyperspectral remote sensing of water quality). Vrije Universiteit, Amsterdam, 1993.

DIAS, N. W. et. al. Sensoriamento Remoto para a caracterização do aporte de sedimentos e compostos orgânicos da Represa de Paraibuna, São Paulo. **Ciências Agrárias**. 2005. p. 1-18. Disponível em <<http://www.agro.unitau.br/dspace>>. Acesso em 11/08

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

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

FORD, D. E. Reservoir transport processes. In: THORNTON, K. W.; KIMMEL, B. L.; PAYNE, F. E.. **Reservoir Limnology: Ecological perspectives**. JohnWiley & Sons: New York, 1990.

FREITAS, R. M.; NOVO, E. M. L. M. Mapeamento de áreas alagáveis na Planície do Rio Amazonas a partir de dados do sensor MODIS – região do Lago Curuaí – PA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 533-540. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. (INPE-12604-PRE/7897). Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.12.55>>. Acesso em: 12 dez. 2011.

FREITAS, R. M.; SHIMABUKURO, Y. E.; XAVIER, A. C.; NOVO, E. M. L. M. Análise da resposta espacial e radiométrica dos dados MOD09 nos diferentes ângulos de visada. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 541-548. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. (INPE-12605-PRE/7898). Disponível em: <<http://urlib.net/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.21.13.05>>. Acesso em: 16 nov. 2011.

GALVÃO, L.S. . Métodos para Análise de Espectros de Reflectância. In: Paulo Roberto Meneses; José da Silva Madeira Netto. (Org.). Sensoriamento Remoto: Reflectância de Alvos Naturais. 1 ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília/Embrapa Cerrados, 2001, v. , p. 225-247.

GOODIN, D. G., et al. A. Analysis of suspended solids in water using remotely sensed high resolution reflectance spectra. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 59, n. 4, p. 505-510, 1993.

IBGE. **Manual técnico de uso da terra**. 2. Ed. IBGE: Rio de Janeiro, 1986. (Manuais técnicos em Geociências, nº 7)

INPE-Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais - SPRING. Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas. - <<http://www.dpi.inpe.br/spring>> - Acesso em 14 de Setembro de 2010.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos naturais. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

KIRK, J. T. O. **Ligth and photosynthesis in aquatic ecosystems**. 2ed. Cambridge University Press: New York, 1994.

KLOIBER, S.M.; BREZONIK, P.L.; OLMANSON, L.G.; BAUER, M.E.; A procedure for regional lake water clarity assessment using Landsat multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, 82, 2002, p. 38-47

KONRAD, C. Dinâmica do Índice de Vegetação (NDVI –MODIS 13) na bacia de captação do reservatório Passo Real e a interferência na transparência da água. Relatório Técnico. 2010

MADDOX, R. A., 1980: Mesoscale convective complexes. Bull. Amer. Meteor. Soc., 61, 1374–1387.

MANTOVANI, J. E. **Comportamento espectral da água: faixas espectrais de maior sensibilidade ao fitoplâncton na presença de matéria orgânica dissolvida e matéria orgânica particulada**. 1993. 119p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1993.

MANTOVANI, J. E.; NOVO, E. M. L. M. Comportamento espectral da matéria orgânica dissolvida. **Anais...** VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador – Brasil, 1996, INPE, p. 917-923.

MATZENAUER R., et al. Regime anual e estacional de chuvas no Rio grande do Sul. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 15, 2007. Aracajú. **Anais...** Aracajú: 2007.

MOBLEY, C. D. **Light and Water**: radiative transfer in natural waters. San Diego: Academic Press, 1994.



MOREIRA, J.L.B. **Estudo da distribuição espacial das chuvas em Belo Horizonte e seu entorno**. 2002. 107f. Dissertação (Mestrado em Geografia)- Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3 ed. Viçosa: Ed. UFV, 2005.

MRT- Manual MODIS Reprojection Tool User's Manual-2001

NIMER, E., 1989: **Climatologia do Brasil**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, RJ; 421 p.

NOBREGA, I. W. **Análise espectral de sistemas aquáticos da Amazônia para a identificação de componentes opticamente ativos**. 2002. 84P. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002.

NOERNBERG, M. A. *et. al.* Relação entre profundidade Secchi e fator de reflectância da água de ambientes aquáticos lênticos em Cachoeira Paulista, SP. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1996, Salvador, **Anais...** Salvador: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996. p. 933-939.

NOVO, E. M. L. M., Utilização de dados de Sensoriamento Remoto em Estudos Ambientais. **Geografia**, v. 13, 25, n. 25, p. 43-51, 1989.

\_\_\_\_\_ Comportamento Espectral da Água. In: MENESES, P. R.; MADEIRA NETTO, J. da S. (Orgs.). **Sensoriamento Remoto: Reflectância dos Alvos Naturais**. Brasília: UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. p.203-222.

\_\_\_\_\_ Sensoriamento Remoto Aplicado à Ecologia Aquática. In: ROLAND, F.; CESAR, D.; MARINHO, M. (Orgs.) **Lições de Limnologia**. São Carlos: RIMA, 2005. p 418- 432.

NOVO, E. M. L. M.; BARBOSA, C.; FREITAS, R. M. Aplicações no Estudo de Sistemas Aquáticos Continentais. In: SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J. C.; RUDORFF, B. F. T. (Ed.). **O Sensor Modis e suas Aplicações Ambientais no Brasil**. [s.n.] 2007. p. . ISBN 9788560507009. (INPE--/).

OLIVEIRA A.S. Interação entre sistemas frontais na América do Sul e a convecção da Amazônia. INPE-4008-TDL/239. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) INPE, São José dos Campos, 1986.

OLMANSON, L.G. BAUER, M.E.; BREZONIK, P.L.. A 20-year Landsat water clarity census of Minnesota's 10,000 lakes, **Remote Sensing of Environment**. 112, 2008, p.4086-4097

OVERBECK, G.E.; MÜLLER, S.C.; FIDELIS, A.; Os Campos Sulinos: um bioma negligenciado. In: PILLAR, V. P.; MÜLLER, S.C.; CSATILHOS, Z.M.de S.; JACQUES, A.V.A. **Campos Sulinos Conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA - 2009

PEREIRA FILHO, W.; GALVÃO, L. S. Relações entre reflectância espectral e concentração de sedimentos em suspensão no reservatório Passo Real, Região Sul do Brasil. In.: Simpósio Latinoamericano de Percepção Remota, 8., 1997, Mérida, VE. **Memórias...** 1997. CD-ROM.

PEREIRA FILHO, W. et al. Influência de reservatórios em cascata nos dados de reflectância e de limnologia - Reservatórios de Passo Real e Dona Francisca, Rio Jacuí – RS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009. Natal. **Anais...** Natal: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009. P. 4813-4819.

PEREIRA FILHO, W. et al. **Caracterização espectral e limnológica de ambientes lenticos e lóticos no Rio Grande do Sul, com abordagem espaço-temporal**. Relatório Técnico apresentado ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) processo nº 484712/2007-1 como comprovante das atividades referentes ao projeto, 2010.

PULLIAINEN, J., KALLIO, K., ELOHEIMO, K., KOPONEN, S., SERVOMAA, H., HANNONEN, T., TAURIAINEN, S., & HALLIKAINEN, M. (2001). **A semi-operative approach to lake water quality retrieval from remote sensing data**. Science of the Total Environment, 268, 79– 93.

RENNÓ, C. D. **Construção de um sistema de análise e simulação hidrológica: aplicação a bacias hidrográficas**. 2004. 146 p. (INPE-10437-TDI/925). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2003/06.10.13.53>>. Acesso em: 23 mar. 2010.

RUDORFF, C. M. et al. Análise derivativa de dados hiperespectrais medidos em nível de campo e orbital para caracterizar a composição de águas opticamente complexas na Amazônia. **Acta Amazonica**, v. 37, 2007. p. 269-280.

RUDORFF, C. M. **Estudo da composição das águas da Planície Amazônica por meio de dados de reflectância do sensor Hyperion/EO-1 e de espectrômetro de campo visando à compreensão da variação temporal dos seus constituintes opticamente ativos**. 2006. 140f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.

RUDORFF, B. F. T. **Produtos de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos, SP: INPE, 2002 (Apostila).

RUDORFF, B. F.T.; SHIMABUKURO, Y.E.; CEBALLOS, J. C.. **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 425 p. ISBN 978-85-60507-00-9. (INPE--/).

SARTORI, M.G.B. A dinâmica do clima no Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimento científico. **Terra Livre**. São Paulo, ano 19, v.1, n.20, p.27-49. jan/jul.2003.

\_\_\_\_\_. **Clima e percepção**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

\_\_\_\_\_. Distribuição das chuvas no Rio Grande do Sul e a variabilidade têmporo-espacial no período de 1912-1984. In: V SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 1993, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Departamento de Geografia/FFLCH/USP, 1993. p.275 -280.

\_\_\_\_\_. As variações pluviométricas e o regime das chuvas na Região Central do Rio Grande do Sul. **Boletim de Geografia Teorética**. Rio Claro, n.23, vol. 45-46, 1993. p.70-84.

\_\_\_\_\_. **O clima de Santa Maria, RS: do regional ao urbano**. 1979. 166fl. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1979.

SAUSEN, T. M. ; RUDORFF, B. F. T. ; SIMI JUNIOR, R. ; AULICINO, L. C. M. . Sensoriamento remoto e suas aplicações para recursos naturais. Vale Paraibano – Encarte Especial, São José dos Campos, p. 1 - 4, 21 ago. 1999.

SILVA DIAS, M. A. F. Complexos convectivos de mesoescala. In: **Climanálise Especial**: edição comemorativa de 10 anos. Cachoeira Paulista: INPE/CPTEC, 1996. p.173-182.

THORNTON, K. W. Perspectives on reservoir limnology. In: THORNTON, K. W.; KIMMEL, B. L.; PAYNE, F. E.. **Reservoir Limnology**: Ecological perspectives. JohnWiley & Sons: New York, 1990.

TRENTIN, A. B. **Sensoriamento Remoto aplicado ao estudo do comportamento espectral da água no Reservatório Passo Real – RS**. 2009. 98f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

TUCCI, C.E.M. **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre, Ed. Universidade UFRGS, 1998.

TUCCI, C.E.M.; MENDES, C.A. **Avaliação Ambiental Integrada de Bacia Hidrográfica**. Ministério do Meio Ambiente/ Brasília, 2006

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

TUNDISI, J. G. et al. Ecossistemas de águas interiores. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Orgs.). **Águas Doces no Brasil**: capital ecológico, uso e conservação. 3 ed. São Paulo: Escrituras, 2006-a, p. 161-202.

TUNDISI, J. G. et al. Limnologia de águas interiores: impactos, conservação e recuperação de ecossistemas aquáticos. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Orgs.). **Águas Doces no Brasil**: capital ecológico, uso e conservação. 3 ed. São Paulo: Escrituras, 2006-b, p. 203-240.

TUNDISI, J.G. **Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado**; In: Ciência e Cultura. vol.55 no.4 São Paulo; Dez. 2003

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. **Applied Geography**, v. 32, n. 2, p. 300-309, Mar. 2011. doi: <[10.1016/j.apgeog.2011.05.004](https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.05.004)>.

VELASCO, I. e J.M. FRITSCH, 1987: Mesoscale convective complexes in the Americas. J. Geophys. Res., 92, D8, 9591-9613.

VERMOTE E.F & VERMEULEN A. 1999. Atmospheric correction algorithm: spectral reflectances (MOD09). Disponível em: <  
[http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd\\_mod08.pdf](http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod08.pdf) > . Acesso em: 21 set. 2010.

VERMOTE, E. F., VERMEULEN, A. **Atmospheric correction algorithm: spectral reflectances (MOD09)**. Algorithm Theoretical Background: National Aeronautics and Space Administration, 1999. 107 p. (NASA contract NAS5-96062). Disponível em: <  
[http://modarch.gsfc.nasa.gov/MODIS/ATBD/atbd\\_mod08.pdf](http://modarch.gsfc.nasa.gov/MODIS/ATBD/atbd_mod08.pdf)>. Acesso em: 05.maio.2010.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo, McGRAW-HILL, 1975.

WACHHOLZ, F. **Compartimentação aquática do reservatório Rodolfo Costa e Silva-RS, a partir de variáveis limnológicas e imagens orbitais**. 2007. 97f.. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

WACHHOLZ, F **Influência das bacias hidrográficas e caracterização espaço-temporal de variáveis limnológicas em reservatório no Rio Grande do Sul**. 2011.191f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011.

WETZEL, R. G. **Limnological analyses**. 3rd. ed. New York, NY: Springer, 2000.

WETZEL, R. G. **Limnology: Lakes and River Ecosystems**. 3 ed. San Diego, CA: Academic Press, 2001.