

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Centro de Desenvolvimento Tecnológico
Curso de Engenharia Hídrica



Trabalho de Conclusão de Curso

**Análise da variabilidade do sedimento em suspensão na Lagoa Mirim a partir
da integração de observações de campo com produtos de sensoriamento
remoto**

Alessandro da Costa Fonseca

Pelotas, 2018

Alessandro da Costa Fonseca

**Análise da variabilidade do sedimento em suspensão na Lagoa Mirim a partir
da integração de observações de campo com produtos de sensoriamento
remoto**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Hídrica, do Centro de Desenvolvimento
Tecnológico, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Hídrica.

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Loguercio Collares - UFPel

Coorientador: MSc Guilherme Kruger Bartels

Pelotas, 2018

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que contribuíram diretamente ou indiretamente para minha formação.

A minha família que sempre me deu apoio necessário (Irmãos, tios, primos). Em especial ao meu pai Antônio da Costa Fonseca Filho, que sempre me motivou me dando forças e foco para atingir meus objetivos.

Aos colegas de curso e laboratório, atuais e passados, pela amizade e parceria conquistada durante essa caminhada. Em especial ao meu colega Pedro pela amizade e colaboração no desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do curso, por todo o conhecimento transmitido.

Aos técnicos Lucas Viegas e Reginaldo Bonczynski por todas as saídas de campo e ensinamentos.

Ao colega George Marino pela ajuda para desenvolvimento deste trabalho e conselhos dados.

A Prof^a. Dra. Viviane Santos Silva Terra, pelo incentivo e conselhos durante minha formação.

Ao meu professor e orientador, Prof. Dr. Gilberto Loguercio, por sua orientação, ensinamentos, amizade e oportunidade de realizar este trabalho.

Ao meu coorientado Msc. Guilherme Kruguer Bartels, pelas experiências, aprendizado, conversas, amizade e paciência durante essa jornada.

E a todos, que mesmo sem saber, de alguma forma ou outra contribuíram para realização deste momento, meu mais profundo e sincero agradecimento.

Resumo

FONSECA, A.C. Análise da variabilidade do sedimento em suspensão na Lagoa Mirim a partir da integração de observações de campo com produtos de sensoriamento remoto. 2018, 50p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Hídrica) - Engenharia Hídrica, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

A Lagoa Mirim situada na Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo, está ligada a Laguna dos Patos através do Canal São Gonçalo. Sendo um manancial hídrico de extrema significância ambiental, econômica, está diretamente ligada à agricultura, à pecuária e com as relações de dois países, por se tratar de uma Lagoa transfronteiriça. Este trabalho teve como objetivo de avaliar as bandas 1 e 2 do sensor MODIS a bordo dos satélites Terra e Aqua, para estimativa da concentração de sedimentos em suspensão na Lagoa Mirim. Também foi estudada a sazonalidade da reflectância da parte norte da Lagoa Mirim, localizado em Santa Isabel, município de Arroio Grande. O percurso metodológico consistiu em três campanhas de campo para coletas de amostras, em 23 pontos amostrais dispostos na área do corpo hídrico. Foram determinadas concentrações de sedimentos em suspensão e correlacionados com valores de reflectância extraídos das imagens MODIS. Os resultados indicaram que é possível utilizar produtos de sensoriamento remoto para monitoramento hidrossedimentológico desde que realizada eficiente calibração com medidas realizadas in situ. Nesse sentido verificou-se uma correlação moderada entre os valores de reflectância e de concentração de sedimentos em suspensão no satélite Terra, diferentemente dos valores encontrado pelo sensor MODIS a bordo do satélite Aqua.

Palavras-Chave: Concentração de Sedimentos, Sensoriamento Remoto, Lagoa Mirim.

Abstract

FONSECA, A.C. Analysis of the variability of suspended sediment in the Mirim Lagoon from the integration of field observations with remote sensing products. 2018, 50p. Course Completion Work (Hydraulic Engineering) - Hydraulic Engineering, Federal University of Pelotas, Pelotas, 2018.

The Mirim Lagoon, located in the Hydrographic Basin of Mirim Lagoon, is connected to Laguna dos Patos through the São Gonçalo Channel. Being a water source of extreme environmental and economic significance, it is linked directly to agriculture, livestock and politics, because it is a transboundary Lagoon. The objective of this work is to evaluate the bands 1 and 2 of the MODIS sensor on the Terra and Aqua satellites, to estimate the concentration of suspended sediments in Mirim Lagoon. It was also studied the seasonality of the northern part of the Mirim Lagoon, located in Santa Isabel, an Arroio Grande municipality. The methodology consisted of three field campaigns for water collection, totaling 23 points sampled, after which the analysis of suspended sediment concentrations were carried out and finally were correlated with reflectance values extracted from the MODIS images. The results indicated that it is possible to use remote sensing products for hydrosedimentological monitoring provided that the data are properly calibrated with measurements made in situ. In this sense, there was a moderate correlation between the reflectance values and the suspended sediment concentration in the Terra satellite, differently from the values found by the MODIS sensor aboard the Aqua satellite.

Key-words: suspended sediments concentration, remote sensing, Mirim Lagoon.

Lista de Figuras

Figura 1- Diagrama da distribuição da velocidade, concentração de sedimentos e descargas sólidas nos cursos d'águas. Fonte: Carvalho (1994).	16
Figura 2 Distribuição dos sedimentos na seção vertical Fonte: Carvalho (2008)	16
Figura 3- Local de estudo.....	27
Figura 4 - Pontos de coleta	28
Figura 5- Amostragem do Sedimento em suspensão com garrafa de Van Dorn.	29
Figura 6 - Reflectância na faixa espectral do Vermelho (b1 MOD09Q1) na Lagoa Mirim entre 2003 e 2017 para um pixel. Em azul as imagens brutas e em vermelho as imagens filtradas	31
Figura 7- Sistema de Filtração acoplado a uma bomba de sucção.....	32
Figura 8 - Processo de filtração.....	33
Figura 9 - Relação entre níveis de Santa Isabel e Reflectância.	35
Figura 10 - Correlação entre os valores de CSS e reflectância na faixa do vermelho e infravermelho do satélite Terra.....	41
Figura 11 - Correlação entre os valores de CSS e reflectância na faixa do vermelho e infravermelho do satélite Aqua.	42

Sumário

1 Introdução.....	10
1.1 Objetivo	12
2 Revisão de literatura	13
2.1 Recursos hídricos	13
2.1.1 Lagoa Mirim	13
2.2 Produção de sedimentos.....	14
2.2.1 Distribuição de sedimentos.....	15
2.2.2 Concentração de sedimentos	16
2.3 Sensoriamento remoto	18
2.3.1 Princípios físicos do sensoriamento remoto.....	18
2.3.2 Reflectância	20
2.3.3 Relação entre reflectância com sedimento em suspensão	20
2.3.4 Sensoriamento Remoto em recursos hídricos	22
2.3.5 Sensor EOS-MODIS.....	23
2.3.6 Séries temporais	24
3 Materiais e Métodos	26
3.1 Áreas de estudo	26
3.1.1 Pontos de coletas.....	27
3.2 Equipamentos utilizados	28
3.3.1 Processamento das imagens	30
3.4 Monitoramento da sazonalidade da reflectância.....	30
3.5 Análises da concentração de sedimentos	31
3.5.1 Método de Filtração.....	31
3.6 Relação entre reflectância e sedimento em suspensão	34
4. Resultados e Discussão	34
4.1 Série temporal de reflectância	34
4.2 Concentração de sedimentos	36
4.3 Extração da reflectância da água.....	38
4.4 Reflectância de superfície <i>versus</i> sedimento em suspensão	40
5. Conclusão	44
6 Sugestões	44

Referências45

1 Introdução

Conforme a Política Nacional de Recursos Hídricos, a água é um bem de domínio público, limitado e dotado de valor econômico. Sua disponibilidade está relacionada não somente a quantidade disponível, mas também com sua qualidade, uma vez que os padrões mínimos restringem seus usos.

A descarga sólida em suspensão é um dos principais fatores que interferem diretamente na qualidade de água. Os sedimentos frequentemente agem como transporte de microrganismos, podendo conter partículas tóxicas e aumentando o processo de assoreamento de rios e lagos, apresentando importantes processos de degradação do meio ambiente (JENSEN, 2009).

Devido à turbulência do escoamento os sedimentos finos tendem a se manter em suspensão em rios. No entanto, em ambientes com menos turbulência, como ambientes marinhos e estuários em particular, acabam propiciando condições para deposição de sedimentos no seu leito (GIBBS, 1983).

De acordo com Ritchie e Schiebe (2000) a concentração de sedimentos em suspensão é o parâmetro de qualidade de água mais importante para os estudos de erosão. Existem vários métodos para estimar os parâmetros relacionados ao transporte de sedimentos a partir de medições *in situ*, no entanto, essas medidas são pontuais, não sendo satisfatório em quantidade para criação de um mapa de distribuição estatisticamente significativo (KROGER e LAW, 2005 apud JENSEN, 2009). Devido à demora entre a coleta e sua disponibilidade para o uso, esse sistema de monitoramento acaba sendo insuficiente, nesse contexto que a tecnologia de sensoriamento remoto se insere como fonte de informação a ser integrada às convencionais (NOVO, 2007).

A necessidade de informações contínuas, referente às questões ambientais, está em uma constante crescente pois somente os registros das condições de um ambiente, durante um significativo espaço de tempo, é que será possível interpretar e entender as tendências de sua variabilidade em função de diversos fatores, sendo eles naturais ou antrópicos. Essa demanda está associada a uma elevada repetição temporal e espacial em conjunto com a disponibilidade de satélites e sensores adequados (FICHTELMANN et. al., 2005).

Na realização de monitoramento de atividades de proteção ambiental natural, assim como para uma melhor gestão e planejamento, o sensoriamento remoto representa uma excelente ferramenta para a obtenção de dados repetitivos e consistentes da superfície terrestre (NOVO, 2008). Através de imagens digitais obtidas simultaneamente em diferentes bandas espectrais, é possível identificar as características físicas dos alvos, distribuição espacial e com a utilização de uma série histórica de imagens, é possível analisar as variações que ocorrem ao longo do tempo (FLORENZANO, 2002; CAMPANA e EID, 2001).

Com o auxílio de imagens de satélites em ambientes aquáticos é possível verificar a variação temporal e espacial da composição da água, viabilizando analisar a origem e o deslocamento de substâncias específicas em suspensão e dissolvidas na água (JENSEN, 2009).

Nesse sentido, o presente estudo visa um maior conhecimento a respeito da variabilidade espacial e temporal da concentração de sedimentos em suspensão da Lagoa Mirim, por meio da análise de dados espectrais contidos em imagens orbitais do sensor MODIS em comparação com resultados observados em amostras coletadas em campo.

1.1 Objetivo

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a variação espaço-temporal do sedimento em suspensão na Lagoa Mirim a partir da integração de imagens multiespectrais com dados de sedimento em suspensão coletados em campo.

2 Revisão de literatura

2.1 Recursos hídricos

De acordo com Tucci (2002), a água é um bem de consumo final ou intermediário em quase todas as atividades humanas, devido ao uso variado e intensificado desse recurso acabam ocorrendo conflitos entre usuários, fazendo necessário que haja uma forma mais eficiente de evitar e administrar esses conflitos, ou seja, uma gestão integrada do uso, controle e conservação dos recursos hídricos. Entretanto, conflitos referentes à qualidade, quantidade e déficit de oferta, já podem ser observados, tornando o manejo desses recursos uma importante ferramenta de gestão ambiental, sendo que seus elementos físicos naturais estão diretamente ligados aos processos do ciclo da água (SEMA, 2010).

Conforme estudos, o consumo de água dobra a cada 20 anos, o que torna a carência de água um fator determinante para o desenvolvimento, onde muitos países acabam entrando em conflito por causa de recursos hídricos, uma vez que água tem sido considerada um recurso escasso e estratégico, devido aos seus valores econômico, social e ecológico (MAIA NETO, 1997)

2.1.1 Lagoa Mirim

A Lagoa Mirim é o principal corpo d'água da Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo e constitui um dos principais corpos hídricos do sistema lagunar meridional da América do Sul, possuindo um espelho d'água com área de aproximadamente 3,749 km², 185 km de comprimento e largura média de 20 km. Está ligada a Laguna dos Patos através do Canal São Gonçalo, que apresenta uma extensão de aproximada de 76 km (KOTZIAN; MARQUES, 2004). Suas águas afluem no sentido da Lagoa Mirim a Laguna dos Patos, fluxo esse controlado pela barragem Eclusa do

Canal São Gonçalo, dotada de um sistema de 18 comportas basculantes, com finalidade de evitar a entrada de água salina na Lagoa Mirim (ALM, 2012).

Seus recursos hídricos são utilizados para o abastecimento público, aquicultura, navegação, pesca e irrigação. O principal uso da água da Lagoa Mirim destina-se para irrigação de lavouras de arroz, tanto em território brasileiro, assim como, em território uruguaio, podendo chegar a 400 m³/s (ANA, 2006).

Devido as características hidráulico-hidrológicas da Lagoa Mirim, Kotzian e Marques (2004) inferem que, o manancial se trata de um grande reservatório de regularização interanual da região.

2.2 Produção de sedimentos

A produção de sedimentos é decorrente de processos erosivos naturais do ciclo hidrológico. No entanto, esse fenômeno tem se intensificado cada vez mais devido à interferência do homem que, por sua vez, essas intervenções em bacias hidrográficas tem gerado uma produção cada vez maior de sedimentos que são transportados ao longo dos cursos d'água (MIRANDA,2011).

Conforme Silva e Pruski (2002), o ciclo natural da erosão e da sedimentação de determinada região é diretamente influenciada por atividades humanas, pois as taxas de erosão e de sedimentação podem ser ampliadas inúmeras vezes, devido a ações antrópicas.

Segundo Wilcock et al. (2009), os sedimentos provenientes do processo erosivo podem ser classificados em duas classes de transporte: (i) transporte em arraste, onde as partículas movem-se perto ou junto do leito do canal, deslizando, rolando ou saltando, (ii) transporte em suspensão, onde a partícula é transportada através da coluna d'água devido o fluxo turbulento.

De acordo com Thornton et al. (1990), destacam que o sedimento é o principal poluente da água, por ser transportador e catalizador de partículas provenientes de defensivos agrícolas, nutrientes, resíduos orgânicos e organismos patogênicos. Silva & Pruski (2002) salientam que um dos principais responsáveis pelas modificações do meio ambiente natural é o setor agrícola, devido à má

utilização de práticas conservacionistas adequadas, assim podendo gerar um aumento considerável de perda de solo nas áreas cultivadas.

Conforme Chepar (1999), a produção de sedimentos caracteriza-se como a quantidade que uma bacia exporta em um determinado tempo. Onde ela pode ser em relação à área drenada ($t.km^{-1}ano^{-1}$) ou em termos absolutos ($t.ano^{-1}$), denominada de taxa de sedimento. Valores de produção de sedimento altos, acima de $175 t.ano^{-1} km^{-2}$, podem afetar reservatórios com depósitos indesejáveis; valores entre 70 e $175 t.ano^{-1} km^{-2}$ é considerada produção moderada e a produção baixa de sedimento fica em torno de $35 t.ano^{-1} km^{-2}$ (CARVALHO et. al, 2006).

2.2.1 Distribuição de sedimentos

A erosão fluvial acontece de maneira contínua e natural pela ação das correntes dos rios, transportando e distribuindo os sedimentos em suspensão. Durante esse processo, o transporte e deposição de sedimentos é determinada de acordo com os parâmetros hidráulicos do canal, isto é, são definidos pela velocidade e turbulência do fluxo e características das partículas (CUNHA,2000).

Conforme Carvalho (1994), a distribuição dos sedimentos deve ser considerada numa vertical, em uma seção transversal ao longo do curso d'água e em relação ao tempo. Sendo assim, a partícula em suspensão está sujeita a ação da velocidade da corrente na direção horizontal e do seu peso. Portanto a concentração do sedimento apresenta um mínimo na superfície e um máximo próximo ao leito, para uma variada granulometria. O autor destaca que as partículas mais grossas de sedimento em suspensão fluem da superfície para o leito, já as partículas mais finas apresentam uma distribuição mais uniforme na vertical, e que a concentração do sedimento em suspensão em um rio varia da superfície para o fundo e de um lado para outro na seção transversal. Essa concentração pode ser observada conforme as figuras 1 e 2.

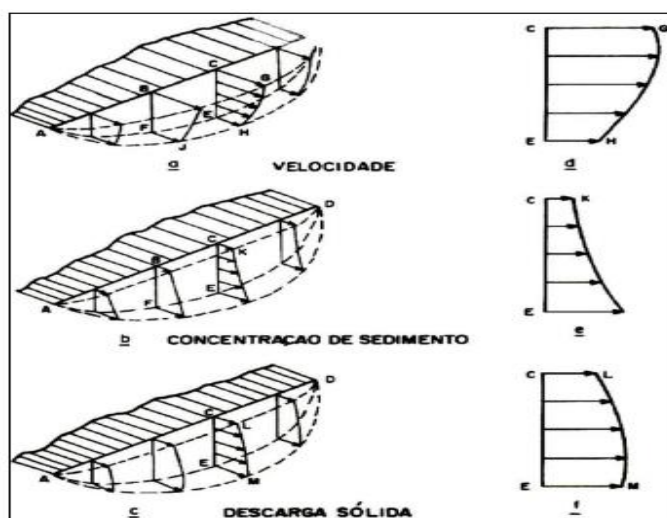


Figura 1- Diagrama da distribuição da velocidade, concentração de sedimentos e descargas sólidas nos cursos d'água. Fonte: Carvalho (1994).

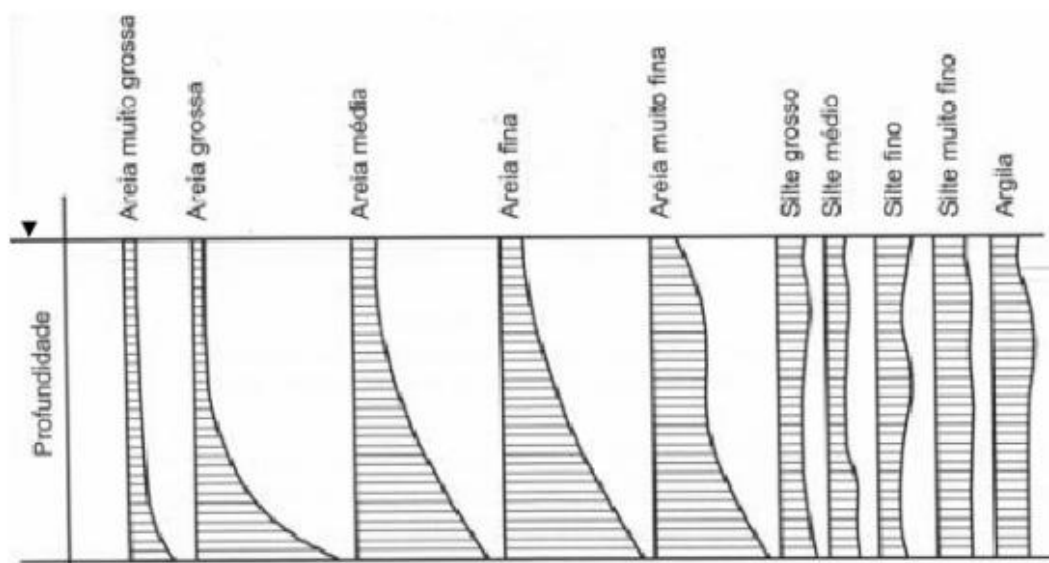


Figura 2 Distribuição dos sedimentos na seção vertical Fonte: Carvalho (2008)

2.2.2 Concentração de sedimentos

Loureiro (2008) destaca que na maioria dos rios os sedimentos em suspensão na coluna d'água constituem a maior parte dos sedimentos transportados. Devido à necessidade de dados relativos à concentração dos sedimentos em suspensão

estarem associados a diversos tipos de estudos, em alguns casos requerem uma série de dados contínuos, enquanto em outros casos, são necessários apenas dados durante os picos de vazões.

ROSA et al. (1991) afirmam que a aquisição de dados representativos do processo sedimentológico é uma tarefa muito difícil devido a variabilidade temporal e espacial do material particulado em suspensão. Porém, pesquisas desenvolvidas apontam duas categorias de amostradores de material particulado em suspensão e sedimentado:

1) amostradores instantâneos – realizam coleta de uma amostra pontual em um determinado momento;

2) amostradores integrados ao longo do espaço ou tempo – realiza coleta de uma amostra sobre uma seção vertical (integradores espaciais) ou em um ponto fixo por um determinado período (integradores temporais).

A tabela 1 apresenta métodos de medição de sólidos em suspensão conforme Carvalho (1994).

Tabela 1 – Métodos de medição de sólidos em suspensão.

Medição	Descrição	Equipamento ou metodologia de medida
Direta	Equipamento que medem diretamente no curso d'água a concentração ou outra grandeza.	Turbidímetro, Ultra-sônico e ADCP (Doppler)
	Por acumulo de sedimento em um medidor (proveta graduada)	Garrafa Delft (medidor pontual)
Indireta	Coleta de sedimento por amostragem na mistura água sedimento, análise da concentração e cálculos posteriores da descarga sólida.	Equipamento de bombeamento, garrafas ou sacas, pontuais ou instantâneos, pontual por integração e integradores na vertical (DH-48, DH-59, D-49, P-61 e amostradores de saca.
	Uso de imagens de satélites e comparação com medidas simultâneas de campo para calibragem.	São estabelecidas equações que correlacionam as grandezas de observação das imagens com as concentrações medidas.

Fonte: Modificado de Carvalho (1994).

Conforme Winterwerp e Kesteren, (2004), os sedimentos que apresentam tamanho de grão maior que 0,062 mm são denominados sedimentos grosseiros

(areia e seixos), aqueles com tamanho menor denominam-se siltes (de 0,062 a 0,0039 mm) e argilas (de 0,0039 a 0,00006 mm). De acordo com Ward e Trinble, (1995), os sedimentos transportados por suspensão são compostos principalmente por argilos-minerais e silte, podendo representar 90% do total do material transportado.

2.3 Sensoriamento remoto

Novo (2008) descreve sensoriamento remoto como sendo a aplicação de sensores, equipamentos para processamento, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves, ou plataformas, com o objetivo de estudar eventos como fenômenos e processos que ocorrem na superfície da Terra através das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações (FLORENZANO, 2002; CAMPANA e EID, 2001).

A forma mais comum de uso dos produtos de sensoriamento remoto é através da interpretação visual de imagens de satélite voltada para o mapeamento temático da superfície terrestre (SILVA et al., 2008). Diferentes objetos podem ser identificados nas imagens de satélites de acordo com seus padrões de reflexão e emissão de radiação eletromagnética nos diferentes comprimentos de ondas. Ou seja, as técnicas de sensoriamento remoto são elaboradas para captar e identificar as energias emitidas pelos diferentes objetos (LIU, 2007).

2.3.1 Princípios físicos do sensoriamento remoto

A radiação eletromagnética (REM) é o meio em que a matéria é transferida do objeto para o sensor. A REM pode ser definida como uma forma dinâmica de energia que se manifesta a partir de sua interação com a matéria. Isso quer dizer que a REM se propaga no espaço vazio, como a luz solar, e ao mesmo tempo, uma

forma de onda e uma fonte de energia (NOVO, 2008). Todos os objetos do mundo real que estejam a uma temperatura acima de zero absoluto ($-273,15^{\circ}\text{C}$ ou zero Kelvin) emitem radiação eletromagnética, ou seja, quanto maior a temperatura da fonte maior e sua potência irradiante de energia.

De acordo com Novo (2008) as principais grandezas em sensoriamento remoto referem-se à irradiância, radiância, absortância, reflectância e transmitância, descritas como:

- Irradiância: Consiste no fluxo de energia incidente sobre uma superfície por unidade de área;
- Radiância: Corresponde ao fluxo radiante por unidade de ângulo sólido que deixa uma fonte em uma dada direção por unidade de área;
- Absortância: É a razão entre o fluxo de energia absorvido e a energia incidente sobre uma superfície;
- Refletância: Refere a razão entre o fluxo refletido e o fluxo incidente sobre uma superfície;
- Transmitância: É dada pela razão entre o fluxo de energia transmitido pelo fluxo incidente sobre uma superfície.

Outros fatores importantes a serem considerados no sensoriamento remoto são as resoluções: espacial, radiométrica, temporal e espectral.

A resolução espacial refere-se à área do pixel em cada visada do sensor, ou seja, quanto maior a área da visada maior o pixel. Quanto menor o pixel, maior será a resolução espacial da imagem.

Resolução radiométrica que corresponde ao número de níveis digitais, representando níveis de cinza (DNs), usados para expressar os dados coletados pelo sensor. Quanto maior o número de níveis, maior é a resolução radiométrica.

A resolução temporal está relacionada ao intervalo de tempo entre uma tomada de dados e outra. Cada sensor tem uma resolução temporal diferente de acordo com suas características.

E por último a resolução espectral que se refere ao intervalo do espectro captado pelo sensor, onde as imagens podem ser multiespectrais ou hiperespectrais, com várias bandas de uma cena, cada uma referente a uma faixa de comprimento de onda do espectro. Quanto mais bandas, mais estreitas serão e conseqüentemente mais fáceis serão discriminados os alvos (MOREIRA, 2003).

2.3.2 Reflectância

A grandeza radiométrica mais utilizada para caracterizar as interações energia-matéria na região do visível e infravermelho do espectro eletromagnético é a reflectância espectral, que é expressa pela equação 1:

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi L_{\lambda}}{E_{\lambda}} \text{ equação } (1)$$

Onde a distribuição espectral da radiância de uma superfície L_{λ} depende tanto da reflectância espectral da superfície (ρ_{λ}), como da distribuição espectral da irradiação incidente (E_{λ}). A reflectância depende da interação entre a energia e a matéria (NOVO, 2008).

Os padrões de reflectância dos variados tipos de materiais são obtidos pela medida da intensidade da radiação eletromagnética por comprimento de onda refletida dos objetos onde geralmente são apresentadas em formas de gráficos denominados curvas espectrais de reflectância (JENSEN, 2009).

2.3.3 Relação entre reflectância com sedimento em suspensão

O comportamento espectral da água diferente dos demais alvos naturais apresenta uma grande complexidade, devido ao fato de que a energia refletida pela água é consideravelmente menor que os demais alvos. Outro fator importante é a interferência atmosférica na região de maior penetração de luz na água, a transmitância variável é alta em função das diferentes profundidades, componentes opticamente ativos da água (COA) apresentam espectros semelhantes e a reflectância da superfície da água é mais elevada que a do volume afetada por outros fatores (NOVO, 2008).

A figura 3 apresenta variação na resposta espectral de um corpo d'água puro em função do aumento da concentração de sedimentos em suspensão. Como pode ser observado, o aumento na concentração de sedimentos gera um aumento na

reflectância na faixa de 400 nm e 900 nm. Porém, ressalta-se que a relação entre sedimentos em suspensão e reflectância não é linear e é controlada através de vários fatores, incluindo propriedades dos sedimentos, como granulometria e composição mineralógica (CURRAN e NOVO, 1998).

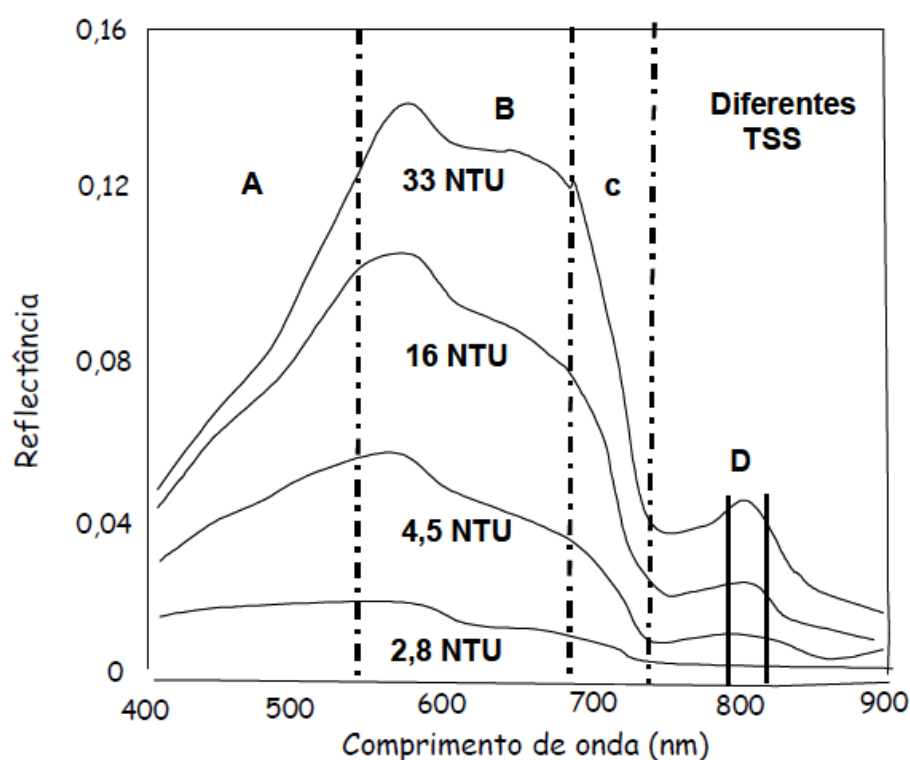


Figura 3 - Curvas de reflectância com diferentes concentrações de sólidos em suspensão (FONTE: Adaptado de Goodin et al. 1993).

Como se observa na imagem acima há um crescimento na reflectância entre 400 e 550 nm (região “A” na figura 3 seguida por uma alta reflectância na faixa 550 e 700 nm (na região B); estas feições estão associadas ao espalhamento do material particulado presente no sedimento e a baixa absorção pela água da REM nessa região. Também se observa um decréscimo rápido entre 700 e 740 nm na região C, devido ao forte aumento de absorção da água nesta região, já na região D há um pequeno pico de reflectância entre 800 e 810 nm.

De acordo com Quibell (1991), esta faixa corresponde a uma região de absorção mínima da água pura, e o pico de reflectância, onde deve ser a menor atenuação da REM, antes e depois de espalhada pelas partículas em suspensão.

2.3.4 Sensoriamento Remoto em recursos hídricos

A partir da década de 90, com o advento de espectrorradiômetros com melhores resoluções espectrais e radiométricas, foi possível obter um aumento do conhecimento sobre o espectral da água, e de que forma o tipo e concentração de materiais no volume de água alteram sua refletância espectral (NOVO, 2008).

Conforme Smith (1997), os estudos hidrológicos podem ser realizados com dois tipos de sensores, classificados como: *ativos*, na qual o sensor fornece sua própria iluminação e registra a quantidade de energia incidente retornada da superfície da imagem e os *passivos*, no qual o sensor recebe energia naturalmente retida ou emitida a partir da superfície. Os sensores passivos estão disponíveis nos mais diversos satélites como Landsat, *Multispectral Scanner* (MSS), o *Thematic Mapper* (TM), *Operational Land Imager* (OLI), assim como, *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR), *Advanced Space borne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER) e o *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS).

Uma das alternativas para auxiliar estudos em rios, lagos, reservatórios e estuários é a utilização de imagens de sensoriamento remoto na faixa do visível do espectro eletromagnético, fornecendo uma visão resumida e possibilitando análises temporais. Ao realizar um monitoramento empregando sensoriamento remoto em corpos hídricos, é necessário conhecer como a água pura seletivamente absorve e/ou espalha a radiação incidente ou a luz solar descendente na coluna d'água e depois considerar como a luz incidente é afetada quando a coluna d'água não é pura, mas contém materiais orgânicos e inorgânicos (BUKATA et. al., 1995). A água pura apresenta baixa reflectância mesmo na região do visível do espectro, sendo assim, ambientes aquáticos sem material suspenso ou dissolvido, terão uma menor reflectância devido ao pequeno coeficiente de espalhamento e elevada transmitância.

Para análises hidrológicas, a partir de processamento de imagens de sensoriamento, existem diversos métodos, um deles utiliza uma banda única e as análises conforme as diferenças de refletividade entre os corpos de água e outros

alvos da superfície. Para utilização dessa técnica, geralmente são utilizadas as bandas do infravermelho médio ou do infravermelho próximo, devido a água ter forte absorção nessas faixas espectrais, enquanto a vegetação e o solo têm forte reflexão (GAO, 1996). Para estimar os componentes da água por meio de imagens orbitais, é necessário elaborar relações empíricas entre as bandas do sensor e dados in situ. Essas relações dependem das características dos componentes e das faixas espectrais do sensor (MONTANHER, 2013).

2.3.5 Sensor EOS-MODIS

A bordo dos satélites EOS-TERRA e EOS-ACQUA do programa *Earth Observing System* (EOS) da Agência Espacial Americana (National Aeronautic sand Space Administration – NASA), o sensor MODIS foi projetado para satisfazer as necessidades de informação de três campos de estudos diferentes: atmosfera, oceano e terra, com bandas espectrais e espaciais selecionadas para atender e oferecer cobertura global quase diária (JUSTICE et al., 2002). O satélite TERRA (EOS-AM1) foi lançado em dezembro de 1999 e começou a coletar dados a partir de fevereiro de 2000 com horário de passagem as 10:30h (horário local), o satélite AQUA (EOS-PM1), foi lançado em maio de 2002, com horário de passagem no Equador por volta de 13:30h (horário local). As especificações do sensor podem ser observadas na tabela 2.

Tabela 2 - Características do Sistema EOS-MODIS.

Orbita	705 km, sol-síncrono, quase oliar descendente, cruzando o equador as 10:30 e horário Local (Terra) e 13:30 (Aqua)
Largura da faixa	2330 km + 550 em cross-track
Bandas Espectrais	36 bandas, entre 0,045 e 14,385 μm com subsistema de calibração a bordo
Resolução radiométrica	12 bits
Resolução espacial no nadir	250 m banda 1 e 2; 500 m bandas 3 a 7; 1000 m banda 8 a 36
Período de Revisita	Diariamente para latitudes norte, acima de 30 ° e a cada dois dias para latitudes inferiores a 3 °
Precisão da grade de geolocalização	Dentro de 150 m (sigma) no nadir

Fonte: Adaptado JUSTICE et al., (2002).

2.3.6 Séries temporais

Morettin e Tolo (2006) definem série temporal sendo o conjunto de observações ordenadas no tempo, classificadas em contínuas ou discretas. No caso de séries temporais de reflectância do sensor MODIS, faz-se o processamento dos valores de reflectância de superfície coletados a cada 8 dias, de modo que somente os melhores pixels são selecionados para comporem a reflectância daquele intervalo de tempo. Desse modo séries temporais tornam-se uma excelente ferramenta para identificar e caracterizar as dinâmicas dos ecossistemas, em escala temporal (LHERMITTE et al., 2010).

Através das análises da sazonalidade das séries temporais é possível identificar os diferentes tipos de alterações, sejam aquelas causadas por distúrbios devido a fatores naturais ou antrópicos (VERBESSEKT, 2010). No entanto, as séries temporais necessitam de filtragem de seus dados para remoção de interferências oriundas de qualquer fonte externa ao sinal verificado (SANTOS et al., 2012).

Segundo Oliveira et al. (2014), nos produtos MODIS utilizados nas análises multitemporais, compostos pelos melhores *pixels* adquirido por um determinado período, não é incomum encontrar *pixels* de baixa qualidade radiométrica, afetando as análises de séries temporais. Assim tornando necessário o emprego de

suavização dos dados, por meio de filtros ou de transformações, afim de eliminar os ruídos dessas imagens, de maneira que a resposta seja um sinal sem interferências.

3 Materiais e Métodos

Este trabalho foi desenvolvido na Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo, na qual foram selecionados os pontos de coletas de ados amostrais em diferentes locais da lagoa Mirim. Em uma segunda etapa foram selecionadas as imagens de reflectância da superfície geradas pelo sensor MODIS para a área de estudo, nos dias das coletas, para realizar o processamento das imagens, onde foram extraídos os valores de reflectância superficial. Por fim os dados extraídos das imagens foram correlacionados com dados de concentração de sedimento em suspensão determinados pelas amostras coletadas *in situ*.

3.1 Áreas de estudo

A Lagoa Mirim (Figura3) está localizada no extremo sul do Brasil e a leste do Uruguai, e junto com o canal São Gonçalo formam a Bacia Hidrográfica Mirim-São Gonçalo. A Lagoa está localizada entre as coordenadas geográficas de Latitudes 32°03' e 33°37'S e Longitudes 52°35' e 53°59'W, e apresenta área superficial de aproximadamente 3,749 km² dos quais um terço está localizado em território uruguaio e dois terços em território brasileiro (VIEIRA; RANGEL, 1988).

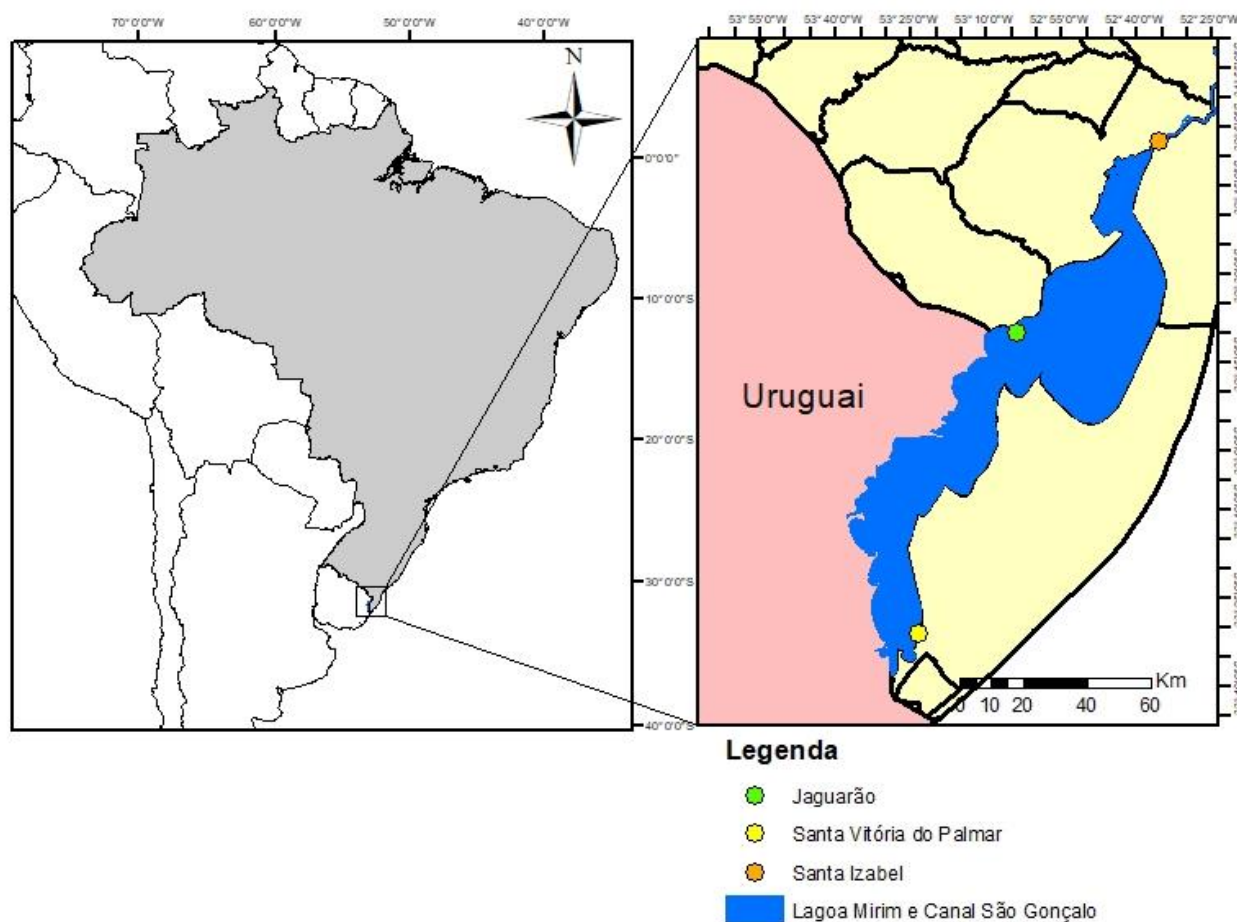


Figura 3- Local de estudo.

A Lagoa se localiza em uma região complexa, devido ao fato de ser uma Lagoa transfronteiriça, assim como pelas atividades econômicas ligadas à agricultura, à pecuária e sua importância política já que envolve relações entre os dois países.

3.1.1 Pontos Amostrais

Após identificados os períodos adequados para realização das campanhas de campo, o passo seguinte foi determinar a localização geográfica de um conjunto de pontos de coletas que otimizasse o trabalho de campo e garantisse a representatividade espacial dos parâmetros a serem empregados no estudo. Foram realizadas três campanhas amostrais nas seguintes localidades: Porto de Santa

Vitória do Palmar, desembocadura do Rio Jaguarão e norte da Lagoa Mirim próximo ao canal São Gonçalo na região denominada de “Sangradouro”.

A figura 5 apresenta a distribuição dos pontos onde foram realizadas as coletas.



Figura 4 - Pontos de coleta

3.2 Equipamentos utilizados

As coletas foram realizadas com uma garrafa coletora tipo Van Dorn, com aberturas laterais, com capacidade de 2 litros, a uma profundidade de 50 centímetros da superfície. As amostras foram acondicionadas em quatro frascos de vidro, previamente lavados com solução apropriada. Em cada ponto amostral foi

feita a leitura da cota com auxílio de uma trena dotada de um peso na sua extremidade.



Figura 5- Amostragem do Sedimento em suspensão com garrafa de Van Dorn.

3.3 Seleções de imagens

Os dados MODIS estão disponíveis gratuitamente a partir de vários centros de arquivo de distribuição de dados, onde podem ser selecionados para um determinado período ou região de interesse.

Para extração da sazonalidade foram utilizados os produtos MOD09Q1 e MYD09Q1 dos sensores MODIS a bordo dos satélites TERRA e AQUA respectivamente, de acordo com a data das campanhas de coletas. Esses produtos oferecem estimativas da reflectância de superfície, sendo compostos pelos pixels de melhor qualidade (menor cobertura de nuvens e a melhor geometria) num período de oito dias. Estão corrigidos os efeitos atmosféricos, georreferenciados, resolução

espacial de 250 m e duas bandas radiométricas: 1 - vermelho (620-670 nm de comprimento de onda) e 2 - infravermelho (841-876 nm).

3.3.1 Processamento das imagens

O processamento digital de imagens foi dividido em três etapas: pré-processamento, classificação e o pós-processamento.

- O pré-processamento, caracterizado pelo refinamento e qualidade da imagem com a função de torná-la mais discriminante do alvo de interesse (MOREIRA, 2011)
- A classificação digital de imagens, caracterizada por meio da discriminação dos conjuntos de níveis de cinza com padrões espectrais semelhantes, com intenção de ser supervisionada (MENEZES; ALMEIDA, 2012).
- O pós-processamento digital de imagem correspondeu a edição da classificação obtida, com o objetivo de tornar o resultado próximo da realidade (SPRING, 2015).

3.4 Monitoramento da sazonalidade da reflectância

Algumas imagens apresentaram cobertura de nuvens e/ou ruídos que dificultaram ou impediam as análises. Para remoção de valores atípicos, foi realizada a suavização da reflectância ao longo da série histórica, utilizando o software TIMESAT (JÖNSSONE e EKLINDH, 2002, 2004). O ajuste foi feito a partir da função complexa, utilizando filtro logístico duplo (JÖNSSONE E EKLINDH, 2004).

Segundo Andrade (2017), a reflectância da água rica em sedimentos é pequena em relação à reflectância das nuvens, desse modo, estabeleceu como parâmetro para filtragem os valores de reflectância de 0 a 20% o peso 1, de 20 a 55% peso 0,5 e de 55 a 100% peso 0,001. Assim, permitiu-se melhor ajuste da função, principalmente em períodos com picos de reflectância.

A figura 6 apresenta a suavização realizada pelo software, para o mesmo pixel durante o período de janeiro de 2003 a dezembro de 2017.

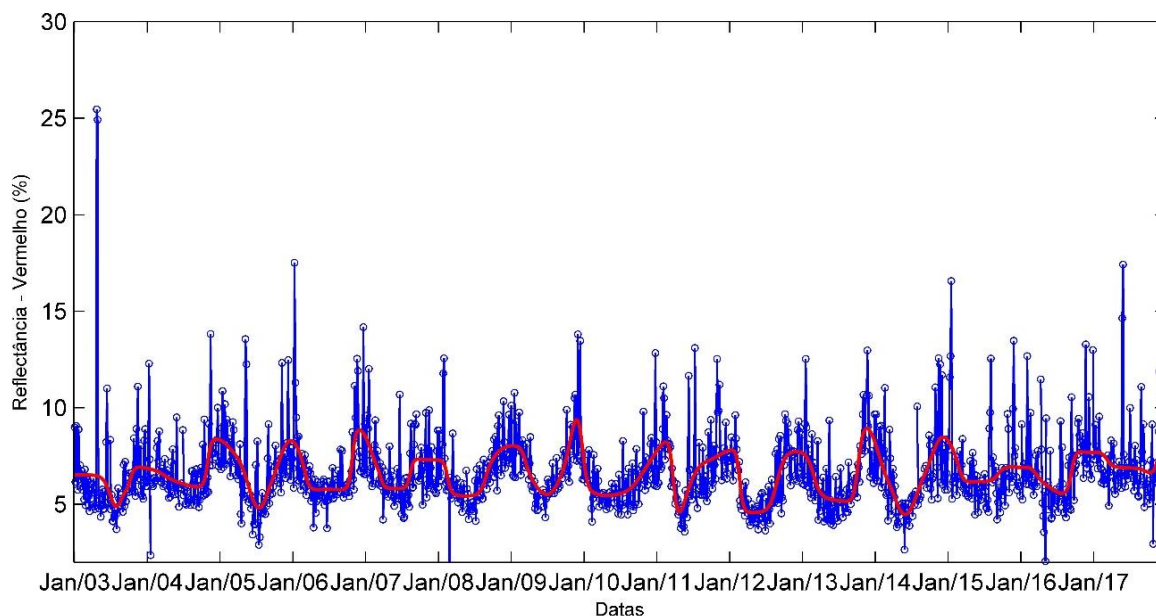


Figura 6 - Reflectância na faixa espectral do Vermelho (b1 MOD09Q1) na Lagoa Mirim entre 2003 e 2017 para um pixel. Em azul as imagens brutas e em vermelho as imagens filtradas

3.5 Análises da concentração de sedimentos

Para determinação da concentração de sedimento em suspensão, foi utilizado o procedimento analítico de filtração. Segundo Shreve e Downs OWNS, (2005), esse processo envolve a separação e pesagem de um elemento ou um composto do elemento na forma mais pura possível, as análises foram realizadas conforme as Normas da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), Serviço Geológico do Brasil.

3.5.1 Método de Filtração

As amostras coletadas *in situ* foram devidamente identificadas e encaminhadas para o Laboratório de Solos e Hidrossedimentologia do curso de Engenharia Hídrica da Universidade Federal de Pelotas (UFPeI).

Após receber as amostras no Laboratório, os recipientes foram limpos externamente, pesados e colocados em repouso por 24 horas, para deposição das partículas de sedimentos. Enquanto isso, as membranas filtrantes de fibra de vidro do tipo 934-AH, de porosidade igual a $1,5\ \mu\text{m}$, com diâmetro de 4,25 cm, foram colocadas na estufa a 105°C por 4 horas, posteriormente colocadas em um dessecador, durante o período da noite para resfriamento.

Para o processo de filtração foi montado um conjunto de filtração acoplado a uma bomba de sucção, conforme a figura 7.



Figura 7- Sistema de Filtração acoplado a uma bomba de sucção.

A figura 8 apresenta a disposição das amostras na bancada, assim como, ilustra algumas etapas do processo de filtração.



Figura 8 - Processo de filtração.

Depois de filtradas as amostras, os filtros foram novamente secos a 105° C por 4 horas em estufa e colocados no dessecador por mais uma noite de resfriamento. Posteriormente foi realizada a pesagem dos filtros com sedimentos e dos recipientes vazios e secos, desta forma podendo obter o valor da C_{ss} em $mg.L^{-1}$, através da seguinte equação.

$$C_{ss} = \frac{m_{SB} - m_{ST}}{\sum_{i=1}^n (m_{AB_i} - m_{AT_i})} \times 10^6 \times F_c + C_p \quad \text{Equação (2)}$$

C_{ss} = Concentração de sedimento em suspensão – mg/L

m_{SB} = Massa bruta do sedimento filtrado – gramas

m_{ST} = Massa do sedimento filtrado – gramas

MAB = Massa bruta da i-ésimasub-amostra – gramas

m_{ATi} = Massa da i-ésimasub-amostra – gramas

10^6 = Fator de conversão de g/g para mg/kg – $(mg/kg)/(g/g)$

F_c = Fator de conversão de concentração de sedimento em suspensão de mg/kg para mg/L – $mg/L / (mg/kg) = 1$

3.6 Relação entre reflectância e sedimento em suspensão

Estudos realizados por Novo et al., (1989); Doxaran, et al., (2002) e Matinez et al., (2009) relatam uma forte correlação entre os sedimentos em suspensão e a resposta espectral das imagens, porém essa relação depende do comprimento de onda. A maioria dos estudos relata que a melhor correlação entre os sedimentos em suspensão e a reflectância está centrada entre os valores de 600 e 900 nm em águas continentais. Desta forma, dados de sensoriamento remoto podem ser utilizados de modo a estimar a concentração de sedimentos na água. Apesar da baixa frequência de amostragem temporal e espacial, é possível verificar uma moderada correlação entre os valores de concentração de sedimentos em suspensão e reflectância. No entanto Ritchie; Schiebe & Mchenry (1976), reiteram que a relação entre os sedimentos em suspensão e a reflectância não é linear. Trabalhos realizados por Kun Shiet al. (2015) e Lin et al. (2012) destacam o modelo exponencial como o de melhor ajuste.

4. Resultados e Discussão

4.1 Série temporal de reflectância

A figura 9 apresenta o padrão sazonal de reflectância da parte norte da Lagoa Mirim, próximo a Santa Isabel, município de Arroio Grande, extraídos através do software Timesat, no intervalo de 15 anos, que vai de janeiro de 2003 a dezembro de 2017. Nesse gráfico, o eixo das abscissas está o espaço temporal, no eixo das

ordenadas da esquerda os dados de níveis de Santa Isabel e na direita a reflectância extraídas das imagens.

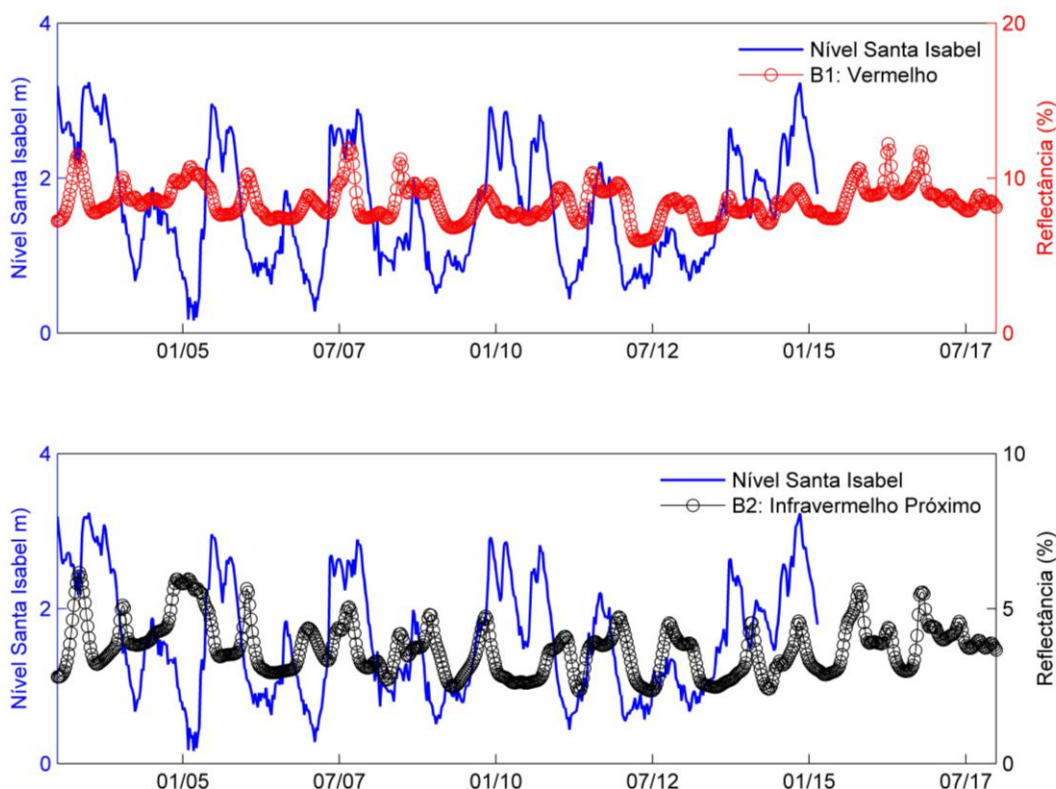


Figura 9 - Relação entre níveis de Santa Isabel e Reflectância.

Pode-se observar que os valores de reflectância superficial de ambas as bandas apresentam um padrão sazonal parecido. Percebe-se que o intervalo correspondente a data de janeiro de 2005 apresentou uma alta reflectância e baixo nível d'água, tanto no vermelho quanto no infravermelho próximo. Esses valores podem estar associados à baixa descarga fluvial no período destacado, assim como a interferência de ventos predominantes no sentido NE. O fato do nível d'água estar muito abaixo do normal, é possível fazer com que o sensor detecte sedimentos em excesso devido ao acúmulo no leito do corpo hídrico e devido ao fato de esses sedimentos estarem mais expostos que no restante do ano.

No intervalo próximo ao mês de janeiro de 2010, percebe-se um alto nível d'água e baixa reflectância. Esses valores estão associados à alta descarga fluvial, contribuições dos tributários da Lagoa Mirim, ventos predominantes do sentido SW, assim como as condições das comportas da barragem do Canal São Gonçalo que controlam o nível da lagoa.

4.2 Concentração de sedimentos

As tabelas abaixo apresentam a concentração de sedimentos em suspensão dos pontos amostrados após o processo de filtração, assim como, as coordenadas geográficas, cota e horário das coletas.

Tabela 3- Concentração da CSS, Jaguarão, Santa Vitória do Palmar e Santa Isabel.

Local	Pontos	Coordenadas UTM		Hora	Cota (m)	CSS (mg/L)
		Longitude	Latitude			
Jaguarão	PJG01	296649,83	6383057,32	10:34	4,8	31,2
	PJG02	299050,20	6382292,45	10:45	5,4	31,0
	PJG03	301482,01	6381302,31	10:56	4,7	40,1
	PJG04	304456,31	6380958,99	11:05	5,4	37,7
	PJG05	307668,74	6380507,96	11:17	7,2	27,3
	PJG06	311091,31	6380565,80	11:29	5,6	46,3
	PJG07	314569,16	6381420,92	11:40	5,3	41,24
	PJG08	318111,36	6382650,31	11:56	6,4	42,26
	PJG09	320997,55	6383229,15	12:11	6,2	40,39
Santa Vitória do Palmar	PSV01	270857,88	6292073083	10:34	4,8	60,65
	PSV02	268905,29	6293256,09	10:45	5,4	65,63
	PSV03	266952,83	6294265,21	10:56	4,7	66,96
	PSV04	265159,38	6295102,71	11:05	5,4	63,88
Santa Isabel	PSI01	344931,71	6440636,87	09:17	2,92	70,14
	PSI02	343995,92	6439534,83	09:23	2,90	72,51
	PSI03	342928,11	6438005,00	09:28	3,40	81,29
	PSI04	341996,09	6436657,95	09:33	2,70	78,89
	PSI05	341445,06	6436997,03	09:39	3,90	72,52
	PSI06	340611,09	6433091,02	09:45	3,60	66,46
	PSI07	339486,04	6461619,81	09:53	3,40	83,50
	PSI08	338491,94	6429176,97	10:00	3,90	59,45
	PSI09	337632,10	6426327,91	10:20	4,10	82,02
	PSI10	336487,87	6423723,96	10:28	4,20	56,16

Fonte: Do autor, 2018.

Analisando a tabela 3, não é possível verificar uma tendência de distribuição de sedimentos em suspensão em relação as cotas, esses valores podem ser explicados devido as condições da lagoa no dia da coleta, tais como: vento, vazão, velocidade, sentido do fluxo. No entanto, referente às coletas realizadas em Jaguarão, Santa Vitoria do palmar e Santa Isabel, observa-se que as concentrações variaram de 27,3 mg l⁻¹ a 83,5 mg l⁻¹ e são encontradas em Jaguarão e Santa Isabel, respectivamente. As menores variações foram observadas na campanha realizada

em Santa Vitória do Palmar, já variações maiores são observadas em Jaguarão e Santa Isabel.

Pode-se observar que o ponto de maior profundidade, localizado em Jaguarão, apresentou a menor concentração de sedimentos em suspensão 27,3 mg l⁻¹. Já o ponto de menor profundidade localizado em Santa Isabel apresentou uma alta concentração de sedimentos em suspensão 78,9 mg l⁻¹. Isso pode ser explicado devido ao fato de quanto menor a cota, maior a possibilidade haver movimentação no leito do curso d'água, possibilitando que os sedimentos depositados no fundo voltem a ficar em suspensão.

4.3 Extração da reflectância da água

A extração dos valores de reflectância foi realizada através das imagens do sensor MODIS. Foram selecionadas as bandas 1 e 2, vermelho e infravermelho próximo nos satélites Aqua e Terra. As imagens foram selecionadas conforme os dias de coletas *in situ*. A tabela 4 apresenta os valores de reflectância.

Tabela 4 - Valores de reflectância para cada ponto de coleta em Jaguarão.

	Ponto	Data	Aqua_b1	Aqua_b2	Terra_b1	Terra_b2
Jaguarão	PJG01	06/09/2018	7,11	2,97	7,82	3,39
	PJG02	06/09/2018	7,07	3,12	7,47	3,32
	PJG03	06/09/2018	7,20	3,30	6,94	3,24
	PJG04	06/09/2018	6,74	2,86	6,51	2,93
	PJG05	06/09/2018	6,64	2,78	6,36	2,78
	PJG06	06/09/2018	5,71	1,92	5,45	2,41
	PJG07	06/09/2018	5,57	1,73	5,12	1,75
	PJG08	06/09/2018	5,64	1,84	5,84	2,16
	PJG09	06/09/2018	7,01	2,59	6,69	2,73
Santa Vitória do Palmar	PSVP01	21/08/2018	5,06	2,14	8,23	5,13
	PSVP02	21/08/2018	5,64	2,73	8,54	5,16
	PSVP03	21/08/2018	5,29	2,55	8,57	5,30
	PSVP04	21/08/2018	5,24	2,43	8,67	5,45
Santa Isabel	PSI01	15/11/2018	7,09	2,55	12,46	8,13
	PSI02	15/11/2018	6,98	2,28	12,61	8,33
	PSI03	15/11/2018	7,02	2,19	12,19	7,71
	PSI04	15/11/2018	6,74	2,86	6,51	2,93
	PSI05	15/11/2018	6,93	2,21	12,05	7,74
	PSI06	15/11/2018	7,13	3,29	11,87	7,55
	PSI07	15/11/2018	6,40	1,90	12,44	8,05
	PSI08	15/11/2018	6,69	1,73	11,77	7,33
	PSI09	15/11/2018	6,47	1,68	11,80	7,27
	PSI10	15/11/2018	6,38	1,75	11,38	7,14

Conforme as tabelas 4 os valores de reflectância superficial extraídos das imagens, pode-se observar que o satélite Terra apresentou uma tendência a valores de reflectância entre as bandas 1 e 2, ou seja, pode-se visualizar que na maioria dos valores há uma tendência de aumento ou diminuição de reflectância de um ponto para outro entre as duas bandas.

Diferentemente do satélite Terra, o Aqua não apresentou essa mesma tendência entre as bandas 1 e 2.

4.4 Reflectância de superfície *versus* sedimento em suspensão

Desse modo, para realizar a correlação dos dados foi utilizada regressão exponencial, e as análises foram feitas por avaliação qualitativa dos gráficos de dispersão e avaliação quantitativa do coeficiente de determinação (R^2) de acordo com o que está expresso na tabela abaixo.

Tabela 5 Interpretação dos coeficientes de correlação.

Escala Person		
Fraca	Moderada	Forte
$0,0 \leq R^2 \leq 0,25$	$0,25 \leq R^2 \leq 0,81$	$0,81 \leq R^2 \leq 1$

Fonte: Adaptado Lopes et al., 2014.

As figuras 10 e 11 apresentam as relações obtidas entre os valores de reflectância extraídos das imagens do sensor Modis nas bandas vermelho e infravermelho dos satélites Terra e Aqua, respectivamente, assim como, a concentração de sedimentos em suspensão nas 3 (três) campanhas de coletas.

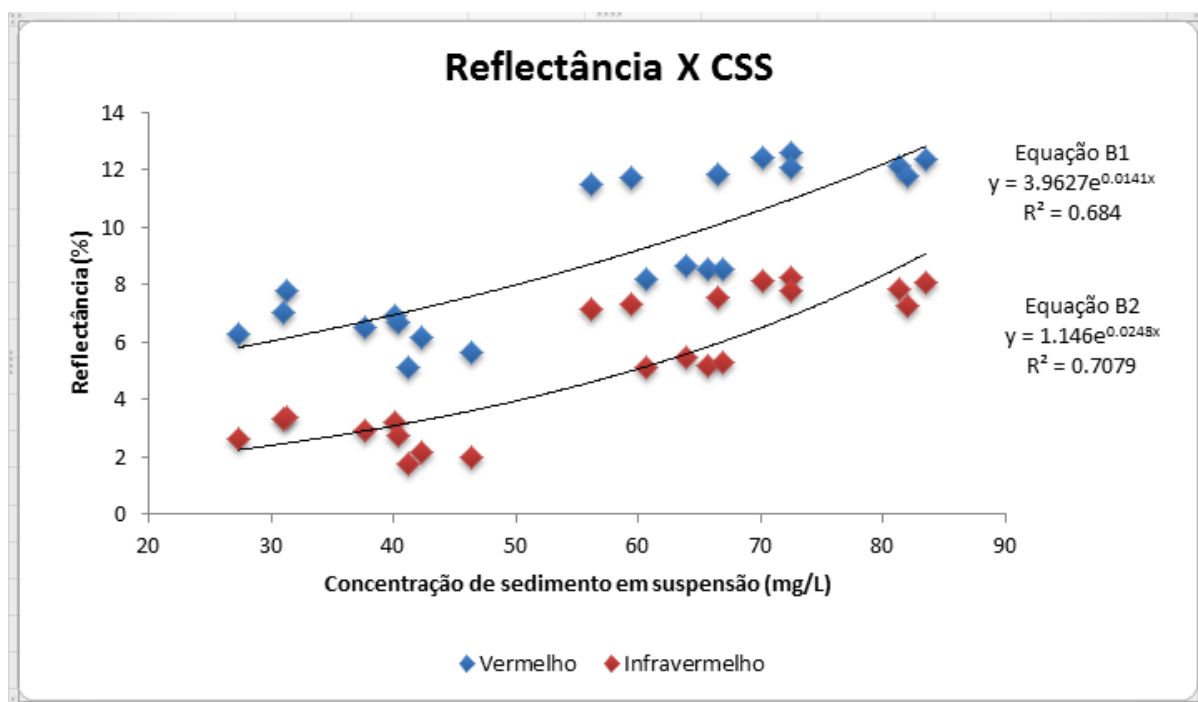


Figura 10 -Correlação entre os valores de CSS e reflectância na faixa do vermelho e infravermelho do satélite Terra.

A figura 10 apresenta a correlação entre os valores de concentração de sedimentos em suspensão e os valores de reflectância extraídos da banda 1 (vermelho) e da banda 2 (infravermelho) do satélite Terra. Pode-se observar que, que se obteve um valor de $R^2=0,68$ para banda 1 e $R^2=0,70$ para banda 2, ou seja, uma moderada correlação entre os valores. Pode-se observar que as bandas mantiveram uma tendência quanto à reflectância, ou seja, em relação a concentração de sedimentos em suspensão.

Sobre a banda 1, podemos destacar os pontos PJG06 e PJG07, localizados em Jaguarão, assim como os pontos PSI08 e PSI10, em Santa Isabel apresentaram os valores mais distantes em relação a tendência apresentada pelos demais, o que explica o fato do coeficiente de regressão ser abaixo do esperado.

Referente à banda 2, observa-se que os valores apresentaram uma tendência semelhante com os valores observados na banda 1, como mencionado anteriormente, os pontos PSI08 e PSI10, apresentam valores fora do padrão apresentado pelos demais pontos, no entanto, observa-se um coeficiente de regressão superior ao da banda 1.

A figura 11 apresenta a correlação entre os valores de concentração de sedimentos em suspensão e os valores de reflectância extraídos da banda 1 (vermelho) e banda 2 (infravermelho) do satélite Aqua.

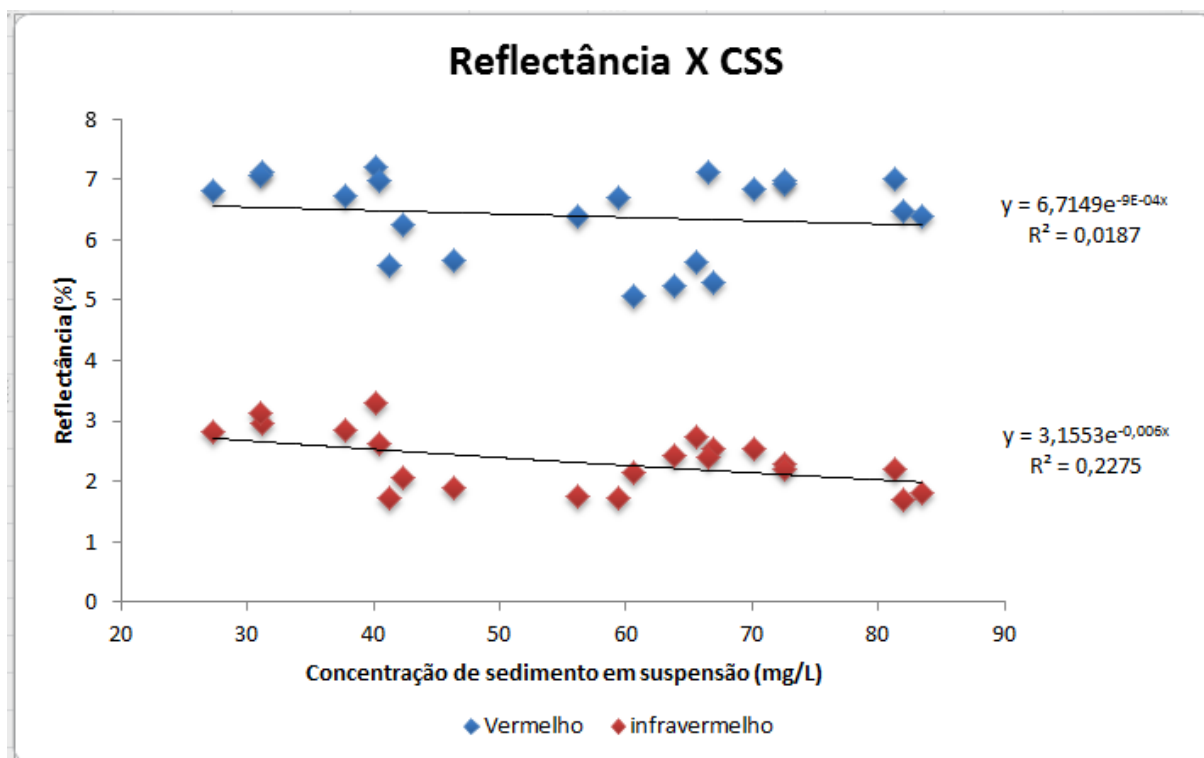


Figura 11 - Correlação entre os valores de CSS e reflectância na faixa do vermelho e infravermelho do satélite Aqua.

Diferente do resultado obtidos no satélite Terra, o Aqua não apresentou uma boa correlação, como observado durante a extração da reflectância superficial das imagens. É possível visualizar que não existe tendência dos valores de reflectância em relação valores encontrados no satélite Terra, o que gera um resultado insatisfatório ao considerar o coeficiente de regressão.

Tabela 6– Correlação banda 1 e 2 dos Satélites Aqua e Terra.

Estatística de regressão	Aqua_b1	Aqua_b2	Terra_b1	Terra_b2
R-Quadrado	0,0187	0,2275	0,684	0,7079

Conforme a tabela 6, é possível visualizar que os resultados obtidos através da banda 2 (infravermelho) foram mais satisfatórios que os valores da banda 1 (vermelho). Também pode-se afirmar que resultados obtidos através do satélite Terra foram mais adequados na correlação entre a reflectância e os sedimentos em suspensão na lagoa.

Estudos realizados, por Doxaran et al. (2002), apresentaram uma melhor correlação entre a banda do infravermelho próximo com a concentração de sedimentos, o que confirma com os resultados obtidos.

Considerando que a Lagoa Mirim possui vários tributários, torna-se difícil estabelecer um padrão de entrada de sedimentos no corpo hídrico, do mesmo modo, como não há um banco de dados sobre a distribuição espacial dos sedimentos em suspensão, torna-se difícil validar uma equação. Para tanto será razoável a projeção de outras campanhas de medição, para conferir melhor distribuição de pontos de coletas e ampliar o campo amostral.

5. Conclusão

O presente trabalho, além de contribuir para o entendimento da dinâmica hidrossedimentológica na região estudada, mostrou que o uso da tecnologia de sensoriamento remoto e processamento de imagens de satélites constituem uma boa ferramenta para análises temporais e espaciais.

Embora o coeficiente de correlação tenha conferido aos resultados a condição “satisfatório”, foi possível observar que a variação temporal dos dados de reflectância do sensor MODIS a bordo do satélite Terra, apresentaram boa relação com as variáveis medidas *in situ*, como a concentração de sedimentos.

Portanto, o trabalho aponta oportunidade para uma série de estudos e pôde-se concluir que o sensoriamento remoto, pode se tornar uma ótima ferramenta de apoio em estudos hidrossedimentológicos, principalmente pelo fato desses estudos serem complexos e ainda muito pouco explorados.

6 Sugestões

Como sugestões para realização de futuros trabalhos na área, indica-se realizar mais campanhas de campo, ou seja, aumentar as coletas *in situ*, aumentando a representatividade do local a ser estudado. Nesse caso, incluir outros fatores climáticos e hidráulicos nas análises de correlação, por exemplo, direção do vento, precipitação, vazão e cota e, sempre que possível empregar as imagens referentes aos dias de coletas.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil: 2006**. Brasília: ANA, 2006.

ALM. **Bacia da Lagoa Mirim**. Disponível em: <<https://wp.ufpel.edu.br/alm/bacia-da-lagoa-mirim>>. Acesso em: 18 agosto 2018.

ANDRADE, Alice. **Dados modis e Landsat -8 análise da água da lagoa dos Patos, RS**. Tese Mestrado. Programa de pós-graduação em sensoriamento remoto. UFRS. 2016.

BUKATA, R.P. et al. **Optical Properties and Remote Sensing of Inland and Costal Waters**. New York: CRC, 1995. 362p.

CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia Prática**. CPRM e ELETROBRÁS. Rio de Janeiro, 1994. 384p.

CARVALHO, K. S. **Monitoramento e caracterização hidrossedimentológica de uma pequena bacia hidrográfica**. 2003. 160f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) Universidade Federal de Santa Maria, 2003.

CARVALHO N. O. **hidrossedimentologia prática: interciencia**. 2º ed.atual. E ampliada. Rio de Janeiro, 2008.

CHEPAR. **Avaliação do processo de sedimentação do reservatório - Projeto HL-95**. Ed. Itaipu. Relatório técnico. 78 p. 1999.

COSTA, S. M. F.; MANTOVANI, A. C. M.; JUNIOR, R. N. **Estudo de Compatibilidade entre Crescimento Urbano e Aptidão Física Utilizando**

Geotecnologias—um estudo de caso. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. 2000.

Curran, P. J.; Novo, E. M. M. **The relationship between suspended sediment concentration and remotely sensed spectral radiance: a review.** Journal of Coastal Research, v. 4, n. 3, p. 351-368, 1988.

DOXARAN, D., J.-M. Froidefond, and P. Castaing, **A reflectance band ratio used to estimate suspended matter concentrations in sediment-dominated coastal waters,** Int. J. Remote Sens., 23, 5079–5085, 2002.

EID, J.N.; CAMPANA, N.A. Avaliação do estágio da integração geoprocessamento-recursos hídricos. **XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.** Belo Horizonte, 1999. 6p.

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

FICHTELMANN, B., et. al. Automação de SR com Base num Exemplo de Monitoramento Operacional de Clorofila no Mar Báltico. In.: BLASHKE, T.; KUX, H. (Orgs.). **Sensoriamento remoto e SIG avançados: novos sistemas sensores: métodos inovadores.** São Paulo: Oficina de Textos, p. 253-262. 2005.

GAO, B.C. NDWI – **A Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space.** Remote Sensing of Environment, Beijing, v. 58, p.257-266, 1996.

GIBBS, R. J. **Effect of Natural Organic Coatings on the Coagulation of Particles.** Environmental Science & Technology, v. 17, n. 4, pp. 237-240, 1983.

GOODIN, D. G., HAN, L., FRASER, R. N., RUNDQVIST, C., SREBBINS, W. A. SCHALLES, J. F. **Analysis of Suspended Solids in Water using Remotely**

Sensed High Resolution Derivative Spectra. Photogramm. Eng. Remote Sensing. Vol. 59, n. 4, pp. 505 – 510. Abr. 1993

JENSEN, J.R. **Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos naturais.** São José dos Campos-SP: ed 1. Parênteses, 2009.

JENSEN, S. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Hídricos.** São José dos Campos: Parêntese, 2011.

JÖNSSON, P., EKLUNDH, L. **Seasonality extraction by function fitting to time-series of satellite sensor data.** Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 40(8), 1824-1832. 2002.

JÖNSSON, P., EKLUNDH, L. (2004). **TIMESAT-a program for analyzing time-series of satellite sensor data.** Computers & Geosciences, 30(8), 833-845.

JUSTICE, C. O.; GIGLIO, B.; KORONTZI, S.; OWENS, J.; MORISETTE, J.T.; ROY, D.P.; DESCLOITRES, J.; ALLEAUME, S.; PETITCOLIN, F.; KAUFMAN, Y. . **The MODIS fire products.** Remote Sens. Environ. 83:244-262. 2002.

LIU, W.T.H. **Aplicações de sensoriamento remoto.** Campo Grande, MS: UNIDERP. 881 p. 2006.

KOTZIAN, H. B.; MARQUES, D. M. **Lagoa Mirim e a conversão Ramsar: um modelo para ação transfronteiriça na conservação de recursos hídricos.** Revista de Gestão de Água da América Latina, vol. 1, n. 2, p. 101-111, 2004.

KUN, S.; YUNLIN, Z.; GUANGWEI, Z.; XIAOHAN, L.; YONGQIANG, Z.; HAI, X.; BOQIANG, Q.; GE, L.; YUNMEI, L. **Long-term Remote monitoring of total suspended matter concentration in Lake Taihu using 250 m MODIS-Aqua data.** Remote Sensing of Environment, v. 164, p. 43-56, 2015

LHERMITTE, S.; VERBESSELT, J.; VERSTRAETEN, W.W.; COPPIN, P. A comparison of time series similarity measures for classification and change detection of ecosystem dynamics. **Remote Sensing of Environment**. v. 115. p. 3129-3152, 2010,

LOUREIRO, D. T. **Métodos atuais e novas tecnologias para o monitoramento do transporte de sedimentos em rios: necessidade de dados e incertezas envolvida**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008).

MAIA NETO, R.F. **Água para o desenvolvimento sustentável**. A Água em Revista, Belo Horizonte, n.9, p.21-32, 1997.

MARTINEZ, J. M.; GUYOT, J. L., FILIZOLA, N., SONDAG, F. **Increase in suspended sediment discharge of the Amazon River assessed by monitoring network and satellite data**. Catena, v.79. p.257-264. 2009.

MIRANDA, R.B. **A Influência do assoreamento na geração de energia hidrelétrica: estudo de caso na usina hidrelétrica de Três Irmãos – SP**. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

MONTANHER, O. C., NOVO, E. M., BARBOSA, C. C., RENNÒ C. D., SILVA, T. S. **Empirical models for estimating the suspended sediment concentration in Amazonian white water rivers using Landsat 5/TM**. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 29, 67-77. 2013.

MOREIRA, N.A.F. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação**. Universidade Federal de Viçosa, 2. Ed. 2003.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2ª ed., 544 p, 2006.

NOVO, E. M. M. **Monitoramento de quantidade e qualidade da água e sensoriamento remoto**. Trabalho apresentado no XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo, 2007.

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

NOVO, E. M. L. M.; Hamsom, J. D.; Curran, P. J. **The effect of sediment type on the relationship between reflectance and suspended sediment concentrations: International Journal of Remote Sensing**, v.10, p.1283-1289, 1989.

OLIVEIRA, J. C.; EPIPHANIO, J. C. N.; RENNÓ, C. D. **Window regression: a spatial-temporal analysis to estimate pixels classified as low-quality in MODIS NDVI time series. Remote Sensing**, n. 6, p. 3123-3142, 2014.

QUIMBELL G. **The effect of Suspended Sediment on Reflectance from Freshwater Algae**. Int. J. Remote Sensing. Vol. 12, n. 1, pp. 177 – 182. 1991.

SANTOS, L.; CASTRO, J. J. B.; MACAU, E. E. N.; GODOY, M. F. **Uso de um filtro adaptativo para pré-análise de séries temporais**. In: Workshop de Computação Aplicada, WORCAP 2012, São José dos Campos, SP, 12. Anais... 2012.

SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F. **Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura**. Brasília: MMA; SRH; ABEAS; Viçosa, MG: UFV, 252p. 2002.

SILVA, D.R.V; AMARO. V.E. **integração entre dados ópticos e radar (SRTM) para a caracterização geoambiental da costa setentrional do Rio Grande do Norte**. Ver. Geogr. Acadêmica.V.2, n. 2. P.111-123. 2008.

SHEREVE, E.A.; A. C. **Quality-assurance plan for the analysis of fluvial sediment by the u.s. geological survey Kentucky water science center sediment laboratory**. Virginia: U.S. Geological Survey, 2005.

SMITH, R. C.; Baker, K. S. **Optical properties of the clearest natural waters (200-800 nm)**App. Optics 20: 177-184, 1997.

TUCCI, C.E>M> **HIDROLOGIA; Ciencia e Aplicação**. 3º Ed. Porto Alegre. Editora da UFRGS/ ABRH: ABRH.943p, 2003.

RITCHIE, J. C.; SCHIEBE, F.R.; Water Quality. **Remote Sensing in Hydrology and Water Management**, Berlin, p. 2087-303,351-352, 2000.

ROSA, F.; J. BLOESCH, J; RATHKE, D.E**Sampling the settling and suspended particulate matter (SPM)**. IN: MUDROCH, A MaCKNIGHT, S.D. (eds) **Handbook of techniques for Aquatic Sediments Sampling**. CRC-Press. Inc. Boca Raton< Ann Arbor, Boston: 97-130, 1991.

THORNTON, K.W. **Sedimentary processes in Reservoir limnology: ecological perspectives**. Edited by K.W, B.I.Kimmel, and F.E Payne.John Wiley and sons, NewYork.pp.133-173, 1990.

VERBESSELT, J.; HYNDMAN, R.; NEWNHAM, G.; CULVENOR, D. Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. **Remote SensingofEnvironment**, v. 114. p. 106-115. 2010.

VIEIRA, E. F.; RANGEL, S. R. S. **Planície Costeira do Rio Grande do Sul: geografia física, vegetação e dinâmica sóciodemográfica**. Porto Alegre: Sagra, 1988.

WARD, A. D.; TRINBLE, S. W. **Environmental hydrology**. 2nd ed. New York: Lewia Publishers, 475p. 1995.

WINTERWERP, J. C. & KESTEREN, W. G. **Introductions to the physics of cohesive sediment in the marine environment**. Amsterdam, Elsevier, 466 p. 2004.

WILCOCK, P.; PITLICK, J.; CUI, Y. **Sediment transport primer: estimating bedmaterial transport in gravel-bed rivers**. Gen. Tech. Rep. Fort Collins, CO: U.S Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 78 p, 2009.