

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**VARIAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA
NA LAGOA ITAPEVA, LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL,
A PARTIR DE ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS**

JULIANE BEATRIZ LISSNER

ORIENTADOR: PROF. DR. LAURINDO ANTONIO GUASSELLI

PORTO ALEGRE, MAIO DE 2011

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**VARIAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA
NA LAGOA ITAPEVA, LITORAL NORTE DO RIO GRANDE DO SUL, BRASIL,
A PARTIR DE ANÁLISE DE SÉRIES TEMPORAIS**

JULIANE BEATRIZ LISSNER

Orientador: Prof. Dr. Laurindo Antonio Guasselli

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Alois Eduard Schäfer (PPGBIO/UCS)

Prof^a. Dr^a. Dejanira Luderitz Saldanha (PPGGEA/UFRGS)

Prof. Dr. Waterloo Pereira Filho (PPGGeo/UFSM)

**Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-graduação
em Geografia como requisito
para obtenção do título de
Mestre em Geografia.**

PORTO ALEGRE, MAIO DE 2011

CIP - Catalogação na Publicação

Lissner, Juliane

Variação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada na lagoa Itapeva, litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil, a partir de análise de séries temporais / Juliane Lissner. -- 2011.

119 f.

Orientador: Laurindo Guasselli.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, BR-RS, 2011.

1. NDVI. 2. Análise de Séries Temporais. 3. Lagoa Itapeva. I. Guasselli, Laurindo, orient. II. Título.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e a Pós-graduação em geografia (PPGGEA) pelo ensino de qualidade e auxílio financeiro, e ao Centro de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM) pela estrutura disponibilizada, sem a qual não seria possível a realização desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado, auxílio financeiro indispensável para a conclusão do trabalho.

Ao meu orientador, Laurindo Antônio Guasselli, pela proposta de pesquisa, pelo incentivo, paciência e dedicação durante as orientações.

Aos meus familiares, em especial a minha mãe, Lori, e aos meus irmãos, Leandro e Elízeo Lissner, que, de alguma forma, vivenciaram mais esta etapa da minha vida, seja pela colaboração ou incentivo durante a pesquisa.

Aos meus padrinhos Wladimir e Anili, pelo carinho, apoio e acolhida em seu lar.

Ao meu noivo, Guilherme Casa Nova, pelo apoio e incentivo para a conclusão do mestrado, pela dedicação, carinho, amor e paciência!

Aos colegas de pós-graduação e de laboratório: Camilo, Elmer, Guilherme, Anderson, Carlos Renato, enfim, a todas as pessoas que, de uma forma ou outra, participaram de forma positiva deste importante passo da minha vida.

RESUMO

Este estudo analisa a variação dos valores do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na lagoa Itapeva-RS, por meio de imagens Landsat TM5 e ETM+7, compreendendo o período de 1985 a 2010. Para a análise do comportamento espaço-temporal foi utilizado classes de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e Análise por Séries Temporais (TSA) de imagens. Este estudo avalia o comportamento da lagoa com base na influência dos agentes hidrodinâmicos e sua relação com os padrões de distribuição espaço-temporal. Para validação dos padrões observados foram coletadas amostras de água em seis pontos amostrais na lagoa Itapeva para clorofila_a, Totais de Sólidos Suspensos e transparência do disco Secchi. Os resultados foram correlacionados com os valores de NDVI. Os mapas de classes de NDVI gerados após a análise da TSA evidenciaram padrões espaciais e sazonais, considerando a sua dinâmica associada as variáveis ambientais atuantes: os ventos, as chuvas, o período de floração do fitoplâncton, a concentração de clorofila_a, a profundidade da lagoa e a descarga de sedimentos pelos afluentes. Esses padrões espaço-temporais, permitiram estabelecer três grandes compartimentos para a lagoa Itapeva: norte, centro e sul. A série temporal de imagens mostrou que os valores de NDVI aumentam durante os períodos de floração do fitoplâncton no outono e primavera. As medidas *in situ*, mostraram baixas concentrações de clorofila_a e de Totais de Sólidos Suspensos na lagoa no dia da coleta das amostras. Os resultados gerados a partir da Análise de Séries Temporais de imagens Landsat foram satisfatórios no que se refere ao monitoramento da distribuição espaço-temporal da variação das classes de NDVI.

Palavras-chave: NDVI, Análise de Séries Temporais, lagoa Itapeva.

ABSTRACT

This study analyzes the variation of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in the Itapeva-RS Lake, using Landsat TM5 and ETM + 7 images, from 1985 through 2010. For the analysis of the space-temporal behavior was used Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) classes and Temporal Series Analysis (TSA). This study also evaluates of the lake behavior based on the influence of hydrodynamic agents and the relationships on the spatial-temporal distribution pattern. To validate the observed patterns were collected water samples from six points in the Itapeva Lake for clorofila_a, Total suspended solids and Secchi disk transparency. The results were correlated with NDVI values. The NDVI classes maps that were generated from TSA, showed seasonal and spatial patterns considering the dynamics associated with environmental variables that were actuating: winds, rains, the period of phytoplankton bloom, the concentration of clorofila_a, depth of the coastal lake and the discharge of sediment by tributaries. These spatial and temporal patterns, allowed the establishment of three distinctive surfaces in the Itapeva Lake: north, center and south. The temporal series of NDVI values showed that the phytoplankton increases only during the flowering periods in autumn and spring. In situ measures, however, showed low concentrations of Chlorophyll_a and total suspended solids in the coastal lake on the day of sample collection. The results generated from the analysis of time series of Landsat images were satisfactory with regard to the monitoring of spatial and temporal distribution of the variation in NDVI classes.

Keywords: NDVI, Time Series Analysis, Itapeva Lake.

SUMÁRIO

Agradecimentos	III
Resumo	IV
Abstract	V
Sumário	VI
Lista de figuras	VIII
Lista de tabelas	X
1. INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivos.....	14
1.1.1 Objetivos específicos	14
1.2 Justificativa	15
1.3 Estrutura da dissertação	15
2. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA EM ESTUDO	17
2.1 Localização.....	17
2.2 Geologia e Geomorfologia	19
2.3 Caracterização física e batimétrica da lagoa	20
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
3.1 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DOS ALVOS	23
3.1.1 Comportamento espectral da água	23
3.1.2 Totais de Sólidos em Suspensão	26
3.1.3 Detecção de clorofila.....	27
3.2 BIOMASSA FITOPLANCTÔNICA EM AMBIENTES AQUÁTICOS	30
3.2.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	33
3.3 SÉRIES TEMPORAIS.....	35
3.4 DINÂMICA DA LAGOA ITAPEVA.....	36
3.4.1 Influência dos fatores físicos na dinâmica da lagoa	38
3.4.2 Densidade fitoplanctônica da lagoa.....	40
4. MATERIAIS E MÉTODOS	43
4.1 Levantamento de dados	43
4.2 Processamento das imagens.....	43
4.2.1 Materiais utilizados.....	44

4.2.2 Correção atmosférica	44
4.2.3 Correção geométrica.....	45
4.2.4 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada	46
4.2.5 Análise de Séries Temporais	47
4.2.6 Classes de NDVI	49
4.3 Expedição de campo	49
4.3.1 Materiais utilizados.....	50
4.3.2 Localização dos pontos de coleta	50
4.3.3 Procedimentos para a coleta.....	52
4.3.4 Análise das amostras	52
4.3.5 Transparência da água	53
4.4 Correlação dos dados.....	53
4.4.1 Materiais utilizados.....	54
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	55
5.1 Relação dos dados pluviométricos com a dinâmica das imagens de satélite	55
5.2 Análise da variação de NDVI na lagoa Itapeva.....	59
5.3 Análise da variação espaço-temporal a partir das imagens de TSA e das Componentes Principais para o conjunto de imagens de NDVI	68
5.4 Análise da variação espaço-temporal a partir das imagens de TSA e das Componentes Principais para as estações do ano.....	74
5.5 Análise da variação espaço-temporal de imagens classificadas de NDVI por estação do ano	82
5.6 Análise dos dados coletados em campo e correlação com as imagens de NDVI	92
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	105
7. REFERÊNCIAS.....	107
ANEXOS	117

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da lagoa Itapeva-RS (imagem Landsat TM, dia 04/02/10, cor verdadeira).	17
Figura 2 – Foz dos dois principais afluentes da lagoa Itapeva-RS (imagem Landsat TM, dia 04/02/10, cor verdadeira).....	18
Figura 3 – Curvas batimétricas da lagoa Itapeva – RS.	20
Figura 4 – Comportamento espectral da água em diferentes estados físicos.	23
Figura 5 – Coeficientes totais de absorção da água e dos componentes opticamente ativos.....	25
Figura 6 – Coeficientes de absorção da água, TSS e clorofila_a para os comprimentos de onda da região do visível do espectro.	26
Figura 7 – Absorção da água e reflectância da vegetação.....	28
Figura 8 – Localização dos pontos de coleta das amostras de água na lagoa Itapeva-RS (Imagem Landsat TM, dia 04/02/10, cor verdadeira).....	51
Figura 9 – Dinâmica apresentada pela lagoa Itapeva de acordo com o volume de precipitação.....	57
Figura 10 – Imagens de NDVI de verão, lagoa Itapeva-RS.....	60
Figura 11 – Imagem de NDVI de outono, lagoa Itapeva-RS.....	63
Figura 12 – Imagem de NDVI de inverno, lagoa Itapeva-RS.....	65
Figura 13 – Imagem de NDVI de primavera, lagoa Itapeva-RS.....	66
Figura 14 – Contribuição das três primeiras Componentes Principais, geradas através da TSA, a partir das 42 imagens de NDVI, lagoa Itapeva-RS.	70
Figura 15 – Imagens de classes de NDVI de maior contribuição nas CP ₂ e CP ₃ , lagoa Itapeva-RS.....	73
Figura 16 – Imagens de classes de NDVI que obtiveram maior contribuição na CP ₂ correspondente ao verão (a), outono (b), inverno (c) e primavera (d), lagoa Itapeva-RS.	76
Figura 17 – Imagens de classes de NDVI que obtiveram maior contribuição na CP ₃ correspondente ao verão (a), outono (b), inverno (c) e primavera (d), lagoa Itapeva-RS.	79
Figura 18 – Imagens de classes de NDVI de verão, lagoa Itapeva-RS.....	82
Figura 19 – Imagens de classes de NDVI de outono, lagoa Itapeva-RS.....	84

Figura 20 – Imagens de classes de NDVI de inverno, lagoa Itapeva-RS.....	87
Figura 21 – Imagens de classes de NDVI de primavera, lagoa Itapeva-RS.....	89
Figura 22 – Imagem de NDVI em nível de cinza (18/10/10) e pontos de coleta das amostras, lagoa Itapeva-RS.....	93
Figura 23 – Valores dos parâmetros nos pontos de coleta das amostras no dia 18/10/10, lagoa Itapeva-RS.....	96
Figura 24 – Área de <i>Juncus</i> delimitada pela linha vermelha, sobre imagem NDVI de 18/10/2010, lagoa Itapeva-RS.....	102
Figura 25 – Imagem de satélite da lagoa Itapeva destacando área com grande quantidade de <i>Juncus</i>	103
Figura 26 – <i>Juncus</i> na margem leste, lagoa Itapeva-RS.....	104
Figura 27 – Canal Cornélios, sul da lagoa Itapeva-RS.....	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Comprimentos de onda das bandas espectrais da plataforma Landsat 5/TM.....	46
Tabela 2. Imagens Landsat TM5 e +ETM7, órbita-ponto 220-80, disponíveis pelo INPE, ordenadas cronologicamente e pela estação do ano.....	47
Tabela 3. Coordenadas geográficas dos pontos de coleta, lagoa Itapeva – RS...	51
Tabela 4. Dados de chuva da Estação Meteorológica de Torres – RS e Defesa Civil-RS.	56
Tabela 5. Contribuição das três primeiras Componentes Principais, geradas através da TSA, a partir das 42 imagens de NDVI.....	69
Tabela 6. Classes que representam os intervalos de valores de NDVI, lagoa Itapeva-RS.	72
Tabela 7. Contribuição da CP2, gerada através da TSA, a partir das 42 imagens de NDVI para as estações do ano, lagoa Itapeva-RS.....	75
Tabela 8. Contribuição da Componente Principal PC ₃ , geradas através da TSA, a partir das 42 imagens de NDVI para cada estação do ano, lagoa Itapeva-RS.	78
Tabela 9. Transparência dos pontos de coleta no dia 18/10/2010, lagoa Itapeva – RS	94
Tabela 10. Resultados das amostras coletadas em 18/10/2010, lagoa Itapeva – RS.	95
Tabela 11. Matriz de correlações estabelecidas entre as variáveis analisadas, lagoa Itapeva-RS.....	99
Tabela 12. Matriz dos níveis de confiança das correlações estabelecidas entre as variáveis, lagoa Itapeva-RS.....	99

1. INTRODUÇÃO

O manejo adequado dos recursos hídricos demanda a compreensão do funcionamento do sistema e da dinâmica do corpo d'água. Conforme Renó *et al.* (2009), as atividades de análise e monitoramento da qualidade da água tornam-se fundamentais para seu manejo, possibilitando um planejamento adequado e a implantação de ações que privilegiem a utilização de recursos tecnológicos de outras áreas de conhecimento.

A produtividade primária do ecossistema aquático está diretamente relacionada ao aporte de nutrientes oriundos do ecossistema terrestre. Devido aos ciclos biogeoquímicos naturais, condicionados principalmente pelo clima, esse aporte de nutrientes pode apresentar variações sazonais típicas com eventuais flutuações decorrentes de eventos extremos, como estiagens, inundações ou mesmo impactos catastróficos (Martini *et al.*, 2006).

Nas áreas adjacentes ao estudo de caso, a lagoa Itapeva, os impactos ambientais são decorrentes do uso e ocupação antrópica do solo, como condomínios de lazer, lançamento de esgotos domésticos, contaminação por agrotóxicos associados ao cultivo de banana, desmatamento da Mata Atlântica, assoreamento dos corpos d'água, e mais recente a ampliação na BR-101 que têm gerado impactos no Litoral Norte do Rio Grande do Sul.

Os corpos de água lênticos ou com predomínio de águas paradas, como a lagoa Itapeva, são naturalmente mais propensos ao enriquecimento de nutrientes, processo esse acelerado pelas atividades antrópicas que geram uma tensão entre os locais ocupados pelo homem e os recursos hídricos locais (Martini *et al.*, 2006).

A utilização de imagens de satélite é uma das maneiras mais efetivas e econômicas de se estudar alguns fenômenos da natureza. Adquiridas por diferentes tipos de satélite são ferramentas úteis para a avaliação espacial, espectral e temporal dos ambientes naturais.

Conforme Martini *et al.* (2006), os corpos hídricos são componentes que apresentam potencial para aplicações práticas de sensoriamento remoto, tanto pelas suas facilidades em interagir com a energia eletromagnética como pela sua importância estratégica.

De acordo com Londe *et al.* (2005) apesar das vantagens apresentadas pelo monitoramento dos sistemas aquáticos através da aplicação de técnicas de sensoriamento remoto, há poucos estudos voltados para o estudo de águas interiores, comparando-se a outros ecossistemas. Também são poucos os estudos realizados nas lagoas da Planície Costeira do Rio Grande do Sul, articulando parâmetros de qualidade da água e sensoriamento remoto.

No sensoriamento remoto dos corpos hídricos busca-se relacionar as respostas no domínio espectral com as características limnológicas, como a composição e componentes biofísicos, relevantes para o monitoramento dos ecossistemas aquáticos continentais (Renó *et al.*, 2009). A resposta espectral da água está diretamente relacionada aos COAs (Componentes Opticamente Ativos) que são representados pelas substâncias orgânicas, inorgânicas e fitoplanctônicas.

A cor, a turbidez, os Totais de Sólidos em Suspensão (TSS) entre outros parâmetros indicadores da qualidade da água têm sido utilizados com sucesso em muitas aplicações (Pereira *et al.*, 2007; Anjos *et al.*, 2005; Arraut *et al.*, 2005; Lopardo, 2002; Renó *et al.*, 2009). Assim, algumas das características da água podem ser detectadas pelos sensores remotos, como a presença de algas e macrófitas aquáticas, concentrações de clorofila, quantidade de sólidos suspensos e transparência da água, visto que estas variáveis alteram a cor da água.

Estudos de Novo *et al.* (2009) realizados em um reservatório comprovaram que os índices de vegetação tradicionalmente aplicados no estudo de ecossistemas terrestres podem ser adaptados para o monitoramento do estado trófico de sistemas aquáticos. Os resultados obtidos indicaram que o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi sensível à presença de florações de clorofila nos corpos de água.

Os resultados obtidos pelos trabalhos de Novo *et al.*, 2009; Arraut *et al.*, 2005; Pereira *et al.*, 2007, demonstraram a existência de correlação significativa entre os dados orbitais do satélite Landsat e as variáveis de concentração de clorofila, teor de sólidos suspensos e a profundidade de Secchi.

O estabelecimento de correlações significativas entre a reflectância e os valores da concentração de clorofila-a, transforma o sensoriamento remoto em

uma ferramenta muito útil para o monitoramento das modificações ecológicas das lagoas, baseado na densidade do fitoplâncton (Pereira, 2007).

Estudos que integram ferramentas de sensoriamento remoto e a análise de séries temporais de imagens de satélite mostram-se extremamente úteis para a compreensão em análises de evolução ambiental devido a disponibilidade de dados e de imagens facilitando o monitoramento espacial e temporal da área em estudo.

A análise de séries temporais surge no contexto de se compreender a evolução ambiental, privilegiando os estudos voltados principalmente para índices de vegetação como o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, Bruce & Mathur, 2006); comportamento temporal do NDVI de diferentes coberturas vegetais, representando a oscilação anual, semestral e quadrimestral (Victória *et al.*, 2009). A vantagem da utilização de ferramentas de análise de séries temporais é a geração de dados que permitem a análise de diversas imagens simultaneamente.

Assim a proposta da dissertação “Variação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada na lagoa Itapeva, litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil, a partir de análise de séries temporais”, é buscar entender a dinâmica da distribuição do fitoplâncton nessa lagoa através da avaliação dos parâmetros de Totais de Sólidos em Suspensão e em especial o parâmetro clorofila, a partir da aplicação de técnicas de sensoriamento remoto.

A seleção dos métodos e dos materiais para a elaboração desse estudo está intrinsecamente associada aos estudos já realizados nessa área, observando a escala de análise e disponibilidade de dados.

Neste sentido, o presente estudo busca aplicar técnicas de sensoriamento remoto para compreender a dinâmica espacial e temporal da lagoa Itapeva através da análise de uma série temporal de imagens NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) analisando, especialmente, a distribuição de clorofila_a e as suas implicações à cor da água, propriedade que pode ser avaliada a partir das imagens de satélite.

Com a finalidade de se comprovar a dinâmica observada através da análise da série temporal de imagens de NDVI, buscou-se obter correlações entre a concentração de clorofila_a medidos em amostras de água coletadas na lagoa

durante a expedição de campo e o padrão de resposta espectral detectado pelos sensores remotos Landsat TM5 e ETM+.

1.1 Objetivos

O objetivo geral é analisar a variação espaço-temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), na lagoa Itapeva, Litoral Norte do Rio Grande do Sul, a partir de análise de séries temporais (TSA).

1.1.1 Objetivos específicos

a) Compreender como atuam os agentes hidrodinâmicos na lagoa Itapeva;

b) Gerar uma série temporal de imagens de NDVI;

c) Analisar a distribuição espaço-temporal de NDVI, através da análise de séries temporais (TSA);

d) Estabelecer classes de NDVI;

e) Verificar se há ocorrência de padrões sazonais para a distribuição de NDVI na lagoa Itapeva;

f) Estabelecer correlações entre a concentração de clorofila_a obtida através da coleta de amostras de água realizadas em campo e os valores dos pixels de NDVI obtidos sob as imagens de satélite;

g) Analisar qualitativamente a distribuição e dinâmica de NDVI na lagoa Itapeva.

1.2 Justificativa

As ferramentas de sensoriamento remoto têm sido muito utilizadas nos últimos anos para análise dos ambientes naturais, entretanto, a aplicação para análise de ambientes aquáticos, principalmente os ambientes costeiros, tem sido ainda bastante restritas no Brasil, sendo que a maioria das bibliografias encontradas sobre o assunto é internacional. Grande parte dos estudos realizados no Brasil sobre variações de parâmetros, como a clorofila, por exemplo, e a dinâmica dos corpos hídricos utiliza técnicas que devem ser realizadas em campo e de forma pontual.

Os estudos de sensoriamento remoto realizados nas lagoas costeiras do Rio Grande do Sul são ainda mais restritos, na maior parte das vezes são análises bioecológicas que visam fornecer dados sobre a biodiversidade desse ambientes costeiros.

Além disto, a aplicação da análise de imagens de NDVI para ambientes aquáticos tem sido recentemente visto como viável para entendimento da variação e da dinâmica do fitoplâncton em ambientes aquáticos costeiros. Desta forma, este estudo busca integrar uma série de análises auxiliada pelas ferramentas de sensoriamento remoto e pela elaboração de séries temporais para entendimento da dinâmica da lagoa Itapeva.

A análise de séries temporais por meio de imagens de satélite utilizando um longo período, de 1985 a 2010, possibilita uma compreensão mais ampla da dinâmica espaço-temporal e sazonal da lagoa Itapeva. Essa abordagem tem considerável avanço em relação aos estudos anteriores que analisaram a lagoa de forma pontual.

Deste modo, entende-se que a elaboração desta pesquisa poderá contribuir significativamente para a geração de um banco de dados, e posteriormente, ser utilizado para a gestão e a execução continuada de programas de monitoramento ambiental desse corpo de água.

1.3 Estrutura da dissertação

Esta dissertação está estruturada da seguinte forma:

O capítulo 1 refere-se a introdução que descreve a temática a qual se refere a dissertação, compreendendo uma explicação inicial sobre o assunto e os objetivos da pesquisa, assim como a justificativa para a realização do trabalho.

O capítulo 2 apresenta uma breve caracterização sobre a área de estudo, a lagoa Itapeva, e descreve alguns dos fatores que podem influenciar na dinâmica espaço-temporal da lagoa.

O capítulo 3 apresenta uma revisão teórica dos temas abordados e das técnicas utilizadas durante o processamento das imagens e estudos já realizados na lagoa Itapeva, constituindo-se no embasamento teórico-científico deste estudo. Os temas abordados são referentes ao comportamento espectral dos alvos (incluindo o comportamento espectral da água, dos sedimentos em suspensão e da clorofila), a biomassa em ambientes aquáticos, aos usos do sensoriamento remoto e geoprocessamento para a geração de imagens de NDVI e de séries temporais desse índice, e aos estudos já realizados na lagoa Itapeva-RS.

No capítulo 4 são descritos os materiais e equipamentos utilizados e os métodos adotados para a realização da pesquisa. A metodologia está dividida em três partes, abrangendo o processamento das imagens; a coleta e análise das amostras de água da lagoa Itapeva e; a correlação dos dados das amostras de água coletadas na lagoa e dados das imagens de satélite.

Os últimos dois capítulos, 5 e 6, compreendem a análise dos resultados e as considerações finais sobre a pesquisa realizada, contendo as conclusões do trabalho.

Ao final são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas durante a pesquisa.

2. CARACTERÍSTICAS DA ÁREA EM ESTUDO

2.1 Localização

A lagoa Itapeva localiza-se no Litoral Norte do Rio Grande do Sul. Essa região tem como limites o Oceano Atlântico a leste e a encosta da Serra Geral a oeste e, no sentido norte-sul estende-se de Torres até Osório. As coordenadas dos pontos extremos da lagoa são $50^{\circ}01'50.76''$ O, $29^{\circ}36'16.58''$ S e $49^{\circ}47'33.98''$ O, $29^{\circ}22'14.36''$ S, Figura 1.

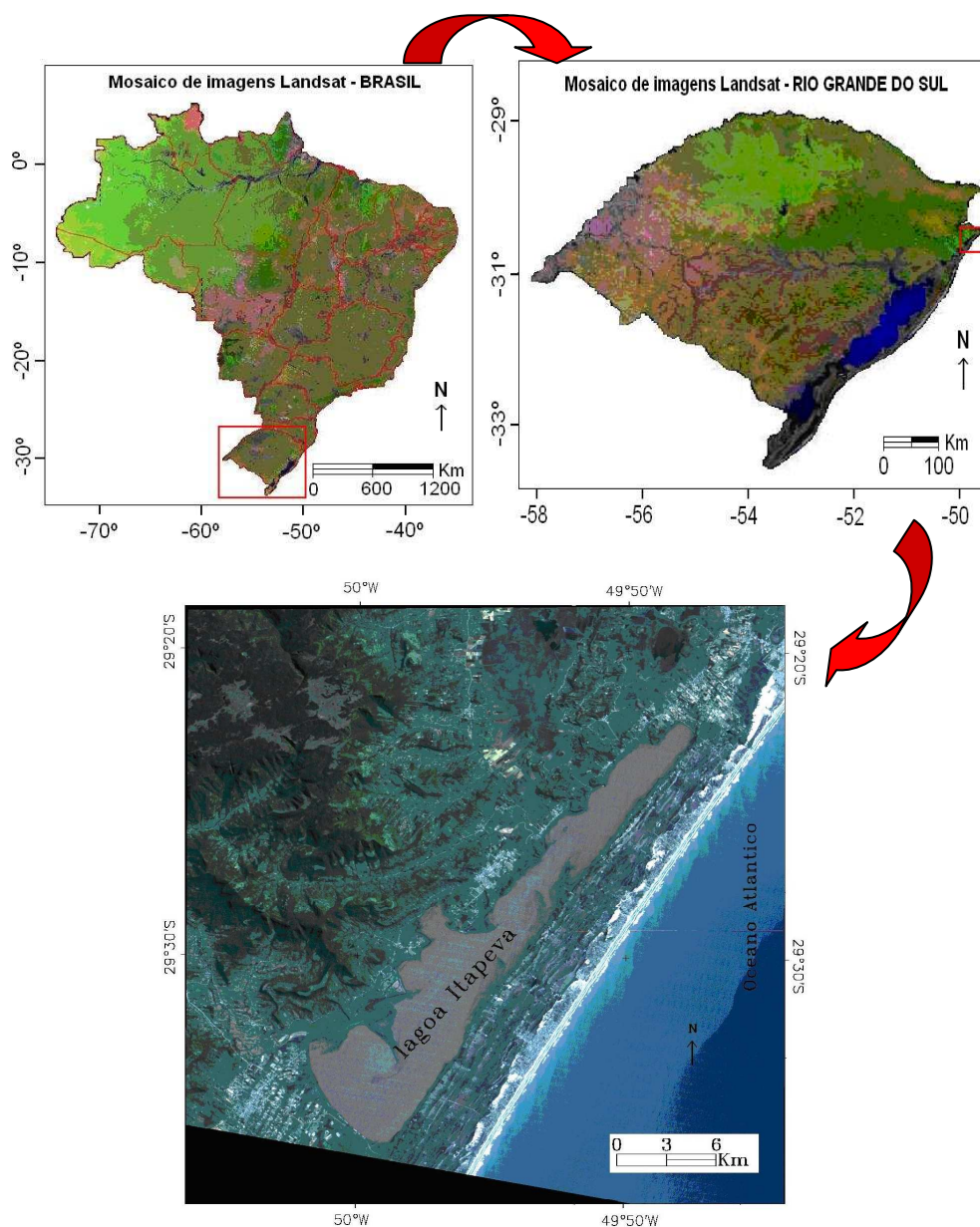


Figura 1 – Localização da lagoa Itapeva-RS (imagem lagoa Itapeva/Landsat TM, dia 04/02/10, cor verdadeira).

Situada no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, a lagoa Itapeva sofre fortes tensões em seu entorno devido a crescente urbanização e a criação de infraestrutura ao longo da BR 101, tende a ocasionar desequilíbrios na qualidade da água da lagoa principalmente devido ao lançamento de esgotos urbanos, obras de construção civil, aporte de sedimentos oriundos da encosta da Serra Geral, em especial ao aporte trazido pelos afluentes.

Os principais municípios que se localizam no entorno da lagoa Itapeva são: Terra de Areia, Três Cachoeiras e Arroio do Sal; e seus dois principais afluentes são os rios Cardoso e Três Forquilhas. De acordo com Lopardo (2002), o principal contribuinte do sistema lacustre é o rio Três Forquilhas devido a sua maior área de drenagem, que corresponde a 524 Km².

A foz dos rios Três Forquilhas (1) e Cardoso (2) estão localizados na margem oeste da lagoa Itapeva, conforme a Figura 2.

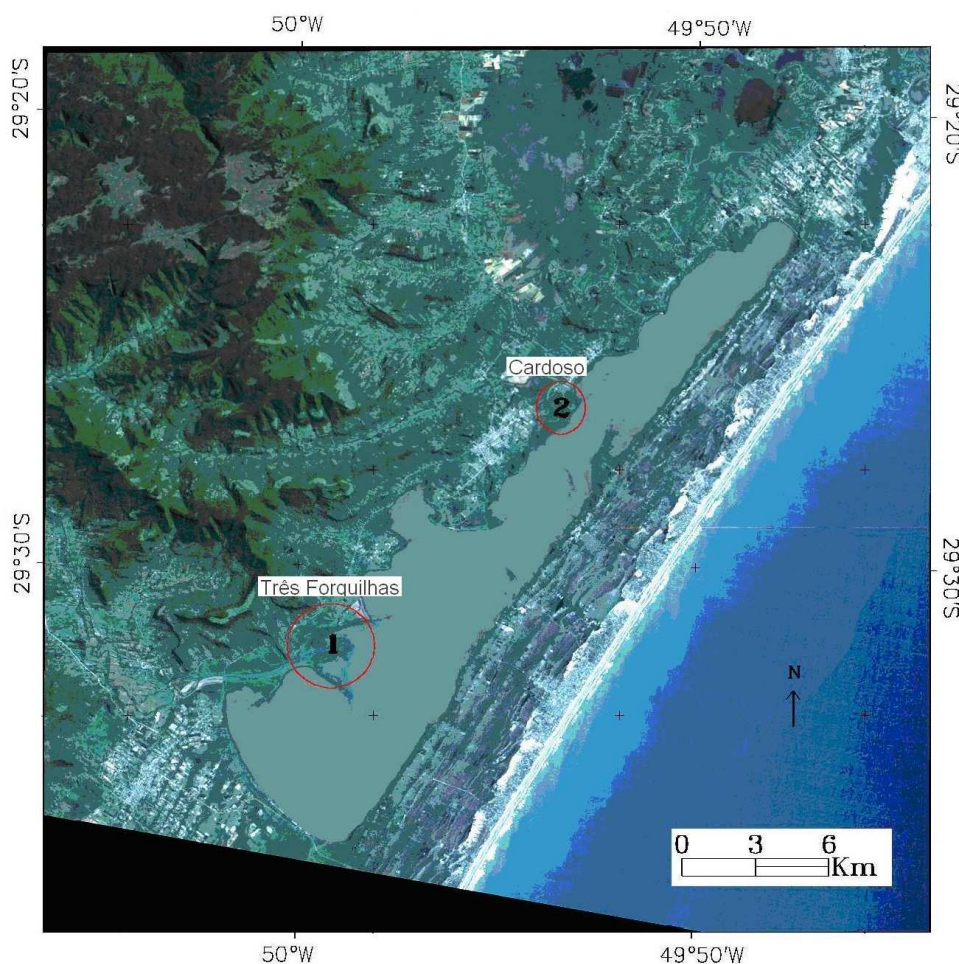


Figura 2 – Foz dos dois principais afluentes da lagoa Itapeva-RS (imagem Landsat TM, dia 04/02/10, cor verdadeira).

2.2 Geologia e Geomorfologia

A Planície Costeira do Rio Grande do Sul originou-se da deposição de sedimentos erodidos principalmente dos arenitos subjacentes aos derrames vulcânicos do Planalto e depositados no mar, com as transgressões marinhas os sedimentos afloram a superfície, formando parte do litoral deste estado. Constitui-se em uma vasta área de terras baixas com cerca de 700 km de extensão e 120 km de largura situada ao longo do litoral, e em sua maior parte, é ocupada por um enorme sistema de lagoas costeiras, a qual a lagoa Itapeva faz parte (Villwock & Tomazelli, 1991). Possui uma formação geológica recente, cujos ecossistemas apresentam características raras e frágeis, mostrando uma seqüência de ambientes de especial valor paisagístico (Pereira & Schäfer, 2007).

Segundo Esteves (1998) tanto as lagoas costeiras do Brasil tiveram sua gênese durante os processos transgressivos do mar que ocorreram desde o Pleistoceno (duzentos mil anos atrás) e se prolongam até o Holoceno.

De acordo com os estudos de Villwock & Tomazelli (2007) a Província Costeira do Rio Grande do Sul é constituída em parte, pela Bacia de Pelotas apoiada sobre um embasamento composto pelo complexo cristalino Pré-Cambriano e pelas seqüências sedimentares e vulcânicas (domínio das rochas vulcânicas), paleozóicas e mesozóicas da Bacia do Paraná (domínio do arenito Botucatu).

Villwock & Tomazelli (1991) também analisaram os processos de sedimentação, padrões morfológicos e distribuição dos sedimentos assim como o processo evolutivo e formação do sistema lagunar da Planície Costeira do Rio Grande do Sul (domínio dos sedimentos costeiros).

Assim, a lagoa Itapeva encontra-se sob o domínio dos sedimentos costeiros, cuja superfície tem elevada permeabilidade, o que facilita a recarga dos aquíferos livres. O sedimento é essencialmente arenoso, incluindo horizontes de conchas calcárias que podem influenciar na composição química da água subterrânea.

No lado oeste da lagoa predominam as rochas vulcânicas e pode-se considerar que a recarga de água recebida desta direção é de 80% do total da recarga (Lopardo, 2002). Isso ocorre devido aos rios Três Forquilhas e Cardoso

possuírem suas nascentes na encosta da Serra Geral e sua bacia de drenagem estar em maior parte situada nesta área.

2.3 Caracterização física e batimétrica da lagoa

Assim como a maior parte das lagoas costeiras encontradas no Brasil, devido as suas características físicas, como baixas profundidades e sua localização, a lagoa Itapeva apresenta significativas reações hidrodinâmicas, principalmente às rajadas de ventos e às cheias rápidas geradas pelos seus afluentes, os rios Três Forquilhas e Cardoso (Lopardo, 2002).

A Figura 3 foi elaborada com base nas curvas batimétricas da lagoa Itapeva e sua profundidade é apresentada através de classes.

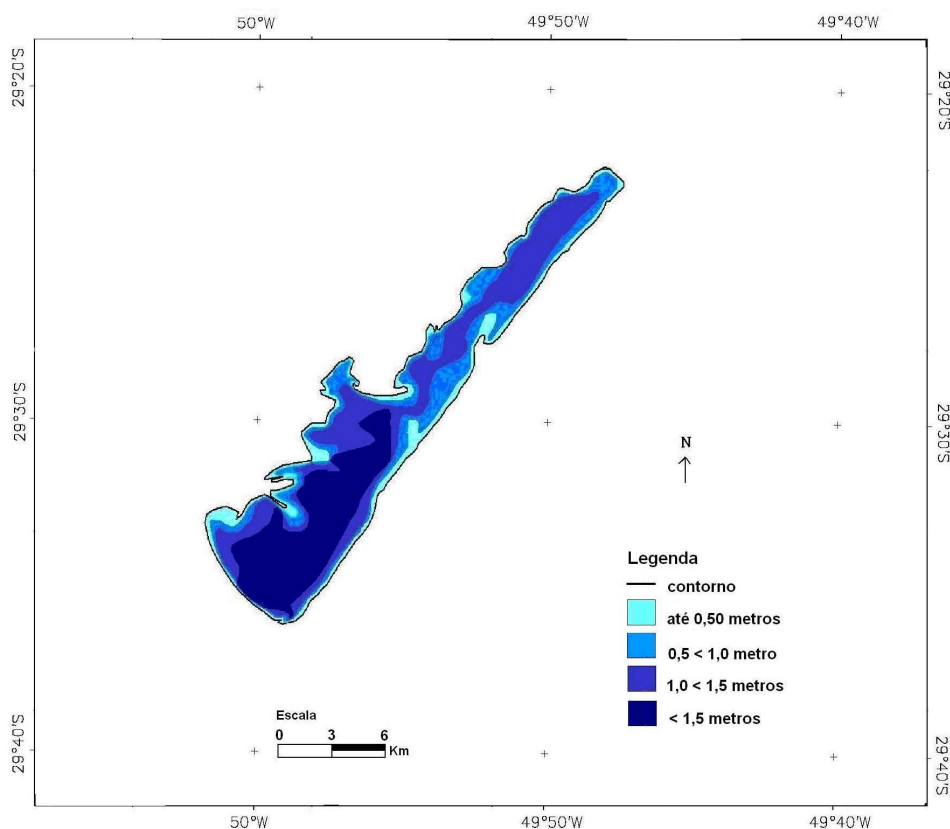


Figura 3 – Curvas batimétricas da lagoa Itapeva – RS.

Fonte: Adaptado de Lopardo (2002)

Segundo Cardoso (2001), em função da baixa profundidade, com máximas em torno de 2,3 metros, a lagoa Itapeva não chega a apresentar uma estratificação na coluna d'água, e a distribuição vertical dos organismos

fitoplanctônicos ocorre de forma casual. Isso faz com que haja uma baixa relação espacial no sentido vertical (superfície-meio-fundo) da lagoa e uma resposta mais efetiva na distribuição espacial horizontal, no sentido norte-centro-sul (Frankenberg, 2004).

Em relação as suas dimensões, a lagoa Itapeva possui superfície de aproximadamente $95,16 \text{ km}^2$, volume de água de aproximadamente $212 \times 10^6 \text{ m}^3$, uma profundidade média de 2,23 metros e máxima de 3,5 metros, estudos baseados em cartas do exército realizados por Schwarzbald & Schäfer (1984 *apud* Pereira, 2007). Conforme estudos mais recentes, utilizando outras técnicas de medições, Lopardo (2002) afirma que a área total da lagoa corresponde a $124,75 \text{ km}^2$, e um volume de $245,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ e em maior parte de sua extensão não possui uma profundidade maior que 1,5 metros. Em relação ao eixo longitudinal, segundo Cardoso (2001) a lagoa possui uma grande extensão, chegando a aproximadamente 31 km de extensão.

O substrato da lagoa Itapeva é composto principalmente por areia e camadas de argila intercaladas pela deposição de sedimentos do terraço marinho e sedimentos do terraço lagunar com espessuras variáveis (Villwock & Tomazelli, 2007).

Em sistemas rasos e perturbados como no caso das lagoas costeiras, o vento é um agente fisiológico importante na elaboração da paisagem e provoca modificações dinâmicas em curtos períodos de tempo. Os ventos atuantes na região do Litoral Norte influenciam na dinâmica e na morfologia do sistema lagunar, bem como na distribuição das comunidades vegetais e animais. As direções de ventos que predominam no Litoral Norte são de origem NE (nordeste) e SW (sudoeste).

Além da ação dos ventos, a circulação da água da lagoa Itapeva sofre com a ação do ciclo de evaporação e precipitação que ocorre em sua bacia hidrográfica.

A bacia hidrográfica onde se encontra a lagoa Itapeva possui uma área de aproximadamente $825,6 \text{ km}^2$, e o abastecimento de água doce é mantido pela água subterrânea e pelos seus principais tributários o rio Cardoso e o rio Três Forquilhas.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A dinâmica dos ecossistemas aquáticos está diretamente relacionada a sua posição geográfica, tendendo ser menos evidenciada em latitudes menores por causa das menores temperaturas encontradas nestas regiões, sendo que muitos modelos elaborados para regiões temperadas não se aplicam aos ecossistemas aquáticos que se encontram nas regiões tropicais e subtropicais.

Cada ecossistema aquático possui suas particularidades em relação aos processos físicos, químicos e biológicos, pois estes não respondem da mesma maneira aos aportes de sedimentos, nutrientes e poluentes.

De acordo com Frankenberger (2004) as variáveis hidrodinâmicas operam através de uma variedade de controles diretos e indiretos gerando causas e efeitos. As principais características que governam as lagoas costeiras do Rio Grande do Sul são a velocidade e direção dos ventos, associados à direção da formação das barreiras arenosas múltiplas que originaram todo o sistema lagunar costeiro, desta forma, as diferentes lagoas respondem de forma desigual a estas funções devido às suas diferenças geomorfológicas (Schwarzbold & Schäfer, 1984 *apud* Pereira, 2007; Villwock & Tomazelli, 1991; Lopardo, 2002).

Em sistemas lênticos, as águas encontram-se ainda mais suscetíveis a cargas de substâncias poluidoras oriundas de fontes agrícolas e/ou urbanas. Conforme Martini *et al* (2006), o desequilíbrio na disponibilidade de nutrientes pode ocasionar o processo de eutrofização acelerada nos corpos de água e alterar a biota de organismos aquáticos. Lagoas que apresentam reduzidas profundidades máximas também são mais vulneráveis ao processo de eutrofização.

Nesse sentido, a biomassa é uma importante variável a ser analisada em ecossistemas aquáticos uma vez que representa a quantidade de energia estocada em certo nível trófico da comunidade biológica (Esteves, 1998; Arraut *et al.*, 2005; Goodin *et al.*, 1993; Sharma *et al.*, 1998; Gosselain *et al.*, 2000).

Os componentes do balanço hídrico, como a chuva, entradas de água, evaporação, variação da descarga de sedimentos pelos rios, tem uma grande importância no regime hidrodinâmico da lagoa, tendo como conseqüências também a influência no desenvolvimento fisiológico das comunidades aquáticas.

3.1 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DOS ALVOS

3.1.1 Comportamento espectral da água

A luz que incide sobre os corpos de água se atenua rapidamente, isto é, é absorvida e espalhada pelos constituintes da água. O que se observa através dos sensores remotos é a radiância emergente captada pelo sensor, resultante do espalhamento causado pelo material em suspensão na zona eufótica, conforme Pereira (1993).

A água possui comportamento espectral distinto de acordo com seu estado físico; líquida, sólida ou gasosa (Figura 4). A água em estado líquido apresenta baixa reflectância, em torno de 10%, em comprimentos de onda na faixa do visível (entre 0,38 - 0,7 μm). Nas demais regiões do espectro eletromagnético ocorre a absorção da radiação incidente.

Desta forma, os estudos da qualidade da água em corpos hídricos são limitados às bandas espectrais do visível, região que ocorre os principais picos de reflectância da água, e no infravermelho próximo.

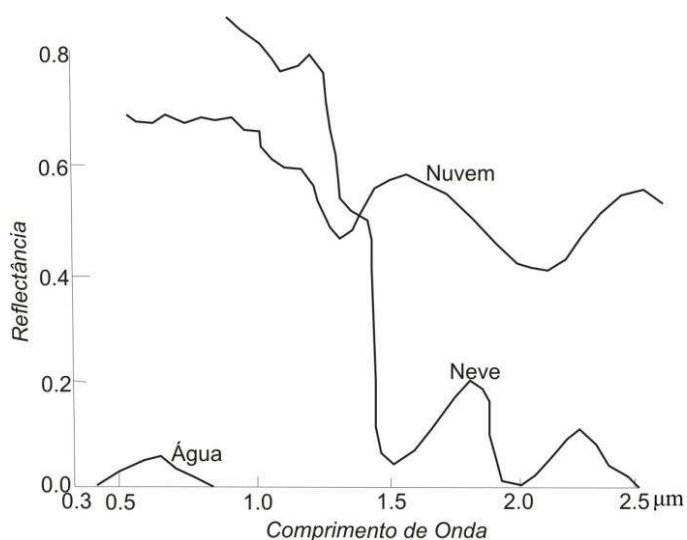


Figura 4 – Comportamento espectral da água em diferentes estados físicos.

Fonte: Adaptado de Novo (1998) *apud* Bowker *et al* (1985).

Conforme Novo (2008) quanto mais pura a água, isto é, sem matéria suspensa ou dissolvida, mais baixa a sua reflectância devido ao pequeno coeficiente de espalhamento e elevada transmitância.

No entanto, todo corpo hídrico apresenta certa quantidade de sedimentos em suspensão, estes podem ser inorgânicos (areia, silte e argila) ou orgânicos (organismos fitoplanctônicos). Os sedimentos inorgânicos são os maiores responsáveis pelo espalhamento da luz incidente na água, e em segundo lugar os sedimentos orgânicos, mais especificamente o fitoplâncton. Este fato é o que possibilita a interceptação da radiação refletida pelos corpos de água pelos sensores remotos.

Assim, a cor e a intensidade da luz refletida pela água dependem da cor e da composição das substâncias em suspensão nela, possibilitando a interpretação de suas propriedades químicas, e às vezes, da produtividade biológica, através da cor apresentada nas imagens de satélite.

De acordo com Wachholz *et al.* (2007) a principal dificuldade em estudar a variabilidade espacial e espectral da água através de imagens de satélite está relacionada à baixa reflectância da água. A baixa resolução espacial dos sensores orbitais também se constitui numa limitação para a caracterização de variáveis de qualidade da água, pois a radiação refletida pelas margens e pela vegetação pode ser mais forte que a radiação da água, mascarando-a. No entanto, satélites como o Landsat TM possuem resolução espacial de 30 metros, ideal para lagos e zonas costeiras, e possuem resolução temporal de 16 dias.

De acordo com Doxaran *et al.* (2001), as imagens de satélite são largamente utilizadas nas águas oceânicas para estimar a concentração de clorofila e a produção primária. No entanto, a aplicação destes métodos para áreas estuarinas na costa oceânica é complicada devido aos materiais orgânicos dissolvidos e as partículas suspensas que estão presentes na água juntamente com o fitoplâncton, dificultando a sua identificação.

Técnicas aliadas ao sensoriamento remoto e ao geoprocessamento surgem como recursos dinâmicos que ampliam a capacidade de mapeamento e de análise, desta forma, a demanda crescente pelo uso dessas técnicas na análise de parâmetros de qualidade da água amplia e agiliza as possibilidades de mecanismos voltados para a gestão dos recursos hídricos, pois apresenta grande potencial para o monitoramento da qualidade da água em escala temporal e espacial.

Os padrões de reflectância da água em ambientes naturais dependem de uma série de variáveis, tais como a presença de sedimentos inorgânicos

suspensos, matéria orgânica em suspensão e dissolvida, concentração de pigmentos fotossintetizantes, dentre outros (Esteves, 1998; Mantovani, 1993).

Essas variáveis que integram o comportamento espectral da água no seu estado natural variam ao longo do tempo e do espaço, pois estão relacionadas com eventos climáticos e características morfométricas, físicas e de ocupação humana na bacia hidrográfica. (Londe *et al.*, 2005; Wachholz, 2007).

A variação do coeficiente de absorção é influenciada pela capacidade de absorção da própria molécula de água e pelos chamados Componentes Ópticamente Ativos (COAs) e podem ser formados por organismos vivos; partículas orgânicas e inorgânicas em suspensão e substâncias orgânicas dissolvidas. As curvas de absorção dos componentes opticamente ativos podem ser vistos na Figura 5 em comparação a absorção da água.

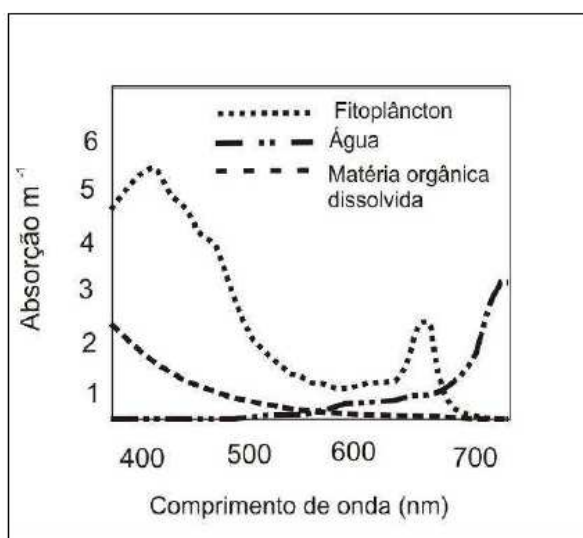


Figura 5 – Coeficientes totais de absorção da água e dos componentes opticamente ativos.

Fonte: Adaptado de Rudorff (2006)

Os componentes opticamente ativos conferem uma coloração à água, sendo que algumas variáveis responsáveis por essa coloração são passíveis de detecção pelos sensores remotos. Dentre estas substâncias destacam-se os pigmentos fotossintéticos, como a clorofila, substâncias inorgânicas suspensas provenientes da bacia de captação e rios afluentes, assim como substâncias orgânicas dissolvidas resultantes da decomposição da matéria orgânica.

3.1.2 Totais de Sólidos em Suspensão

Os Totais de Sólidos em Suspensão (TSS) constituem-se de detritos orgânicos e inorgânicos e possuem relação direta com a cor e a turbidez da água. O TSS é representado pela seguinte equação:

$$\text{TSS} = \text{SOS} + \text{SIS}$$

Onde: SOS são os Sólidos Orgânicos em Suspensão e;
SIS os Sólidos Inorgânicos em Suspensão.

O material orgânico suspenso em decomposição é originário do crescimento e desenvolvimento de bactérias, fitoplâncton e zooplâncton, e o material inorgânico em suspensão tem origem no intemperismo e erosão das rochas e dos solos, sendo estes carregados através do escoamento superficial, e pelas sub-bacias hidrográficas até o corpo hídrico.

O gráfico da Figura 6 apresenta os coeficientes de absorção dos principais componentes presentes na água em comparação com a água pura de acordo com Bukata *et al* (1991).

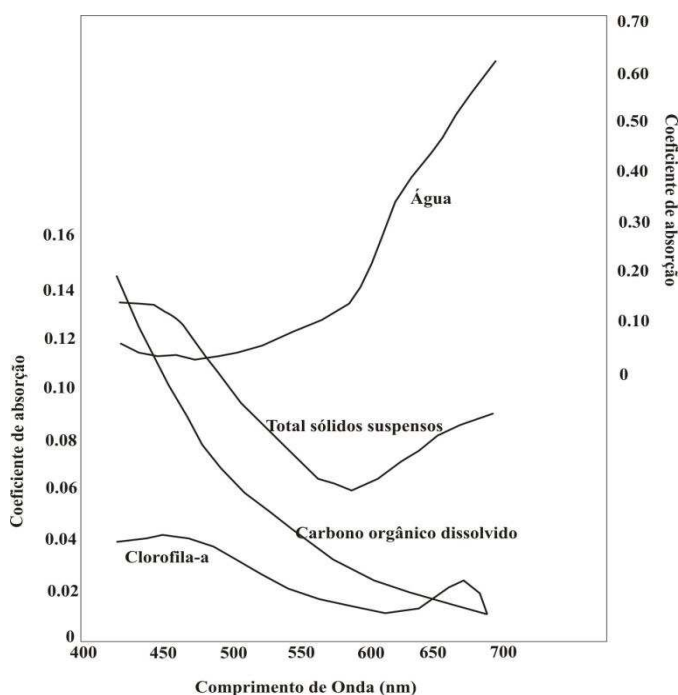


Figura 6 – Coeficientes de absorção da água, TSS e clorofila_a para os comprimentos de onda da região do visível do espectro.

Fonte: Bukata *et al* (1991).

Observa-se na Figura 6 que o coeficiente de absorção da clorofila_a é baixo, apresentando maiores valores em menores comprimentos de onda, decrescendo suavemente. O mesmo ocorre com o coeficiente de absorção do TSS, que apresenta maiores valores em comprimentos de onda menores, no entanto, decresce até um pico mínimo próximo a menor 570 nm e após volta a aumentar novamente.

No entanto, o aumento da concentração de TSS na água resulta no deslocamento do pico de reflectância, ocasionando um aumento da reflectância da água na região do infravermelho. O aumento na reflectância da água ocorre devido às maiores concentrações de material suspenso na faixa de comprimento de onda entre 400 e 550 nm. O decréscimo da reflectância na região entre 700 e 740 nm ocorre devido ao forte aumento da absorção da radiação pela água nesses comprimentos de onda.

De acordo com Rudorff (2006), a relação entre a concentração de sólidos em suspensão e a reflectância da água tem sido amplamente utilizada em estudos de sensoriamento remoto para estimar a distribuição espacial de concentração de TSS nas águas costeiras e continentais, oferecendo subsídios ao gerenciamento da qualidade da água, ao monitoramento da poluição e a modelagem da taxa de transporte de sedimentos.

3.1.3 Detecção de clorofila

A vegetação apresenta picos de absorção nas faixas espectrais do azul e do vermelho devido aos pigmentos fotossintetizantes (clorofila). Portanto, o contraste entre a água e a vegetação é menor nessas faixas espectrais diminuindo o poder de discriminação entre esses alvos.

Conforme a Figura 7, a água passa a absorver maior parte da radiação a partir de 0,7 μm . Já a clorofila (representada no gráfico pela folha verde) passa a refletir a radiação no intervalo dos comprimentos de onda do infravermelho (0,7 a 1,3 μm).

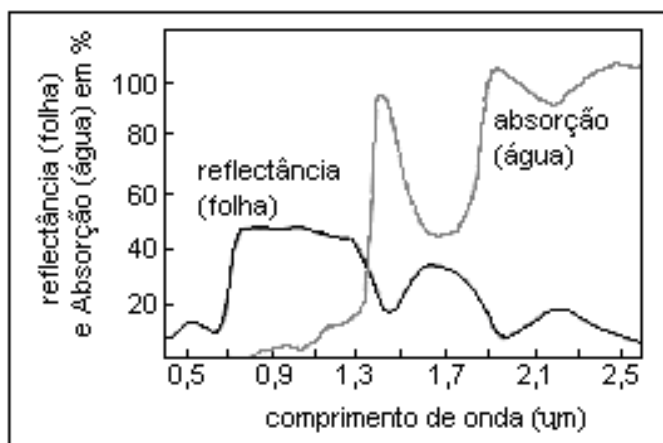


Figura 7 – Absorção da água e reflectância da vegetação.
Fonte: Swain e Davis (1978)

O grau, no qual o comprimento de onda do infravermelho médio do espectro é absorvido pela vegetação, ocorre em função da quantidade de água presente na folha, conforme Swain e Davis (1978). Desta forma, a reflectância de uma folha no infravermelho médio é aproximadamente o inverso ao da absorção da lâmina de água.

No caso da detecção da clorofila através de imagens de satélite, admite-se que esta se torna perceptível de acordo com o aumento da concentração de algas na água, o que implica principalmente na redução da reflectância da água na região espectral do azul (Novo, 2008), e um aumento na reflectância da água na região do infravermelho próximo.

Assim, entre os comprimentos de onda 0,38 μm e 0,7 μm , a vegetação possui uma baixa reflectância, no entanto, quando há uma grande quantidade de fitoplâncton em um corpo de água, a reflectância da água pode ser mascarada pela reflectância do fitoplâncton. A presença de biomassa fitoplanctônica ocasiona um aumento da reflectância da água em todos os comprimentos de onda, mas principalmente na região do infravermelho próximo, pois o espalhamento celular supera o efeito da absorção pela água.

Desde a década de 1980, tem-se procurado ampliar o uso de dados de sensoriamento remoto no manejo de ecossistemas aquáticos (Novo *et al.*, 2009). Foram realizados diversos estudos voltados à caracterização do comportamento espectral da água, seja por meio de experimentos de laboratório (Novo *et al.*, 1993; Mantovani, 1994; Londe *et al.*, 2008) ou pela coleta de dados em campo.

Em águas interiores, o uso da tecnologia do sensoriamento remoto pode ser aplicado no monitoramento das águas quanto à carga de sedimentos, proliferação de macrófitas na superfície do corpo de água e identificação de florações de algas. Um uso potencial citado por Martini *et al.* (2006) é o monitoramento da população de organismos fotossintéticos planctônicos e não planctônicos (algas bentônicas). Todas as possibilidades listadas estão diretamente relacionadas ao aporte de nutrientes às águas e podem servir como instrumento de monitoramento dos corpos hídricos sujeitos a eutrofização acelerada.

No caso da detecção da clorofila, esta se deve ao aumento da concentração de algas na água. Diversos estudos comprovaram correlações satisfatórias entre a reflectância obtida pela banda do sensor Landsat correspondente ao comprimento de onda do infravermelho próximo e a absorção da clorofila, estimando a sua concentração como Hedger *et al.* (2002); o comportamento espectral da clorofila (Arraut *et al.*, 2007); o comportamento espectral do fitoplâncton (Londe *et al.*, 2005); e o monitoramento do estado trófico de lagoas costeiras (Pereira *et al.*, 2007).

Em corpos de água, os principais pigmentos que elevam a reflectância da água estão associados aos organismos fotossintetizantes, estes são as clorofilas, os carotenóides e as ficobilinas. No entanto, há diversos tipos de clorofilas, que diferem entre si nos detalhes da sua estrutura molecular e nas suas propriedades específicas de absorção. A clorofila-a é o pigmento primário e está presente em todas as classes de algas (Martini *et al.*, 2006). A maior parte das plantas possui clorofilas a, b, c e mais raramente a clorofila d. A clorofila-a ocorre em todas os organismos fotossintetizantes em concentrações variáveis.

Assim, a clorofila-a é o pigmento mais importante na verificação da presença de organismos fotossintetizantes na água, os outros tipos de clorofilas como a clorofila-b, clorofila-c, carotenóides e ficobilinas são pigmentos úteis apenas como forma de identificar a presença ou dominância de certa classe de alga em uma amostra (Arraut *et al.*, 2005).

Nas águas interiores podem ser encontrados praticamente todos os grupos de algas. A predominância de algum grupo de alga está relacionado as características do próprio ecossistema aquático.

3.2 BIOMASSA FITOPLANCTÔNICA EM AMBIENTES AQUÁTICOS

A biomassa é uma importante variável porque mede a quantidade de energia estocada em certo nível trófico da comunidade biológica (Esteves, 1998; Arraut *et al.*, 2005; Goodin *et al.*, 1993; Sharma *et al.*, 1998; Gosselain *et al.*, 2000). Esta biomassa fitoplanctônica pode ser estimada através da medida do peso seco, pela concentração de componentes químicos celulares (clorofila, carbono e nitrogênio) bem como pelo cálculo de biovolume. As medições através do peso seco, clorofila e carbono são métodos utilizados onde não há uma necessidade de precisão taxonômica, pois existe uma dificuldade de separar bactérias, algas e outros pequenos organismos da matéria orgânica particulada dos outros detritos.

Já o cálculo do biovolume pode levar em conta as diferentes formas e tamanhos dos organismos fornecendo uma avaliação mais precisa. Este método foi utilizado por Cardoso (2001) e Becker (2002) para identificar a comunidade planctônica da lagoa Itapeva.

De acordo com Arraut *et al.* (2005), o fitoplâncton é um grupo heterogêneo composto principalmente por algas que se distribuem por grande parte dos ambientes marinhos e aquáticos continentais pelo mundo. O uso de técnicas de sensoriamento remoto para avaliação e monitoramento de recursos hídricos teve início com tentativas de detecção de clorofila-a, pigmento comum a todas essas algas, e como parâmetro de quantificação de biomassa (Londe *et al.*, 2005).

No que se refere aos pigmentos fitoplanctônicos, verifica-se uma variedade significativa dentro de um corpo de água. Alguns exemplos de pigmentos fotossintetizantes são as clorofilas a, b, e c e os carotenóides, no entanto, dentre os pigmentos dos diferentes grupos de organismos que fazem fotossíntese e desprende oxigênio, o principal responsável pela absorção de energia luminosa é a clorofila. De acordo com Östlund *et al.* (2001) a clorofila é o principal constituinte responsável pelas variações temporais e espaciais no espectro de reflectância das águas oceânicas, já nas águas interiores como lagos e reservatórios, geralmente contêm quantidades de carbono orgânico dissolvido e matéria inorgânica que dificultam a interpretação do espectro de reflectância.

Dentre os pigmentos de clorofila ainda encontramos os pigmentos chamados feofitina. Este nada mais é que o primeiro produto do processo natural de degradação da clorofila. A degradação da clorofila se caracteriza pela perda do Mg (magnésio) do seu anel pirólico. A detecção deste pigmento torna-se importante no que tange a resposta espectral obtido pelo satélite, pois há uma grande semelhança espectral entre a clorofila e a sua feofitina (Pereira, 1993). A feofitina pode interferir nas medidas do pigmento de clorofila_a pois absorve luz na mesma região do espectro eletromagnético que a clorofila. A relação entre clorofila_a e os pigmentos de feofetina servem como bons indicadores do estado fisiológico do fitoplâncton.

Londe *et al.* (2007) buscou identificar os comprimentos de onda de maior sensibilidade às concentrações de clorofila-a e de clorofila-c através do método da Remoção do Contínuo (RC), para dados do Reservatório de Ibitinga (SP), e observou que os intervalos espectrais apresentaram altas correlações para os comprimentos de onda referentes às feições de absorção e reflectância das clorofilas a e c, para os espectros com e sem RC. As maiores correlações observadas foram no intervalo de 400-900 nm, justamente os comprimentos de onda referentes às bandas de maior reflexão dos pigmentos de clorofila. Este fato indica uma maior sensibilidade das bandas de maior reflexão para as variações nas concentrações de clorofilas.

A interpretação dos espectros de reflectância e absorção da água e de seus componentes opticamente ativos servem como base para a avaliação e monitoramento do estado trófico de ambientes lênticos utilizando-se apenas métodos de sensoriamento remoto. Para estes fins são comparados os dados do sensor remoto (Landsat, por exemplo) com os sedimentos inorgânicos em suspensão na água e os pigmentos biológicos (clorofila, e clorofila+feofitina). Desta forma, passam a se estabelecer uma relação entre a concentração de clorofila e clorofila+feofitina e a resposta espectral obtida pelo satélite.

Após o estabelecimento da correlação da refletância da luz com os valores da concentração de clorofila-a, obtém-se uma ferramenta muito útil para o biomonitoramento de ambientes aquáticos, baseado na densidade do fitoplâncton.

Os principais estudos sobre fitoplâncton no Brasil estão concentrados em reservatórios nas regiões sul e sudeste do país. Os resultados obtidos ainda são insuficientes para traçar padrões de comportamento espaço-temporal do

fitoplâncton, sendo que a maior parte dos estudos é realizada através de coletas de amostras de água em campo, realizadas durante um curto período de tempo, não podendo gerar dados significativos para o seu monitoramento ambiental.

No entanto, em maior parte dos estudos, os resultados encontrados mostram que as oscilações do fitoplâncton e os padrões sucessionais da comunidade são controlados basicamente pelos períodos de chuvas e de secas, implicando no aporte de nutrientes para as águas do reservatório, e dependendo da profundidade, pelos períodos de circulação e conseqüente profundidade da camada de mistura, conforme citam Fernandes *et al.* (2000).

A velocidade e direção do vento, nesses casos, são agentes determinantes da intensidade da alteração da estrutura e no crescimento do fitoplâncton, assim como o tempo de retenção da água nos reservatórios também influenciam nos parâmetros físicos e químicos da água e em conseqüência, na variabilidade do fitoplâncton. Na camada mais superficial da lâmina d'água a mistura vertical é usualmente associada com grande turbulência gerada por processos como as variações do nível de água, ventos e outros processos relacionados a circulação da água.

Estudos realizados em lagoas rasas demonstram uma ação constante dos ventos, esse é um modelo comportamental apresentado também pela lagoa Itapeva conforme Cardoso (2001), a qual propicia uma elevada turbidez no ambiente, provocando a ressuspensão dos sedimentos. Uma elevada turbidez pode limitar a zona fótica para a realização da fotossíntese do fitoplâncton e acabar por restringir o seu crescimento.

Em períodos que ocorre uma maior estratificação da coluna de água, tendem a dominar as clorófitas e crisófitas, e em lagos bastante eutrofizados, as cianobactérias. As bacillariophytas tendem a aparecer em áreas de maior turbulência da coluna de água, ou em períodos de grande circulação decorrente de ventos e chuvas (Londe, 2008, Londe *et al.*, 2005).

As variáveis hidrológicas, como o nível de água e a velocidade do fluxo, exibem uma variação espacial e temporal intimamente relacionada com a ação do vento e a comunidade planctônica (Becker, 2002). Assim, de acordo com os autores citados, há grandes flutuações nas comunidades aquáticas oriundas das características climáticas da região em estudo e como estas interagem com as características físicas da lagoa.

3.2.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é um índice de vegetação dado pela subtração dos comprimentos de onda do infravermelho próximo e o vermelho pela razão entre a soma dos comprimentos de onda do infravermelho próximo e vermelho do espectro eletromagnético. Esse índice pode relacionar a quantidade e o tipo de vegetação existente no terreno, com a finalidade de se reduzir o número de parâmetros presentes nas medidas multiespectrais.

Na literatura são encontrados mais de cinquenta índices de vegetação, sendo que a maior parte destes índices são obtidos através das medidas da reflectância nas faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético. O índice comumente utilizado é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) de Rouse *et al.* (1973) também utilizado nesta pesquisa.

Os índices de vegetação gerados a partir de dados de sensoriamento remoto constituem uma importante estratégia para o monitoramento das alterações naturais, ou produzidas pelo homem, nos ecossistemas. De acordo com Londe *et al.* (2009) o avanço tecnológico promovido pelos sensores multiespectrais e hiperespectrais possibilitou o crescente interesse na avaliação do uso de sensoriamento remoto para a identificação de áreas sujeitas a florações de cianofíceas como indicador do processo de eutrofização de águas continentais.

O NDVI tem sido amplamente utilizado para o monitoramento da vegetação terrestre, sazonal e temporalmente, por proporcionar um forte sinal da vegetação, e oferecer um bom contraste com outros objetos da superfície terrestre (Tucker e Sellers, 1986 apud Gurgel, 2000). Assim, o NDVI é um índice de vegetação bem estabelecido na literatura para a vegetação terrestre, sendo ainda pouco utilizado para a detecção de florações fitoplanctônicas em ambientes aquáticos continentais, embora já tenham sido utilizados para a detecção de florações em regiões costeiras e nos oceanos (Novo *et al.*, 2009).

As imagens de NDVI podem ser utilizadas em estudos que envolvem a determinação de índices de biomassa. O principal objetivo na utilização dos

índices de vegetação é realçar o alvo analisado em detrimento dos outros alvos em seu entorno, como o solo e a vegetação.

O estudo realizado por Novo *et al.* (2009) buscou integrar dados *in situ* e de sensoriamento remoto para mapear a distribuição espacial de florações de cianobactérias no reservatório da UHE Funil, que se localiza no médio curso do rio Paraíba do Sul, comprovando que o índice NDVI permite estender a área de abrangência de florações fitoplanctônicas do reservatório a partir de imagens de satélite coincidentes com episódios de alta concentração de clorofila-*a* medidos em campo.

Os resultados obtidos por Londe (2008) mostraram um excelente desempenho do NDVI na previsão da concentração de clorofila a partir de dados radiométricos de campo adquiridos no reservatório eutrofizado de Ibitinga (SP).

Conforme análise de Novo (2008), o NDVI gerado a partir de imagens Landsat TM indicou sensibilidade à presença de florações de clorofila conforme previsão de seu modelo empírico. Com base nestes resultados formulou a hipótese que o índice de NDVI permite estender a área de abrangência de florações fitoplanctônicas em corpos de água a partir de imagens de satélite, integrando os dados *in situ* e de sensoriamento remoto para mapear a distribuição espacial de florações de fitoplâncton.

Os valores de NDVI sob as imagens oscilam entre -1 e +1. Os valores negativos correspondem a presença de água (lagos, rios, etc) e os valores positivos representam uma vegetação exuberante e grande quantidade de biomassa. Esse índice permite identificar a presença de vegetação verde na superfície e caracterizar sua distribuição espacial e temporal.

A vegetação verde, por exemplo, absorve fortemente a radiação solar incidente na região do vermelho (0,55 – 0,70 μm), devido à presença de alta quantidade de pigmentos de clorofila e de carotenos existentes na folha. Por outro lado, a vegetação verde tem uma alta reflectância na região do infravermelho próximo (0,70 – 1,30 μm), devido às características estruturais das folhas. Desta forma, muitas combinações entre a reflectância dos canais da região do vermelho e do infravermelho próximo têm sido propostas. No caso da equação do NDVI, esta tem por finalidade a obtenção do máximo contraste entre as propriedades das folhas, para melhor caracterizar o vigor da vegetação (Gurgel, 2000).

3.3 SÉRIES TEMPORAIS

A análise da dinâmica espaço-temporal e da mudança nos processos ecológicos permite fornecer subsídios à conservação da diversidade biológica de um ecossistema em longo prazo (Sciamarelli *et al.*, 2009). Neste sentido, a análise de séries temporais serve como ferramenta para o monitoramento ambiental tendo em vista um estudo em longo prazo.

As imagens geradas pela TSA (Time Series Analysis) abrangem tanto os padrões espaciais quanto temporais que podem ser interpretadas conjuntamente. A produção de dados temporais consiste na geração de um grupo de diagramas que representam as variações do item em estudo.

Diversos fatores podem influenciar no processo de eutrofização de corpos hídricos. Em ambientes naturais a descarga de materiais durante um período de tempo restrito pode ser muito discreto ou contínuo, sendo assim, o processo de eutrofização somente pode ser investigado quando há uma longa série temporal de dados sobre a área de estudo (Lau & Lane, 2002).

Estudos como os de Carvalho Júnior *et al.* (2008) comprovaram que as imagens Landsat ETM+7 demonstram eficiência numa série temporal de imagens NDVI para a diferenciação dos tipos de vegetação e como forma de identificar determinadas coberturas vegetais.

Uma metodologia comumente empregada no estudo de séries temporais utiliza as transformações de Fourier, que consiste em converter um sinal que ocorre ao longo do tempo em sinais no espaço de frequências. Em termos práticos, significa decompor a variação anual da série temporal de NDVI em sinais que representem a oscilação anual, semestral, quadrimestral e assim por diante (Victória *et al.*, 2009).

Os estudos de Victória *et al.* (2009), utilizaram uma série temporal de imagens com o objetivo de gerar as imagens amplitude da primeira e da segunda componente, numa análise por Componentes Principais apresentando as características mais comuns na primeira componente, e as características mais incomuns a partir da segunda componente. O comportamento temporal do NDVI observado nas diferentes coberturas vegetais pelos autores, permitiu a separação destas em classes, através da transformação de Fourier. Os resultados obtidos

pelo estudo demonstram o elevado potencial de aplicação desse método para a discriminação e mapeamento de atividades agrícolas.

Outros trabalhos tem sido realizados no sentido de identificar padrões de distribuição de clorofila e a sua variabilidade sazonal e espacial, assim, Chaturvedi & Narain (2003) utilizaram dados do SeaWiFS (*Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor*) para a identificação de padrões de distribuição de clorofila no mar Árábico, utilizando dados do período de 1997-1998 e 1998-1999, foram analisadas oito imagens, compreendidas entre outubro e abril, período do ano limitado pela menor cobertura de nuvens.

As variações sazonais podem ser detectadas através dos sensores dos satélites, e por essa razão os dados sobre distribuição do fitoplâncton podem ser utilizados para estudos ambientais. Chaturvedi & Narain (2003) obtiveram valores de clorofila a partir das imagens do SeaWiFS, apesar dos dados espaciais e temporais apresentarem uma grande variabilidade. No entanto, foram observados padrões de distribuição que se repetiram no ano seguinte.

Zhu *et al.* (2002) analisaram uma série temporal de imagens Landsat no período de 1973 a 1998, comparando a diferença de cor da água no estuário do rio Pearl (China). Com os resultados obtidos, concluíram que os sensores *Multi-Spectral Scanner* (MSS) e o *Thematic Mapper* (TM) do satélite Landsat, particularmente um satélite de observação da Terra, podem ser utilizados com sucesso para a pesquisa da qualidade da água.

Dekker *et al.* (1992) concluíram que os sensores de satélites possuem resolução espectral e radiométrica confiável para definir parâmetros de qualidade da água. Dekker *et al.* (1993) também analisaram uma série temporal de imagens do satélite Landsat a fim de detectar as limitações deste para o uso no monitoramento da qualidade de águas interiores, chegando a conclusão que as informações relevantes sobre a água estão contidas nas primeiras quatro bandas espectrais do Landsat TM, podendo ser utilizadas com sucesso para a detecção de clorofila-a (pigmento presente na folha) e transparência da água.

3.4 DINÂMICA DA LAGOA ITAPEVA

Em geral, as lagoas costeiras no Rio Grande do Sul apresentam reduzidas profundidades máximas, sendo, portanto, ambientes altamente

vulneráveis às oscilações climáticas, principalmente no que diz respeito à ação dos ventos. Os movimentos da água são fortemente influenciados pelas mudanças no tempo, os quais promovem também mudanças na distribuição, quantificação e diversidade do plâncton. Além disso, ambientes rasos estão sujeitos a processos de resfriamento e aquecimento e à ação do vento que proporciona a mistura da água, tornando a coluna de água mais homogênea (Panosso *et al.*, 1998).

Em relação aos estudos específicos sobre a lagoa Itapeva, foram realizados trabalhos sobre a comunidade fitoplanctônica em termos de diversidade de espécies e categorias de tamanho (Becker, 2002); fitoplâncton e hidrodinâmica (Cardoso, 2001); estudo hidrodinâmico, sólidos suspensos e turbidez da água (Lopardo, 2002); análise de fluxo de energia através do modelo de input-ouput (Frankenberg, 2003).

Esses estudos ressaltaram a importância da ação dos ventos constantes na dinâmica da lagoa. Esse comportamento foi observado na lagoa Itapeva por Cardoso (2001), influenciando na elevada turbidez no ambiente, provocado pela ressuspensão dos sedimentos. A ressuspensão dos sedimentos promovida pela ação do vento aumenta a eficiência do fluxo de energia na cadeia alimentar disponibilizando matéria orgânica particulada (Demers *et al.*, 1987 apud Becker, 2002).

Estudos têm reconhecido a hidrodinâmica como uma força que rege os ecossistemas aquáticos (Legendre e Demers, 1984 apud Becker, 2002). Os aspectos da dinâmica populacional das comunidades planctônicas são influenciados principalmente por eventos meteorológicos e hidráulicos, promovendo o transporte do fitoplâncton e de nutrientes entre as camadas ou compartimentos aquáticos.

No que diz respeito à dinâmica da lagoa Itapeva, Cardoso (2001), comprovou a regência da hidrodinâmica sobre as comunidades fitoplanctônicas, sendo o vento o principal fator determinante da dinâmica na lagoa. As variáveis hidrológicas, como nível da água e velocidade de fluxo, também exibiram uma variação espaço-temporal intimamente relacionada com a ação do vento e com a comunidade planctônica. A dinâmica do fitoplâncton nem sempre é linear e os organismos podem não reagir imediatamente às mudanças ocasionadas no ambiente.

Cardoso (2001) verificou que as oscilações espaciais do nível de água da lagoa Itapeva em função da direção do vento são semelhantes no centro e sul da lagoa, sazonalmente. Já a direção do vento determinou o sul da lagoa como o mais perturbado, enquanto o centro e norte são mais constantes quando a direção dos ventos é do quadrante NE.

Em termos de qualidade de água para o consumo humano, os valores dos parâmetros físico-químicos estabelecidos pelo CONAMA demonstram que a lagoa ainda não se encontra impactada pela ação do homem, apresentando uma boa qualidade de água para o consumo (Cardoso, 2001).

3.4.1 Influência dos fatores físicos na dinâmica da lagoa

De acordo com Frankenberg (2003) uma técnica utilizada para o entendimento dos aspectos funcionais, estáticos e dinâmicos dos ecossistemas é a modelagem de sistemas, entretanto, uma característica é significativa quando avaliamos a aplicabilidade destes modelos em ecossistemas aquáticos, pois normalmente os fatores hidrodinâmicos não são considerados como fatores que possam influenciar na comunidade biológica. Desta forma, Frankenberg (2003) buscou em seu estudo analisar o input-output em ecossistemas aquáticos, tomando como área de estudo a lagoa Itapeva, e inferir o efeito dos fatores hidrodinâmicos.

De acordo com Lopardo (2002) a lagoa Itapeva apresenta significativas reações hidrodinâmicas ao regime de ventos (rajadas) e às cheias rápidas geradas pelos seus tributários da Serra Geral, principalmente pelo rio Três Forquilhas.

A ação dos ventos sobre a massa de água pode eventualmente levar a ressuspensão de materiais de fundo e de nutrientes, promovendo o arraste do material na camada superficial e acumulando-se em posições específicas da lagoa, no entanto, de acordo com Cardoso (2001), ventos constantes levam a homogeneização de parâmetros como o pH, condutividade elétrica e oxigênio.

De acordo com os estudos de Becker (2002) e Cardoso (2001), os altos valores de biomassa fitoplanctônica podem estar associados ao fator físico vento. Cardoso (2001) afirma que ocorre um aumento significativo em todos os estimadores de biomassa fitoplanctônica quando ocorrem ventos com velocidade

entre 4 e 6 m/s. Dessa forma, a velocidade do vento pode estar significativamente relacionada com a quantidade de biomassa fitoplanctônica, no entanto, a relação de causa-efeito do vento sobre o fitoplâncton na lagoa Itapeva pode ser indireta.

Ainda de acordo com Cardoso (2001) foram constatadas duas direções de vento predominantes na lagoa, uma do quadrante NNE-ENE, ocorrendo em todas as estações do ano, com predomínio durante o verão, e outra do quadrante SW-W com predomínio durante o outono e o inverno.

A primavera foi a estação onde ocorreu a maior amplitude de variação da direção dos ventos, o que propiciou uma constante turbulência no sistema, afetando no comportamento da comunidade fitoplactônica. Estudos realizados por Becker (2002) demonstraram que os maiores valores de biomassa fitoplanctônica foram obtidos durante o outono devido a floração de *Anabaena circinalis*, pois a floração já encontrava-se estabelecida e a ação do vento foi insuficiente para interrompê-la.

Conforme Lopardo (2002) a ação do vento também pode influenciar diretamente sobre as diferenças do nível da água na lagoa entre os extremos norte e sul, diferença esta entre os níveis de água, que é chamado de seiche. A variação do nível de água em função de aportes de água é lenta quando comparada à modificação dos níveis e às seiches criadas pelo efeito do vento sobre a lagoa, e estas variações de níveis e de velocidades do vento tem importância significativa sobre as variáveis ambientais como sólidos suspensos e turbidez. Cardoso (2001) observou que o ponto central da lagoa é pivô das oscilações do nível da água entre os pontos norte e sul, podendo ser considerado um ponto de transição entre os dois extremos.

Contudo, as oscilações dos níveis de água da lagoa em função do vento foram bastante semelhantes para as regiões central e sul sazonalmente. O ambiente de maior perturbação em razão do movimento da água foi a região sul, enquanto o centro e norte exibiram uma constância sazonal entre os mesmos. Como a lagoa é fortemente influenciada pela ação do vento e estes tem um comportamento sazonal característico, os efeitos hidrodinâmicos foram mais acentuados na região norte quando os ventos predominantes eram de SW, e na região sul quando os ventos predominantes eram de NE (Cardoso, 2001).

Conforme os resultados obtidos por Cardoso (2001) a turbidez, a transparência de Secchi, TSS e nutrientes (nitrogênio e fósforo) foram as

variáveis que apresentaram maior correlação com a hidrodinâmica da lagoa exibindo um comportamento de efeito-resposta praticamente imediato.

Os valores de transparência da água variam durante o dia, os fatores responsáveis por essa variação são a quantidade e qualidade de plâncton, assim como a circulação da água e a natureza geológica.

3.4.2 Densidade fitoplanctônica da lagoa

No caso da lagoa Itapeva, estudos realizados por Becker (2002) demonstraram que a lagoa apresentou elevados valores de biomassa da comunidade fitoplanctônica durante o período de dezembro de 1998 a agosto de 1999, oscilando entre 12 mg/L e 51mg/L, valores médios encontrados durante as campanhas, quando comparada a outras lagoas como, por exemplo, a Laguna dos Patos/RS que apresentou valores entre 0,01 mg/L e 15,76 mg/L (Torgan, 1997) e o lago Batata/AM onde o maior valor biomassa foi de 16 mg/L durante o período de águas baixas (Huszar & Reynolds, 1997).

Conforme a classificação de Huszar *et al* (2000) a lagoa Itapeva é um ambiente hipereutrófico, no entanto, a lagoa não apresenta tal característica, pois a comunidade fitoplanctônica pode apresentar picos inesperados de espécies dominantes ou raras. Os valores mais elevados de biomassa encontrados na lagoa podem ser atribuídos aos efeitos da hidrodinâmica, provocada principalmente pela ação dos ventos, pois é difícil estabelecer um padrão sazonal para a comunidade fitoplanctônica (Cardoso, 2001).

Em lagoas rasas como a lagoa Itapeva, podem ocorrer picos inesperados de aumento populacional da espécie dominante bem como repentinas mudanças de espécies que podem caracterizar um comportamento freqüente em períodos sazonais, estas irregularidades podem ter origem em diversas fontes.

A estrutura da comunidade planctônica, em qualquer ambiente aquático é fundamental para o conhecimento do funcionamento deste ecossistema. Conforme Cardoso (2001) a estrutura da comunidade planctônica na lagoa Itapeva é formada por sete divisões em mais de 148 espécies fitoplanctônicas.

De acordo com Cardoso (2001) foram encontradas sete Divisões de fitoplâncton: Bacillariophyta, Cyanophyceae, Dinophyceae, Clorophyta, Cryptophyceae, Euglenophyceae e Crysophyceae ou cianobactérias. Entre estas,

segundo Becker (2002), as cianobactérias foram responsáveis pelos valores elevados de biomassa observados nos pontos de amostragem.

Cardoso (2001) analisou três pontos de coleta de dados situados no norte, centro e sul da lagoa. Esta concentração foi relacionada principalmente da cianobactéria denominada *Anabaena circinalis*, que apresentou florações temporárias durante o período de coleta de dados, principalmente durante a estação do outono.

As cianobactérias, de acordo com o sistema de classificação dos seres vivos em cinco reinos, pertencem ao reino Monera, ou Procariontes. As cianobactérias diferenciam-se das demais algas devido à ausência de núcleo individualizado, e seus pigmentos difundidos em toda massa citoplasmática, apresentando alta diversidade morfológica, podendo ter formato esférico ou filamentosos, como no caso da espécie *Anabaena circinalis*, ocorrendo individualmente ou agrupadas em colônias (Perez, 2008).

Conforme Cardoso (2001), durante o inverno os gradientes espaciais gerados pelos efeitos hidrodinâmicos foram bastante determinantes nas respostas fisiológicas da comunidade planctônica, em nível de abundância, composição, biomassa (clorofila-a) e atividades metabólicas. Já durante o outono ocorreu a floração da espécie *Anabaena circinalis* registrando as maiores médias de biomassa fitoplanctônica em toda a lagoa.

As florações da espécie *Anabaena circinalis* provocaram alta concentração de fitoplâncton durante o período de 1998 e 1999, período de estudo de Cardoso (2001) e de Becker (2002), e as causas prováveis foram distúrbios intensos (provocados por fortes ventos) ou pela falta deste, criando um ambiente estável e propício para a floração. As florações desta espécie são consideradas comuns em algumas lagoas do litoral do Rio Grande do Sul e se trata de um fenômeno natural e característico do sistema.

Durante seus estudos, Becker (2002) identificou algumas tendências na distribuição da biomassa fitoplanctônica. A média durante as campanhas realizadas no verão foram mais homogêneas nos três pontos amostrados do que nas campanhas realizadas nas outras estações do ano, pois a direção do vento foi o mais constante entre todas as campanhas sazonais, caracteristicamente do quadrante NE. Na primavera e no inverno a comunidade apresentou o mesmo

comportamento, com uma média maior no norte da lagoa devido a maior densidade de cianobactérias.

Um dos fatores responsáveis pelo aumento da concentração de fitoplâncton na porção norte da lagoa é devido a sua posição, sua baixa profundidade e a área ser mais estreita, não recebendo descarga de afluentes. Desta forma, a lagoa encontra-se mais isolada neste ponto, o que propicia o desenvolvimento de florações, sendo mais propensa à eutrofização.

Outra tendência apontada pelos estudos de Becker (2002) é o aumento da densidade de Bacillariophytas. Estas ocorrem na porção mais central da lagoa, pois esta Divisão é típica de ambientes lóticos, e este ponto é influenciado pelo deságüe do rio Três Forquilhas. A tendência de aumento da densidade das Bacillariophytas é intensificada pelos ventos da direção W.

De acordo com a predominância da direção do vento, o fitoplâncton se distribui espacial e temporalmente na lagoa, sendo assim, mostram-se sensíveis a hidrodinâmica (Becker, 2002). As bacillariophytas e as cianobactérias foram características para a lagoa Itapeva, sendo que o nível de densidade e a riqueza tiveram uma resposta instantânea na distribuição espacial provocada pela ação do vento (Cardoso, 2001).

Assim sendo, Lopardo (2002) observou que quando a diversidade e a riqueza aumentavam na porção norte da lagoa, na porção sul ocorria o oposto, sendo que este fato pode estar relacionado ao efeito do *fetch* de NE, que acaba deslocando as comunidades fitoplanctônicas.

Desta forma, a distribuição do fitoplâncton possui uma estreita relação com os fatores físicos do ambiente, como nível de água e velocidade média do vento, sendo estes fatores de extrema importância para a compreensão da dinâmica da lagoa Itapeva.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Levantamento de dados

Nesse estudo foram gerados produtos a partir de imagens de satélite e de dados provenientes da análise das amostras de água da lagoa Itapeva, com a finalidade de mapear os padrões da variação espacial e temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, o NDVI, encontrado na lagoa Itapeva através de uma série de imagens do satélite Landsat TM e ETM+.

Para atingir os objetivos propostos nesse estudo foram executadas as seguintes etapas:

- a) Levantamento bibliográfico;
- b) Levantamento de imagens de satélite existentes para a área da lagoa;
- c) Aquisição e processamento das imagens do satélite Landsat, órbita ponto 220-80. Série de imagens do ano de 1985 a 2010;
- d) Levantamento da base cartográfica existente para a área;
- e) Levantamento de dados físicos com coleta de amostras de água na lagoa Itapeva.

4.2 Processamento das imagens

Para a elaboração das imagens de NDVI e de classes de NDVI, foram realizados os seguintes pré-processamentos:

- 1) georreferenciamento com base na projeção UTM (*Transversa Universal de Mercator*), *Datum* Horizontal Córrego Alegre com meridiano central 51 W, na escala numérica de 1:50.000;
- 2) correção atmosférica pelo método "*Dark Pixel*" disponível nos softwares ENVI e IDRISI;
- 3) Conversão dos dados das imagens para reflectância através do software ENVI;
- 4) geração de um polígono limite da área da lagoa Itapeva utilizada com máscara para o recorte.

Para a criação do polígono limite da lagoa, foi digitalizado o limite em formato vetorial sobre uma imagem georreferenciada que foi utilizada como base. O polígono vetorial foi então convertido para o formato raster (imagem), sendo atribuído o valor zero (0) para a área externa, e o valor um (1) para a área interna do polígono.

Este polígono (imagem) foi utilizado então como máscara para delimitar a área da lagoa Itapeva eliminando a área externa da lagoa, com a finalidade de padronizar as imagens e eliminar a interferência da vegetação das bordas da lagoa.

Após a geração das imagens de NDVI, estas foram inseridas na rotina TSA (Análise de Séries Temporais) do *software* Idrisi, gerando tabelas e imagens de Componentes Principais (CPs) através da ferramenta TSA, e após a análise destas CPs foram estabelecidas classes para os intervalos dos valores dos pixels de NDVI.

4.2.1 Materiais utilizados

- a) Bibliografia referente ao tema em estudo;
- b) Imagens do satélite Landsat TM e ETM+, correspondente à órbita-ponto 220-80;
- c) Cartas Topográficas do Exército, com projeção UTM (*Transversa Universal de Mercator*) e *Datum* Horizontal Córrego Alegre;
- d) Para o processamento das imagens foi utilizado o *software* ENVI 4.5, *software* Idrisi, e ArcGis 9.3.

4.2.2 Correção atmosférica

Para a utilização de dados orbitais para estudos de variáveis biofísicas é necessário retirar ruídos que atrapalham a obtenção de informações físicas das imagens. Na troposfera ocorre normalmente um gradiente logarítmico de interferência por aerossóis, ou densidade óptica, proporcionando um aumento na irradiância.

Neste trabalho, foi aplicado o método DOS (*Dark Object Subtraction*) desenvolvido por Chávez (1989), que é considerado um dos mais simples, pois

utiliza apenas as informações contidas na imagem. Desta forma, a correção pelo método DOS é realizada a partir da estimativa da interferência atmosférica em cada banda espectral estimada somente nos números digitais da imagem, o que o torna mais simples e possível de ser aplicado a qualquer cena. A grande vantagem de sua aplicação está no uso de dados provenientes apenas das imagens, não exigindo a coleta de informações sobre as condições atmosféricas no local e momento da passagem do sensor.

O método proposto por Chávez parte do princípio de que existem alvos escuros na imagem como sombras de nuvens ou topográficas que deveriam apresentar um número digital muito baixo, aproximadamente 0 (zero) ou 1% de reflectância (Chávez, 1989). No entanto, o valor do pixel mais escuro encontrado na cena é muito superior a esse valor. O valor apresentado pelo pixel mais escuro é atribuído a dois fatores principais, o ruído do próprio sensor; e o espalhamento atmosférico.

4.2.3 Correção geométrica

Para a correção geométrica das imagens foram utilizadas apenas quatro bandas espectrais, referentes aos comprimentos de onda do visível e infravermelho próximo.

As imagens foram recortadas com o mesmo número de linhas e colunas de pixel, a fim de se estabelecer um tamanho igual a todas as imagens e diminuir a área a ser georreferenciada.

A primeira imagem (data 04/09/00) foi georreferenciada através da interpolação de pontos utilizando como base as Cartas Topográficas do Exército de Três Cachoeiras, projeção UTM (*Transversa Universal de Mercator*) e *Datum* Córrego Alegre, na escala numérica de 1:50.000. A correção foi realizada no *software* ENVI 4.5, obtendo-se um RMS (*root-mean-square-deviation*) de 0,0950.

O cálculo do erro (RMS) para o georreferenciamento é feito através de uma média entre as distâncias dos pontos de controle.

Nas demais imagens, o registro foi realizado de imagem para imagem, utilizando como base a imagem já georreferenciada (data de 04/09/00), sendo adicionados em torno de 15 pontos de controle em cada uma das imagens procurando-se obter um menor RMS, entre 0,2 e 0,9.

4.2.4 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

As imagens de satélite foram convertidas para reflectância no software ENVI, para posteriormente serem geradas as imagens de NDVI.

As imagens de NDVI foram geradas através da banda da região do vermelho do espectro eletromagnético e a banda do infravermelho próximo, correspondentes as bandas 3 e 4 das imagens do satélite Landsat, conforme a equação proposta por Rouse *et al.* (1973).

O NDVI consiste na seguinte equação:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{IVprox} - V}{\text{IVprox} + V}$$

Onde: IVprox = comprimento de onda do infravermelho próximo e;

V = comprimento de onda do vermelho.

Para as imagens do sensor TM do Landsat, a equação referida se dá por NDVI: TM4 -TM3/TM4+TM3, conforme a Tabela 1 que apresenta as bandas do sensor TM, satélite Landsat e os referidos intervalos de comprimentos de onda.

Tabela 1. Comprimentos de onda das bandas espectrais da plataforma Landsat 5/TM.

Satélite	Sensor	Resolução Espectral (μm)	Bandas
Landsat 5	TM	0,45-0,52	1
		0,52-0,60	2
		0,63-0,69	3
		0,76-0,90	4
		1,55-1,75	5
		10,4-12,5	6
		2,08-2,35	7

Muitos sensores multiespectrais como o Landsat TM5 e Landsat ETM+7 possuem bandas posicionadas na faixa do visível e do infravermelho próximo, conforme Tabela 1, no entanto, podem apresentar níveis de quantização e resolução espectral insuficientes para detectar pequenas variações em um corpo

de água, pois entre as bandas captadas pelos sensores há intervalos de comprimentos de ondas que não são registrados pelos sensores.

4.2.5 Análise de Séries Temporais

Para a geração de uma série temporal de imagens, foram utilizadas imagens do satélite Landsat TM e ETM+ por apresentarem resolução temporal de 16 dias, proporcionando uma série grande de imagens a serem analisadas para o estudo da variação da dinâmica da lagoa Itapeva.

Na tabela 2 estão descritas as datas das imagens utilizadas, ordenadas cronologicamente e pelas estações do ano, abrangendo o período de 1985 a 2010, sendo estas utilizadas devido a sua boa visibilidade, menor influência de brumas e pouca ocorrência de nuvens.

Tabela 2. Imagens Landsat TM5 e +ETM7, órbita-ponto 220-80, disponíveis pelo INPE, ordenadas cronologicamente e pela estação do ano.

Outono	Inverno	Primavera	Verão
17/04/2007	28/08/2009	18/10/2010	04/02/2010
16/05/2006	01/08/2005	24/09/2007	28/02/2007
16/04/2005	14/08/2004	20/10/2005	21/01/2005
29/05/2005	12/08/2003	02/11/2004	21/01/1999
14/04/2003	02/09/2002	01/10/2004	
13/05/2002	16/07/2002	25/10/2001	
14/06/2002	13/07/2001		
26/05/2001	04/09/2000		
03/06/2001	18/07/2000		
29/04/2000	30/08/1998		
23/05/1997	29/07/1998		
28/05/1993	23/07/1996		
10/06/1992	20/09/1994		
20/05/1990	18/07/1994		
10/06/1986	13/08/1992		
	24/06/1991		
	18/08/1988		
	09/07/1985		
Total de imagens: 15	18	6	4

Fonte: INPE, 2010 (<http://www.dgi.inpe.br/CDRS>)

Org.: Lissner, J.B.

No total foram utilizadas 42 imagens na geração do TSA, a imagem do dia 18/10/2010, na qual foram realizadas as coletas de amostras de água para a análise, não foi utilizada na geração das séries temporais devido a cobertura de nuvens em áreas da lagoa danificando as informações relativas a dinâmica da lagoa Itapeva, no entanto, não interferiu nos pontos de coleta das amostras para a realização da correlação com os valores dos pixels de NDVI sobre a lagoa.

Para a análise temporal da variação de NDVI, foi utilizada a ferramenta Análise de Séries Temporais (TSA) do *software* Idrisi, utilizada para uma série longa de imagens e dados.

O TSA gera produtos de saída que incluem padrões espaciais e temporais, que podem ser analisadas de forma conjunta. Assim, os dados espaciais são representados por um conjunto de imagens de Principal Componente (CP), indicando o padrão espacial dos principais elementos de variabilidade da série de imagens em estudo.

Os dados temporais são representados através de um conjunto de dados numéricos produzidos para cada componente principal, mostrando a correlação (eixo y) entre a imagem componente e cada uma das imagens (eixo x).

A ferramenta de TSA utiliza uma técnica de estatística multivariada que permite obter o menor número de fatores possível (CPs), que representem a maior variabilidade do conjunto dos dados originais.

O processamento das imagens para elaboração do TSA foi executado utilizando conjuntos de imagens:

- (a) as imagens organizadas e processadas pelas estações do ano;
- (b) todas as imagens organizadas pela ordem decrescente das datas.

Para a geração da série temporal de imagens de NDVI, as imagens foram normalizadas, desta forma, passaram de imagens de NDVI de real, variação entre 0 e 1, para byte, com variação dos níveis de cinza de 0 a 255.

A Primeira Componente PC_1 representa a característica mais comum ou típica dos fenômenos da área em estudo. As PCs seguintes representam as mudanças.

A segunda Principal Componente PC_2 , representa a máxima proporção da variabilidade que não foi explicada na PC_1 , e é resultante da combinação linear

ponderada das variáveis originais não correlacionadas com a CP₁. Desta forma, cada CP subsequente contém gradativamente menos da proporção da variabilidade restante.

Nesta pesquisa, foram analisadas as CP₂ e CP₃ justamente para se obter as informações mais relevantes sobre a variabilidade da dinâmica da lagoa.

A partir da aplicação da ferramenta de TSA sobre os conjuntos de imagens de NDVI, foram gerados um conjunto de imagens das CPs e as tabelas de CPs, onde estão distribuídas as datas das imagens e seu respectivo valor de contribuição para as componentes: CP₁, CP₂, CP₃.

4.2.6 Classes de NDVI

Para facilitar a análise da distribuição espaço-temporal de NDVI, foram selecionadas as imagens de NDVI que mais contribuíram na análise de TSA. Para essas imagens foram estabelecidas classes através da rotina de *Reclass* do Idrisi.

Para inserir as imagens na rotina *Reclass* do Idrisi foi necessário realizar a conversão dos valores de NDVI (-1 a +1) para o formato de números binários (0 a 255), pois os valores apresentados em outros formatos não são aceitos nesta rotina. Porém, os intervalos de valores apresentados pelas classes são equivalentes aos valores de NDVI.

Após vários testes de classificações, supervisionadas e não-supervisionadas, foram estabelecidas oito (8) classes através de classificação supervisionada para os intervalos de valores de NDVI. Os intervalos foram definidos com base nas médias e desvio padrão do conjunto de datas analisadas, resultando em imagens classificadas de acordo com a variação dos padrões espaciais de NDVI da lagoa Itapeva-RS.

Os valores mais baixos de NDVI correspondem as classes 1, 2 e 3, valores médios a 4 e 5, e valores altos de NDVI as classes 6, 7 e 8.

4.3 Expedição de campo

Foi realizada uma expedição de campo para a coleta das amostras de água da lagoa, no dia 18 de outubro de 2010, data da passagem do satélite Landsat. Nessa campanha foram coletadas seis amostras para a determinação da

concentração de clorofila-a, e seis amostras para a determinação dos Totais de Sólidos Suspensos (TSS), e a transparência foi obtida através do disco de Secchi.

A coleta das amostras de água para análise no dia da passagem do satélite foi realizada com a finalidade de se comprovar a variabilidade espacial e a dinâmica do NDVI constatado através da análise da série temporal de imagens.

4.3.1 Materiais utilizados

- a) Uma camionete e um barco do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS;
- b) Receptor de sinal GPS, GARMIN, modelo GPS MAP76;
- c) Máquina fotográfica;
- d) Frascos de vidro e de plástico fornecidos pelo Laboratório de Ecologia-UFRGS, para a coleta das amostras;
- e) Caixa de isopor e gelo para manter as amostras acondicionadas;
- f) Disco de Secchi.

4.3.2 Localização dos pontos de coleta

Os pontos onde foram coletadas as amostras foram previamente determinados através da análise das imagens de satélite, buscando-se coletar amostras nas áreas em que se observou uma maior variabilidade de NDVI e uma maior dinâmica da lagoa, como a porção norte da lagoa que é mais rasa e estreita, sendo mais propensa à eutrofização.

Na tabela 3 estão descritas as coordenadas geográficas referentes aos pontos de coleta de amostras de água realizados na lagoa Itapeva. Os pontos foram localizados com a ajuda de um GPS (Global Position System) no dia da expedição de campo.

Tabela 3. Coordenadas geográficas dos pontos de coleta, lagoa Itapeva – RS.

Pontos da coleta	Coordenadas geográficas	
	Latitude	Longitude
Ponto 1	- 29° 35" 44.19'	- 49° 59" 25.50'
Ponto 2	- 29° 34" 07'	- 49° 58" 46.33'
Ponto 4	- 29° 32" 24.06'	- 49° 56" 18.25'
Ponto 5	- 29° 29" 10.07'	- 49° 53" 86.09'
Ponto 6	- 29° 25" 31.09'	- 49° 51" 16.17'
Ponto 7	- 29° 23" 35.08'	- 49° 49" 28.10'

A Figura 8 apresenta os locais dos pontos de coleta das amostras de água sobre a imagem de satélite da lagoa Itapeva, no entanto, nota-se a falta do ponto três (3) que seria realizado na região da foz do rio Três Forquilhas e que não foi realizada devido às condições de turbulência das águas e ondas, que poderiam ocasionar a virada do barco.

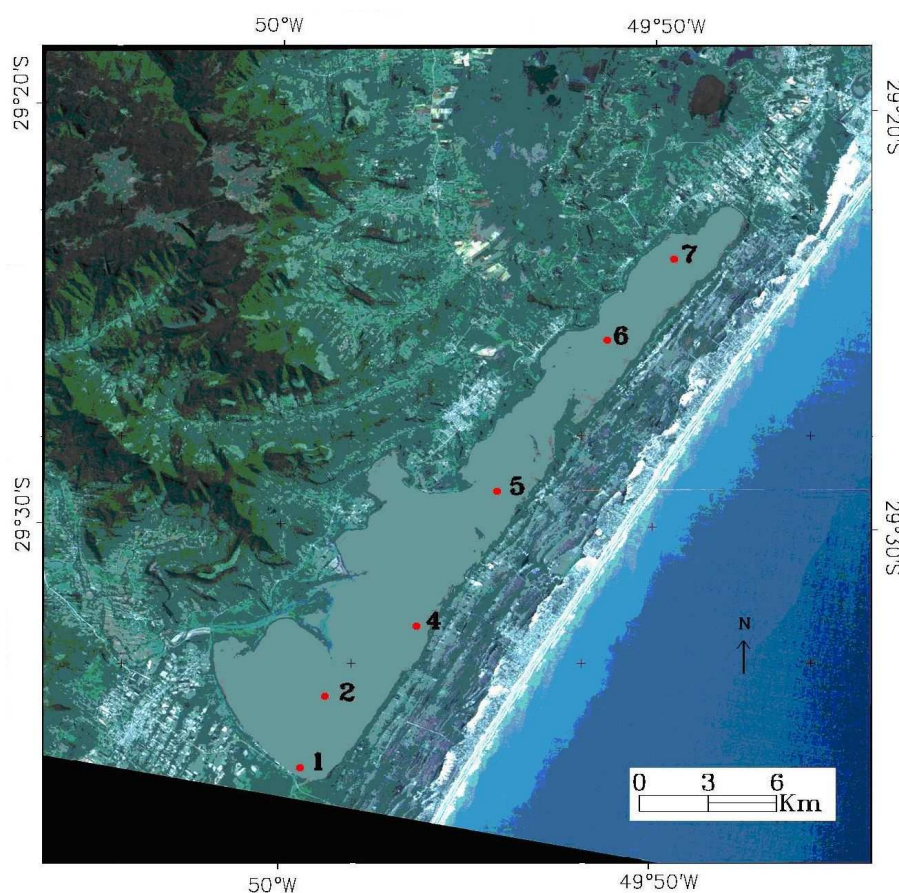


Figura 8 – Localização dos pontos de coleta das amostras de água na lagoa Itapeva-RS (Imagem Landsat TM, dia 04/02/10, cor verdadeira).
Org.: Lissner, J. B.

4.3.3 Procedimentos para a coleta

As amostras de água foram coletadas manualmente em subsuperfície, sendo realizadas no sentido norte-sul da lagoa, no período entre as 9:20 horas da manhã e 12:40 horas da tarde, compatível com o horário de passagem do satélite.

Foram coletadas seis amostras de água para a clorofila-a e seis amostras de água para os Totais de Sólidos Suspensos. As amostras coletadas para a análise de concentração de clorofila-a foram realizadas com garrafas de vidro de 500 mL e as amostras de água coletadas para a análise dos totais de sólidos foram realizadas com garrafas de plástico de 500 mL.

As amostras foram acondicionadas em caixas de isopor com gelo durante o transporte até o laboratório de análise da Ecologia na UFRGS.

4.3.4 Análise das amostras

As amostras de água foram analisadas no mesmo dia da coleta, obedecendo ao período de horas entre a coleta e análise. A análise foi realizada no Laboratório do Centro de Ecologia da UFRGS, visando determinar a concentração de Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) e dos Sólidos Totais Suspensos (mg/L).

De acordo com diversos estudos sobre a extração de pigmentos, concluiu-se que os bons extratores de clorofila são nocivos a feofitina, e vice-versa. O melhor método ainda sugerido é o método de acetona alcalinizada 90% como sendo nocivo a ambos, utilizado neste estudo.

Para a determinação dos pigmentos de fitoplâncton, podem ser utilizados três métodos: espectrofotometria, fluorometria e cromatografia líquida de alta resolução (HPLC). No entanto, para as clorofilas o método laboratorial de análise mais utilizado é o espectrofotométrico que se baseia na absorção de luz em comprimentos de onda definidos.

As análises seguiram as recomendações da *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998). Com base nesse método para se estimar a concentração de clorofila é necessário filtrar a água utilizando uma bomba de filtração a vácuo. Cada elemento da amostra é macerada utilizando acetona 90%. O filtro macerado é colocado no tubo de ensaio com

acetona 90% até completar 10 mL. Após a preparação dos tubos de ensaio leva-se à centrifuga por 40 minutos. O espectrofotômetro é calibrado com água destilada e acetona 90%. A leitura do espectrofotômetro é realizada em mais de uma etapa, fazendo-se a leitura nos comprimentos de onda de 663 nm, para a detecção de clorofila.

Para a leitura da concentração de clorofila a filtragem das amostras coletadas deve ocorrer logo após a coleta, ou ainda no mesmo dia da coleta, pois do momento da coleta até a dosagem a clorofila se feofetinizava. Além disso, podem ocorrer perdas de material na parede da vidraria ou mesmo a amostra pode se tornar turva ao receber o ácido.

Para a detecção dos sólidos totais, foi utilizado o método de gravimetria, com secagem à 105°C.

4.3.5 Transparência da água

A transparência da água, sob o ponto de vista óptico, é considerada o inverso da turbidez.

A medição da transparência da água é realizada de uma maneira simples através de um disco branco, denominado disco de Secchi. O disco de Secchi é mergulhado na água através de uma corda ao lado do barco, a leitura da profundidade é realizada através de um tipo de régua graduada que acompanha a corda.

A leitura da profundidade é realizada quando o disco de Secchi desaparece ao olho humano, isto é, a profundidade de desaparecimento do disco corresponde àquela profundidade na qual a radiação de 400-700 nm (faixa visível), refletida pelo disco não é mais sensível ao olho humano.

A medida da profundidade obtida é dada em metros, e conforme Esteves (1998) pode ser denominada de profundidade do disco de Secchi, ou transparência do disco de Secchi.

4.4 Correlação dos dados

Para estabelecer a correlação dos dados das imagens e dos valores obtidos a partir da análise das amostras de água dos parâmetros de clorofila-a e

Totais de Sólidos Suspensos, os dados foram tabelados no *software* de estatística MATLAB 7.10.0. Neste *software* também foi utilizada a rotina de correlação (r) e nível de confiança dos dados (r^2).

Para a obtenção dos valores de NDVI sobre as imagens de satélite foram obtidos os valores dos pixels correspondentes ao ponto de coleta das amostras de água na lagoa, e de seu entorno, isto é, foram obtidos os valores de NDVI dos pixels para uma grade de 3x3 pixels. Essa grade foi utilizada para diminuir erros de precisão do pixel exato da coleta da amostra indicado através do GPS, calculando-se uma média dos valores dos pixels para o local de coleta.

A correlação é uma medida estatística que facilita a interpretação de diversos dados, dentre os quais dados ambientais. A correlação é uma medida de intensidade da associação entre duas variáveis quantitativas, e sua fórmula foi proposta por Karl Pearson em 1896, sendo chamada de *coeficiente de correlação de Pearson* (r).

Os valores da correlação variam entre +1 e -1. Os valores negativos de r indicam uma correlação do tipo inversa, sendo que quando os valores de x aumentam, os de y diminuem, e vice-versa. Valores positivos ocorrem quando x e y variam no mesmo sentido.

O coeficiente de correlação estima a associação verdadeira entre x e y , descartando a possibilidade do valor obtido na amostra ser casual, devido a um erro na amostragem. Assim, foi realizado um teste de hipóteses, associando à conclusão um risco máximo. Para este teste foi escolhido um nível de significância (0,05) que irá determinar o nível de confiança do teste (95%).

4.4.1 Materiais utilizados

- a) Dados do relatório de ensaio fornecido pelo Instituto de Biociências, Centro de Ecologia da UFRGS dos parâmetros de clorofila e sólidos totais;
- b) Dados da tabela gerada pela TSA;
- c) Imagens por Análise de Séries Temporais;
- d) Imagens de NDVI e de classes de NDVI;
- e) Dados de pluviometria da estação de Torres, controlada pela INMET.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos nesse estudo estão estruturados da seguinte forma:

- (a) Relação dos dados pluviométricos com a dinâmica das imagens de satélite;
- (b) Análise da variação de NDVI na lagoa Itapeva;
- (c) Análise da variação espaço-temporal a partir das imagens de TSA para todo o conjunto de imagens;
- (d) Análise da variação espaço-temporal a partir das imagens de TSA para as estações do ano;
- (e) Análise da variação espaço-temporal de imagens classificadas de NDVI por estação do ano;
- (f) Análise dos resultados de coleta de campo e correlação com as imagens de NDVI.

5.1 Relação dos dados pluviométricos com a dinâmica das imagens de satélite

É precária a existência de dados disponíveis de precipitação para a área de estudo. Com base na Estação Meteorológica de Torres foram obtidas informações diárias e mensais referente aos anos que antecedem as datas das imagens de satélite; e referentes ao período de 1985 a 1998, período coincidente em parte com as datas das imagens de satélite.

A Defesa Civil-RS disponibiliza dados relativos à precipitação total mensal e diária, compreendendo o período de 2006 a 2010, do município de Três Cachoeiras - RS. Ainda assim, os dados de precipitação não abrangem toda a série temporal de imagens, existindo uma lacuna nos dados de precipitação que compreendem os anos de 1986 e 1990, e o período entre os anos de 1998 e 2006, período entre os dados da Estação Meteorológica de Torres-RS e dados da Defesa Civil-RS, o que dificultou a análise temporal da dinâmica da lagoa.

A Tabela 4 apresenta apenas os dados de precipitação da Estação Meteorológica de Torres - RS e da Defesa Civil-RS referentes às datas das imagens e dos três dias que antecedem a data da imagem.

Tabela 4. Dados de chuva da Estação Meteorológica de Torres – RS e Defesa Civil-RS.

Dados Estação M. Torres-RS	Pluviometria (mm)			
	Dia Atual	1º dia anterior	2º dia anterior	3º dia anterior
Datas das imagens				
9/7/1985	0	0	26,9	23
10/6/1986	-	-	-	-
18/8/1988	0	0	11,8	0
20/5/1990	-	-	-	-
24/6/1991	0	0	0	20,4
10/6/1992	2,2	8,6	0	0
13/8/1992	0,4	8,3	4,7	2
28/5/1993	0	6,5	0	0
18/7/1994	0	0	0	0
20/9/1994	0	0	0	0
23/7/1996	0	0	0	5,2
23/5/1997	0	15,8	0	3,6
29/7/1998	17,7	0	0	0,6
30/8/1998	0	0	0	1,6
Dados da Defesa Civil-RS (Três Cachoeiras)				
16/05/2006	0	0	0	0
28/02/2007	0	-	-	30
17/04/2007	0	0	0	0
24/09/2007	40,0	50,0	10,0	39,0
28/08/2009	-	-	0	0
04/02/2010	-	-	-	-
18/10/2010	-	-	0	-

Os dados pluviométricos apresentados na Tabela 4 correspondem às datas das imagens de satélite e aos três dias que antecedem a data das imagens. Foi analisada toda a série de dados de precipitação, no entanto, são destacados na tabela apenas os dados de chuva do dia da imagem e dos três dias anteriores

a data, estes são importantes devido ao tempo de resposta do corpo hídrico à precipitação.

Comparando as imagens classificadas de NDVI com os dados de precipitação da Estação Meteorológica de Torres-RS e da Defesa Civil-RS, nota-se que a lagoa Itapeva sofre maior influência no nível e na circulação das águas quando há ocorrência de chuvas nos três dias que antecedem a data da imagem.

A Figura 9 apresenta imagens de classes de NDVI. Essas imagens mostram a variação espaço-temporal de acordo com o volume de precipitação.

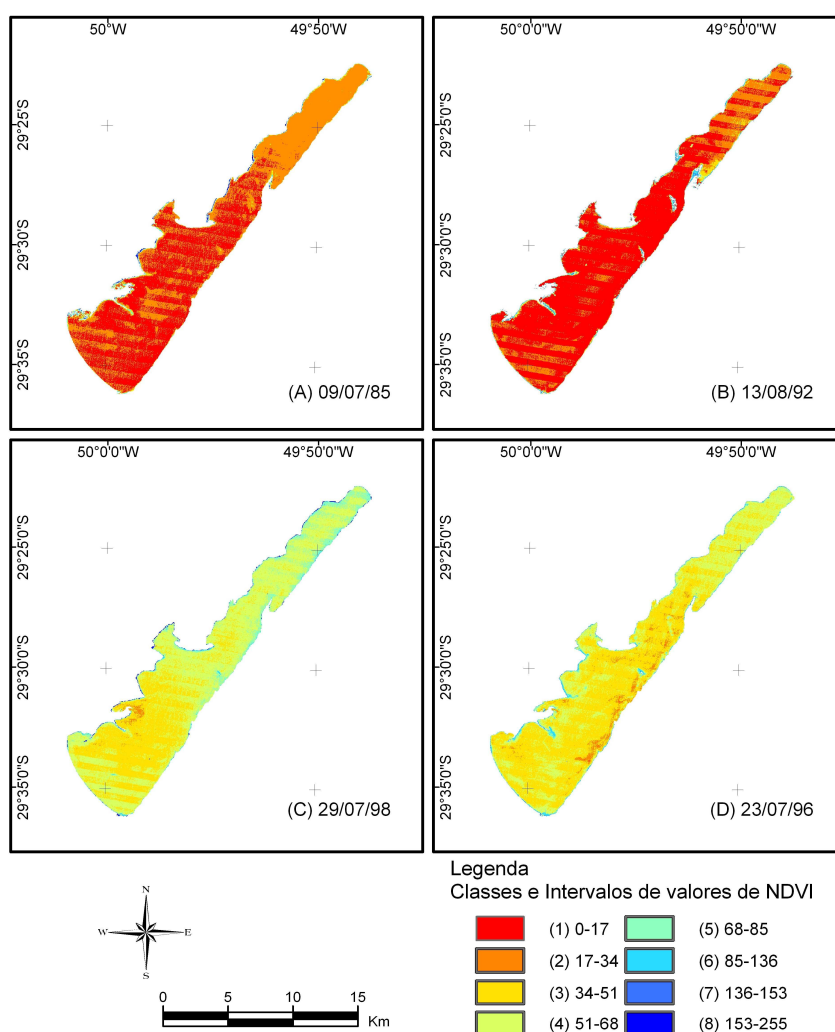


Figura 9 – Dinâmica apresentada pela lagoa Itapeva de acordo com o volume de precipitação.

A imagem (9-A) corresponde a data 09/07/85, apresentando um volume de precipitação de 49,9 mm; a imagem (9-B) corresponde a data 13/08/92, com volume de precipitação de 15,2 mm.

As informações referentes ao volume de precipitação fornecem subsídios para a interpretação dos dados limnológicos, visto que as precipitações influenciam as características da lâmina d'água de acordo com a intensidade e quanto maior for a quantidade de chuva (Corazza, 2010).

Após análise dos volumes de precipitação das datas das imagens de satélite e dos dias anteriores, nota-se que a lagoa Itapeva tem sua dinâmica modificada quando ocorrem volumes de precipitação acima de 10 mm nos três dias que antecedem a data da imagem. Além disso, outros fatores a serem considerados ao analisar a influência das chuvas na hidrodinâmica da lagoa é a época do ano e a intensidade das chuvas.

As imagens 9-A e 9-B mostram o comportamento característico apresentado pela lagoa Itapeva quando ocorrem chuvas nos dias que antecedem a data da imagem.

Observa-se que a precipitação ocasiona uma homogeneização da lâmina d'água e de seus componentes, não apresentando setores de NDVI. A lagoa apresenta ainda, classes de NDVI baixo, o que pode estar relacionado ao aporte de sedimentos e a ressuspensão de matéria inorgânica, que podem mascarar a reflectância do fitoplâncton.

De acordo com Cardoso-Silva (2008), durante o período de chuvas, os maiores valores de vazão implicam em um aumento na circulação da águas, promovendo a retirada ou carregamento contínuo dos sedimentos para o sistema de jusante.

Quando ocorrem altos índices pluviométricos, a lagoa recebe maior aporte de sedimentos inorgânicos dos seus afluentes, que podem mascarar a reflectância do fitoplâncton, e a circulação ocasiona uma homogeneização das águas e, posteriormente, o carregamento desses sedimentos para o canal de escoamento da lagoa, no setor sul.

A imagem (9-C) corresponde a data 29/07/98 com um volume de precipitação de 18,3 mm e; a imagem (9-D) corresponde a data 23/07/96 com volume de precipitação de 5,2 mm. Essas duas imagens apresentam um comportamento característico da lagoa em dias de baixo volume de chuva.

A imagem 9-C possui um volume de precipitação de 18,3 mm, no entanto, ao que tudo indica, a precipitação ocorreu após o registro de passagem

do satélite sobre a região. Nos dias que antecederam a data, o volume registrado de chuva foi de apenas 0,6 mm, no dia 26/07/98.

As imagens 9-C e 9-D apresentam variação espacial na distribuição do NVDI e classes de NDVI alto em toda a extensão da lagoa, aumentando sua concentração gradualmente na direção sul-norte, ocorrendo os maiores valores de NDVI no setor norte.

Essa variação espacial do NDVI pode estar associada aos baixos índices pluviométricos registrado nessas datas, a circulação das águas e ao aporte de sedimentos inorgânicos próximos a foz do rio Três Forquilhas e do rio Cardoso, onde são observados os menores valores de NDVI.

Conforme a relação estabelecida entre as imagens de NDVI e os dados de precipitação, as imagens 9-A e 9-B representam a dinâmica mais comum para dias de maior volume de precipitação e as imagens 9-C e 9-D representam a dinâmica mais comumente encontrada na lagoa em dias de baixo ou nenhum volume de chuva.

De forma geral observa-se que em períodos de chuvas há uma tendência de homogeneização das águas da lagoa. Conforme Cardoso (2001) a velocidade das águas, às vezes, apresenta relação direta com o aumento da densidade do fitoplâncton, mostrando que as espécies planctônicas não oferecem resistência e acompanham o fluxo de deslocamento da água. Assim, quando ocorrem volumes de precipitação relativamente altos, a circulação das águas tende a carregar os indivíduos fitoplanctônicos distribuindo-os por toda a lagoa, ocasionando uma diminuição na densidade fitoplanctônica.

Durante os períodos sem chuva nota-se um aumento na densidade fitoplanctônica.

O maior responsável pelos padrões de distribuição do fitoplâncton é o fetch. As maiores concentrações de NDVI observadas sob as imagens de NDVI ocorreram no setor norte e nas margens da lagoa Itapeva.

5.2 Análise da variação de NDVI na lagoa Itapeva

A partir da análise de padrões apresentados em imagens de NDVI é possível entender a abrangência da dinâmica das florações fitoplanctônicas em

corpos hídricos. A integração de dados *in situ* e de sensoriamento remoto torna possível mapear e entender a distribuição espacial das florações do fitoplâncton.

De acordo com Schwarzbald e Schäfer (1984 *apud* Pereira, 2007), o fator determinante para as lagoas costeiras gaúchas, em geral rasas, é a ação do vento, que acarreta na ressuspensão de sedimentos, aumentando a turbidez, ocasionando a diminuição da produção primária. Assim, neste ecossistema, o aumento da turbidez não está relacionado ao aumento do metabolismo da lagoa.

As Figuras 10, 11, 12 e 13 mostram as imagens de NDVI da lagoa Itapeva, geradas a partir das imagens Landsat TM e ETM+. As imagens foram organizadas de forma a evidenciar um padrão de distribuição de NDVI característicos para cada estação do ano.

As imagens da Figura 10 representam a variação espacial de NDVI durante o verão.

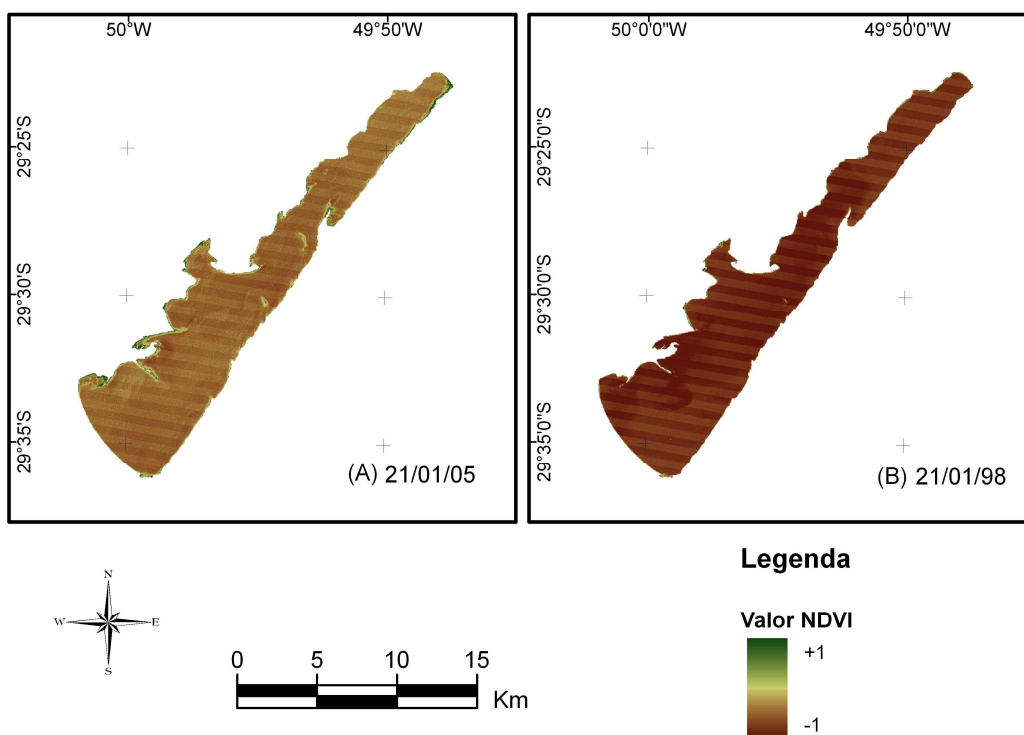


Figura 10 – Imagens de NDVI de verão, lagoa Itapeva-RS.

A imagem 10-A corresponde a data de 21/01/05, e a imagem 10-B corresponde a data 21/01/99.

Com base nos dados de precipitação analisados para a série temporal de imagens notou-se um padrão recorrente na dinâmica da lagoa para períodos

com chuva e períodos com pouca ou nenhuma precipitação. Desta forma, a imagem 10-A, apresenta um padrão de dinâmica semelhante às datas de imagens de pouca ou nenhuma precipitação. Nesta data da imagem o nível de água da lagoa se encontra baixo.

Londe *et al* (2009) estabeleceram uma relação entre águas com presença significativa de clorofila e baixas concentrações de Sólidos Totais em Suspensão com dados de reflectância de imagens de satélite. Quando ocorrem altos valores de reflectância concentrados em determinadas áreas do corpo hídrico, estes podem estar associados a bancos de areia, que se tornam mais visíveis quando o nível de água se encontra baixo.

Já a imagem 10-B apresenta uma dinâmica característica de períodos em que ocorre precipitação o que torna o corpo de água mais homogêneo.

De acordo estudos realizados por Cardoso (2001), Guasselli (2005), Becker (2002), durante o verão ocorrem menores teores de clorofila_a devido ao desenvolvimento moderado do fitoplâncton. Essa variação sazonal do fitoplâncton é controlada principalmente pela radiação solar e pela temperatura.

Conforme Cardoso (2001) durante o verão a lagoa apresenta menor variação das taxas de concentração de clorofila em toda a sua extensão. Isso ocorre devido à direção e a velocidade dos ventos, baixo volume de precipitação, aquecimento das águas e maior disponibilidade de luz.

Nesta estação ocorre a menor amplitude de variação da direção dos ventos. Geralmente, os ventos predominantes são do quadrante NE (Cardoso, 2001).

A distribuição espacial de NDVI na lagoa pode ainda estar relacionada aos baixos valores de precipitação, pois durante os períodos de seca, a vazão dos seus afluentes é menor, o que acarretam em menor descarga de sedimentos inorgânicos.

Para Cardoso-Silva (2008), o mais provável observado para o padrão de distribuição de clorofila_a nos corpos de água seja resultado do tempo de residência da água.

No estudo sobre a circulação das águas e o aporte de material na lagoa Itapeva, realizado por Lopardo (2002), a porção norte apresenta uma área mais estreita, menos profunda e sem aportes de água e materiais de afluentes, o que proporciona um maior tempo de residência da água em relação ao sul e centro da

lagoa. No entanto, Lopardo (2002) afirma que ocorre uma renovação das águas do setor norte da lagoa de tempo em tempo, principalmente quando ocorrem ventos fortes de SW.

Essa diferença da porção norte em relação às demais áreas da lagoa justifica os valores mais elevados de NDVI encontrados nessa área sob as imagens.

Assim a variação de NDVI na lagoa Itapeva está intimamente relacionada a essas variáveis, apresentando uma distribuição mais uniforme.

Estudos relativos às alterações sazonais da biomassa fitoplanctônica (Cardoso, 2001; Becker, 2002) evidenciam ainda que existe uma variação dos padrões de produtividade primária de acordo com as espécies de macrófitas aquáticas.

Algumas espécies de fitoplâncton possuem um desenvolvimento maior durante o período mais seco, outras crescem concomitantemente ao aumento do nível das águas, e ainda há outras espécies de fitoplâncton que não apresentam padrão distinto de variação sazonal.

De acordo com Cardoso (2001), no setor sul da lagoa Itapeva, próximo a foz do rio Três Forquilhas, há predominância de bacillariophytas que ocorrem geralmente em áreas de maior turbulência. Esta espécie se caracteriza como boa bioindicadora da hidrodinâmica do corpo de água.

A Figura 11 mostra as imagens de NDVI da lagoa Itapeva que representam o padrão de distribuição de NDVI característico para a estação de outono. A imagem 11-A corresponde a data de 23/05/97, e a imagem 11-B corresponde a data 14/06/02.

De acordo com a variação espacial de NDVI das imagens 11-A e 11-B e com os volumes de precipitação registrados para a lagoa nestas datas, a imagem 11-A é característica de dias em que não ocorreu chuva, e a imagem 12-B característica de dias em que ocorreram baixos volumes de chuvas.

Em períodos em que não ocorreram chuvas, como na imagem 11-A, nota-se que o nível de água da lagoa se encontra baixo. Nesses períodos normalmente ficam descobertos alguns bancos de areia na porção nordeste da lagoa, onde há também grande quantidade de *Juncus*.

Devido aos bancos de areia e concentração de *Juncus* nessa área, os valores de NDVI da imagem atingem valores altos, próximos a zero, ou valores positivos.

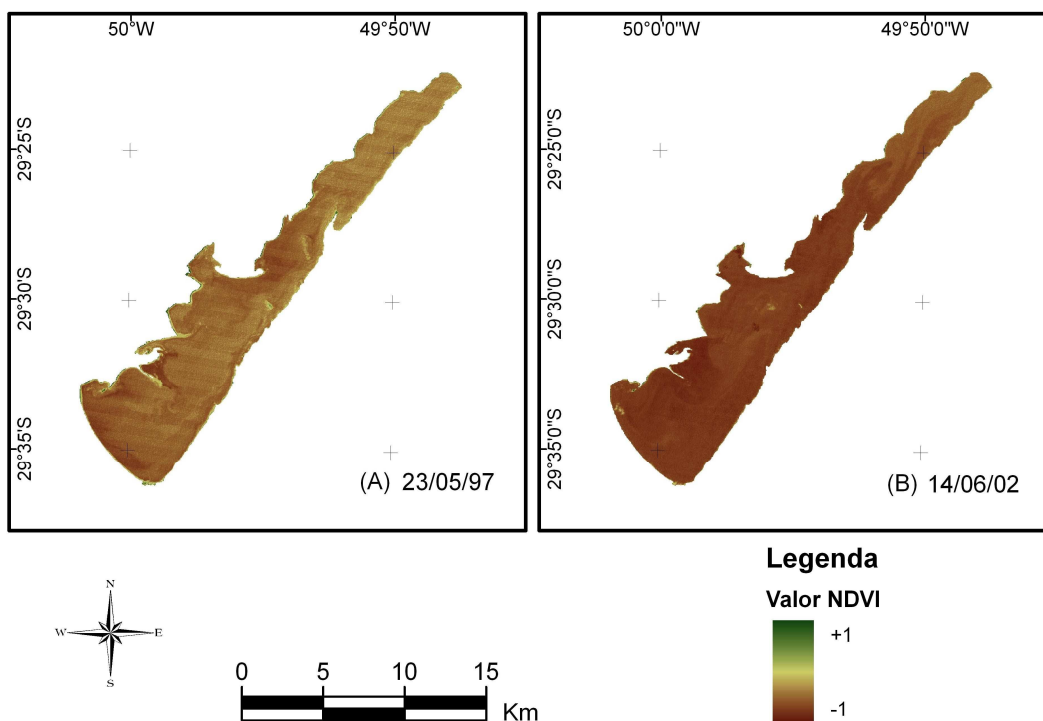


Figura 11 – Imagem de NDVI de outono, lagoa Itapeva-RS.

Em alguns estudos (Londe *et al*, 2009; Novo *et al*, 2009; Sartor *et al*, 2007) em áreas de transição como, por exemplo, em um rio, em uma lagoa ou em um reservatório, os valores de NDVI podem ser baixos devido a presença de Totais de Sedimentos em Suspensão, principalmente matéria inorgânica, proveniente das descargas dos afluentes, que acabam por mascarar a reflectância dos pigmentos fitoplanctônicos.

Assim, nas imagens 11-A e 11-B da lagoa Itapeva, observam-se áreas com baixos valores de NDVI na margem oeste da lagoa, próximos a foz dos rios Três Forquilhas e rio Cardoso. Salientamos que esses valores podem estar sendo mascarados pela carga de sedimentos trazidos por estes.

De acordo com Lopardo (2002) não existem dados de estimativa da vazão nem carga de sedimentos trazidos pelos estes afluentes da lagoa Itapeva. No entanto, destacamos que a variação espacial de NDVI é perceptível nessas áreas.

Durante o outono, a direção e a intensidade do vento normalmente fazem com que a porção sul e centro da lagoa se tornem mais semelhantes em termos de distribuição espacial do fitoplâncton, devido a perturbação e a circulação das águas ocasionada pelo rio Três Forquilhas e rio Cardoso.

Conforme observado por Lopardo (2002), Cardoso (2001) e Becker (2002), a dinâmica da porção norte da lagoa Itapeva é distinta das demais, pois esta área é mais rasa e estreita, e não sofre perturbações na circulação das águas por vazão e descarga de sedimentos de afluentes, o que facilita a discriminação e mapeamento do fitoplâncton nesta porção da lagoa.

Com base nos resultados encontrados, Cardoso (2001) afirma que, em relação às outras estações do ano, é no outono que ocorrem os valores máximos de velocidade dos ventos na região da lagoa.

No outono pode ocorrer uma segunda floração das algas ocasionada pelas mudanças na direção e velocidade dos ventos (quadrante NE para ventos do quadrante SW) e pela circulação das águas, que podem promover o aceleração da floração.

Esse aumento da concentração do fitoplâncton pode ter ligação com o aumento da turbidez da água, que provoca a ressuspensão dos sedimentos de fundo da lagoa e o aumento de nutrientes disponíveis para os organismos fitoplanctônicos.

Existe ainda uma variação dos padrões de produtividade primária de acordo com as espécies de fitoplâncton. Nesta estação do ano ocorre a floração de cianobactérias (Cardoso, 2001), ao qual pode estar ligado o aumento dos valores de NDVI em toda a extensão da lagoa.

A Figura 12 mostra as imagens de NDVI da lagoa Itapeva que representam o padrão de distribuição de NDVI característico para a estação de inverno. As imagens 12-A e 12-B correspondem, respectivamente, às datas 18/07/00 e 09/07/85.

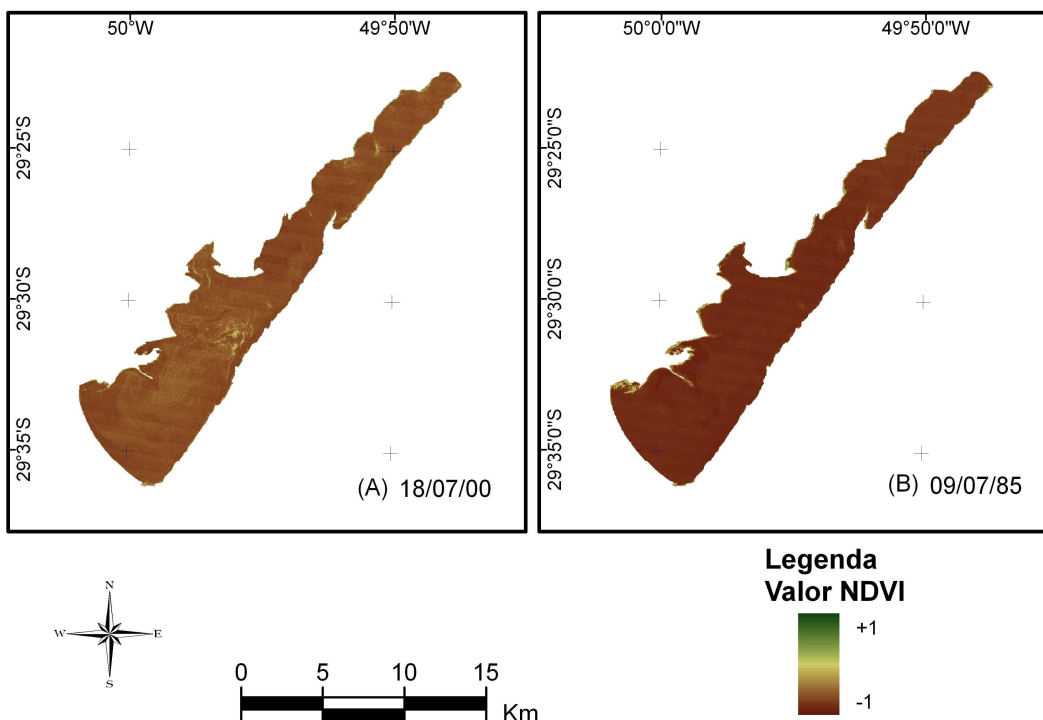


Figura 12 – Imagem de NDVI de inverno, lagoa Itapeva-RS.

Os baixos valores de NDVI apresentados pelas imagens 12-A e 12-B de inverno estão relacionados ao período de senescência dos organismos fitoplanctônicos. Nesta estação do ano há uma estagnação da floração das algas, relacionada às baixas temperaturas da estação (Esteves, 1998).

Na razão entre as bandas espectrais do infravermelho próximo e do vermelho para se obter imagens de NDVI, a banda espectral do infravermelho próximo responde pela característica do estado vegetativo das plantas.

A diferença entre a quantidade de energia refletida pela folha verde e sadia, e a folha senescente, é bastante acentuada. A vegetação senescente, por exemplo, tende muito mais a absorver a energia incidente em função da matéria orgânica em decomposição. Essa diferença de reflectância também ocorre durante os períodos de senescência e de floração do fitoplâncton.

Na imagem 12-A ocorre uma variação espacial de NDVI mais heterogênea em relação a imagem 12-B. Os valores mais elevados de NDVI são observados no setor centro da lagoa. De acordo com a dinâmica observada através das imagens, essa variação espacial do NDVI pode estar relacionada a circulação das águas, direção e intensidade dos ventos.

Conforme Cardoso (2001), durante o inverno e o outono há predominância de cianobactérias na porção sul da lagoa Itapeva. As bacillariophytas ocorrem durante todo o ano, mas em menor densidade, e estão associados diretamente com as variáveis ambientais, como o vento e turbulência da água.

A imagem 12-B representa a dinâmica característica da lagoa em períodos de elevados volumes de precipitação. Nesta data da imagem também ocorrem baixos valores de NDVI relacionados ao período de senescência do fitoplâncton. Os maiores valores de NDVI podem ser observados nas margens oeste da lagoa, em áreas mais isoladas da circulação das águas e dos ventos.

A Figura 13 mostra as imagens de NDVI da lagoa Itapeva, geradas a partir das imagens Landsat TM e ETM+. As imagens representam o padrão de distribuição de NDVI característico para a estação de primavera.

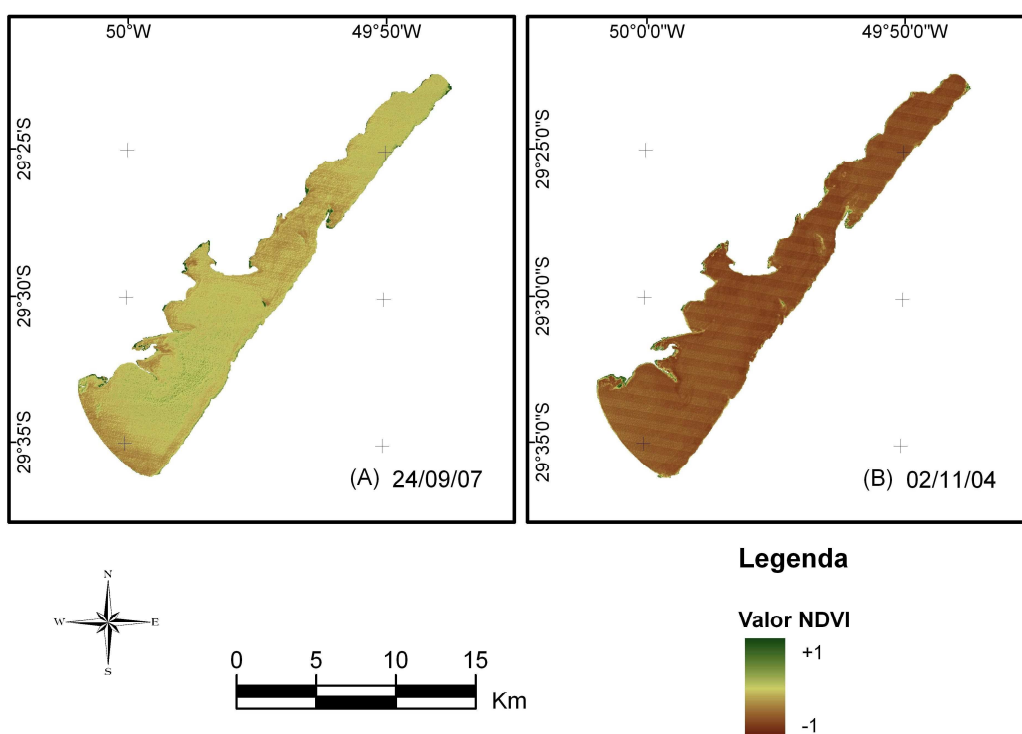


Figura 13 – Imagem de NDVI de primavera, lagoa Itapeva-RS.

As imagens 13-A e 13-B correspondem, respectivamente, às datas 24/09/07 e 02/11/04.

A variação sazonal do fitoplâncton é controlada principalmente pela radiação solar e pela temperatura, fatores que irão determinar a disponibilidade de nutrientes.

A primavera é a estação do ano onde ocorre o aumento da luminosidade e da disponibilidade de nutrientes, possibilitando a floração das algas que estavam com seu crescimento estagnado durante o inverno, resultando em valores máximos de biomassa fitoplanctônica.

O período de floração do fitoplâncton inicia-se no mês de setembro, com a chegada da primavera e termina no início de dezembro. Esse término pode ser observado nas imagens, pois a partir de dezembro ocorre uma queda brusca dos valores de NDVI.

A imagem 13-A apresenta elevados valores de NDVI. Alguns valores de NDVI se aproximam de zero e outros são positivos, característicos de ambientes terrestres.

Já na imagem 13-B, a variação espacial e os valores de NDVI são mais baixos quando comparados a imagem 13-A. Esta diferença entre as datas da imagem estão associadas, provavelmente, ao baixo volume de chuvas registrado nos dias que antecederam a data da imagem de satélite 13-A.

Os maiores valores de NDVI (imagem 13-A) encontrados na porção central da lagoa, está relacionado à foz do rio Três Forquilhas, que propicia o desenvolvimento de bacillariophytas. Esta classe de fitoplâncton é típica de ambientes turbulentos e lóticos durante as estações do ano de verão e primavera.

Outra tendência apontada é o aumento da densidade de bacillariophytas, intensificada pelos ventos do quadrante W, conforme Becker (2002) e Cardoso (2001). Os valores elevados de NDVI na porção norte ocorrem porque esta área é mais estreita e rasa em relação ao restante da lagoa, e estão associados aos agentes hidrodinâmicos atuantes nesta estação do ano.

A imagem 13-B apresenta uma variação espacial de NDVI mais homogênea quando comparada a imagem 13-A, e os valores obtidos são mais baixos. Esta dinâmica apresentada pela lagoa pode estar associada a dias chuvosos que antecederam a data da imagem de satélite, registrando baixos valores de precipitação e mudanças na direção e na intensidade dos ventos.

De acordo com a data da imagem de satélite, o decréscimo dos valores de NDVI em relação a imagem 13-A podem estar ainda, associados ao término do período de floração do fitoplâncton, que ocorre já no início do mês de dezembro, e a imagem data do mês de novembro.

Assim, a partir das imagens de NDVI, pode se observar certa tendência a sazonalidade. Os menores valores de NDVI ocorrem durante o verão e o inverno, e os maiores valores de NDVI, durante o outono e a primavera. Essa tendência é regida pelos períodos de floração e senescência do fitoplâncton, ligadas às características climáticas sazonais.

5.3 Análise da variação espaço-temporal a partir das imagens de TSA e das Componentes Principais para o conjunto de imagens de NDVI

Para a análise da variação espaço-temporal dos índices de vegetação representados pelas imagens de NDVI, foi aplicada a ferramenta de Análise de Séries Temporais (TSA). A TSA é uma ferramenta útil para o estabelecimento de padrões de dinâmica nos corpos de água, destacando as principais mudanças no comportamento espaço-temporal e sazonal.

A vantagem da utilização da TSA é que esta ferramenta gera produtos de saída que incluem padrões espaciais e temporais que podem ser analisadas de forma conjunta.

A produção de dados temporais consiste na geração de um grupo de diagramas que representam as variações do item em estudo, utilizando a análise por Componentes Principais (CPs) que mostram o comportamento espaço-temporal do NDVI na lagoa Itapeva.

A Primeira Componente PC_1 representa a característica mais comum ou típica dos fenômenos da área em estudo e as PCs seguintes representam as mudanças. Buscando compreender a variabilidade e a dinâmica da distribuição de NDVI na lagoa Itapeva através da série temporal de imagens, foram analisadas as CP_2 e CP_3 .

A Tabela 5 apresenta as contribuições (autovetores) relativas a 42 datas de imagens para cada uma das três Componentes Principais CP_1 , CP_2 e CP_3 . Nessa tabela estão destacadas em sombreado cinza as datas de imagens de NDVI com maior contribuição para cada CP.

Tabela 5. Contribuição das três primeiras Componentes Principais, geradas através da TSA, a partir das 42 imagens de NDVI.

Datas Imagens	CP₁	CP₂	CP₃
04/02/10	0.995512	-0.001568	-0.005427
28/08/09	0.994706	-0.045332	-0.012400
24/09/07	0.902285	0.070657	0.414132
20/06/07	0.993924	-0.029311	0.014591
17/04/07	0.990557	-0.000296	0.010727
28/02/07	0.991225	0.038730	-0.006506
16/05/06	0.981745	0.117753	-0.010325
20/09/05	0.989180	-0.036422	-0.008744
01/08/05	0.984013	0.113787	-0.018025
29/05/05	0.994898	0.032797	-0.005732
21/01/05	0.978495	0.110473	0.031015
02/11/04	0.994673	-0.007463	-0.007849
01/10/04	0.995511	-0.002062	-0.003548
14/08/04	0.995836	-0.015365	-0.011343
12/08/03	0.993021	-0.074990	0.014344
14/04/03	0.994709	-0.075934	0.003794
02/09/02	0.967551	-0.083092	0.123742
16/07/02	0.994086	-0.084357	-0.013060
14/06/02	0.990512	-0.096190	-0.000947
13/05/02	0.988321	0.020344	-0.017893
25/10/01	0.989046	-0.109715	-0.026230
13/07/01	0.994680	-0.065074	-0.018438
03/06/01	0.993391	-0.089326	-0.019568
26/05/01	0.991805	-0.105904	-0.024442
04/09/00	0.984600	-0.064834	-0.039559
18/07/00	0.990590	-0.111340	-0.000912
29/04/00	0.993821	-0.088428	-0.022380
21/01/99	0.991099	-0.079375	-0.008780
30/08/98	0.988188	-0.121460	-0.002082
29/07/98	0.988657	-0.063752	-0.007819
23/05/97	0.974072	0.030389	0.057141
23/07/96	0.991662	-0.070852	-0.019679
20/09/94	0.992737	-0.027290	-0.030247
18/07/94	0.991147	-0.036225	-0.014661
28/05/93	0.926506	0.309478	-0.007513
13/08/92	0.986178	0.092950	-0.032796
10/06/92	0.976845	0.166899	-0.050493
24/06/91	0.959635	0.234690	-0.048388
20/05/90	0.947033	0.151425	-0.040439
18/08/88	0.986344	0.068137	-0.047353
10/06/86	0.984040	0.108484	-0.035419
09/07/85	0.992064	-0.034015	-0.014466

As Componentes Principais (CPs) possuem as informações de brilho associadas aos padrões gerais de NDVI das imagens utilizadas. A CP₁ possui a

maior parte da variância dos dados, concentrando as informações comuns da série de imagens utilizadas pela TSA.

Observa-se na Tabela 5 na coluna da CP_1 , que a contribuição de todas as imagens é positiva. Os maiores índices de vegetação aparecerão com alto brilho, decrescendo de acordo com o NDVI. A segunda e a terceira Componente Principal apresentam gradativamente menos contraste entre os alvos.

O padrão apresentado pelas imagens geradas pela TSA para cada Componente Principal, as quais representavam a maior variabilidade da dinâmica da lagoa Itapeva, mostrou-se pouco satisfatório em relação à discriminação da variação espaço-temporal esperada. Esse padrão evidenciou uma grande homogeneidade para todo o corpo da lagoa.

Dessa forma, para a análise da TSA, optou-se pela análise dos diagramas gerados e pela utilização das imagens que obtiveram maior contribuição nas CP_2 e CP_3 , do conjunto de imagens de NDVI.

Foram utilizadas as CP_2 e CP_3 para a análise da TSA por apresentarem a maior variabilidade na dinâmica da lagoa Itapeva, enquanto que a CP_1 representa os padrões de dinâmica mais comum da série de imagens analisadas.

Na Figura 14, observa-se a contribuição de cada imagem de NDVI nas três primeiras Componentes Principais geradas a partir da TSA.

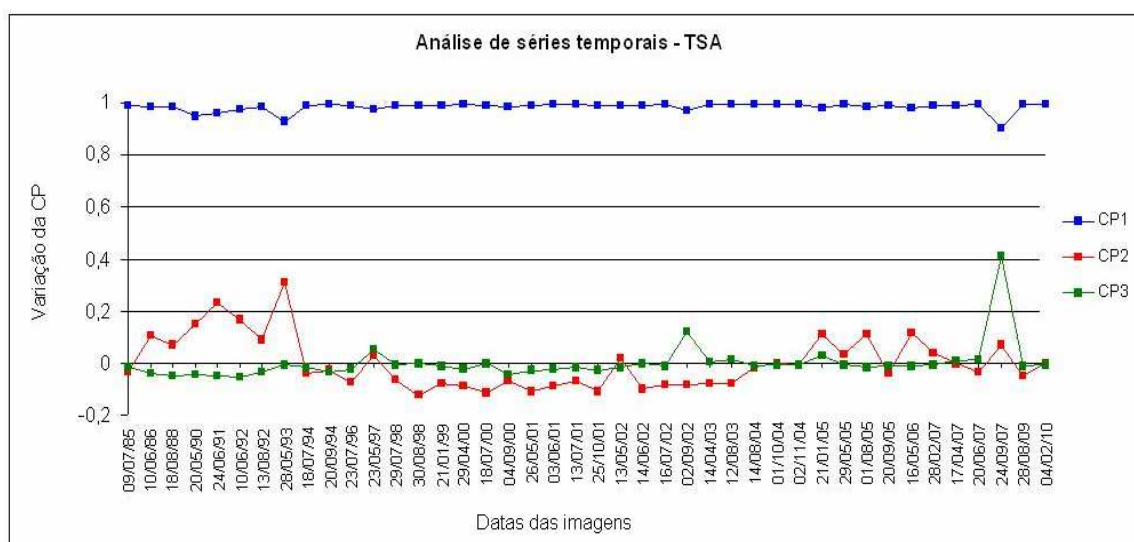


Figura 14 – Contribuição das três primeiras Componentes Principais, geradas através da TSA, a partir das 42 imagens de NDVI, lagoa Itapeva-RS.

A partir da análise da série de imagens de NDVI e dos perfis da Figura 14, nota-se que os picos apresentados pelas CP₂ e CP₃ estão relacionados aos altos valores de NDVI. No entanto, durante o período de 1994 a 2004, os valores das CP₂ e CP₃ são baixos.

Durante esse período de dez anos, as imagens de NDVI apresentaram padrões na sua dinâmica muito semelhantes. É provável que o ciclo de desenvolvimento do fitoplâncton, esteja associado a um período de altos índices pluviométricos ou a períodos de secas.

Não se sabe ao certo, qual o agente causador deste comportamento, pois não há dados levantados sobre a atuação dos agentes hidrodinâmicos, correspondentes neste período de análise.

Na Figura 14, a CP₂ destaca-se pela contribuição positiva nas imagens das seguintes datas: 28/05/93, 16/05/06, 01/08/05, 21/01/05, 10/06/92, 24/06/91, 20/05/90 e 10/06/86. Estas imagens são responsáveis pelo maior volume de informações e seus valores são positivos.

Na Figura 14, a CP₃ tem como contribuição positiva as imagens das datas 24/09/07, 21/01/05, 02/09/02 e 23/05/97.

As datas das imagens de NDVI que obtiveram maior contribuição na CP₂ (28/05/93) e na CP₃ (24/09/07) foram analisadas e, posteriormente classificadas em oito (8) classes que representam intervalos de valores de NDVI, conforme a Tabela 6.

Para a classificação supervisionada, os valores de NDVI apresentados entre o intervalo de -1 e +1 foram convertidos para o formato de números binários, pois a rotina do *software* Idrisi de classificação não permite outros formatos. Assim, os intervalos de valores apresentados pelas classes equivalem aos valores de NDVI.

As classes de intervalos de valores de NDVI foram estabelecidas após vários testes, inclusive classificações não-supervisionadas, com a finalidade de ressaltar a variação espacial na lagoa Itapeva, agrupando os valores de NDVI que tinham pouca representação espacial e não eram representativos da sua dinâmica.

Tabela 6. Classes que representam os intervalos de valores de NDVI, lagoa Itapeva-RS.

Classes estabelecidas	Intervalo dos valores de NDVI (formato binário)
1	0-17
2	17-34
3	34-51
4	51-68
5	68-85
6	85-136
7	136-153
8	153-255

A classificação das imagens de NDVI foi satisfatória principalmente no sentido de realçar a dinâmica da lagoa e a variabilidade espacial das classes de NDVI.

Conforme Novo *et al* (2009), é possível observar a distribuição espacial de classes de NDVI, o que sugere que as imagens conseguem capturar não só a floração, mas as diferenças relativas entre as concentrações medidas pelo sistema, o que reforça a eficiência dos resultados obtidos pela classificação das imagens de NDVI.

A Figura 15 apresenta as duas imagens classificadas de NDVI que obtiveram maior contribuição na CP₂ e na CP₃ da TSA geradas a partir do conjunto de 42 imagens.

A imagem 15-A corresponde a data 28/05/93, que obteve maior contribuição na CP₂ e a imagem 15-B corresponde a data 24/09/07, e obteve maior contribuição na CP₃. As duas imagens representam a maior variabilidade da dinâmica da lagoa Itapeva para a série de 42 imagens.

Os valores positivos de NDVI na TSA estão relacionados aos elevados valores de brilho das imagens. Assim, as duas imagens da Figura 15 apresentam elevados valores de NDVI (alto brilho) e são responsáveis pelo maior volume de informações sobre a dinâmica espacial da lagoa Itapeva.

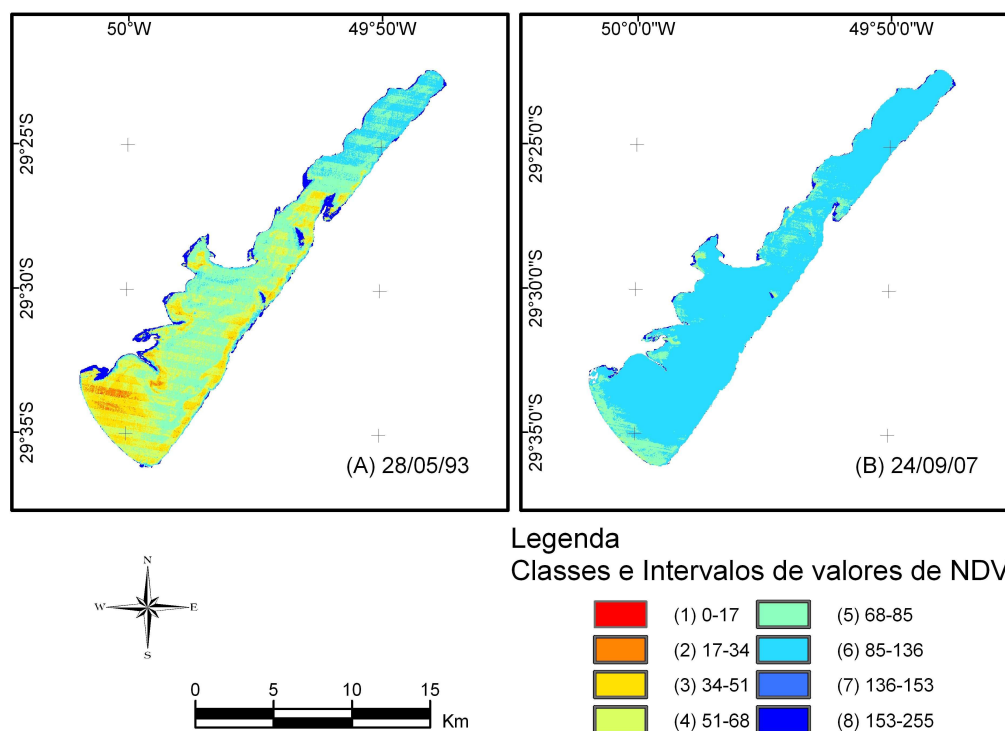


Figura 15 – Imagens de classes de NDVI de maior contribuição nas CP₂ e CP₃, lagoa Itapeva-RS.

As imagens referem-se ao outono (15-A) e à primavera (15-B), reforçando a idéia de que é nestas estações do ano que ocorrem as maiores variabilidades na dinâmica da lagoa Itapeva.

Na imagem 15-A ocorre uma distribuição espacial de classes de NDVI bastante heterogênea, que pode estar associada às mudanças de direção e intensidade do vento e a circulação da água.

Os ventos predominantes nesta estação são do quadrante SW-W, o que pode ocasionar o deslocamento dos organismos fitoplanctônicos para a porção norte da lagoa Itapeva.

Nesta imagem que correspondente ao dia 28/05/93, o nível de água da lagoa se encontra baixo. De acordo com a Tabela 4, correspondente aos dados de precipitação da Estação Meteorológica de Torres/RS, ocorreu pouca precipitação nos dias que antecederam a data da imagem de satélite, somando apenas 6,5 mm de chuvas no dia 27/05/93.

Os altos valores ou classes de NDVI observados na região próxima a foz do rio Três Forquilhas podem estar associados às bacillariophytas. Conforme Cardoso (2001) as classes dominantes na lagoa Itapeva são as bacillariophytas e

cianobactérias em nível de densidade e riqueza, e possuem resposta instantânea na distribuição espacial provocada pelos ventos.

Na imagem 15-B observa-se uma pequena variação espacial de NDVI e a lagoa apresenta-se quase homogênea. Os valores de NDVI na lagoa são elevados, com predominâncias das classes 5 e 6 em toda a extensão da lagoa.

Os altos valores de NDVI apresentados pelas duas imagens (15-A e 15-B) estão associados ao período de floração do fitoplâncton. Durante a primavera ocorrem altos valores de concentração de fitoplâncton em toda a extensão da lagoa, já durante o outono, ocorre a segunda floração, um pouco mais discreta que a primeira.

Em relação às espécies dominantes na lagoa, Cardoso (2001) afirma que as bacillariophytas ocorrem predominantemente em toda a lagoa Itapeva durante a primavera.

5.4 Análise da variação espaço-temporal a partir das imagens de TSA e das Componentes Principais para as estações do ano

A análise das Componentes Principais foi realizada através da TSA do conjunto de 42 imagens de NDVI, que mostram o padrão espaço-temporal de distribuição de NDVI para toda a série de imagens.

Buscando analisar se há ou não ocorrência de padrões sazonais, foi gerada uma TSA para cada uma das quatro estações do ano, gerando diagramas para as três primeiras CPs.

A Tabela 7 apresenta as contribuições (autovetores) relativas ao conjunto de imagens de TSA para cada estação do ano para a Componente Principal CP₂.

Nessa tabela estão destacadas em sombreamento cinza as datas das imagens de cada estação do ano que apresentaram a maior contribuição positiva na CP₂. Estas imagens são responsáveis pelo maior volume de informações para cada estação do ano.

As imagens de NDVI da lagoa Itapeva-RS que obtiveram a maior contribuição na Componente Principal CP₂ foram: verão, dia 21/01/99; outono, dia 28/05/93; inverno, dia 25/10/01 e primavera, dia 24/06/91.

Tabela 7. Contribuição da CP₂, gerada através da TSA, a partir das 42 imagens de NDVI para as estações do ano, lagoa Itapeva-RS.

Datas das imagens	CP₂	Data das imagens	CP₂
VERÃO		INVERNO	
04/2/2010	0.029913	28/8/2009	-0.025064
28/2/2007	0.003727	20/6/2007	-0.007958
21/1/2005	-0.155453	01/8/2005	0.140179
21/1/1999	0.121132	14/8/2004	0.014609
		12/8/2003	-0.062520
OUTONO		02/9/2002	-0.120647
17/4/2007	-0.038623	16/7/2002	-0.062793
16/5/2006	0.073925	13/7/2001	-0.041970
29/5/2005	-0.003694	18/7/2000	-0.088176
16/4/2005	-0.074152	30/8/1998	-0.099734
14/4/2003	-0.100990	29/7/1998	-0.053133
14/6/2002	-0.118285	23/7/1996	-0.042606
13/5/2002	-0.014883	20/9/1994	-0.000190
03/6/2001	-0.115110	18/7/1994	-0.015137
26/5/2001	-0.128780	13/8/1992	0.107446
29/4/2000	-0.112037	24/6/1991	0.269642
23/5/1997	-0.006673	18/8/1988	0.110114
28/5/1993	0.313521	09/7/1985	-0.011637
10/6/1992	0.141703		
20/5/1990	0.136210	PRIMAVERA	
10/6/1986	0.072116	24/9/2007	-0.368885
		20/9/2005	0.089220
		02/11/2004	0.075388
		01/10/2004	0.071655
		25/10/2001	0.109680

Todas as imagens da série temporal foram classificadas nas oito classes de valores de NDVI estabelecidas, conforme já apresentado na Tabela 6, inclusive as imagens de maior contribuição de cada estação do ano para a CP₂.

A Figura 16 mostra as imagens classificadas de NDVI da lagoa Itapeva, geradas a partir das imagens Landsat TM e ETM+, e correspondem às imagens de cada estação do ano que obtiveram a maior variação espacial de classes de NDVI para a CP₂, em relação a série de imagens da lagoa Itapeva.

As imagens da Figura 16 correspondem as imagens de cada estação do ano que obteve a maior variabilidade na dinâmica para a CP₂ na análise das séries temporais (TSA). As maiores variabilidades na dinâmica da lagoa ocorrem quando há perturbações no ambiente aquático, como grandes volumes de precipitação que interferem no desenvolvimento fitoplanctônico e na circulação das águas.

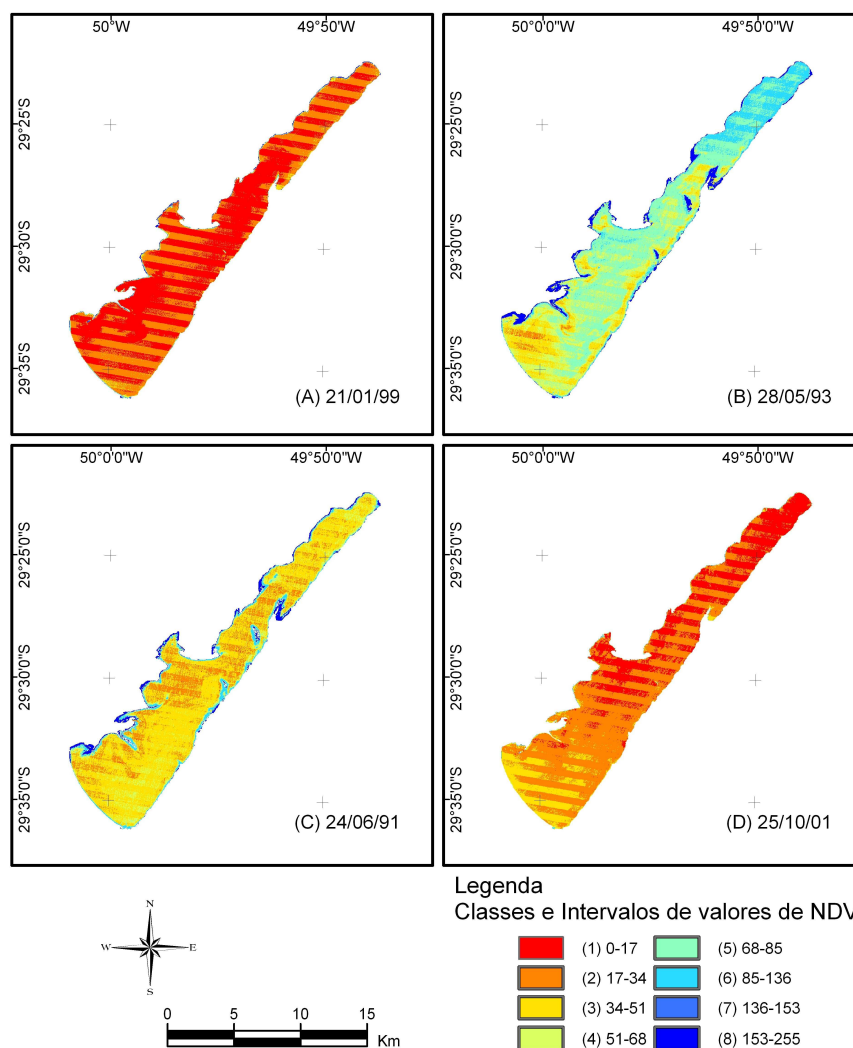


Figura 16 – Imagens de classes de NDVI que obtiveram maior contribuição na CP₂ correspondente ao verão (a), outono (b), inverno (c) e primavera (d), lagoa Itapeva-RS.

A imagem 16-A corresponde a data 21/01/99, da estação do ano de verão. A variação espacial das classes de NDVI é baixa nesta estação do ano, ocasionada pelos pequenos volumes de precipitação, ventos fracos e de mesma direção; e período de senescência do fitoplâncton. Nota-se que a maior área da lagoa encontra-se classificada nas classes 1 e 2.

As maiores concentrações de NDVI são encontrados nos setores sul e norte da lagoa, fato que pode ser explicado pela ação dos ventos do quadrante NE, que proporciona uma distribuição decrescente do NDVI no sentido norte-sul da lagoa. Nota-se uma variação de classes de NDVI nas áreas próximas da foz do rio Três Forquilhas e no canal de escoamento da água, que liga a foz do rio

Cardoso à porção sul da lagoa, ocasionada pelo aumento da turbidez e descarga de sedimentos.

Conforme já mencionado por Cardoso (2001), as regiões norte e sul da lagoa apresentam uma dinâmica bastante semelhante no que diz respeito aos valores de clorofila e aos Totais de Sólidos Suspensos, salvo em ocasiões de chuvas fortes, ou mudanças bruscas na direção e intensidade do vento, que interferem diretamente no comportamento da lagoa.

A imagem 16-B (dia 28/05/93) representa o comportamento característico da lagoa durante o outono. Nesta estação do ano ocorre a segunda floração de algumas espécies de fitoplâncton. Mudanças na intensidade e na direção dos ventos podem promover e propiciar a floração do fitoplâncton.

Nota-se que o nível de água da lagoa encontra-se baixo, deixando expostos os bancos de areia que ocorrem na região nordeste da lagoa. O surgimento destes bancos de areia está associado ao substrato arenoso, a ação dos ventos e ao processo de assoreamento da lagoa.

Em geral, durante o outono ocorre uma distribuição decrescente de valores de NDVI no sentido norte para sul da lagoa. Como a porção norte encontra-se mais isolada da ação dos ventos e sua profundidade é menor, ocorre o maior aquecimento das águas e menor circulação destas, proporcionando um ambiente mais propenso a floração do fitoplâncton.

A imagem 16-C (24/06/91) corresponde ao inverno. Observa-se na imagem 16-C um baixo nível de água da lagoa, apesar da ocorrência de chuvas registradas alguns dias antes da data de passagem do satélite. No dia 21/06/91, foi registrado um volume de 20,4 mm, o que pode estar associado a um período anterior de estiagem.

Neste período do ano, a floração do fitoplâncton encontra-se estagnada devido às baixas temperaturas. A variabilidade espacial de NDVI é pequena em toda a extensão da lagoa, apresentando valores relativamente baixos de NDVI, nas classes 2 e 3, predominantemente.

A imagem 16-D (25/10/01), correspondente a primavera, mostra uma variação espacial de classes de NDVI que pode ser considerada atípica para esta estação do ano, pois apresenta baixos valores de NDVI. O que pode justificar essa variação espacial de NDVI é a ocorrência de elevados volumes de chuva.

As chuvas podem ocasionar o rompimento da floração do fitoplâncton e o carregamento dos organismos fitoplanctônicos para o canal de escoamento da lagoa, além de aporte de sedimentos inorgânicos oriundos da vazão dos afluentes da lagoa, que podem mascarar o fitoplâncton. Esse comportamento dos corpos hídricos em relação a precipitação, foi observado também por Londe et al (2009), Novo et al (2009), Sartor (2007) e Becker (2002).

Nota-se um decréscimo dos valores de NDVI no sentido sul norte da lagoa, ocasionada pelo transporte dos organismos fitoplanctônicos pela circulação das águas para a porção sul da lagoa, representada na imagem pelos tons de amarelo.

A partir das imagens de maior contribuição de cada estação do ano para a CP₂, nota-se que a distribuição do NDVI na lagoa Itapeva segue um padrão que está intimamente relacionado ao período de floração e senescência do fitoplâncton, as estações do ano e ao período de chuvas.

A Tabela 8 apresenta as contribuições (autovetores) relativas as 42 datas de imagens divididas pelas estações do ano para a Componente Principal CP₃.

Tabela 8. Contribuição da Componente Principal PC₃, geradas através da TSA, a partir das 42 imagens de NDVI para cada estação do ano, lagoa Itapeva-RS.

Data das imagens	CP ₃	Data das imagens	CP ₃
VERÃO		INVERNO	
04/2/2010	-0.012935	28/8/2009	-0.009149
28/2/2007	-0.110801	20/6/2007	-0.038356
21/1/2005	0.051589	01/8/2005	0.002943
21/1/1999	0.072810	14/8/2004	-0.031341
		12/8/2003	0.007339
OUTONO		02/9/2002	0.206041
17/4/2007	-0.009023	16/7/2002	-0.021582
16/5/2006	-0.014745	13/7/2001	-0.012937
29/5/2005	-0.000031	18/7/2000	-0.031247
16/4/2005	-0.003541	30/8/1998	-0.021086
14/4/2003	0.006392	29/7/1998	0.031120
14/6/2002	-0.022351	23/7/1996	-0.036077
13/5/2002	-0.016765	20/9/1994	-0.033581
03/6/2001	0.004520	18/7/1994	-0.026444
26/5/2001	0.024411	13/8/1992	0.013282
29/4/2000	0.007680	24/6/1991	0.072489
23/5/1997	-0.121815	18/8/1988	-0.032311
28/5/1993	-0.108364	09/7/1985	-0.031457
10/6/1992	0.011365		
20/5/1990	0.260416	PRIMAVERA	

10/6/1986	-0.016151	24/9/2007	0.006653
		20/9/2005	-0.066204
		02/11/2004	-0.018118
		01/10/2004	-0.029305
		25/10/2001	0.107828

Na Tabela 8 estão destacadas em sombreamento cinza as datas das imagens de cada estação do ano que apresentaram a maior contribuição positiva na CP₃. As imagens de NDVI da lagoa Itapeva-RS que obtiveram uma maior contribuição na CP₃ foram: verão, dia 21/01/99; outono, dia 20/05/90; inverno, dia 02/09/02 e primavera, dia 25/10/01.

A Figura 17 mostra as imagens de NDVI classificadas da lagoa Itapeva, geradas a partir das imagens Landsat TM e ETM+.

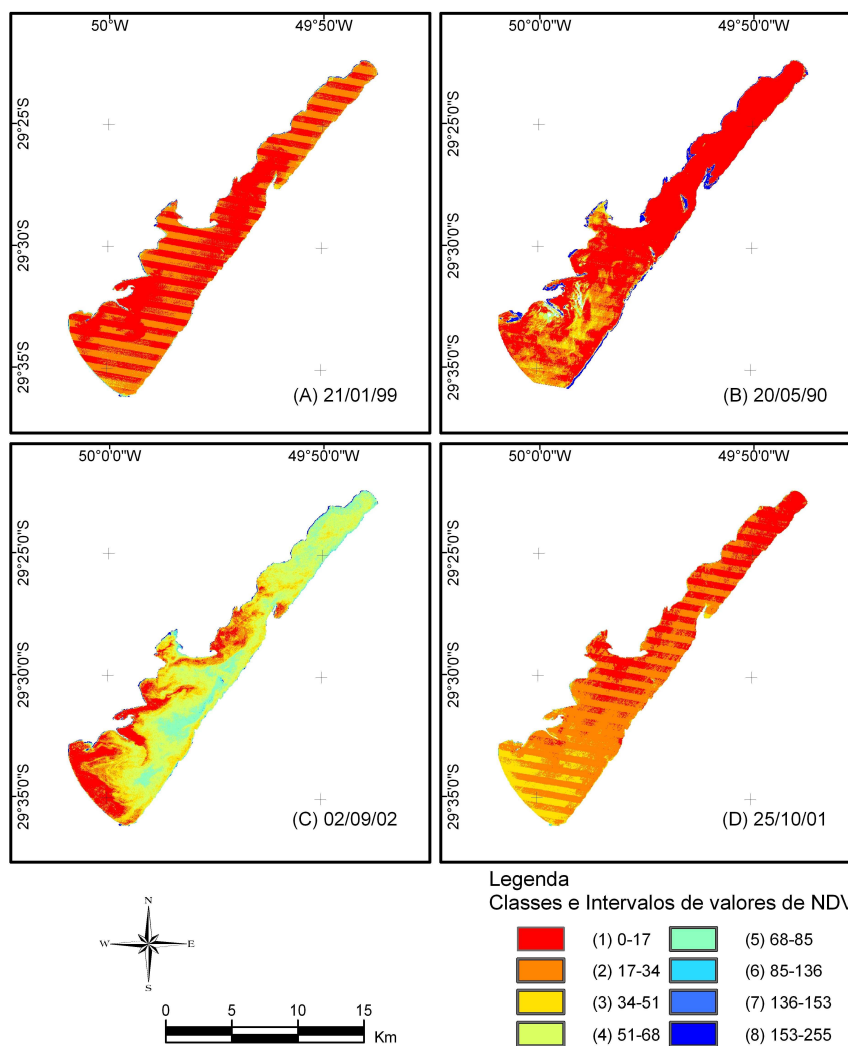


Figura 17 – Imagens de classes de NDVI que obtiveram maior contribuição na CP₃ correspondente ao verão (a), outono (b), inverno (c) e primavera (d), lagoa Itapeva-RS.

As imagens correspondem a cada estação do ano para a CP₃, que obtiveram a maior variabilidade na análise das séries temporais (TSA) e maior dinâmica de distribuição de NDVI na lagoa.

A imagem 17-A corresponde a data 21/01/99, de verão. Nesta estação do ano foi mais difícil adquirir as imagens de satélite, pois houve grande ocorrência de nebulosidade, o que atrapalha a obtenção de informações. É o que ocorre também durante a primavera, principalmente durante os meses de outubro, novembro e início de dezembro, sendo obtidas poucas imagens para estas estações do ano.

A imagem 17-A corresponde a mesma imagem apresentada na 16-A, que apresenta o padrão de distribuição do NDVI na lagoa.

Durante o outono, ocorre a segunda floração de algumas espécies de fitoplâncton. No entanto, na imagem 17-B (20/05/90), nota-se uma dinâmica diferente do padrão característico encontrado para esta época do ano. Neste período não há dados de precipitação. Entretanto, analisando o padrão de sucessão de distribuição do NDVI na lagoa, é provável que tenha ocorrido chuvas nos dias que antecederam a data da imagem de satélite 17-B.

Nesta imagem, a variação das classes de NDVI está associada a circulação das águas, e os organismos são arrastados para o setor sul da lagoa, onde são observadas as maiores classes de NDVI.

Nota-se ainda o baixo nível de água da lagoa, que deixa exposto os bancos de areia que ocorrem no nordeste da lagoa.

Conforme a análise do conjunto de imagens da TSA, as Componentes Principais apresentam progressivamente a dinâmica mais incomum da lagoa. Assim, a imagem 17-C (02/09/02) que corresponde ao inverno, apresenta uma variação espacial de classes de NDVI totalmente diferente do padrão comumente encontrado para a distribuição do NDVI na lagoa.

De forma geral, durante o inverno, a floração do fitoplâncton encontra-se estagnada. A variação espacial do fitoplâncton ocorre de maneira mais homogênea em toda a extensão da lagoa, apresentando baixos valores de NDVI. No entanto, a imagem de inverno em análise data do início do mês de setembro, período que já se inicia a floração do fitoplâncton.

Na imagem 17-C, notam-se valores elevados de NDVI. Os valores se distribuem de forma crescente no sentido sul norte. Esta distribuição é caracterizada pela ação dos ventos da direção SW, que arrastam os organismos fitoplanctônicos nesse sentido.

Observar-se um deslocamento das menores classes de NDVI, representadas pelos tons de vermelho, no sentido da margem oeste para o centro da lagoa, ocasionado pela direção dos ventos. A ação dos ventos também ocasiona uma concentração maior de organismos fitoplanctônicos na margem leste da lagoa, ocorrendo classes de NDVI alto (classe 5) nessa área.

Em relação a série de imagens analisadas e aos padrões observados, a imagem 17-C se destaca por uma dinâmica incomum apresentada pela lagoa Itapeva para esta estação do ano.

Assim como a imagem 17-A, a imagem 17-D (25/10/01) também se repete como sendo a imagem de maior contribuição tanto na CP₂ como na CP₃. Isso pode estar ocorrendo devido a pequena disponibilidade de imagens nesta estação do ano para a análise do conjunto de imagens na TSA.

A imagem 17-D, como já dito anteriormente, mostra uma dinâmica pouco comum para a primavera, apresentando baixos valores de NDVI. É provável que tenham ocorrido chuvas nos dias que antecederam a data da imagem de satélite, e que ocasionaram a mudança na circulação das águas da lagoa e o rompimento parcial da floração do fitoplâncton.

A Análise de Séries Temporais (TSA) com base em 42 imagens de NDVI se mostrou adequada para caracterizar os padrões de variação temporal e espacial de NDVI na lagoa Itapeva.

A análise das CPs permitiu identificar áreas e a variação espacial mais recorrente das classes de NDVI na lagoa.

A associação estabelecida entre a distribuição de fitoplâncton na lagoa Itapeva e os padrões de distribuição de NDVI permite afirmar que a sua variação está estreitamente associado às chuvas e a ação dos ventos.

5.5 Análise da variação espaço-temporal de imagens classificadas de NDVI por estação do ano

Nesta etapa do trabalho foram selecionadas algumas imagens, e a idéia é evidenciar os padrões de dinâmica mais característicos da lagoa para cada estação do ano.

A Figura 18 apresenta as imagens classificadas de NDVI da lagoa Itapeva, mostrando o padrão de distribuição de NDVI característico para o verão. A imagem (18-A) corresponde à data 04/02/10; imagem (18-B) a data 21/01/05; imagem (18-C) a data 21/01/99 e imagem (18-D) a data 28/02/04.

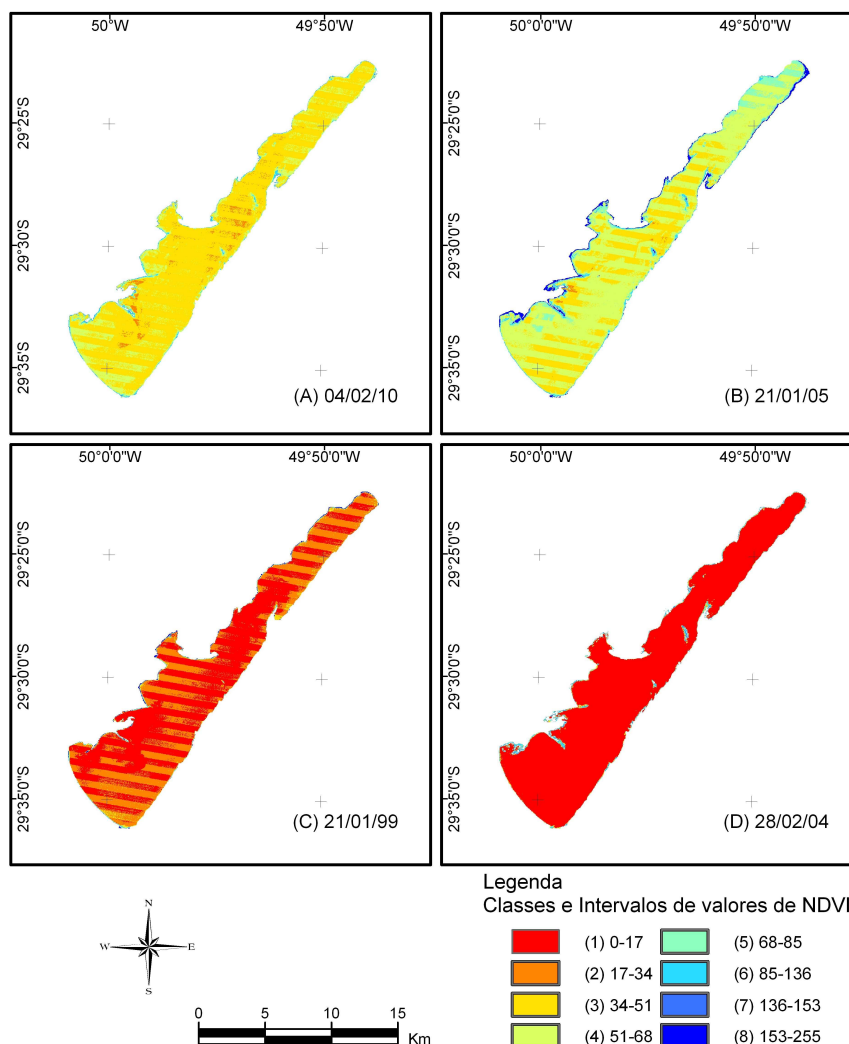


Figura 18 – Imagens de classes de NDVI de verão, lagoa Itapeva-RS.

As imagens de verão apresentam pouca variabilidade na distribuição do NDVI, e valores relativamente baixos, com predomínio das classes 1, 2 e 3.

A dinâmica da lagoa varia conforme os períodos de precipitação, floração do fitoplâncton e anualmente. As imagens 18-B e 18-C datam do mesmo dia e mês, mas de anos diferentes, apresentando uma dinâmica bastante distinta quando comparadas. Nota-se que há uma variação de classes de NDVI maior na imagem 18-B, e uma distribuição mais homogênea na imagem 18-C.

De forma geral, durante o verão o nível de água é baixo devido ao período de menor ocorrência de chuvas. O nível de água mais baixo proporciona uma incidência maior de luminosidade na coluna de água, e ocasiona o aumento da atividade metabólica do fitoplâncton.

Durante o verão, a distribuição do NDVI se encontra, de forma geral, mais homogênea. Nesta estação do ano o desenvolvimento metabólico do fitoplâncton é moderado, ocasionando baixos valores de NDVI em toda a extensão da lagoa.

A baixa variação na direção dos ventos, que ocorrem predominantemente do quadrante NE e em baixa intensidade, não ocasiona um transporte efetivo de organismos fitoplanctônicos entre as extremidades da lagoa, ocasionando uma distribuição uniforme de biomassa fitoplanctônica.

O desenvolvimento do fitoplâncton é afetado apenas pela incidência de chuvas, ocasionando o transporte dos organismos para o canal de escoamento, e quando as chuvas acarretam em grande vazão dos afluentes da lagoa, dinâmica que pode ser observada na imagem 18-D pela baixa variação espacial de classes de NDVI.

A circulação de água é um dos três fatores principais nas alterações do fitoplâncton, assim, a variação do nível de água afeta o fitoplâncton em longo prazo, enquanto que a ressuspensão afeta em curto prazo ou mesmo sazonalmente (Dokulil *et al.*, 1994).

Na imagem 18-B nota-se que o nível de água se encontra baixo, proporcionando um desenvolvimento maior do fitoplâncton e uma maior variabilidade espacial de classes de NDVI.

As imagens 18-A e 18-C talvez correspondam a dinâmica mais comum da lagoa Itapeva durante o verão. Os valores de NDVI são médios e as imagens possuem menor variabilidade de classes de NDVI.

Já a imagem 18-B representa um padrão de dinâmica com valores elevados de NDVI para esta estação do ano. E a imagem 18-D apresenta uma distribuição do NDVI homogêneo em toda a lagoa e baixos valores de NDVI.

A distribuição espacial da biomassa na lagoa Itapeva está associada tanto aos agentes hidrodinâmicos, como chuvas e ventos, como pela descarga de sedimentos e vazão dos seus afluentes.

A Figura 19 apresenta as imagens classificadas de NDVI da lagoa Itapeva, mostrando o padrão de distribuição de NDVI característico para o outono.

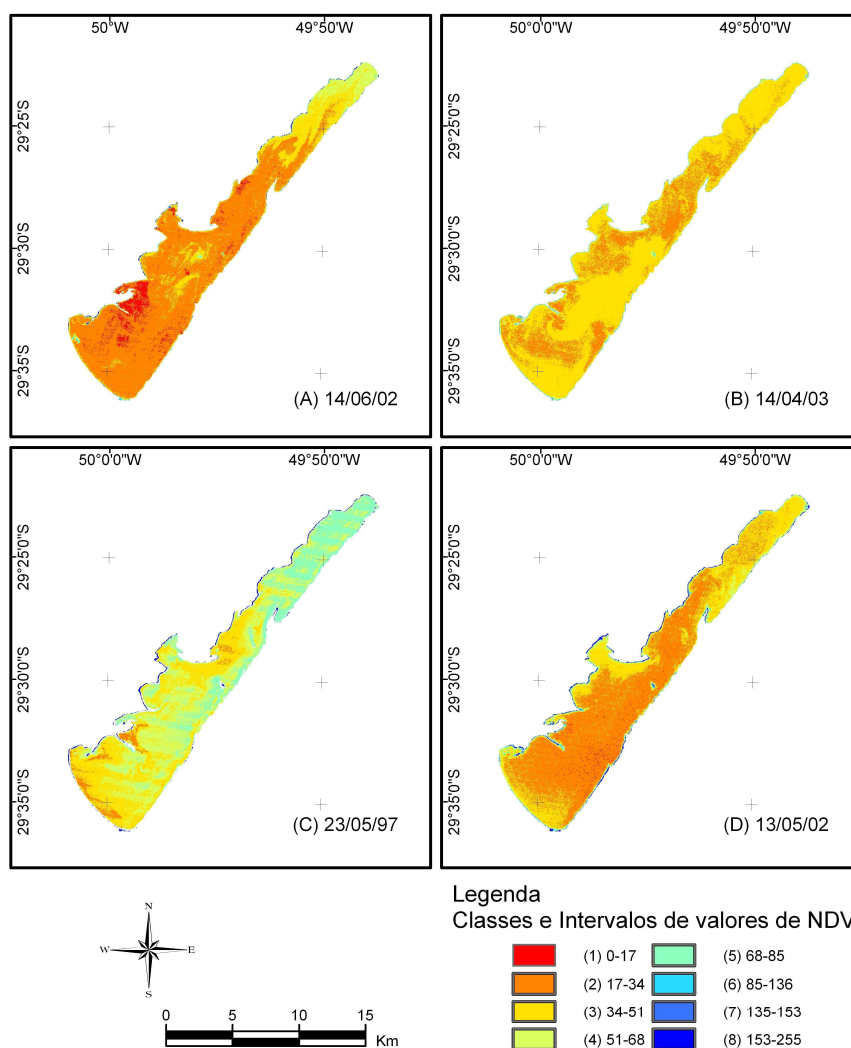


Figura 19 – Imagens de classes de NDVI de outono, lagoa Itapeva-RS.

As imagens da Figura 19 representam o padrão de dinâmica apresentado pela lagoa Itapeva durante o outono. A imagem 19-A corresponde à data

14/06/02; imagem 19-B a data 14/04/03; imagem 19-C a data 23/05/97 e imagem 19-D a data 13/05/02.

De acordo com a análise das imagens de classes de NDVI, as estações do ano que apresentam maiores valores de biomassa fitoplanctônica na lagoa Itapeva são outono e primavera.

O comportamento sazonal do fitoplâncton observado nesse estudo, também foi descrito para outros corpos de água (reservatórios e lagoas), por outros autores, como Becker (2002), Cardoso (2001), Guasselli (2005), Novo *et al.* (2009).

O outono e a primavera apresentam elevados valores de NDVI devido ao período de floração das algas, que está associada às mudanças na circulação das águas e na direção e intensidade dos ventos.

As velocidades médias registradas para os ventos na lagoa durante o outono são bastante elevadas, sendo que as máximas ocorreram nesta estação do ano (Cardoso, 2001).

De forma geral, durante o outono, a lagoa Itapeva apresenta uma grande variabilidade espacial de classes de NDVI, caracterizada por apresentar elevados valores de NDVI em toda a extensão da lagoa.

No entanto, observar-se uma maior variação do padrão espacial entre as diferentes áreas da lagoa e que estão relacionadas a sua dinâmica. Podemos dividir a lagoa em três grandes setores: setor norte da lagoa, setor centro e setor sul.

O setor norte tende a ser distinto dos demais, pois é uma região estreita, menos profunda e sem aportes de água oriundos de afluentes. Apesar de este setor apresentar uma menor dinâmica de circulação das águas, há uma renovação das águas de período em período, principalmente quando ocorrem ventos fortes de SW.

Essa distinção entre os setores da lagoa Itapeva observada através das imagens de satélite condiz com os resultados encontrados por Lopardo (2002). Este autor também aponta a divisão da lagoa Itapeva em três setores, apesar de que para essa definição baseou-se somente em três pontos de amostragem na lagoa.

Lopardo (2002) sugere que a setorização da lagoa fica evidenciada apenas em relação a hidrodinâmica na região norte, enquanto que as regiões sul

e centro ficam dependentes do regime de ventos característicos de cada estação do ano.

Quando ocorre a inversão da direção dos ventos para o quadrante NE, as regiões centro e sul se tornam mais semelhantes, e podem ser estudadas como uma única região. Quando muda a direção dos ventos predominantes para o quadrante SW, a região centro se assemelha à região norte.

A imagem 19-A apresenta uma variação espacial de classes de NDVI bastante heterogênea, destacando a região norte como a mais distinta. O setor norte possui elevados valores de NDVI, já os setores sul e centro se assemelham bastante em relação a distribuição do NDVI.

Na imagem 19-A destacam-se os baixos valores de NDVI na foz do rio Três Forquilhas, representados pela classe 1 (tom de vermelho na imagem). Os baixos valores de NDVI nesta área se devem ao aporte de Totais de Sedimentos Suspensos transportados pelo rio, mascarando a reflectância do fitoplâncton.

Para Lopardo (2002), a partir do estudo hidrodinâmico e ambiental da lagoa Itapeva, foi possível avaliar que a variação do nível de água em função dos aportes de seus contribuintes é lenta, quando comparadas às modificações dos níveis e das seiches criadas pelo efeito do vento sobre a lagoa. Estas variações de níveis e de velocidades têm importância significativa sobre as variáveis ambientais: sólidos suspensos e turbidez.

Desta forma, o aporte de sedimentos oriundos dos afluentes da lagoa é relativamente pequeno, sendo que observamos (imagem 19-A) que a classe 1 de NDVI ocorre apenas em pequena área ao redor da foz do rio.

Em todas as imagens analisadas, observa-se que a região central da lagoa funciona como um ponto de mistura e equilíbrio entre os extremos da lagoa, tanto em relação ao aporte de sedimentos, quanto circulação das águas e distribuição espacial de fitoplâncton na lagoa, o que já havia sido observado também por Cardoso (2001), Becker (2002) e Lopardo (2002) em relação a lagoa Itapeva.

A imagem 19-C representa o padrão de distribuição do NDVI mais comumente encontrado na lagoa, com valores mais elevados de NDVI e uma distribuição crescente no sentido sul-norte. Nota-se também a entrada de sedimentos inorgânicos na foz do rio Três Forquilhas, assim como na imagem 19-

A. Nesta imagem há predominância de ventos de direção SW, e um transporte de organismos fitoplancônicos para a margem leste e para a porção norte da lagoa.

As imagens 19-B e 19-D seguem um padrão de dinâmica bastante semelhante em relação a distribuição e variação de classes de NDVI.

A Figura 20 representa as imagens classificadas de NDVI da lagoa Itapeva, mostrando a variação espacial das classes de NDVI característico para o inverno.

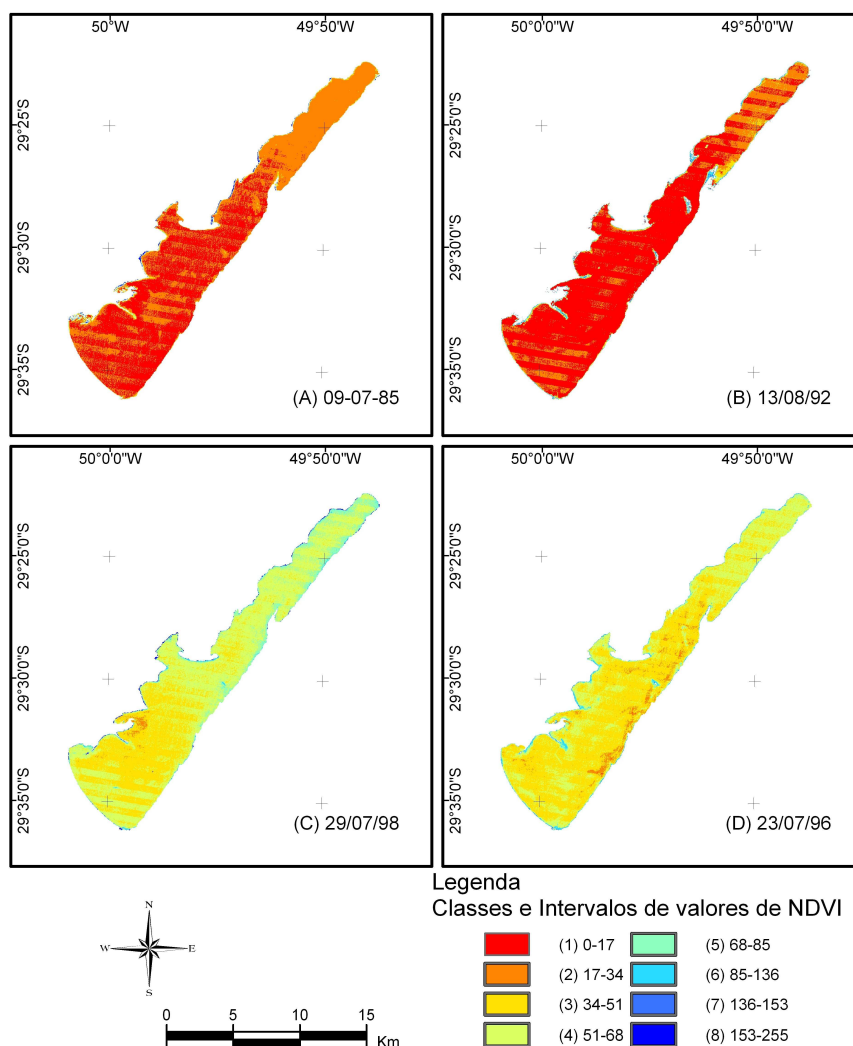


Figura 20 – Imagens de classes de NDVI de inverno, lagoa Itapeva-RS.

A imagem (20-A) corresponde à data 09/07/85; imagem (20-B) a data 13/08/92; imagem (20-C) a data 29/07/98 e imagem (20-D) a data 23/07/96.

As imagens da Figura 20 representam o padrão de dinâmica apresentado pela lagoa Itapeva durante o inverno.

No inverno, os gradientes espaciais gerados pelos efeitos hidrodinâmicos são bastante determinantes nas respostas fisiológicas do fitoplâncton. Assim, a direção do vento determina a porção sul da lagoa como o mais perturbado, enquanto a área central e a porção norte são mais constantes. Nesta estação do ano ocorre uma estagnação na floração das algas devido às baixas temperaturas (Esteves, 1998).

As imagens (20-A) e (20-B) caracterizam de melhor maneira a distribuição do NDVI na lagoa Itapeva para esta estação. A distribuição das classes de NDVI ocorre geralmente de forma mais homogênea, apresentando baixos valores.

As imagens (20-C) e (20-D) apresentam elevados valores de NDVI para o inverno. A partir da análise do conjunto de imagens de satélite da série temporal de 1985 a 2010, das datas das imagens de maior contribuição nas CPs e dos maiores valores de classes de NDVI, nota-se que durante o intervalo de anos de 1996 a 1998 ocorreram valores mais elevados de NDVI na lagoa Itapeva em todas as estações do ano, assim como no intervalo de anos de 2005 a 2007, período correspondente às imagens 20-C e 20-D.

As imagens 20-A e 20-B apresentam baixa variabilidade de classes de NDVI. Os baixos valores de NDVI encontrados durante o inverno estão relacionados com a capacidade do feixe de luz atravessar a coluna d'água, ou ao mascaramento da clorofila_a pelo TSS, que pode estar associando aos índices pluviométricos. Os maiores índices de chuvas ocasionam maior aporte de Totais de Sólidos em Suspensão dos afluentes da lagoa Itapeva.

Valério (2009) ao estudar o reservatório de Manso no Mato Grosso, conclui que a maior vazão de entrada de um rio somada ainda à quantidade de chuva ocorrida em um corpo hídrico, ocasiona um aumento na turbidez da água devido ao carregamento de material em suspensão do entorno para dentro do corpo de água. Além disso, a maior turbulência das águas ocasiona a ressuspensão de material depositado no fundo do corpo hídrico.

Quando ocorrem períodos de chuvas, a lagoa Itapeva apresenta um padrão de comportamento ligado a ação dos ventos, à descarga de sedimentos dos afluentes na lagoa, e à mudança na circulação das águas. Nota-se uma distribuição mais homogênea das classes de NDVI na lagoa.

A Figura 21 representa as imagens classificadas de NDVI da lagoa Itapeva, mostrando o padrão de distribuição espacial de NDVI característico para a primavera.

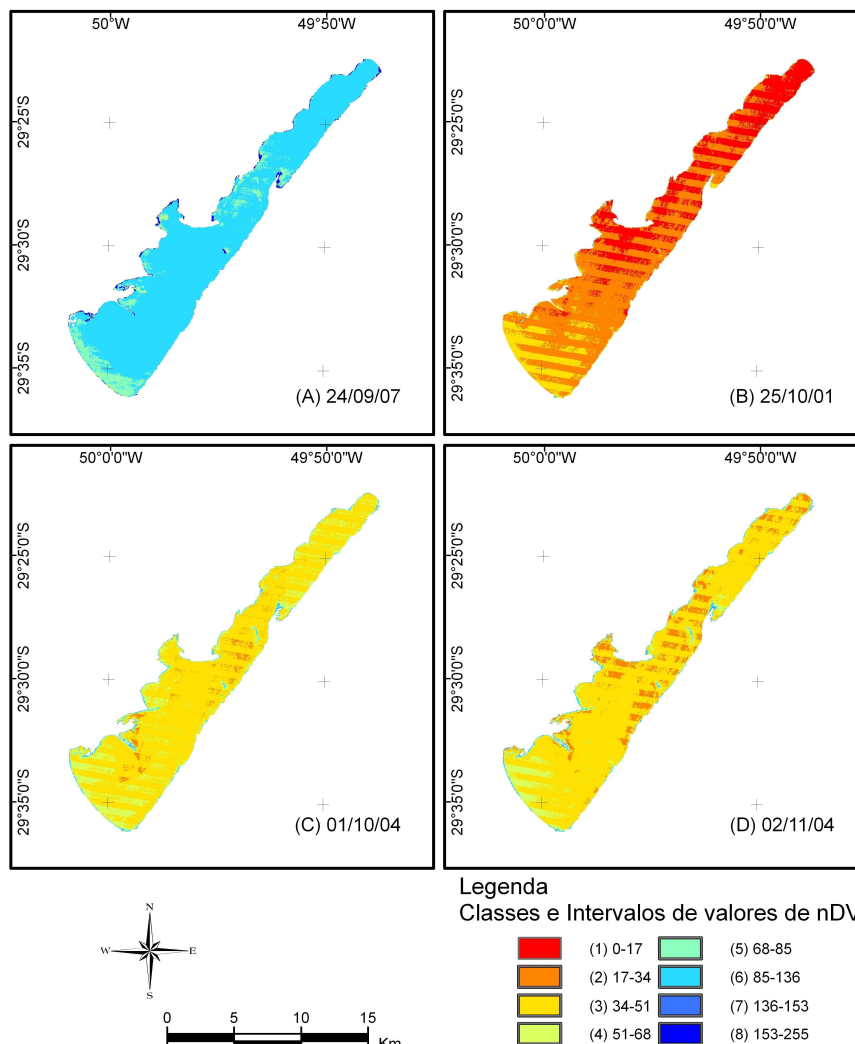


Figura 21 – Imagens de classes de NDVI de primavera, lagoa Itapeva-RS.

A imagem (21-A) corresponde à data 24/09/07; imagem (21-B) a data 25/10/01; imagem (21-C) a data 01/10/04 e imagem (21-D) a data 02/11/04.

A imagem (21-A) destaca-se pelos altos valores de NDVI. De acordo com a data da imagem de satélite, observa-se que as maiores concentrações do NDVI ocorreram durante o período dos anos de 2005 a 2007, exatamente durante o período que não há informações e dados sobre a pluviometria na região.

Nesta imagem fica nítida a semelhança entre os setores centro e sul, em relação a variação espacial de NDVI, e a distinção do setor norte dos demais setores.

Pode-se afirmar, com base na análise das amostras de água coletadas, que há baixos valores de concentração de fitoplâncton na lagoa Itapeva, no entanto, o seu desenvolvimento está relacionado também aos baixos valores de TSS encontrados na lagoa Itapeva. Nenhuma das duas variáveis obteve valores altos na data da coleta das amostras de água, conforme descrito no item 5.7 a seguir.

Na imagem (21-B) há a ocorrência de chuvas no dias que antecederam a data da imagem de satélite, comprovada pelos valores mais baixos de NDVI, decrescentes no sentido sul-norte. Ainda nesta imagem, é possível notar que a circulação das águas ocasiona um arraste dos organismos fitoplanctônicos para o canal de deságüe da lagoa, na porção sul.

As imagens (21-C) e (21-D) caracterizam o padrão de distribuição do NDVI mais comum encontrado na lagoa durante o período de primavera.

De forma geral, as flutuações observadas na dinâmica fitoplanctônica ocorrem devido a fatores ambientais, tais como a ação dos ventos e das chuvas que interferem nos processos biológicos.

Sob condições normais de turbulência na lagoa, os organismos fitoplanctônicos permanecem distribuídos homoganeamente na coluna de água.

A distribuição do fitoplâncton está intimamente relacionada à direção e a intensidade do vento, pois os organismos não oferecem resistência ao fluxo de água. Qualquer mudança repentina das condições ambientais a dinâmica da lagoa Itapeva é totalmente modificada.

Lopardo (2002) estabeleceu correlações significativas entre o nível de água e velocidade do vento com as variáveis de sólidos suspensos e turbidez, indicando que existe uma estreita relação da ação do vento não só com a distribuição do fitoplâncton, mas com toda a dinâmica da lagoa.

Conforme a direção do vento pode ocorrer um deslocamento de água na direção norte-sul ou sul-norte da lagoa, ocasionando diferenças no nível de água da lagoa em suas extremidades. A porção central da lagoa é pivô dessas oscilações (Cardoso, 2001).

Essas análises são corroboradas pela análise do conjunto total de imagens e pela análise das imagens por estação do ano, que evidenciam um padrão e mostram que a lagoa Itapeva sofre grande influência dos agentes hidrodinâmicos, que ocasionam uma dinâmica típica para a lagoa Itapeva sazonalmente.

Assim, a dinâmica da lagoa Itapeva está diretamente relacionada aos agentes hidrodinâmicos, tais como mudanças de direção dos ventos, períodos de chuvas ou secas conforme a estação do ano. No entanto, chuvas e ventos fortes podem ocorrer em qualquer estação do ano, alterando todo o padrão de dinâmica de distribuição dos organismos fitoplanctônicos já estabelecidos.

Estes eventos de chuvas e de mudança na direção dos ventos podem acelerar ou mesmo romper o período de floração do fitoplâncton e estabelecer uma nova dinâmica para a lagoa.

A distribuição espacial do NDVI na lagoa ocorre da seguinte forma: no verão a distribuição espacial de classes de NDVI ocorre de forma mais homogênea em toda a lagoa, apresentando baixos valores de NDVI. Observa-se que há um pequeno aumento nos valores de NDVI no sentido norte-sul, devido a direção dos ventos desta estação.

No outono a lagoa sofre grande influência dos ventos, em direção e intensidade, ocasionando turbulência das águas e distribuição de valores de NDVI decrescentes no sentido norte para sul.

Durante o inverno ocorrem baixos valores de NDVI. Nesse período, valores mais altos do NDVI ocorrem somente na porção norte devido a menor profundidade da coluna de água.

Na primavera ocorre uma menor variabilidade espacial de classes de NDVI em toda a extensão da lagoa devido ao período de floração, elevando os valores de NDVI. Devido às mudanças de direção e intensidade dos ventos nesta estação do ano, ocorre um pequeno acréscimo nos valores de NDVI da porção norte-sul da lagoa.

Durante maior parte do ano, exceto verão, a distribuição espacial dos valores de NDVI ocorre de forma decrescente no sentido norte-sul.

Outro padrão de dinâmica que se estabelece na lagoa é durante os períodos de chuva. Nestes períodos, a circulação das águas sofre mudanças, tornando a distribuição espacial do NDVI mais homogêneo na lagoa. Esta

tendência pode ser observada em todas as estações do ano, algumas com maior intensidade, outras com menor intensidade, dependendo da intensidade e do volume das chuvas, conforme citado por Corazza (2010).

A tendência de arraste do fitoplâncton ocasionado pelas chuvas para os canais de escoamento observado na dinâmica da lagoa Itapeva foi observado também em outros lagos e reservatórios por Valério, (2009); Lopardo, (2002); Cardoso-Silva, (2008); Arraut *et al.* (2005). No caso da lagoa Itapeva este arraste ocorre para o sentido sul da lagoa, onde se encontra o canal Cornélios, ocasionando uma distribuição do NDVI decrescente no sentido sul-norte.

A análise da TSA gerada a partir de uma série de imagens de NDVI e dados coletados *in situ*, permitiram entender parcialmente a dinâmica da lagoa Itapeva.

Podemos afirmar que a dinâmica está estritamente relacionada à sazonalidade, em especial ao período de senescência e floração do fitoplâncton, ao regime de chuvas e ação dos ventos.

5.6 Análise dos dados coletados em campo e correlação com as imagens de NDVI

Com a finalidade de validar a análise da variação de distribuição dos valores de NDVI na lagoa Itapeva a partir da ferramenta de Análise de Séries Temporais de imagens, foi realizada uma expedição de campo para coleta de dados *in situ*. Os resultados obtidos através da expedição de campo foram posteriormente correlacionados aos valores dos pixels da imagem de NDVI para o dia da expedição de campo.

A Figura 22 apresenta os pontos de coleta das amostras de água sob a imagem de NDVI do dia 18 de outubro de 2010, data da realização da coleta das amostras de água na lagoa Itapeva.

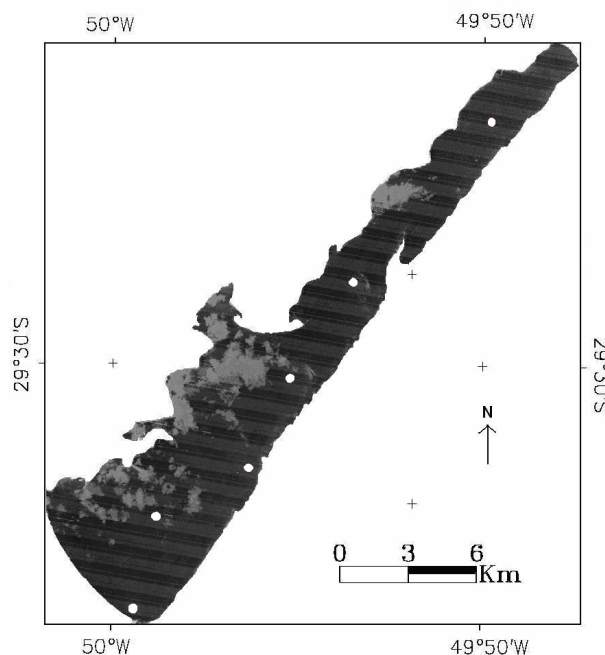


Figura 22 – Imagem de NDVI em nível de cinza (18/10/10) e pontos de coleta das amostras em branco, lagoa Itapeva-RS.

De acordo com a Figura 22, pode-se observar que na porção oeste da lagoa Itapeva ocorre nuvens, mas que estas não interferiram nos valores dos pixels dos pontos de coleta. Na imagem também são observadas faixas escuras e mais claras, intercaladas. Essas faixas são comuns nas imagens do satélite Landsat devido ao processo de imageamento do sensor e ainda não há técnicas disponíveis e adequadas para removê-las sem interferir nos valores de reflectância dos alvos.

Para a coleta de amostras de água, foram escolhidos pontos na porção norte, local onde há maior concentração de fitoplâncton, nos canais de escoamento, perto das margens da lagoa e áreas de grande turbulência, com a finalidade de se analisar a influência de diferentes dinâmicas na distribuição do NDVI na lagoa.

A transparência da água depende diretamente da radiação que penetra na água. A taxa de diminuição da luz com a profundidade depende do tipo e da quantidade de substâncias dissolvidas e dos materiais em suspensão.

Os dados de transparência da água foram coletados *in situ*, nos pontos de coleta na data da realização da expedição de campo, e são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Transparência dos pontos de coleta no dia 18/10/2010, lagoa Itapeva – RS

Pontos de coleta das amostras	Transparência (cm)
Ponto 1	42
Ponto 2	26
Ponto 4	32
Ponto 5	29
Ponto 6	49
Ponto 7	35

Os valores mais altos de transparência encontrados na lagoa Itapeva foi na porção norte da lagoa, nos pontos 6 e 7, e no ponto 1, localizado no sul da lagoa. Os resultados encontrados durante a campanha foram compatíveis com os valores encontrados durante as campanhas realizadas por Cardoso (2001), apresentando os maiores valores na porção norte nesta estação do ano.

As variáveis como a transparência da água, apresentam uma variação espaço-temporal. De acordo com Sartor *et al.* (2007), a transparência da água apresenta um aumento considerável durante o período de maior desenvolvimento das culturas de campo, estando relacionada à menor perda de solos e ao menor índice de chuvas. Como consequência, ocorre a redução dos Totais de Sólidos em Suspensão e o aumento da produtividade primária no reservatório.

De acordo com Cardoso (2001) os dados de transparência da água são maiores durante o período de primavera, estação onde há o maior desenvolvimento do fitoplâncton e menores índices de chuvas.

As direções de vento predominante possuem influência direta sobre a distribuição espacial do fitoplâncton na lagoa. No dia 18/10/10 predominaram ventos do quadrante SW (sudoeste) - W (oeste), diminuindo sua intensidade no horário das 12:00 horas.

Em águas naturais, os componentes opticamente ativos presentes na água, passam a ser determinantes na reflectância de corpos d'água. Sedimentos em suspensão, pigmentos fotossintetizantes e matéria orgânica dissolvida são os principais componentes responsáveis pelo comportamento espectral da água e afetam diretamente na transparência da água.

Os valores de transparência obtidos nesta data na lagoa Itapeva foram valores baixos, menores de um metro de profundidade, mesmo assim, a lagoa é um ambiente aquático que não possui altas concentrações de clorofila_a e de Totais de Sólidos em Suspensão na água, conforme pode ser visto na Tabela 10.

A Tabela 10 apresenta os dados de concentração de clorofila_a e de Totais de Sólidos em Suspensão obtidos através da análise das amostras de água coletadas no dia 18/10/10, na lagoa Itapeva, os dados de transparência do disco de Secchi e os valores dos pixels de NDVI.

Os relatórios das análises das amostras de TSS e de clorofila_a estão em anexo (Anexo 1).

Conforme a Tabela 10, a análise de clorofila_a do ponto dois (2) apresentou valor de clorofila_a não detectado (ND) para a amostra. Sendo assim, esta amostra foi excluída da análise e das correlações de clorofila_a com os outros parâmetros analisados, pois é provável que tenha ocorrido algum erro na amostragem da coleta ou mesmo durante o transporte da amostra, sendo que o valor encontrado ficou abaixo da sensibilidade da técnica aplicada, não sendo confiável para análise.

Tabela 10. Resultados das amostras coletadas em 18/10/2010, lagoa Itapeva – RS.

Pontos de coleta	Sólidos Totais (mg/L)	Clorofila_a (ug/L)	Disco de Secchi (cm)	Valor médio dos pixels
1	46	3,37	42	-0,397787
2	106	ND	26	-0,489904
4	111	15,63	32	-0,402215
5	87	14,4	29	-0,456952
6	47	4,84	49	-0,407884
7	67	3,45	35	-0,448613

Segundo Arraut *et al* (2005) corpos d'água com dominância espectral de Totais de Sólidos Suspensos dificultam a análise da clorofila_a a partir de dados de imagens de satélite.

A Figura 23 mostra alguns gráficos gerados para a visualização dos resultados para as variáveis Totais de Sedimentos em Suspensão, clorofila_a,

transparência e valores dos pixels das imagens de NDVI, para cada ponto amostrado na lagoa Itapeva no dia 18/10/10.

A transparência da água está inversamente correlacionada a quantidade de Totais de Sólidos em Suspensão. Observa-se nos gráficos referentes a estes parâmetros (Figura 23) que quando ocorre aumento dos Totais de Sólidos em Suspensão, a transparência diminui, e vice-versa. Os pontos 1 e 6 de coleta apresentam os valores mais elevados de transparência, consequentemente menores valores de Totais de Sólidos em Suspensão.

Os maiores valores de transparência encontrados na lagoa Itapeva foram 42 e 49 centímetros de profundidade. Esses valores são compatíveis com os encontrados por Pereira *et al.* (2007) em lagoas costeiras do Rio Grande do Sul, como as lagoas Caieira e Palmital. Já para as lagoas Caconde e Pinguela essa autora mediu 115 centímetros de profundidade. Essas variações na transparência dos corpos de água estão associadas à incidência e inclinação da luz solar, a profundidade das lagoas e ao tipo de material em suspensão.

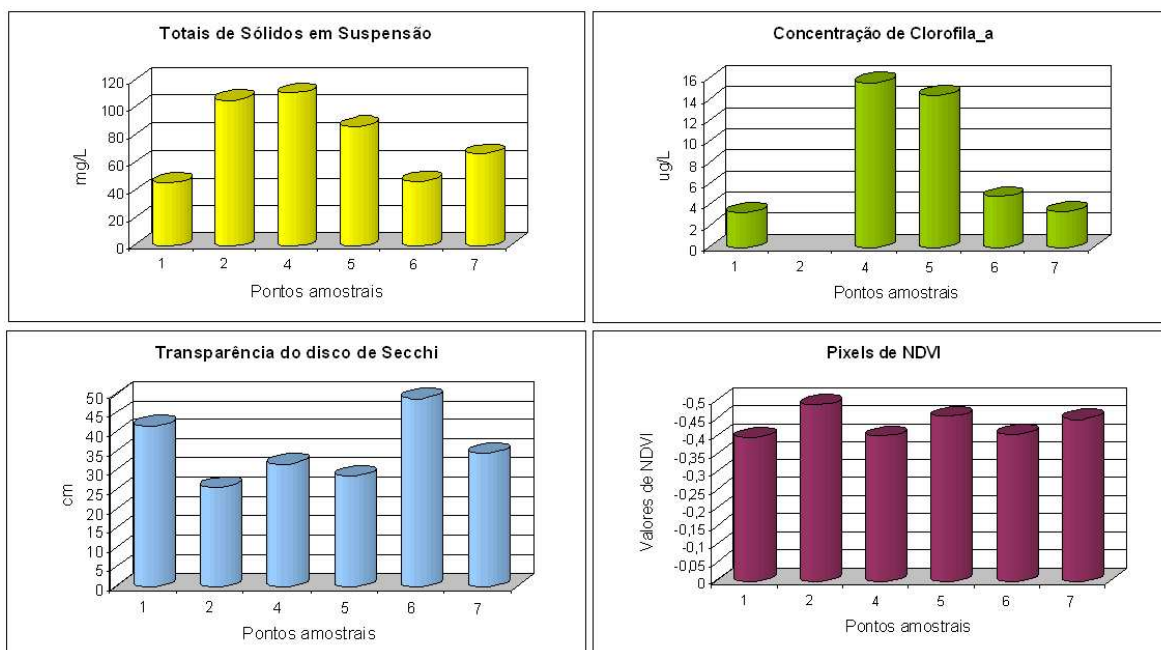


Figura 23 – Valores dos parâmetros nos pontos de coleta das amostras no dia 18/10/10, lagoa Itapeva-RS.

Analisando os dados de transparência da água da lagoa Itapeva e durante a expedição de campo, pode-se considerar que a lagoa é turva, apresentando baixos valores de transparência, 49 centímetros apenas.

O comportamento e relação entre as variáveis Totais de Sólidos em Suspensão e a transparência foram observados também por Sartor *et al.* (2007) no Reservatório Rodolfo Costa e Silva-RS, e por Corazza (2010) no Reservatório da Usina Hidrelétrica de Dona Francisca-RS.

A análise dos resultados da Tabela 10 e da Figura 23, referentes a concentração de clorofila_a, apresentou baixos valores de concentração na lagoa Itapeva nesta data, com valores abaixo de 16 ug/L.

Segundo Arraut *et al.* (2005) corpos d'água com dominância espectral dos Totais de Sólidos Suspensos dificultam a análise da clorofila_a a partir de dados de imagens de satélite.

Comparando os resultados de concentração de clorofila_a da lagoa Itapeva à outras lagoas e reservatórios estudados no Brasil, nota-se que os valores médios apresentados se aproximam. Estudos realizados por Corazza (2010) no reservatório da Usina Hidrelétrica de Dona Francisca apresentaram valores semelhantes, inferiores a 12 ug/L.

Estudos realizados por Novo *et al.* (2009) no Reservatório da Usina Hidrelétrica Funil obtiveram concentrações de clorofila_a superiores a 20 ug/L em alguns pontos do reservatório, e concentrações médias diárias de clorofila acima de 50 ug/L no período de floração do fitoplâncton.

Já Valério (2009) observou um deslocamento nas concentrações de clorofila_a no reservatório de Manso-MT. As maiores concentrações foram encontradas nos braços dos rios afluentes do reservatório, com valores de concentração de clorofila_a variando entre 250 e 300 ug/L, e médias de 100 ug/L para a área do reservatório. Valores bastante elevados quando comparados aos da lagoa Itapeva-RS.

Londe *et al.* (2007) encontraram valores elevados para a concentração de clorofila_a no reservatório de Ibitinga-SP, apresentando concentrações médias entre 56 ug/L e 34.000 ug/L nos pontos de coleta de dados, valores bastante elevados quando comparados aos obtidos na lagoa Itapeva.

Outros estudos realizados por Londe (2008) demonstraram também um excelente desempenho da utilização do NDVI na previsão da concentração de clorofila a partir de dados radiométricos obtidos em campo para corpos hídricos com concentrações de clorofila variando entre 20 ug/L e 140 ug/L.

Os valores de concentração de clorofila_a encontrados para a água na lagoa Itapeva foram baixos, e os valores de NDVI correspondentes, obtidos através da imagem do dia 18/10/10 foram negativos (inferiores a zero). Esses valores negativos de NDVI podem ser explicados por dois fatores: a presença de Totais de Sólidos Suspensos na água, que aumenta o espalhamento na região do vermelho; e principalmente pela baixa concentração de clorofila_a. Geralmente a baixa concentração de clorofila_a está associada a limitação de incidência da luz e a turbulência das águas.

Por se tratar de uma lagoa costeira, a lagoa Itapeva apresenta uma dinâmica intimamente associada a ação dos ventos e as baixas profundidades. Ocorrem baixas concentrações de fitoplâncton durante a maior parte do ano, ocorrendo valores mais elevados apenas nos períodos de floração, como na primavera, e às vezes durante o outono, quando ocorre a segunda floração de algumas espécies de fitoplâncton.

No entanto, mesmo que a lagoa Itapeva tenha apresentado baixos valores de concentração de clorofila_a, a variação espacial e temporal de classes de NDVI apresentou bom desempenho na visualização da dinâmica da lagoa e para o estabelecimento de padrões de distribuição de clorofila_a.

Observa-se na Figura 23, no gráfico referente aos dados de concentração de clorofila_a, que os valores obtidos foram baixos em alguns pontos. No ponto 2, por exemplo, na análise de laboratório não foram detectados níveis de clorofila_a.

Valores maiores de concentração de clorofila_a são mais fáceis de serem estimados a partir de imagens de NDVI. Entretanto, Pereira (1993) enumera uma série de dificuldades inerentes a esse processo relativos às concentrações de matéria inorgânica que interferem e diminuem a contribuição da resposta da biomassa fitoplanctônica, pois os pigmentos fitoplanctônicos têm uma resposta espectral muito tênue quando comparada às respostas dos outros elementos.

Por outro lado Wachholz *et al.* (2007) avalia que a principal dificuldade em estudar a variabilidade espacial e espectral da água através de imagens de satélite está relacionada à baixa reflectância da água. Como a água possui baixa reflectância, seus dados geralmente são mascarados pelos sedimentos orgânicos e inorgânicos.

Ambientes aquáticos apresentam muitos fatores internos e externos que influenciam nas características e nos parâmetros limnológicos do corpo hídrico,

mas é importante ressaltar que há interferências mútuas entre algumas variáveis. Assim, na tabela 11 são apresentadas as correlações de Pearson (r) entre as variáveis em estudo na lagoa Itapeva.

Tabela 11. Matriz de correlações estabelecidas entre as variáveis analisadas, lagoa Itapeva-RS.

Correlação dos parâmetros (r)	TSS	Disco de Secchi	Valores dos pixels de NDVI	Clorofila_a
TSS	$r = 1$			
Disco de Secchi	$r = -0,8665$	$r = 1$		
Valores dos pixels de NDVI	$r = -0,4793$	$r = 0,7308$	$r = 1$	
Clorofila_a	$r = 0,9059$	$r = -0,7156$	$r = -0,1567$	$r = 1$

Na tabela 12 são apresentados os níveis de confiança entre as correlações estabelecidas entre as variáveis analisadas na lagoa Itapeva.

Tabela 12. Matriz dos níveis de confiança das correlações estabelecidas entre as variáveis, lagoa Itapeva-RS.

Nível de confiança (r^2)	TSS	Disco de Secchi	Valores dos pixels de NDVI	Clorofila_a
TSS	$r^2 = 1$			
Disco de Secchi	$r^2 = 0,75$	$r^2 = 1$		
Valores dos pixels de NDVI	$r^2 = 0,23$	$r^2 = 0,53$	$r^2 = 1$	
Clorofila_a	$r^2 = 0,82$	$r^2 = 0,51$	$r^2 = 0,02$	$r^2 = 1$

As correlações mais significativas para os parâmetros analisados nesta data foram estabelecidas entre os Totais de Sólidos Suspensos e a clorofila_a, e os Totais de Sólidos Suspensos e a transparência do disco de Secchi.

A correlação estabelecida entre as variáveis clorofila_a e TSS foi altamente significativa ($r = 0,9$) correspondendo a um nível de confiança de 82,1% da variância ($r^2 = 0,82$) da clorofila_a explicada. Embora estas variáveis tenham apresentado correlações significativas, o aumento da quantidade de Sólidos Totais em Suspensão na água pode ter sido ocasionado pela ação de ressuspensão dos sedimentos do fundo da lagoa e aumento da disponibilidade de nutrientes para os organismos fitoplanctônicos.

A transparência do disco de Secchi e os Totais de Sólidos em Suspensão apresentaram correlação negativa ($r = -0,82$), correspondendo a 75% ($r^2 = 0,75$) a variância explicada, conforme a tabela 12.

A correlação obtida através dos dados de concentração de clorofila_a da lagoa Itapeva e dos valores médios de NDVI, de uma janela de 3x3 pixels da imagem de satélite, obteve correlação de $r = -0,1$. A correlação estabelecida entre essas variáveis não foi significativa estabelecendo um nível de confiança menor que 0,2%.

A baixa correlação entre clorofila_a e NDVI mostra que outros parâmetros devem ser levados em consideração para um melhor entendimento da dinâmica da lagoa Itapeva. É claro que um fator limitante para essa correlação foi a de ter sido realizado apenas uma coleta *in situ* (18/10/2010), e isso se mostrou pouco significativo estatisticamente.

De acordo com os objetivos da pesquisa, entretanto, que é o de analisar a distribuição espaço-temporal de NDVI a partir de uma série temporal de quarenta e duas (42) imagens de satélite, fica claro que as ferramentas de TSA e NDVI demonstram potencial e eficácia. O uso dessas ferramentas propiciou o estabelecimento de padrões recorrentes de distribuição, destacando a ocorrência dos padrões sazonais.

Ao analisar diversas lagoas costeiras do Rio Grande do Sul, Pereira *et al.* (2007) também não encontrou correlações significativas para as variáveis de clorofila_a e reflectância da superfície. As correlações negativas entre essas variáveis foram de -0,01 e -0,02. Os autores atribuíram a falta de correlação entre os dados às imagens de satélite e as possíveis falhas no sistema de operação do satélite CBERS utilizado neste trabalho.

Pereira (1993) encontrou baixos valores de concentração de clorofila-a em seu estudo, no entanto, estabeleceu correlações entre a resposta espectral do sensor Landsat e a concentração de clorofila_a e feofitina, obtendo uma correlação positiva de 0,48.

As correlações estabelecidas por Corazza (2010) entre as variáveis de disco de Secchi e Totais de Sólidos em Suspensão foi $r = -0,54$, e entre a clorofila_a e disco de Secchi $r = -0,37$, este último corresponde a apenas 14% da variância explicada.

As correlações estabelecidas entre as variáveis disco de Secchi e Sólidos Totais em Suspensão ($r = -0,82$), e disco de Secchi e clorofila_a ($r = -0,71$), foram negativas, indicando que a transparência da água diminui com o aumento da concentração de Totais de Sólidos Suspensos e da clorofila_a.

A correlação estabelecida entre o disco de Secchi e os valores de NDVI da imagem de satélite foi positiva ($r = 0,73$) para o dia da expedição de campo na lagoa Itapeva, correspondendo a 53% da variância explicada. Estudos realizados por Pereira *et al.* (2007) encontraram valores bastante diferentes em lagoas costeiras do Rio Grande do Sul, estabelecendo valores de correlações negativas entre $r = -0,4$ e $-0,6$.

A lagoa Itapeva apresenta uma dinâmica semelhante a maior parte das lagoas costeiras, sendo o principal agente hidrodinâmico representado pelos ventos constantes na lagoa que acabam influenciando a turbidez do ambiente.

As variáveis ambientais mais freqüentes e fortemente correlacionadas com a distribuição espacial e sazonal são aquelas que respondem a ação dos ventos como a turbidez, Sólidos Totais em Suspensão e nível de água (Cardoso, 2001).

A circulação da água na lagoa é fortemente influenciada pelas mudanças no tempo, os quais promovem também mudanças na distribuição, quantificação e diversidade do plâncton. Assim, a lagoa sofre a influência direta das chuvas, recebendo ainda carga sedimentar de seus dois principais afluentes, o rio Três Forquilhas e rio Cardoso.

Por se tratar de uma lagoa bastante rasa, nos últimos anos vem sendo observado, segundo relatos obtidos no campo, um aumento na ocorrência de *Juncus* na margem leste da lagoa Itapeva, e às vezes estendem-se até áreas mais centrais da lagoa, conforme delimitado na Figura 24. Esse limite foi feito sobre imagens de alta resolução espacial obtidas no Google Earth.

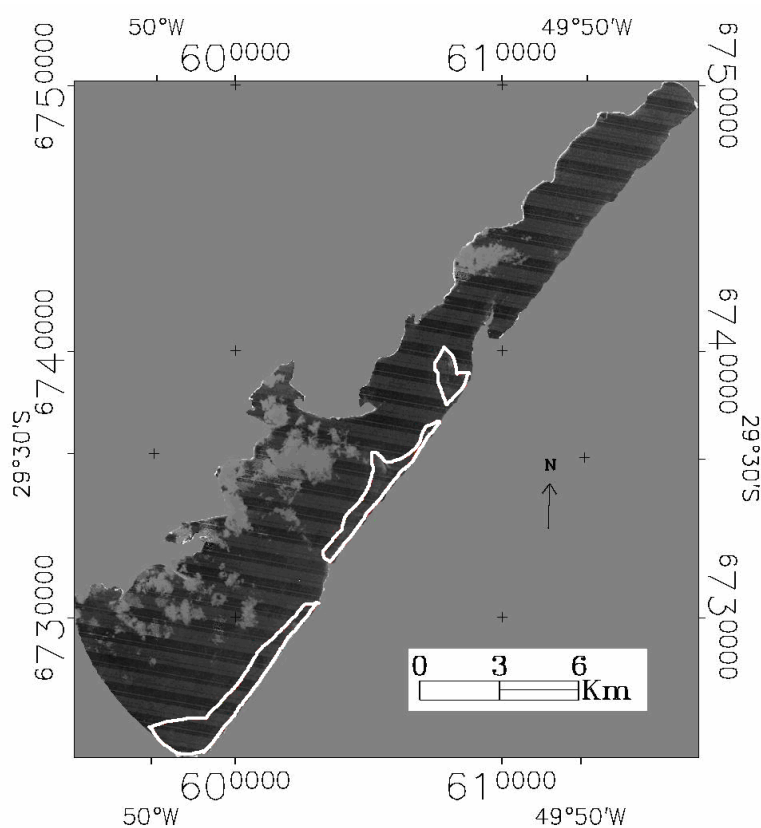


Figura 24 – Área de *Juncus* delimitada pela linha branca sobre imagem NDVI de 18/10/2010, lagoa Itapeva-RS.

Nas áreas mais próximas à margem leste da lagoa são encontradas grandes quantidades de *Juncus*, o que dificultou o acesso do barco para a coleta das amostras de água.

A Figura 25 apresenta uma imagem de satélite do Google que apresenta área de grande quantidade de *Juncus*. Quando o nível de água da lagoa Itapeva encontra-se baixo, esta área forma um banco de areia bem visível nas imagens de NDVI, conforme salientado durante a análise dos resultados.



Figura 25 – Imagem de satélite da lagoa Itapeva destacando área com grande quantidade de *Juncus*.

Fonte: Google Earth (acesso em 28/10/10).

A fotografia da Figura 26 mostra uma vista dos juncos no centro da lagoa próximo da margem leste. Em função da posição do barco e das dificuldades de circulação na lagoa Itapeva, os juncos são pouco perceptíveis na foto, no entanto, são maciços que possuem em torno de 1,5 metros de altura acima do nível da água da lagoa.

Na porção sul da lagoa Itapeva, próximo ao canal Cornélios, há uma grande área tomada pelos juncais. Segundo relatos os pescadores da região fazem a limpeza da área, formando corredores entre os juncos para a saída dos barcos para o canal Cornélios.



Figura 26 – *Juncus* na margem leste, lagoa Itapeva-RS.
Foto: Lissner, J. B. (2010)

A fotografia da Figura 27 mostra o canal Cornélios nas proximidades da vila de pescadores, Nessa área já não se observa a presença de juncos, pois o canal é um ambiente bastante alterado.



Figura 27 – Canal Cornélios, sul da lagoa Itapeva-RS.
Foto: Lissner, J. B. (2010)

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É complexo estabelecer um padrão para a distribuição sazonal do NDVI na lagoa Itapeva. Podem ocorrer picos inesperados de espécies dominantes ou raras e alterar o comportamento predominante na lagoa. Entre outras coisas, um elemento a ser considerado na lagoa é a presença de baixas concentrações de clorofila_a.

A análise a partir de uma série temporal de imagens permitiu obter informações sobre a dinâmica da distribuição espaço-temporal do NDVI na lagoa Itapeva:

(a) A ação dos ventos interfere na distribuição espacial do NDVI na lagoa, estabelecendo um padrão de distribuição de classes de NDVI decrescentes de sul para norte durante o verão quando ocorrem ventos de NE e; um padrão de distribuição de classes de NDVI crescentes no sentido sul-norte durante as demais estações do ano.

(b) Em relação às chuvas, estas ocasionam a homogeneização das águas com baixa variabilidade espacial e baixos valores das classes de NDVI na lagoa.

(c) Em relação ao período de floração do fitoplâncton, foi observado que durante o verão e o inverno ocorrem baixos valores de NDVI na lagoa. Na primavera ocorrem valores mais altos de NDVI devido ao período de floração, pois nesta estação do ano ocorre o aumento da temperatura e incidência dos raios solares; e durante o outono foi observado um aumento nos valores de NDVI ocasionado pelo segundo período de floração, pois nesta época ocorrem mudanças da direção e na velocidade do vento.

A partir dos padrões espaço-temporais observados na série de imagens de NDVI podemos estabelecer três grandes setores na lagoa Itapeva:

(1) o setor sul, que apresenta grande variabilidade espacial de classes de NDVI, influenciada fortemente pela descarga de sedimentos do rio Três Forquilhas, embora a carga de sedimentos trazida por este rio seja pequena e lenta, é de fundamental importância. Devido a isso, essa área da lagoa apresenta maior turbidez da água.

(2) o setor centro é uma área influenciada pela descarga do rio Cardoso, apesar da pequena descarga de sedimentos deste rio, esta área serve como um canal de ligação entre os setores sul e norte, e apresenta uma grande circulação de águas do setor norte em direção ao setor sul.

(3) o setor norte é a área que apresenta maior distinção dos demais, devido as suas características físicas, como: não possuir afluentes, ser mais raso e estreito, pouca circulação de águas, acaba tornando-se propício para o desenvolvimento dos organismos fitoplanctônicos.

A utilização da ferramenta de Análise de Séries Temporais (TSA) foi de extrema importância para a compreensão da dinâmica espaço-temporal da lagoa Itapeva possibilitando estabelecer padrões que se repetem temporalmente e sazonalmente. O entendimento dessa dinâmica espaço-temporal só foi possível dado a análise de um grande conjunto de dados de NDVI.

Os mapas de classes de NDVI gerados após a análise da TSA, evidenciaram padrões espaciais e sazonais considerando a sua dinâmica associada as variáveis ambientais atuantes e serviram como síntese dos padrões verificados.

Assim, os resultados obtidos a partir da série temporal de imagens Landsat foram satisfatórios e podem ser utilizados no monitoramento da distribuição espacial da concentração de clorofila_a a partir da variação espacial das classes de NDVI.

7. REFERÊNCIAS

ANJOS, H. O. de; SILVA JÚNIOR, M. C. da. Uso do sensor thematic mapper (Landsat-7) na análise da qualidade da água nas Lagoas Formosa (Goiás) e Bonita (DF). In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Anais XII, INPE, p.2439-2446. 2005.

APHA – American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 ed. Washington: APHA-AWWA-WEF, 1998.

ARRAUT, E. M.; RUDORFF, C. de M. et al. Estudo do comportamento espectral da clorofila e dos sólidos em suspensão nas águas do lago grande de Curuai (pará), na época da seca, através de técnicas de espectroscopia de campo. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Anais XII, INPE, p.2447-2456. 2005.

ARRAUT, E. M.; MANTOVANI, J. E.; NOVO, E. M. L. de M. Quanto alimento há para o Peixe-boi Amazônico? Técnicas de processamento digital de imagens pra estimar a dimensão de bancos de macrófitas aquáticas. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Anais XIII, INPE, p.6609-6614. 2007.

BECKER, V. **Variação da estrutura e da biomassa fitoplanctônica na Lagoa Itapeva (litoral norte do Rio Grande do Sul) em função da hidrodinâmica**. 2002. 125. Dissertação (Mestrado em Ecologia – Instituto de Biociências) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

BICUDO, C.E.M.; MENEZES, M. 2005. **Gêneros de Algas continentais do Brasil** (Chave para identificação e descrições). São Carlos. Ed. Rima. 489p.

BRUCE, L.M.; MATHUR, A. Denoising and wavelet-based feature extraction of MODIS multi-temporal vegetation signatures. **International Workshop on Analysis of Multi-temporal Remote Sensing Images**, 2005. pp. 95-98.

BUKATA, R. P.; BRUTON, J. E.; JEROME, J. H.; JAIN, S. C.; ZWICK, H. H. Optical water quality model of Lake Ontario. 2: Determination of chlorophyll a and suspended mineral concentrations of natural waters from submersible and low altitude optical sensors. **Applied Optics**, v. 20, n 9, May 1:1704-1714. 1981.

BUKATA, R. P. et. al. Estimation of organic and inorganic matter in inland waters: optical cross sections of lakes Ontario and Ladoga. **Journal Great Lakes Research**, v. 17, n. 4, 1991. p. 461-469.

CARDOSO, L, 2001, **Variações da estrutura planctônica da lagoa Itapeva (Sistema Lagunar Costeiro do Rio Grande do Sul) em função da hidrodinâmica**. Tese de Doutorado, IPH/UFRGS, Porto Alegre, 466p.

CARDOSO-SILVA, S, 2008, **Heterogeneidade espacial e a qualidade das águas superficiais do Reservatório Guarapiranga-SP**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Biociências/USP, São Paulo. 99p.

CARVALHO JÚNIOR, A. F. C.; GOMES, R. A. T.; CARVALHO, A. P. F. de; SHIMABUKURO, Y. E. Classificação de padrões de savana usando assinaturas temporais NDVI do sensor Modis no Parque Nacional Chapada do Veadeiros. In: **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 26, n 4. p. 505-517. 2008.

CHATURVEDI, N; NARAIN, A. Chlorophyll distribution pattern in the Arabian Sea: Seasonal and regional variability, as observed from SeaWiFS data. In: **Int. J. Remote Sensing**, v. 24, n. 3, pp. 511-518. 2003.

CHÁVEZ, P. Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper multispectral images. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 55: 1285-1294. 1989.

CORAZZA, R. **Relações entre variáveis espectrais e limnológicas no reservatório da usina hidrelétrica Dona Francisca-RS**. 2010. 91f. Dissertação

(Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

DEFESA CIVIL DO RIO GRANDE DO SUL. In: Consulta de índices pluviométricos por período e município e mês e ano. Disponível em: http://www2.defesacivil.rs.gov.br/estatistica/pluviometro_consulta. Acesso em 17 mar. 2011.

DEKKER, A. G.; MALTHUS, T. J.; WIJNEM, M. M. AND SEYHAN, E. Remote sensing as a tool for assessing water quality in Loosdrecht lakes. **Hydrobiologia (Historical Archive)**. V. 233, Numbers 1-3. May: p.137-159. 1992.

DEKKER, A. G.; PETERS, S. W. M. The use of the Thematic Mapper for the analysis of eutrophic lakes: a case study in the Netherlands. In: **Int. J. Remote Sensing**, v. 14, n. 5, pp. 799-821. 1993.

DGI/INPE : <http://www.dgi.inpe.br/CDRS>. Acesso em: mar/2010.

DOKULIL, M.; PADISÁK, J. Meroplankton dynamics in a saline, turbulent, turbid shallow lake (Neusiedlersee, Austria and Hungary). **Hydrobiologia**, n. 289 (1-3), 23-42. 1994.

DOXARAN, D.; FROIDEFOND, J.; LAVENDER, S.; CASTAING, P. Spectral signature of highly turbid waters application with SPOT data to quantify suspended particulate matter concentrations. In: **Remote Sensing of Environment**, n. 81, pp. 149-161. 2002.

EMBRAPA. <http://www.cdbrasil.cnpem.embrapa.br/>. Acesso em: 23/09/2010.

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

FEPAM. Diretrizes ambientais para o desenvolvimento dos municípios do Litoral Norte. In: **Cadernos de planejamento e gestão ambiental** - Nº 1. Brasil, RS, 2000.

FERNANDES, L. F.; BRANDINI, F. P.; MOSIMANN, R. M. S.; STOLARSKI, M. V.; ALVES, L. Z. **Comunidades fitoplanctônicas no Reservatório Piraquara I (Caiuguava)/SANEPAR, Piraquara, Paraná: estrutura e dinâmica temporal em relação aos parâmetros ambientais.** Curitiba, 2000.

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

FRANKENBERG, C. L. C. **Agregação do componente hidrológico na análise de input-output em ecossistemas aquáticos.** Trabalho apresentado no 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville (SC), 2003.

FRANKENBERG, C. L. C., 2004, **Análise de ecossistemas aquáticos através do método de input-output: estudo de caso Lagoa Itapeva (Sistema Lagunar Costeiro do Rio Grande do Sul).** Tese de Doutorado, IPH/UFRGS, Porto Alegre, 532p.

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.

GOSSELAIN, V.; HAMILTON, P. B.; DESCY, J. Estimating phytoplankton carbon from microscopic counts: and application for riverine systems. **Hydrobiologia**, n. 478, p. 75-90. 2000.

GUASSELLI, L. A., 2005, **Dinâmica da vegetação no banhado do Taim, RS.** Tese de Doutorado, Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental/FRGS, Porto Alegre, 157p.

GURGEL, H. C. **Variabilidade espacial e temporal do NDVI sobre o Brasil e suas conexões com o clima**. São José dos Campos: INPE, 2000. 118p.

GÜRTLER, S.; EPIPHANIO, J. C. N.; LUIZ, A. J. B.; FORMAGGIO, A. R. Planilha eletrônica para o cálculo da reflectância em imagens TM e ETM+ Landsat. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 02, n. 57, pp. 162-167. 2005.

HEDGER, R. D.; OLSEN, N. R. B.; MALTHUS, T. J. & ATKINSON, P. M. Coupling remote sensing with computational fluid dynamics modeling to estimate lake chlorophyll-a concentration. **Remote Sensing of Environment**, 79:116 – 122. 2002.

HUSZAR, V. L. M. & REYNOLDS, C. S., 1997, Phytoplankton periodicity and sequences of dominance in a Amazonian flood-plain lake (Lago Batata, Pará, Brazil): responses to gradual environmental change. In: **Hydrobiologia**, 346: 169-181.

HUSZAR, V. L. M., SILVA, L. H. S.; MARINHO, M.; DOMINGOS, P. & SANT'ANNA, C. L. Cyanoprokaryote assemblages em eight productive tropical Brazilian Waters. In: **Hydrobiologia**, 424: 67-77. 2000.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. John Wiley & Sons, Inc. 2 ed. New York, 1987.

LAU, S. S. S. & LANE, S. N. Biological and chemical factors influencing shallow lake eutrophication: a long-term study. In: **The Science of the Total Environment**, 288: 167-181. 2002.

LONDE, L. R.; NOVO, E. M. L. M.; CALIJURI, M. C. Avanços no estudo do comportamento espectral do fitoplâncton e identificação remota de algas. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Anais XII, INPE, p. 389-396. 2005.

LONDE, L. DE R.; KRUG, L. A.; MOLLERI, G. S. F.; LEÃO, C.; WACHHOLZ, F.; AGUIAR, A. M. DE.; NOVO, E. M. L. DE M. Identificação dos comprimentos de onda que apresentam as maiores correlações com diferentes concentrações de clorofila a e c no Reservatório de Ibitinga (SP). **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Anais XIII, INPE, p. 3413-3420. 2007.

LONDE, L. R. **Comportamento espectral do fitoplâncton de um reservatório brasileiro eutrofizado** – Ibitinga (SP). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2008.

LOPARDO, N. **Estudo hidrodinâmica e correlação com sólidos suspensos e turbidez na Lagoa Itapeva do Litoral Norte do Estado do Rio Grande do Sul**. 2002. 186. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Básico - Instituto de Pesquisas Hidráulicas) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

LORENZZETTI, J. A.; NEGRI, E.; KNOPERS, B.; MEDEIROS, P. R. P. Uso de imagens LANDSAT como subsidio ao estudo da dispersão de sedimentos na região da foz do rio São Francisco. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Anais XIII, INPE, p. 3429-3436. 2007.

MANTOVANI, J. E. **Comportamento espectral da água: faixas espectrais de maior sensibilidade ao fitoplâncton na presença de matéria orgânica dissolvida e de matéria inorgânica particulada**. 1993. 119p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 1993. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/iris@1912/2005/07.20.02.09.34>>. Acesso em: 26 fev. 2010.

MARTINI, L. C. P.; MATTOS, D. S.; BARBOSA, D. F. P.; RECH, A. L. B. Uso de sensoriamento remoto orbital para avaliação da distribuição espacial de Clorofila_a na Lagoa da Conceição - Florianópolis, SC. In: **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.11, n. 4, p. 318-324, 2006.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos de sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa: UFV, 2 ed., 2003. 307p.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blücher. 1989.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

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

NOVO, E. M. L. de M.; STECH1, J. L.; LONDE, L. R.; ASSIREU, A.; BARBOSA, C. C.; ALCÂNTARA, E. H.; SOUZA, A. F. de; Integração de dados do sistema automático de monitoramento de variáveis ambientais (SIMA) e de imagens orbitais na avaliação do estado trófico do Reservatório da UHE Funil. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Anais XIV, INPE, p. 4797-4804. 2009.

ÖSTLUND, C.; FLINK, P.; STRÖMBECK, N.; PIERSON, D.; LINDELL, T. Mapping of the water quality of Lake Erken, Sweden, from Imaging Spectrometry and Landsat Thematic Mapper. **The Science of the Total Environment**, v.268, n. 1-3, p. 139-154, 2001.

PANOSSO, R. de F.; ATTAYADE, J. L.; & MUELLE, 1998. Morfometria das Lagoas Imboiassica, Cabiúnas, Comprida e Carapebus: implicações para seu funcionamento e manejo. In: F. de A. Esteves (ed), **Ecologia das lagoas Costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)**. NUPEM/UFRJ, Rio de Janeiro, p. 91-108.

PEREIRA, M. D. B., Dificuldades no uso de dados espectrais orbitais para inferir ou estimar concentração de clorofila em ecossistemas lênticos tropicais. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Anais VII, p. 109-114. 1993.

PEREIRA, R.; SCHÄFER, A. E. et al. Aplicabilidade de métodos de Sensoriamento Remoto na avaliação e monitoramento do estado trófico de lagoas costeiras do Rio Grande do Sul (RS). In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Anais XIII, INPE, p. 3513-3520. 2007.

PEREZ, M. F. 2008, **Remoção de fitoplâncton e microcistina de águas de abastecimento, pela associação das técnicas de flotação de ar dissolvido e oxidação química com cloro e permanganato de potássio**. Tese de doutorado. EESC/USP, São Carlos, 261 p.

RENÓ, V. F.; MORAES, L. E. de S. et al. Caracterização espectral das águas da Planície do Rio Paraná a partir de imagens Landsat TM. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Anais XIV, INPE, p. 4821-4828. 2009.

ROUSE, J. W.; HASS JR., R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING. D. W. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**. Prog. Rep. RSC 1978-1, Remote Sensing Center, Texas A&M Univ., College Station, 1973. 93p.

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

SARTOR, S. C. De B.; WACHHOLZ, F.; PEREIRA FILHO, W. Relação das variáveis TSS e transparência da água com o uso da terra na área de captação das sub-bacias do Reservatório Rodolfo Costa e Silva/CORSAN. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Anais XIII, INPE, p. 3549-3551. 2007.

SCHWARZBOLD. A.; SCHÄFER, A. Gênese e morfologia das lagoas costeiras do Rio Grande do Sul, Brasil. *Amazoniana*, 9 (1):p. 87-107. 1984.

SCIAMARELLI, A.; PEREIRA, J. G.; KOCH, I.; PIRES, J. S. R.; Caracterização física, ambiental da micro bacia do córrego Curral de Arame, Dourados, MS e avaliação temporal das formações vegetacionais nativas através de imagens LANDSAT. In: **2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**. Anais, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 623-632. 2009.

SHARMA, R. V.; EDWARDS, R. T.; BECKETT, R. Analysis of bactéria in aquatic environments using sedimentation field-flow fractionation: (I) biomass determination. **Wat. Res.**, n. 32 (5): p. 1497-1507. 1998.

SWAIN, P. H.; DAVIS, M. S. Remote sensing: The quantitative approach. Pardue University – USA. McGraw-Hill, p. 396. 1978.

TORGAN, L. C., 1997, **Estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica na Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil, em um ciclo anual**. Tese de Doutorado, PPG Ecologia e Recursos Naturais UFSCar, São Carlos, 284p.

TUCKER, C. J.; SELLERS, P. J. Satellite remote sensing of primary production. **International Journal of Remote Sensing**, v. 7, n. 11, p.1395-1416, Nov. 1986.

VALÉRIO, A. de M. **O uso do sensoriamento remoto orbital e de superfície para o estudo do comportamento do corpo de água do reservatório de Manso, MT, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2009.

VICTORIA, D. de C.; OLIVEIRA, A. F. de.; GREGO, C. R. Análise harmônica de séries temporais de imagens NDVI/MODIS para discriminação de coberturas vegetais. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Anais XIV, INPE, p. 1589-1596. 2009.

VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J. Planície Costeira do Rio Grande do Sul: gênese e paisagem atual. In: **Biodiversidade**: regiões da Lagoa do Casamento e

dos Butiazais de Tapes, Planície Costeira do Rio Grande do Sul. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. p. 20-33.

VILLWOCK, J. A.; TOMAZELLI, L. J. Geologia do sistema lagunar holocênico do litoral norte do Rio Grande do Sul, Brasil. In: **Pesquisas**. Vol. 18 (1), p. 13-24. 1991.

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.; BREUNING, F. M. et al. Identificação de compartimentos aquáticos com imagens CBERS-2 CCD, Landsat TM5 e dados de campo no Reservatório de Rodolfo Costa e Silva-RS. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Anais XIII, INPE, p. 3607-3614. 2007.

ZHU, X.; HE, Z.; DENG, M. Remote sensing monitoring of ocean colour in Pearl River estuary. In: **Int. J. Remote Sensing**, v. 23, n. 20, pp. 4487-4497. 2002.

ANEXO 1
(Relatórios de análise de Clorofila_a e Totais de Sedimentos em Suspensão)



INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
CENTRO DE ECOLOGIA



Porto Alegre, 8 de novembro de 2010.

RELATÓRIO DE ENSAIO N°: 484/2010- LIM.

CLIENTE: Juliane Beatriz Lissner – Projeto de Ensino.

ENDEREÇO: Departamento de Geografia.

REQUISIÇÃO DE SERVIÇOS N°: 082/2010.

AMOSTRA

Tipo: Amostras de água.

Identificação da amostra: Ponto 1, 2, 4, 5, 6 e 7.

Data de Recebimento: 18/10/2010.

COLETA

Responsável pela coleta: Juliane Beatriz Lissner.

Procedimento de amostragem: Direta em Superfície.

Conservação e Transporte: não informado pelo cliente.

Data da coleta: 18/10/2010.

Hora da coleta: 09:20 às 12:40.

Local da coleta: Lagoa Itapeva.

RESULTADO DO ENSAIO

Parâmetro	Unidade	Resultado					
		1	2	4	5	6	7
Clorofila	µg/L	3,37	ND	15,63	14,40	4,82	3,45

LEGENDA: ND = Não detectado.

METODOLOGIA: Espectrofotometria

REFERÊNCIA: Golterman e Glymo 1978.

NOTA: Os resultados contidos neste relatório têm significação restrita e se aplicam somente à amostra ensaiada. O Relatório de Ensaio só deverá ser reproduzido na íntegra, não deve ser parcialmente reproduzido sem a prévia autorização do Centro de Ecologia da UFRGS.

Maria Teresa Raya Rodriguez
Eng. Química – CRQ-V: 05300638



INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
CENTRO DE ECOLOGIA



Porto Alegre, 8 de novembro de 2010.

RELATÓRIO DE ENSAIO Nº: 483/2010-ÁG.

CLIENTE: Juliane Beatriz Lissner – Projeto de Ensino.

ENDEREÇO: Departamento de Geografia.

REQUISIÇÃO DE SERVIÇOS Nº: 082/2010.

AMOSTRA

Tipo: Amostras de água.

Identificação da amostra: Ponto 1, 2, 4, 5, 6 e 7.

Data de Recebimento: 18/10/2010.

COLETA

Responsável pela coleta: Juliane Beatriz Lissner.

Procedimento de amostragem: Direta em Superfície.

Conservação e Transporte: não informado pelo cliente.

Data da coleta: 18/10/2010.

Hora da coleta: 09:20 às 12:40.

Local da coleta: Lagoa Itapeva.

RESULTADO DO ENSAIO

Parâmetro	Unidade	Resultado						LD
		1	2	4	5	6	7	
Sólidos Totais	mg/L	46	106	111	87	47	67	10

LEGENDA: LD = Limite de detecção.

METODOLOGIA: Gravimetria- secagem à 105°C.

REFERÊNCIA: Standard Methods 21ST.

NOTA: Os resultados contidos neste relatório têm significação restrita e se aplicam somente à amostra ensaiada. O Relatório de Ensaio só deverá ser reproduzido na íntegra, não deve ser parcialmente reproduzido sem a prévia autorização do Centro de Ecologia da UFRGS.

Maria Teresa Raya Rodriguez
Eng. Química – CRQ-V: 05300638