UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG INSTITUTO DE OCEANOGRAFIA PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA BIOLÓGICA

AVALIAÇÃO DA DINÂMICA ESPECTRAL DAS MARISMAS DA LAGOA DOS PATOS (RS) ATRAVÉS DE IMAGENS CCD/CBERS-2

FRANCIANE DE LIMA COIMBRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Oceanografia Biológica da Universidade Federal do Rio Grande - FURG, como requisito parcial à obtenção do título de MESTRE

Orientador: César Serra Bonifácio Costa

RIO GRANDE Agosto de 2008

EPÍGRAFE

"Se um dia tiver que escolher entre o mundo e o amor... Lembre-se. Se escolher o mundo ficará sem o amor, mas se escolher o amor com ele você conquistará o mundo." Albert Einstein

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, por tudo o que fizeram até hoje por mim, pelos anos dedicados a me educar, pelo carinho, compreensão e principalmente pelo exemplo de vida, que me inspirou a não desistir perante as dificuldades encontradas e ao meu marido, Paulo César, por toda a dedicação, companheirismo e amor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a FURG pelo espaço disponibilizado para a realização deste trabalho, aos professores (Zoinho, Uli e Bemvenuti) pelo conhecimento, fundamental, transmitido ao longo da minha formação e em especial ao meu orientador, César Costa, pela presença ativa e participativa, confiança, motivação e segurança, que realmente me trouxeram até aqui. "Valeu César por tudo, você foi quem mais acreditou no meu trabalho, às vezes, mais até do que eu......!!"

Gostaria de agradecer e elogiar o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) principalmente pela disponibilização das imagens de satélite utilizadas neste trabalho, software SPRING e apoio gratuitos, que ajudaram na realização deste estudo e especialmente à acolhida do Dr. Flávio Ponzoni, por sua atenção, instruções e sugestões dadas que colaboraram muito para a conclusão do presente trabalho.

Aos meus colegas de laboratório, Juliano, Afrânio, Paulinha, Gabi, Gabizinha e Dimas pela força dada na realização das coletas de campo, e que força!!!!! Ao Jeison pelos cafezinhos nas horas difíceis, ao André (bentos) pela ajuda no uso PRIMER e a todos que de uma forma ou outra contribuíram para a realização deste trabalho.

Quero agradecer também a minha amigona Verinha, pelo ombro amigo, por ter estado comigo em todas as fases do trabalho e principalmente pelas conversas motivadoras, descontraídas, ricas em sabedoria, "*te admiro muito Verinha*".

Aos amigos da Sociedade Espírita Kardecista pelo apoio, principalmente, nas horas difíceis.

Quero agradecer principalmente aos meus pais, pela educação recebida, amor e carinho! *Mãe e Pai AMO vocês!!!!* A minha irmã, pelo carinho e admiração e ao meu grande amor, meu maridão Paulo César, pelo amor, companheirismo e dedicação demonstrados ao longo destes 13 anos que estamos juntos, que certamente me deram a base para eu que eu chegasse até aqui.

E finalmente agradeço a Deus pela oportunidade recebida de viver e poder sempre estar aprendendo e crescendo como ser humano, superando minhas dificuldades a cada dia e percebendo que posso muito mais do que penso ser capaz.....

ÍNDICE

LISTA DE TABELAS	X
LISTA DE FIGURAS	XV
RESUMO	XX
ABSTRACT	XXII

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1 ESTUÁRIOS E MARISMAS	1
1.2 SENSORIAMENTO REMOTO E O POTENCIAL DA UTILIZAÇÃO	DE
IMAGENS CCD/CBERS-2 NO ESTUDO DAS MARISMAS	3

2. OBJETIVOS	7
2.1 GERAL	7
2.2 ESPECÍFICOS	7

3. CARACTERIZAÇÃO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO	DE MARISMAS
COM IMAGENS CCD/CBERS-2	9
3.1 INTRODUÇÃO	9
3.2 METODOLOGIA	12
3.2.1 COLETA DE DADOS BIÓTICOS E ABIÓTICOS	
3.2.2 OBTENÇÃO DOS DADOS ORBITAIS CCD/CBERS-2	14

3.2.3 CARACTERIZAÇÃO ESPECTRAL DAS MARISMAS17
3.2.4 ESTIMATIVA DE BIOMASSA AÉREA DAS MARISMAS ATRAVÉS DE
DADOS ESPECTRAIS CCD/CBERS-2
3.3 RESULTADOS
3.3.1. VARIABILIDADE ESPAÇO-SAZONAL DOS PARÂMETROS DE
SUPERFÍCIE21
3.3.1.1 CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS E DO SEDIMENTO DAS
PARCELAS-ALVO
3.3.1.2 VARIAÇÃO ESPAÇO-SAZONAL DA BIOMASSA
3.3.2 CARACTERIZAÇÃO ESPECTRAL
3.3.3 NDVI E ESPACIALIZAÇÃO DA BIOMASSA DAS MARISMAS DO
ESTUÁRIO DA LAGOA DOS PATOS25
3.4 DISCUSSÃO40
3.5 CONCLUSÕES

4. VARIAÇÃO DA RESPOSTA ESPECTRAL DAS MARISMAS DOMINADAS

POR	Spartina	alterniflora	NO	ESTUÁRIO	DA	LAGOA	DOS	PATOS
(RS)					•••••			46
4.1 IN	TRODUÇÂ	ĂO						46
4.1.1 I	LOCAIS DI	E ESTUDO					•••••	49
4.2- M	IATERIAL	E MÉTODOS	5					50
4.2.1 I	POSICION	AMENTO DE	PAR	CELAS-ALVO	NAS	MARISMA	S	50

4.2.2. IMAGENS CCD/CBERS-2 E SEU PROCESSAMENTO
4.2.3. COLETA DE DADOS DE SUPERFÍCIE
4.2.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA
4.2.4.1 DADOS ESPECTRAIS
4.2.4.2 DADOS ABIÓTICOS DE SUPERFÍCIE
4.2.4.3 DADOS BIÓTICOS DE SUPERFÍCIE
4.3 RESULTADOS
4.3.1 ANÁLISE ESPECTRAL DA S. alterniflora
4.3.2 VARIABILIDADE ESPAÇO-SAZONAL DOS PARÂMETROS DE
SUPERFÍCIE60
4.3.2.1 CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS E DO SEDIMENTO DAS
PARCELAS-ALVO60
4.3.2.2 VARIAÇÃO SAZONAL DOS PARÂMETROS ABIÓTICOS DE
SUPERFÍCIE61
4.3.2.3 VARIAÇÃO ESPAÇO-SAZONAL DA COBERTURA E BIOMASSA
VEGETAL
4.3.3 REGRESSÕES ENTRE RESPOSTAS ESPECTRAIS E PARÂMETROS EM
SUPERFÍCIE64
4.4 DISCUSSÃO
4.5 CONCLUSÕES

5 CONSIDERACÕES GERAIS		 93

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS9

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.4: ANOVA de medidas repetidas das bandas do azul (B1), do verde (B2), do vermelho (B3) e do infravermelho próximo (B4) e NDVI entre os locais (Espécie), entre

Tabela 4.2: Caracterização das condições médias (\pm desvio padrão; DP), mínimas e máximas de altura topográfica, freqüência de alagamento, granulometria e teor de matéria orgânica do sedimento das parcelas-alvo dominadas pela grama *S. alterniflora* em duas áreas de marismas do estuário da Lagoa dos Patos (RS), analisadas quanto a respostas espectral na imagem CCD/CBERS-2. Nenhum dos parâmetros demonstrou diferenças significativas (p<0,05) para o Teste "T" de Student, com p > 0,05.......67

 Tabela 4.4: Análises de Variância aninhada (parcelas-alvo dentro de cada local) para os

 dados de Biomassa Viva, Biomassa Morta e Biomassa Total e Razão biomassa viva

pela biomassa morta (RMV) de *S. alterniflora* entre locais e períodos do ano. GL= grau de liberdade; SQ= soma dos quadrados; SQ (%) a soma percentual dos quadrados; F= teste de Fisher; ***p<0,001; ** p<0,01; * p<0,05; n.s. não significativo......69

Tabela 4.7: Valores estatísticos da Regressão Múltipla aplicada aos dados de FRBS das bandas do azul (B1), do verde (B2), do vermelho (B3), do infravermelho próximo (B4) e NDVI, das imagens CCD/CBERS-2, utilizando os dados de biomassas viva, morta, cobertura visual, freqüência de alagamento, teor de umidade do solo, matéria orgânica e porcentagem de silte areia e argila para os períodos de verão-outono e invernoprimavera. b= coeficiente angular; SE= desvio padrão, r²= coeficiente de determinação;

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.8: Dados de Cobertura visual média (n=7) convertidos para a escala de oitavas (ln_x) , das parcelas-alvo de *S. alterniflora* localizadas na Ilha da Pólvora (P11 a P15) e Farol de São José do Norte (P16 a P20), no estuário da Lagoa dos Patos, RS......80

XVIII

Figura 4.9: Médias (± desvio padrão) da biomassa aérea total de *S. alterniflora*, nos períodos de verão-outono e inverno-primavera, respectivamente na Ilha da Pólvora (A e B) e no Farol de São José do Norte (C e D), no estuário da Lagoa dos Patos, RS........81

Figura 4.12: Regressão Linear entre os principais fatores que contribuíram para a variação espectral e as bandas do azul (B1), do verde (B2), do vermelho (B3) e do infravermelho próximo (B4) de imagens CCD/CBERS-2 de parcelas-alvo de *S. alterniflora*, para o período de inverno-primavera. r= coeficiente de correlação entre as variáveis analisadas; RMV= razão da biomassa morta pela biomassa viva; Alag=

alagamento;	US=umidade	do	solo;	CV=cobertura	visual;	MO=matéria
orgânica						84

RESUMO

O presente trabalho objetivou realizar a caracterização espectral das áreas de marismas com cobertura vegetal dominada por Spartina alterniflora, Spartina densiflora, Scirpus maritimus e Juncus kraussii do estuário da Lagoa dos Patos (RS). Imagens da câmara CCD do satélite CBERS-2, nas bandas espectrais do visível e infravermelho próximo, do ano de 2006, foram transformadas em Fator de Reflectância Bidirecional de Superfície (FRBS). Foram escolhidos três locais pertencentes a distintas zonas do estuário, em termos da influência da água marinha e diferentes coberturas vegetais. Nestes, um total de 25 parcelas-alvo de 30 m x 30 m, foram demarcadas e georeferenciadas. As parcelas-alvo foram visitadas em 2006, nos períodos de verãooutono e inverno-primavera, para a coleta de dados de superfície (sedimento, topografia, cobertura visual, biomassa aérea). ANOVA e análises multivariadas (Análise de Discriminante e Escalonamento Multidimensional - MDS) foram realizadas para diferenciação das parcelas-alvo dominadas pelas diferentes espécies. Regressões Lineares foram utilizadas para identificar os principais fatores de superfície que contribuíram para as variações espectrais encontradas. As bandas espectrais do infravermelho próximo e do azul foram as principais responsáveis pela distinção de três macrohábitats (marismas baixas, médias e altas), sendo o infravermelho afetado principalmente por fatores edáficos (r² de 0,16 a 0,42) e o azul pela razão biomassa aérea morta:viva (RMV) (r² de 0,58 a 0,65). As médias das biomassas aéreas totais das parcelas-alvo variaram de 628 a 3589 gPeso Seco m⁻², sendo que as maiores biomassas

vivas foram observadas no período de verão-outono (médias de 415 a 1945 g m⁻²). Um maior esforço amostral foi realizado sobre as parcelas-alvo dominadas por *S. alterniflora*. Os valores de FRBS foram sensíveis à dinâmica sazonal da biomassa aérea viva de *S. alterniflora* e diferenças espaciais da biomassa aérea morta entre e dentro das marismas estudadas. Embora o índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI) apresente um potencial para realizar estimativas da produção primária das marismas, ele não foi um bom indicador de biomassa em áreas colonizadas por *S. alterniflora* com baixos valores de biomassa (< 150-200 g m-2) e/ou pisos baixos com maior persistência de lâmina d'água de alagamento (-0,43 a -0,22 m). A partir das imagens CCD/CBERS-2 foi possível realizar a caracterização espectral das marismas estudadas e detectar diferenças entre seus macrohábitats na biomassa aérea presente.

Palavras chave: marismas, caracterização espectral, sensoriamento remoto, vegetação.

ABSTRACT

Evaluation of the Spectral Dynamic of Patos Lagoon Salt Marshes by CCD/CBERS-2 Satellite Images

The present study aimed to carry out the spectral characterization of salt marsh areas of the Patos Lagoon estuary (southern Brazil) covered by the dominant plants Spartina alterniflora, Spartina densiflora, Scirpus maritimus and Juncus kraussii. Visible and near infrared wavelength images of the CCD camera of CBERS-2 satellite were obtained in 2006 and converted to Factor of Surface Bidirectional Reflectance Factor (SBRF). Three locations were selected inside the estuary in order to include different seawater influence zones and vegetation coverage of the local salt marshes. A total of 25 target-plots of 30 m x 30 m were positioned and georeferenciated inside those marsh areas. Target-plots were visited during 2006 summer/autumn and winter/spring periods for collection of surface data (sediment, topography, visual covering, aboveground biomass).ANOVA) and multivariate analyses (Discriminant Analysis and MDS-Multidimensional Scaling) were used to discriminate the target-plots dominated by different species. Linear regressions to identify major surface factors responsible for the spectral variability found. Near infrared and blue spectral wavelength were mostly responsible for the distinction of the three macrohabitats (low, middle and high marshes). The infrared was mainly affected by edaphic factors (r² from 0.16 to 0.42) and the blue by the live:dead aboveground biomass ratio (LDR) (r² from 0.58 to 0.65). The

averages of total aboveground biomass ranged from 628 to 3589 g Dry Weight m⁻², and higher values of live aboveground biomass where observed in summer-autumn (averages from 415 to 1945 g m⁻²). A greater sampling effort was made over *S. alterniflora*. The SBRF values of *S. alterniflora* were sensitive to seasonal dynamic of live aboveground biomass and to the spatial differences of dead aboveground biomass between and inside the salt marshes. Although Normalized Difference Vegetation Index - NDVI of CCD/CBERS-2 has the potential to produce estimates of the primary production of these coastal environments, it was not a good predictor of biomass inside areas colonized by *S. alterniflora* with low biomass values (< 150-200 g m⁻²) and/or low tidal levels where high water persists (-0.43 to -0.22 m). CCD/CBERS-2 images allowed the spectral characterization of studied salt marshes and to detected aerial biomass differences among macrohabitats.

Key-words: salt marshes, spectral characterization, remote sensing, vegetation

1. INTRODUÇÃO GERAL

1.1 Estuários e Marismas

Estuários podem ser definidos como corpos costeiros parcialmente fechados, ligados diretamente ao oceano, sujeitos a ação de forçantes físicas das quais se destacam os fluxos de água doce continental e água marinha, oscilações de maré, eventos meteorológicos locais (ventos) (Pickard & Emery 1990) e às vezes globais (El Niño/La Niña) (Garcia 1998). Além disso, os estuários recebem aporte de água continental rica em nutrientes e matéria orgânica, o que condiciona um marcado desenvolvimento dos produtores primários destes ambientes. Estas características fazem com que estes ambientes apresentem uma diversidade de fauna e flora típica, bem como sejam grandes berçários de espécies, inclusive de interesse comercial.

Na zona entremarés das margens sedimentares dos estuários, ocorrem comunidades vegetais tolerantes a altas salinidades, tanto arbóreas (restrita aos trópicos) denominadas manguezais como colonizadas por plantas herbáceas, denominadas marismas (ocorrem nos trópicos, mas são dominantes dos subtrópicos e zonas temperadas) (Costa & Davy 1992, Adam 1993). Marismas são descritas como sistemas de produção que subsidiam os estuários e águas costeiras, pela alta capacidade de fixar

carbono de suas espécies vegetais e devido à exportação de parte significativa desta matéria orgânica, na forma de detrito, para águas adjacentes pelas marés e correntes (Costa *et al.* 1997, Costa 1998a), sustentando importantes recursos pesqueiros (Adam 1993, Abreu *et al.* 2006).

As características morfológicas das plantas dominantes das marismas e a diversidade fisiográfica destes ambientes abrem novos nichos, e geram heterogeneidade espacial (planos vegetados, não-vegetados, canais de maré, etc.), influenciando a diversidade, a abundância e a distribuição de outros vegetais e animais da região estuarina-costeira (Costa 1998b). A importância estrutural das marismas vai além do oferecimento de hábitats, elas são importantes agentes geomorfológicos formadores da costa, atuando como barreiras flexíveis contra os avanços do mar. Além disso, favorecem a deposição e a fixação de sedimentos, reduzindo a hidrodinâmica sobre a costa, logo a erosão costeira (Lelis *et al.* 2001).

O estuário da Lagoa dos Patos (RS; 32° S, 52° W) ocupa uma área com mais de 900 km² e possui cerca de 70 km² de suas margens e ilhas recobertas por marismas irregularmente alagadas (Nogueira & Costa 2003a, 2003b, Coimbra & Costa 2006). Marcada intensificação de processos erosivos sobre suas margens ocorre durante períodos de águas altas no inverno-primavera (Costa *et al.* 1998), decorrentes de ventos fortes associados à frente frias (Costa *et al.* 2005). As intensidades destes processos sazonais variam entre anos, principalmente em função dos fenômenos de macro-escala do El Niño e da La Niña (Costa *et al.* 2003, 2005).

Marismas são estruturas biogênicas, criadas e modificadas pelo crescimento das plantas dominantes (Bertness 1999, Mendonça & Costa 2006) que é influenciado pelo tempo-freqüência de alagamento e salinidade da água (Copertino *et al.* 1997, Cunha *et*

al. 2005). Logo, marismas podem ter uma história de vida com nascimento, crescimento, mudanças fisiográficas (inclusive devido a processos de sucessão biológica) e morte (Lelis *et al.* 2001, Costa *et al.* 2005). O estudo e interpretação da variação espaço-temporal da estrutura das marismas é de importância vital para a compreensão de processos sedimentares e ecológicos desta região estuarina.

1.2 Sensoriamento Remoto e o Potencial da Utilização de Imagens CCD/CBERS-2 no Estudo das Marismas

Uma alternativa para o monitoramento destes ambientes costeiros e a avaliação de impactos causados por processos naturais e antrópicos sobre sua extensão é a utilização dos recursos do Sensoriamento Remoto. Segundo Loch 2001, "Sensoriamento remoto é a captação a distância de registros, dados das informações das características da superfície terrestre sem o contato direto; é o conjunto de atividades, cujo objetivo reside na caracterização das propriedades dos alvos naturais através da detecção, registro e análise de fluxo de energia radiante, refletido ou omitido pelos mesmos." Esta outra forma de análise de dados dos ambientes costeiros, em grande escala espacial e em curto espaço de tempo é um dos maiores benefícios que esta tecnologia apresenta para os avanços das pesquisas oceanográficas, além da possibilidade de realizar o monitoramento de ambientes extensos e de dificil acesso, como é o caso das marismas do estuário da Lagoa dos Patos.

A integração de dados orbitais com dados coletados em superfície facilita a interpretação das informações requeridas pelo pesquisador, uma vez que se encontram inter-relacionadas com base no que lhes é comum, a localização geográfica (Clodoveu

& Neto 2001). Sendo assim, é possível criar um Sistema de Informações Geográficas (SIG), permitindo um monitoramento permanente, através do armazenamento de dados contento todas as informações necessárias e disponíveis da área estudada. A partir disto, pode-se gerar mapas, tabelas, gráficos, análises estatísticas e estimativas de dados de superfície, permitindo a verificação de impactos estruturais em intervalos regulares com menor esforço de campo.

Para a obtenção das informações através de imagens de satélite, além do conhecimento da área de estudo, é necessário realizar o processamento digital destas imagens, que consiste na preparação destas para que a informação adquirida seja o mais próximo do real possível. Estas técnicas incluem pré-processamento, aplicado para preparar as imagens para a utilização e extração de informações pelo usuário (Ponzoni & Shimabukuro 2007).

Para que se possam comparar os dados coletados em campo com os dados orbitais é fundamental a realização do georeferenciamento e das correções atmosféricas das imagens. O georeferenciamento possibilita a localização espacial das áreas estudadas, para a coleta das informações espectrais e as correções atmosféricas, que resultam na reflectância de superfície dos alvos terrestres (Ponzoni & Shimabukuro 2007), permitirão a caracterização espectral destas áreas.

Imagens índices de vegetação podem ser derivadas de dados orbitais, uma vez convertidos para valores físicos (Fator de Reflectância Bidirecional de Superfície -FRBS). Estas imagens resultam da combinação de dois ou mais comprimentos de ondas e são muito utilizados para realizar estimativas das propriedades biofísicas da vegetação através do monitoramento por sensores remotos. Atualmente, muitas pesquisas vêm sendo desenvolvidas com a intenção de verificar qual o melhor índice para realizar o mapeamento e monitoramento das áreas vegetadas. No sensoriamento remoto orbital, o Índice de Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI) é o mais empregado para a avaliação do vigor da cobertura vegetal (Moreira 2001, Ponzoni & Shimabukuro 2007).

Imagens orbitais têm sido aplicadas não só na identificação de áreas marismas (Gross 1987, Isacch et al. 2006), mas também de distintos macrohábitats neste ambiente (Coimbra & Costa 2006). O sensor TM/LANDSAT tem sido utilizado para quantificar a biomassa aérea de coberturas dominantes de marismas, como *S. alterniflora*, através do NDVI (Hardisky et al. 1984, Gross *et al.* 1987).

Tendo em vista todos os benefícios do uso do sensoriamento remoto, principalmente para aplicações ambientais, foi criada em julho de 1988 uma parceria entre o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e a CAST (Academia Chinesa de Tecnologia Espacial) para o desenvolvimento de dois satélites avançados de sensoriamento remoto, denominado Programa CBERS (China-Brazil Earth Resources Satélite Sino-Brasileiro Satellite). de Recursos Terrestres (INPE, http://www.cbers.inpe.br/?content=historico). Atualmente as imagens dos satélites em órbita deste Programa, vêm trazendo avanços científicos, sendo utilizadas em diversas atividades, tais como: controle de desmatamento e queimadas na Amazônia Legal, monitoramento de recursos hídricos, áreas agrícolas, crescimento urbano, ocupação do solo e em educação (INPE, http:// www.cbers.inpe.br/?content=introducao).

O sensor CCD do satélite CBERS-2 captura imagens a cada 26 dias, com uma resolução espacial de 20 metros e possui cinco bandas espectrais (pancromática, azul, verde, vermelho e infravermelho próximo). Com um campo de visada de mais de 113 km, as imagens capturadas por este satélite servem de auxílio para estudos municipais e

regionais, através dos mapeamentos ambientais gerados a partir da combinação se suas imagens nas diferentes bandas. Desta forma, acredita-se que as imagens CCD/CBERS-2 possam ser potencialmente utilizadas para caracterização e mapeamento das marismas do estuário da Lagoa dos Patos.

Este estudo tem como objetivo caracterizar espectralmente a vegetação de marismas do estuário da Lagoa dos Patos utilizando imagens CCD do satélite CBERS-2. A parte principal do trabalho foi idealizada na forma de dois manuscritos. O primeiro constitui o Capítulo 3, que aborda a diferenciação espectral de amplas áreas dominadas por diferentes plantas dentro das marismas ("macrohábitats"). Estas áreas com cobertura vegetal dominada, respectivamente, pelas gramas Spartina alterniflora Loisel., Spartina densiflora Brongn., Scirpus maritimus L. e Juncus kraussii Hochst, apresentam não só diferenças estruturais como também condições físico-químicas distintas. Esta diferenciação espectral também foi relacionada com variações de parâmetros em superfície. O segundo manuscrito (Capítulo 4) aborda as variações temporais na resposta espectral exclusivamente de marismas dominadas pela grama S. alterniflora. Um maior número de alvos dominados por esta planta foi analisado, permitindo comparar variações espectrais e de parâmetros em superfície entre marismas em distintos locais do estuário, bem como a heterogeneidade espacial dentro dos locais. Adicionalmente, foram realizadas considerações gerais sobre a utilização das imagens CCD/CBERS-2 na análise da estrutura e do funcionamento das áreas de marismas no capítulo final (Capítulo 5).

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Caracterização espectral das áreas de marismas com coberturas vegetal dominadas pelas gramas *Spartina alterniflora* Loisel., *Spartina densiflora* Brongn., *Scirpus maritimus* L. e *Juncus kraussii* Hochst. do estuário da Lagoa dos Patos, através de imagens CCD do satélite CBERS-2.

2.2 Específicos

1- Avaliar a variação sazonal verão-outono e inverno-primavera das respostas espectrais de imagens de marismas com diferente cobertura vegetal do estuário da Lagoa dos Patos obtida pelo sensor CCD do satélite CBERS-2;

2- Relacionar as respostas espectrais obtidas com a fenologia das espécies dominantes e parâmetros físicos locais de superfície;

3- Utilizar imagens dos satélites CBERS-2 para gerar mapas da distribuição espacial da biomassa aérea viva (g m⁻²) das marismas do estuário da Lagoa dos Patos;

4- Analisar a capacidade das imagens CBERS-2 de detectar variações temporais da heterogeneidade espacial, da cobertura de marismas dominadas pela grama *S. alterniflora*.

3. CARACTERIZAÇÃO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO DE MARISMAS COM IMAGENS CCD/CBERS-2

3.1 Introdução

As marismas podem ser identificadas na paisagem através de fotos aéreas (Costa *et al.* 1997, Lelis *et al.* 2001, Nogueira *et al.* 2001, Nogueira & Costa 2003a, 2003b) e imagens de satélites (Gross 1987, Isacch *et al.* 2006). Várias características estruturais permitem mesmo a distinção de diferentes hábitats nas fotografias/imagens (Nogueira *et al.* 2001, Isacch *et al.* 2006). Vastas áreas têm sua cobertura dominada por poucas espécies, gerando uma estrutura espacial zonada ou em mosaico, relacionada a distintas condições de salinidade ou nível de alagamento, que limitam a distribuição e a abundância das plantas dominantes (Costa 1998a, 1998b, 1998c). Assim, as variações na distribuição espacial das plantas dominantes podem ser indicadores das condições ambientais locais e de distintos macrohábitats (Costa *et al.* 1997, Costa 1998a, Coimbra & Costa 2006).

Um outro fator determinante na distribuição e variação espaço-temporal das marismas e de suas funções ambientais é a ocupação humana em suas proximidades. Fatores como as expansões urbana e portuária dos municípios, as construções nas margens dos estuários, incluindo a de viveiros de cultivo de camarão, continuam representando ameaças de impactos às marismas remanescentes (Marangoni & Costa 2006). Nos últimos 150 anos, isto acarretou na destruição de extensas áreas de marismas e a perda de funções vitais de hábitat no estuário da Lagoa dos Patos, RS (Seeliger & Costa 1998, 2002). Uma alternativa para o monitoramento das marismas e a avaliação do impacto causado por processos naturais e antrópicos sobre suas extensões é a utilização dos recursos do Sensoriamento Remoto. As técnicas de Sensoriamento Remoto utilizando dados orbitais possibilitam uma avaliação periódica da dinâmica espacial da vegetação. Além disso, a escala espacial destas imagens possibilita a aquisição de informações de grandes áreas com um menor esforço de campo.

Apesar dos estudos realizados no estuário da Lagoa dos Patos demonstrarem o potencial do sensoriamento remoto para o monitoramento das marismas, não foi realizado até hoje nenhuma avaliação da variação temporal da resposta espectral da vegetação presente nestas áreas. Este é um aspecto-chave para o monitoramento destes ambientes através de imagens de satélite, principalmente em regiões subtropical-temperadas, devido às grandes flutuações sazonais da luz e da temperatura, que afetam o crescimento das plantas (Seeliger *et al.* 1998, Cunha *et al.* 2005), conseqüentemente na visualização aérea das áreas que elas recobrem. Adicionalmente, parâmetros como o NDVI (Índice Vegetacional de Diferença Normalizada; *Normalized Difference Vegetation Index*) podem ser estimados e relacionados com a biomassa aérea (Hardisky *et al.* 1984, Gross *et al.* 1987, Gross *et al.* 1990), permitindo avaliar este importante componente da produção primária e a contribuição das marismas para o ciclo de nutrientes e teia trófica estuarina (Seeliger *et al.* 1998, Abreu *et al.* 2006).

A disponibilidade regular de aquisição de imagens do satélite sino-brasileiro CBERS-2 da região estuarina da Lagoa dos Patos a cada 26 dias, torna possível a aplicação dos recursos de sensoriamento remoto para mapeamento e avaliação das mudanças locais ocorridas na distribuição da vegetação de marismas. Com uma resolução espacial de 20 m e um campo de visada de 113 km as imagens CCD/CBERS-2 podem recobrir a vastidão do estuário da Lagoa dos Patos e vir a eliminar a dificuldade de acesso para áreas afastadas das sedes de seus municípios, o que muitas vezes impedem a detecção destes impactos por órgãos ambientais. O desenvolvimento de uma ferramenta de sensoriamento remoto de baixo custo permitiria o monitoramento destas áreas estuarinas de grande importância econômica e ecológica.

Este trabalho visou caracterizar espectralmente as áreas de marismas dominadas por quatro (4) diferentes coberturas vegetais no estuário da Lagoa dos Patos, através de imagens CCD/CBERS-2. A análise espectral foi realizada através da análise da variação sazonal, verão-outono e inverno-primavera, das respostas espectrais das marismas, sendo os padrões observados relacionados com a fenologia das plantas dominantes e parâmetros físicos de superfície. Foi também testada a capacidade de estimativa de quantidade de biomassa vegetal em superfície a partir das imagens NDVI.

3.2 METODOLOGIA

3.2.1 - Coleta de dados Bióticos e Abióticos

Para a realização deste estudo, três marismas (Farol, Ilha da Pólvora e Saco da Mangueira) do estuário da Lagoa dos Patos (RS) foram visitadas em 2006, nos meses de Fevereiro e Abril (verão-outono) e novamente em Setembro e Novembro (invernoprimavera) (Figura 3.1). No estuário, a zona entremarés das marismas se estende por dezenas de metros, mas em um gradiente vertical menor do que a amplitude máxima da micromaré astronômica local, que não excede 0,5 m (Costa 1998a).

As marismas escolhidas pertencem a diferentes zonas do estuário, em termos da influência da água marinha (Costa 1998a) e possuem cobertura vegetal representativa da diversidade estrutural encontrada nas marismas do estuário da Lagoa dos Patos (Costa *et al.* 1997, Costa 1998a). A marisma do Farol, no município de São José do Norte (RS), caracteriza-se por altas salinidades das águas de alagamento (euhalina) e estrutura espacial marcadamente zonada (pisos inferior e superior, respectivamente, dominados pela grama *Spartina alterniflora* Loisel. e *Juncus kraussi* Hochst.) (Costa 1998a, Costa & Marangoni 2000, Nogueira & Costa 2003a). A marisma da Ilha da Pólvora, na parte meso-halina do estuário (próxima à cidade de Rio Grande, RS), apresenta maior diversidade de espécies e cobertura vegetal formada por mosaicos do arbusto *Myrsine parvifolia* A. Dc., *Spartina densiflora* Brongn., *S. alterniflora* e *Scirpus maritimus L.* (Costa *et al.* 1998a, Nogueira *et al.* 2001, Costa *et al.* 2003). A marisma do Saco da Mangueira localiza-se na parte mais interna desta enseada, na região mediana do estuário da Lagoa dos Patos. Ela apresenta extensas áreas dominadas

por *J. kraussii* e uma menor salinidade devido ao desagüe do Arroio Martins (Gaona *et al.* 1996).

Em janeiro de 2006, um total de 25 parcelas-alvo de 30 m x 30 m foram demarcadas e georeferenciadas, respectivamente, 5 nas marismas do Farol (dominadas por *S. alterniflora*), 15 na Ilha da Pólvora (5 por *S. alterniflora*, 5 por *S. densiflora* e 5 por *S. maritimus*) e 5 no Saco da Mangueira (recobertas por *J. kraussii*). Cada uma das parcelas-alvo foi identificada em campo com auxílio do GPS ETREX na projeção UTM, datum SAD 69 (Tabela 3.1). Foram coletadas 3 amostras superficiais de sedimento em cada parcela-alvo. Uma fração de 20g foi utilizada para verificação do teor de umidade através de secagem em estufa (60°C por 72 horas). A granulometria das amostras foi determinada através do peneiramento (grãos > 0,062 mm de diâmetro) e pipetagem (grãos < 0,062 mm de diâmetro), conforme Suguio (1973). O teor de matéria orgânica do solo foi determinado de uma alíquota de 10g do sedimento através da perda de peso após combustão em mufla à temperatura de 550°C por 6 horas (Brower & Zar 1977).

O levantamento topográfico de cada parcela-alvo (ponto central) foi efetuado com nível laser (FPM Holding GMBH). O monitoramento do nível, da salinidade e da turbidez da água do estuário é efetuado desde junho de 1992 em um mesmo ponto, na região mediana. O nível topográfico de cada parcela-alvo foi corrigido para o nível médio decadal da Lagoa NML, (Costa *et al.* 2003), graças à medida simultânea no ponto de monitoramento do nível da água. (Tabela 3.1)

Os dados de precipitação e de temperatura do ar do período de estudo foram obtidos através do Banco de Dados Meteorológicos do Laboratório de Meteorologia da Universidade Federal do Rio Grande - FURG.
As datas das coletas de biomassa aérea de cada espécie de vegetação de marismas, para cada período de estudo são apresentadas na Tabela 3.1. Posteriormente foi coletada ao longo de uma transversal de 30 m posicionada no centro da parcela-alvo a biomassa aérea contida em 3 quadrados de 0,5 m x 0.5 m posicionados aleatoriamente. Os componentes vivo e morto de cada espécie encontrada nos quadrados amostrais foram separados, lavados para remoção de sedimento, secos em estufa a 60 °C por 48 horas e pesados em balança de precisão ($\pm 0,01$ g).

Adicionalmente, para auxiliar na compreensão da dinâmica da biomassa vegetal coletada, foi calculada a razão entre as biomassa aérea morta e viva (RMV).

3.2.2 - Obtenção dos dados Orbitais CCD/CBERS-2

Os principais componentes da paisagem das três marismas do estuário da Lagoa dos Patos foram fotointerpretados e mapeados nos períodos de verão-outono e inverno-primavera de 2006 a partir de imagens capturadas pela câmara de alta resolução CCD (Couple Charged Device) do satélite CBERS-2. As imagens adquiridas foram obtidas com ausência de nuvens, órbita 157, ponto 136 nas datas de 15/01/06 e 23/11/06 representativas, respectivamente, para os períodos de estudo de verão-outono e inverno-primavera. As bandas do sensor CCD/CBERS-2 utilizadas foram: banda 1 (azul; 0,45 μ m - 0,52 μ m), banda 2 (verde; 0,52 μ m - 0,59 μ m), banda 3 (vermelho; 0,63 μ m - 0,69 μ m), banda 4 (infravermelho próximo; 0,77 μ m - 0,89 μ m). Estas imagens foram adquiridas gratuitamente através do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espacias) pelo endereço eletrônico: http://www.dgi.inpe.br/CDSR/n-index.php.

Após a obtenção das imagens CCD/CBERS-2, foram efetuadas correções atmosféricas e conversão dos números digitais (NDs) das imagens para FRBS (Fatores de Reflectância Bidirecional de Superfície) através da adaptação do programa SCORADIS (Sistema de Correção Atmosférica de Imagens de Satélite) (Zullo 1994). Este programa tem como base para correção atmosférica o modelo de transferência radiativa 5S "Simulation du Signal Satellitarie dans le Spectre Solarie" (Tanré *et al.* 1990) para as imagens CCD/CBERS-2 (Ponzoni *et al.* 2006).

Para a realização da correção atmosférica nas imagens CCD/CBERS-2, foram informados como entrada no programa SCORADIS os seguintes dados referentes às imagens estudadas: nome do arquivo a ser salvo com os dados atmosféricos; data da aquisição da imagem; horário da aquisição da imagem; longitude e latitude central da cena; modelo atmosférico (utilizamos o Tropical); modelo de aerossol (utilizamos o Marítimo); concentração de aerossóis (a partir da visibilidade em km); banda da imagem a ser corrigida.

Este procedimento foi realizado para as quatro bandas das imagens CCD/CBERS-2 (azul, verde, vermelho e infravermelho próximo), separadamente. O arquivo de correção atmosférica gerado para cada banda espectral, conforme descrito acima, foi utilizado para conversão dos NDs em Fator de Reflectância Bidirecional de Superfície, tendo como dados de entrada no programa SCORADIS os seguintes parâmetros: arquivo de dados atmosféricos (gerado na etapa anterior); nome da imagem; número de linhas e colunas da imagem; nome da imagem de saída.

No final deste procedimento, obteve-se uma imagem com os FRBS, para cada banda analisada. Estas imagens foram importadas para o programa SPRING onde foi realizado o georeferenciamento e a leitura de pixel de cada parcela-alvo estudada, a partir da sua coordenada geográfica, para obtenção do FRBS.

No aplicativo SPRING foi gerado um banco de dados para as imagens a serem utilizadas (Câmara *et al.* 1996). Sobre as imagens inseridas no banco de dados foi realizada a identificação dos locais de estudo e o georeferenciamento com base no banco de dados georeferenciado do Projeto SIGMAR (Nogueira, 2003). Foi utilizada a projeção UTM, Datum SAD69 (South American Datum) e no mínimo 6 pontos de controle distribuídos ao longo da imagem. Foi obtido um erro máximo de georeferenciamento de 6,5 m (0,35 pixel), semelhante ao erro aceitável de 0,5 pixel para áreas urbanas, com facilidade de encontrar pontos para o georeferenciamento (Câmara *et al.* 1996). A validação do georeferenciamento foi realizada através da localização de 25 pontos de controle coletados em campo, com o GPS Etrex de navegação, na mesma projeção e Datum do georeferenciamento.

Tendo em vista que o índice NDVI (Índice Vegetacional de Diferença Normalizada; *Normalized Difference Vegetation Index*) é o mais utilizado para a avaliação do vigor da cobertura vegetal (Moreira 2001, Ponzoni & Shimabukuro 2007), seus valores foram estimados para cada parcela-alvo nas imagens CCD/CBERS-2 dos períodos de verão-outono e de inverno-primavera. Imagens NDVI foram geradas a partir da imagem FRBS, utilizando uma rotina escrita na Linguagem LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) do aplicativo SPRING, com base nos valores do FRBS, empregando a equação [1]:

$$NDVI = (FRBS_4 - FRBS_3)/(FRBS_4 + FRBS_3)$$
[1]

Onde:

FRBS₄ corresponde ao Fator de Reflectância Bidirecional de Superfície da banda do infravermelho próximo;

FRBS₃ corresponde ao Fator de Reflectância Bidirecional de Superfície da banda do vermelho.

Posteriormente, o valor NDVI de cada parcela-alvo foi obtido em seu ponto de geoposicionamento.

3.2.3 - Caracterização Espectral das Marismas

Em cada imagem georeferenciada, para cada período de estudo, as parcelasalvo foram localizadas, através de sua coordenada geográfica e o FRBS nas bandas azul, verde, vermelho e infravermelho próximo da câmara CCD/CBERS-2 e da imagem NDVI foram coletados através do modo de leitura de pixel do aplicativo SPRING.

Para caracterizar a resposta espectral de cada uma das áreas vegetadas de marismas do ELP (*S. densiflora*, *S. maritimus*, *S. alterniflora* e *J. kraussii*) e verificar a existências de diferenças sazonais significativas destas respostas, os valores de FRBS para as bandas do azul, verde, vermelho e infravermelho próximo, bem como de NDVI das parcelas-alvo foram comparados através da Análise de Variância (ANOVA) Bifatoriais para medidas repetidas (Zar 1984), entre as espécies e a variação sazonal. Foi também considerada no modelo da ANOVA a interação Espécie x Sazonal. Estas ANOVAs não foram balanceadas uma vez que foram consideradas 10 parcelas-alvo de *S. alterniflora* e 5 parcelas-alvo para as demais espécies. Os dados espectrais utilizados nesta análise apresentaram normalidade (Kolmogorov-Smirnov; p > 0,05) e

homocedasticidade (Levene's; p > 0,05) (Zar 1984). Nas ANOVAs que ocorreram diferenças significativas (p < 0,05), entre níveis dos fatores ou interação, foi aplicado o teste post-hoc de Fisher (LSD), para verificar as possíveis diferenças entre níveis dos tratamentos.

A capacidade das combinações lineares dos valores de FRBS das quatro bandas espectrais distinguirem as parcelas-alvo dominadas pelas diferentes espécies (grupos) foi testada através de Análise Discriminante. Foram efetuadas análises separadas para os dados de verão-outono e de inverno-primavera. A discriminação entre os centróides dos grupos de parcelas-alvo de cada espécie, foi avaliada pelo teste de Wilk's Lambda (Manly 1986).

A capacidade de distinção das parcelas-alvo das espécies pelas suas respostas espectrais (FRBS) também foi testada através de análise de Escala Multidimensional não Métrica (MDS), como forma de validação do resultado da Análise de Discriminante. A análise MDS é uma ordenação multivariada sem exigência de normalidade das parcelas-alvo conforme a dissimilaridade de suas respostas espectrais nas bandas analisadas, calculada pelo índice de Distância Euclidiana (Clark *et al.* 1997). Pares de amostras foram plotados conforme um "ranking" de dissimilaridade em gráfico bidimensional e as distancias entre os grupos de espécies foram calculadas. As diferenças entre os grupos (espécies) formados pela disposição das parcelas-alvo foram testadas através da Análise de Similaridade (ANOSIM, ao nível de significância de 0,05). As análises foram efetuadas com auxílio do aplicativo Primer v. 6 (Clark *et al.* 1997), sendo calculados os valores da estatística R ANOSIM indicadora do grau de distinção entre grupos (espécies) tanto global como para pares de espécies.

A influência das variáveis bióticas e abióticas de superfície nos FRBS e NDVI das parcelas-alvo, nos dois períodos estudados, foi verificada através de Regressão Múltipla Linear. Estas regressões foram realizadas entre os FRBS e NDVIs das bandas analisadas e os valores dos componentes da biomassa aérea, topografia, freqüência de alagamento, cobertura visual e granulometria do sedimento. Antes de realizar a Análise de Regressão Múltipla, foi verificada a ocorrência de correlações significativas entre os fatores bióticos e abióticos de superfície através de uma Matriz de Correlação Linear de Pearson (p < 0.05). Tendo em vista a colinearidade de muitos destes fatores, foram incluídos na Regressão Múltipla apenas variáveis com menor correlação entre si. Foram escolhidas para representar as características bióticas, a biomassa viva (BV) e a RMV, as condições do solo foram representadas pelo teor de argila, de umidade do sedimento e o nível topográfico (em relação ao NML) das parcelas-alvo na data da imagem. As variáveis BV e RMV, inseridas na análise, foram transformadas, respectivamente, $\log_{10}(x) = \log_{10}(10x)$ para atender ao pré-requisito de normalidade dos dados (Zar 1984) utilizando através do teste de Kolmogorov-Smirnov (p < 0.05). Apenas as variáveis independentes que apresentaram diferença significativa entre parcelas-alvo de diferentes espécies foram introduzidas no modelo de Regressão Múltipla (p < 0.05).

3.2.4 - Estimativa de Biomassa Aérea das Marismas Através de Dados Espectrais CCD/CBERS-2

A relação entre os valores de NDVI e os dados de biomassa aérea viva, amostrados em campo, de cada parcela-alvo, foi verificada através de regressões lineares nos dois períodos de estudo (Zar 1984).

Estimativas das biomassas aéreas das marismas (gPeso Seco m⁻²) obtidas, a partir destas regressões lineares, foram utilizadas para gerar mapas temáticos da espacialização da biomassa aérea das marismas, para cada período de estudo, através da Linguagem de Programação LEGAL do aplicativo SPRING 4.0 (Câmara *et al.* 1996), que gera uma grade numérica com os valores de biomassa calculados para cada pixel. Ainda no ambiente SPRING, através da determinação de limiares de fatiamento, as grades numéricas foram transformadas em mapas temáticos de distribuição espacial da biomassa aérea viva, obedecendo as seguintes classes (g m⁻²): 0,1-500, 501-1000, 1001-1500, 1501-2000, 2001-3000. As classes foram definidas de acordo com os valores de biomassa viva coletadas em campo, em ambos os períodos de estudo. A partir destes valores definiu-se os limites superior e inferior das classes, bem como o intervalo de 500 g m⁻², de forma que todas as classes de biomassa possuíam valores estimados.

3.3.1 Variabilidade Espaço-sazonal dos Parâmetros de Superfície

3.3.1.1 Características Topográficas e do Sedimento das Parcelas-alvo

Os ambientes colonizados por *S. alterniflora* e *J. kraussii* apresentaram, respectivamente, as maiores amplitudes topográficas (NML - m) entre suas parcelasalvo (0,15 m e 0,12 m), enquanto as parcelas alvo de *S. densiflora* (0,07 m) e *S. maritimus* (0,03 m) apresentaram as menores amplitudes (Tabela 3.2). As alturas topográficas de cada local estudado permitiram estimar a freqüência de alagamento destas áreas, onde se observa que as áreas cobertas por *S. alterniflora* ficam mais tempo alagadas (35,14 %), enquanto e as parcelas-alvo de *J. kraussi* (17,81%) e *S. maritimus* (17,60%) ficam menos tempo alagadas.

As parcelas-alvo colonizadas por *S. alterniflora* apresentaram os maiores teores de silte $(33,30 \pm 11,65)$ e argila $(53,48 \pm 13,21)$, bem como os menores teores de areia $(13,23 \pm 11,41)$ As parcela-alvo de *J. kraussii* apresentaram os maiores valores percentuais de matéria orgânica no sedimento superficial $(61,84 \pm 24,21)$ (Tabela 3.2).

Os maiores valores de teor de umidade do solo foram observados no período de inverno-primavera, para todas as espécies (médias entre 58,21 e 72,81 %) (Tabela 3.2).

3.3.1.2- Variação Espaço-Sazonal da Biomassa

As parcela-alvo apresentaram, de forma geral, coberturas monoespecíficas, exceto pelas parcelas-alvo de *S. maritimus* que demonstram uma grande proporção de biomassa de *S. densiflora* (média global = $82,0 \pm 5,6\%$), e uma parcela de *S. alterniflora*, localizada a 0,11 m NML na marisma do Farol, que apresentou ocorrência de *Paspalum vaginatum* (média global = $31,1 \pm 41,5\%$). A biomassa aérea total das parcelas-alvo das marismas, no período de verão-outono, variou de 256 a 4705 g m⁻² e no período de inverno-primavera variou de 51 a 4782 g m⁻². Os maiores e menores valores médios observados, em ambos os períodos foram, respectivamente, nas áreas dominadas por *J. krauss*i e *S. alterniflora* (Tabela 3.3). Todas as espécies apresentaram redução nos valores de biomassa aérea viva e aumento de biomassa aérea morta no período de inverno-primavera. Neste período foram observados os maiores valores médios de biomassa aérea morta (exceto para *S. alterniflora*) e de RMV, indicando dominância do detrito sobre a biomassa aérea viva (Tabela 3.3).

3.3.2 – Caracterização Espectral

Os valores de FRBS das parcelas-alvo de cada planta dominante de marismas, para cada período de estudo, são mostrado na Figura 3.2 A e B. Todas as bandas espectrais analisadas e o NDVI apresentaram diferenças estatísticas significativas (p< 0,05) entre as espécies e entre os períodos (Sazonal, FRBS e NDVI menores no inverno-primavera) conforme Análise de Variância (Tabela 3.4). Exceto para o NDVI, as interações entre estes fatores foram significativas (p< 0,05), sugerindo que as parcelas-alvo de cada espécie apresentam alterações na reflectância com distintas magnitudes entre as estações do ano. Por exemplo, a queda da FRBS da banda do infravermelho próximo entre verão-outono e inverno-primavera é muito mais acentuada nas parcelas-alvo de *S. alterniflora*. Observou-se ainda, que os maiores valores de FRBS na região do infravermelho próximo e os menores na região do visível, em ambos os períodos analisados, ocorrem nas parcelas-alvo de *J. kraussii*.

Àreas recobertas por *S. densiflora* e *S. maritimus* (esta última também com muita representatividade de *S. densiflora*), apresentaram comportamentos espectrais, em ambos os períodos do ano, semelhantes em todas as bandas avaliadas (teste a posteriori Fisher LSD). Parcelas-alvo dominadas por *J. kraussii* e por *S. alterniflora* apresentaram comportamentos semelhantes no período de verão-outono para a região espectral do visível (Figura 3.2 A). Entretanto, *J. kraussii* apresentou os maiores valores espectrais na região espectral do infravermelho, em ambos os períodos de estudo, distinguindo-se das demais espécies. A análise visual da Figura 3.2 B apresenta uma maior distinção entre os valores espectrais das parcelas-alvo no período inverno-primavera, para a banda do infravermelho próximo, onde as espécies puderam ser separadas em três grupos: *J. kraussii, S. alterniflora* e *S. densiflora - S. maritimus*. O NDVI do *J. kraussii* no período de inverno-primavera, foi também significativamente (p < 0,05) diferente das demais espécies (Tabela 3.4; LSD).

Em ambos os períodos de estudo, a Análise (multivariada) de Discriminante demonstrou que as bandas do azul e infravermelho próximo foram as principais responsáveis pela discriminação entre as espécies (Tabela 3.5) e duas funções significativas (p < 0.05) foram geradas (Tabela 3.6).

Para o período de verão-outono, a primeira função discriminante (FD1) foi gerada a partir da combinação destas bandas explicando 56% da variação espectral encontrada. A banda espectral do azul (r = 0,97, FD1) conseguiu separar as espécies *S. alterniflora* e *J. kraussii* de *S. densiflora* e *S. maritimus*, com a introdução da banda espectral do infravermelho na equação (r = -0,38, FD1) foi possível distinguir *S. alterniflora* de *J. kraussii* (Tabela 3.6) (Figura 3.3 A). No período de inverno-primavera, apenas a banda do azul foi significativa (p < 0,05) para gerar a FD1, explicando 72% da variação encontrada (Tabela 3.6). Para ambos os períodos analisados, foi possível identificar três grupos distintos de parcelas-alvo formados, respectivamente, por *S. alterniflora, J. kraussii* e *S. densiflora - S. maritimus* e uma menor sobreposição destes grupos, no período de inverno-primavera (Figura 3.3 A e B).

A variabilidade espacial das amostras, através dos valores de FRBS, apresentada na análise MDS, foi semelhante em ambos os períodos de estudo (R = 0,46) (Figura 3.4). Através da análise ANOSIM (p < 0,05) foi possível identificar, para o período de verão-outono, as parcelas-alvo de *J. kraussii* e *S. densiflora* foram diferenciadas, mas as de *S. alterniflora* e *S. maritimus* não puderam ser separadas significativamente (R = 0,18; p = 0,10) (Figura 3.4 A). No período de invernoprimavera, a Análise ANOSIM encontrou os mesmos grupos encontrados a partir da Análise Discriminante (*S. alterniflora, J. kraussii, S. densiflora - S. maritimus*) (Figura 3.4 B).

As diferenças nos resultados MDS e da Análise Discriminante, somente no verão-outono e na distinção entre parcelas-alvo de *S. alterniflora* e *S. maritimus,* parecem indicar uma maior sensibilidade da Análise Discriminante a dispersão dos dados de FRBS.

Análises de Regressão Múltipla foram realizadas para verificar os principais parâmetros abióticos e bióticos de superfície determinantes das diferenças espectrais detectada pelo sensor CCD/CBERS-2 (Tabela 3.7). Cada banda espectral e o NDVI apresentaram diferentes fatores que explicaram as variações ocorridas nos dois períodos de estudo. A faixa espectral do visível foi afetada principalmente pela RMV, tanto no período de verão-outono, como no de inverno-primavera (Tabela 3.7). Exceção ocorreu no período de verão-outono, quando a US foi o principal responsável pelas variações espectrais ocorridas nas bandas do azul e verde. Os FRBS do infravermelho apresentaram alta correlação com o NML do dia de passagem do satélite e com teor de umidade, no período de inverno-primavera, e com a BV no período de verão-outono. O NDVI contabilizou a maior variação explicada, em ambos os períodos do ano pela BV.

A combinação das funções FD1 e FD2, geradas a partir da Análise de Discriminante para ambos os períodos de estudo, apresentam a formação dos três grupos de espécies descritos acima.

3.3.3 NDVI e Espacialização da Biomassa das Marismas do Estuário da Lagoa dos Patos

O NDVI apresentou correlação significativa (p < 0,05) e positiva com os valores de biomassa aérea viva, nos dois períodos amostrais. Os valores de NDVI foram maiores no período de verão-outono, onde foram registrados os maiores valores de biomassa aérea das espécies estudadas (Figura 3.5 A). Para o período de inverno-primavera, valores de NDVI menores do que 0,15 não foram considerados para a estimativa de biomassa (Figura 3.5 B), uma vez que se observa a tendência linear

somente acima deste limiar, sugerindo que os valores de biomassa gerados com NDVI abaixo de 0,15 expressam algum ruído presente no pixel da parcela-alvo analisada.

A estimativa da biomassa aérea viva nos locais amostrados, a partir das equações de regressão linear entre este parâmetro e o NDVI, demonstrou uma diminuição espacial das margens das marismas estudadas (não detecção de biomassa), no período de inverno-primavera, principalmente na Ilha da Pólvora e Farol (Figura 3.6). Para este mesmo período, observou-se uma redução dos valores estimados para a biomassa aérea viva (g m⁻²), a partir do NDVI das imagens CBERS-2, tanto na Ilha da Pólvora como no Saco da Mangueira. A vegetação do piso entremarés superior das marismas do Farol, apresentaram biomassa aérea viva estimada maior no período de inverno-primavera (Figura 3.6).

Tabela 3.1: Posicionamento geográfico das parcelas-alvo (P); coordenadas UTM e datas das coletas de biomassa aérea das espécies de plantas dominantes da cobertura vegetal das marismas estudadas no estuário Lagoa dos Patos (Ilha da Pólvora - Ilha, Farol de São José do Norte - Farol e Saco da Mangueira - Mang.) nos períodos de verão-outono (V/O) e inverno-primavera (I/P) de 2006.

Espécie	Local	Р	X(m)	Y(m)	V/O	I/P	
		1	395769	6456793			
S. densiflora		2	395731	6456953			
	Ilha	3	395704	6456942	14/02/06	05/09/06	
		4	395648	6456920			
		5	395650	6456981			
		6	395675	6456838			
		7	395717	6456810			
S. maritimus	Ilha	8	395760	6456757	20/02/06	05/09/06	
		9	395817	6456751			
		10	395831	6456734			
S. alterniflora	Ilha	11	395953	6456689			
		12	395987	6456715			
		13	396075	6456678	20/02/2006	19/09/2006	
		14	396061	6456591			
		15	396053	6456547			
		16	398753	6446554			
~		17	398649	6446441			
S. alterniflora	Farol	18	398604	6446413	03/03/2006	11/10/2006	
		19	398625	6446400			
		20	398560	6446377			
J. kraussii		21	390800	6447117			
		22	390835	6447073			
	Mang.	23	391030	6447202	17/04/06	03/11/06	
		24	391022	6447151			
		25	390986	6447100			

Tabela 3.2: Caracterização das condições médias (± desvio padrão; DP), mínimas e máximas de altura topográfica, freqüência de alagamento, granulometria e teor de matéria orgânica do sedimento das parcelas-alvo de marismas do estuário da Lagoa dos Patos (RS), vegetadas pelas espécies *S. alterniflora, S. densiflora, S. maritimus* e *J. kraussii*, analisadas quanto a respostas espectral na imagem CCD/CBERS-2.

		S. alteri	niflora			S. dens	siflora			S. mari	itimus			J. krai	ıssii	
Caracterização Local	Média	(±SD)	Min.	Max.	Média	(±SD)	Min.	Max.	Média	(±SD)	Min.	Max.	Média	(±SD)	Min.	Max.
AT - NML (m)	0,05	0,06	-0,04	0,11	0,15	0,03	0,11	0,19	0,19	0,01	0,18	0,21	0,19	0,05	0,12	0,24
Freq. Alag. (%)	35,14	9,04	26,43	50,54	22,69	3,83	18,14	26,82	17,60	1,86	15,02	19,70	17,81	5,53	12,38	25,52
Areia (%)	13,23	11,41	1,47	44,22	43,74	15,23	27,10	72,76	49,68	12,03	34,37	72,73	39,08	31,06	0,00	89,62
Silte (%)	33,30	11,65	17,09	64,62	12,47	5,25	4,32	21,80	16,55	7,10	2,42	30,27	21,63	13,89	2,37	47,85
Argila (%)	53,49	13,21	25,80	74,57	43,79	12,87	21,72	64,41	33,77	8,10	20,76	46,57	39,29	22,32	6,75	82,90
MO (%)	30,67	11,76	11,30	53,90	30,33	9,94	16,40	50,70	22,72	19,34	9,20	78,30	61,84	24,21	9,70	82,40
Parâmetros Sazonais nas colet	as															
Verão/Outono																
US (Verão)	65,25	12,98	36,90	82,40	62,63	4,97	49,80	75,10	55,08	3,48	34,30	70,20	80,03	6,13	68,50	88,70
Alag. no dia (m)	-0,34	0,07	-0,43	-0,22	-0,31	0,03	-0,35	-0,27	-0,50	0,02	-0,53	-0,48	-0,15	0,05	-0,20	-0,08
Alag. na semana anterior (m)	-0,21	0,12	-0,43	0,03	-0,22	0,22	-0,50	0,23	-0,37	0,09	-0,53	-0,23	-0,17	0,15	-0,40	0,12
Prec. no dia (mm)	41,80	-	-	-	0,00	-	-	-	0,00	-	-	-	0,00	-	-	-
Prec. da semana anterior (mm)	119,20	-	-	-	0,00	-	-	-	0,03	-	-	-	2,23	-	-	-
Inverno/Primavera																
US (Inverno)	72,81	6,58	60,69	83,53	71,45	8,36	53,20	83,13	58,21	8,48	30,40	75,93	72,27	15,82	39,12	88,81
Alag. no dia (m)	-0,02	0,05	-0,07	0,08	-0,21	0,03	-0,25	-0,17	-0,25	0,07	-0,28	-0,13	-0,50	0,05	-0,55	-0,43
Alag. na semana anterior (m)	-0,13	0,17	-0,47	0,21	-0,13	0,09	-0,30	0,03	-0,11	0,12	-0,35	0,07	-0,45	0,10	-0,60	-0,23
Prec. no dia (mm)	5,40	-	-	-	0,03	-	-	-	0,00	-	-	-	0,00	-	-	-
Prec. da semana anterior (mm)	95,80	-	-	-	1,85	-	-	-	12,62	-	-	-	1,29	-	-	-
Parâmetros Sazonais na Passagem	do Satél	ite														
Verão/Outono																
Alag. no dia (m)	-0,38	0,05	-0,44	-0,29	-0,46	-0,50	-0,42	0,03	-0,50	0,02	-0,53	-0,48	-0,50	0,05	-0,55	-0,43
Alag. na semana anterior (m)	-0,20	0,11	-0,39	0,01	-0,28	0,11	-0,45	-0,07	-0,32	0,11	-0,48	-0,13	-0,32	0,11	-0,50	-0,08
Prec. Na passagem (mm)	29,20	-	-	-	29,20	-	-	-	29,20	-	-	-	29,20	-	-	-
Prec. da semana anterior (mm)	127,40	-	-	-	127,40	-	-	-	127,40	-	-	-	127,40	-	-	-
Inverno/Primavera																
Alag. no dia (m)	-0,33	0,05	-0,39	-0,24	-0,41	-0,45	-0,37	0,03	-0,45	0,02	-0,48	-0,43	-0,45	0,05	-0,50	-0,38
Alag. na semana anterior (m)	-0,27	0,09	-0,44	0,09	-0,35	0,09	-0,50	-0,22	-0,39	0,08	-0,53	-0,28	-0,39	0,10	-0,55	-0,23
Prec. Na passagem (mm)	0,00	-	-	-	0,00	-	-	-	0,00	-	-	-	0,00	-	-	-
Prec. da semana anterior (mm)	34,80	-	-	-	34,80	-	-	-	34,80	-	-	-	34,80	-	-	-

Tabela 3.3: Dados médios e desvio padrão (DP) dos componentes de biomassa aérea viva (BV), morta (BM), total (BT) e razão entre as biomassa aérea morta e viva (RMV) em g m⁻², das parcelas-alvo de marismas do estuário da Lagoa dos Patos, vegetadas respectivamente por: *S. alterniflora, S. densiflora, S. maritimus* e *J. kraussii.*

	S. alterniflora	S. densiflora	S. maritimus	J. kraussii
Verão/Outono	Média (±DP)	Média (±DP)	Média (±DP)	Média (±DP)
BV	415,4 ± 163,1	523,6 ± 280,8	661,2 ± 235,2	1945,2 ± 825,6
	(170,2 - 912,5)	(133,2 - 1276,8)	(321,56 - 1178,2)	(677,04 - 2883,9)
BM	581,6 ± 414,1	1471,8 ± 394,2	1554,0 ± 359,2	1644,2 ± 741,8
	(86,28 - 1674,3)	(845,2 - 2417,1)	(985,76 - 2191,3)	(629,92 - 2986,4)
BT	997,0 ± 530,5	1995,5 ± 595,8	2215,3 ± 461,1	3589,4 ± 1404,5
	(256,48 - 2586,7)	(1021,4 - 3140,3)	(1585,52 - 3100,72)	(1306,96 - 4705,28)
RMV	1,4 ± 0,9	3,3 ± 1,2	2,7 ± 1,3	0,9 ± 0,4
	(0,5 - 4,5)	(1,2 - 6,7)	(1,2 - 6,3)	(0,5 - 2,1)
Inverno/Primavera				
BV	126,1 ± 64,6	314,1 ± 118,1	224,0 ± 94,3	1647,7 ± 868,2
	(31,4 - 243,9)	(158,6 - 513,8)	(129,4 - 495,8)	(607,9 - 2993)
BM	502,7 ± 276,1	1701,0 ± 437,1	1620,5 ± 352,2	1717,9 ± 710,9
	(19,6 - 870,3)	(1034,76 - 2689,7)	(1194,7 - 2609,1)	(649,4 - 3166,1)
BT	628,8 ± 317,9	2015,1 ± 488,9	1844,5 ± 421,5	3365,7 ± 1225,8
	(51,1 - 1042,9)	(1386,9 - 3203,5)	(1333,7 - 3104,8)	(1934,3 - 4782,7)
RMV	4,2 ± 2,2	6,1 ± 2,4	8,0 ± 2,5	1,4 ± 1,0
	(0,6 - 9,4)	(2,8 - 10,7)	(4,6 - 12,2)	(0,3 - 3,3)

Tabela 3.4: ANOVA de medidas repetidas das bandas do azul (B1), do verde (B2), do vermelho (B3) e do infravermelho próximo (B4) e NDVI entre os locais (Espécie), entre os períodos de verão-outono e inverno-primavera (Sazonal) e interação entre os períodos estudados e os locais de coleta (Espécie*Sazonal), *** p < 0,001; ** p<0,01; n.s.; não significativo.

		Azu	l (B1)	Verd	le (B2)	Verme	elho (B3)	Infraverm	elho (B4)	N	IDVI
Efeitos	GL	SQ	F	SQ	F	SQ	F	SQ	F	SQ	F
Espécie	4	334,20	29,94***	125,48	31,37***	258,52	64,63***	2030,60	6,97***	0,50	12,91***
Sazonal	1	5,12	8,39***	10,58	10,58***	359,12	359,12***	141,12	31,22***	0,37	349,5***
Espécie*Sazonal	4	28,68	11,75***	6,12	1,53***	13,88	3,47***	73,48	4,06**	0,01	1,92 n.s.
Residual Espécie	20	55,80		33,80		51,80		1456,40		0,19	
Residual Sazonal	20	12,20		7,80		15,00		90,40		0,02	

Tabela 3.5: Análise Discriminante das espécies estudadas: *S. alterniflora* (S.a), *S. densiflora* (S.d), *S. maritimus* (S.m) e *J. kraussii* (J.k), através das bandas espectrais do azul (B1), do verde (B2), do vermelho (B3) e do infravermelho próximo (B4)
CCD/CBERS-2, *** p < 0,001; ** p<0,01; n.s.; não significativo.

Período	Variável	Wilks' Lambda	F	S.a	S.d	S.m	J.k
	B1	0,24***	17,90**	А	В	В	А
Verão/Outono	B4	0,22***	10,50**	А	В	В	С
	B3	0,10 n.s.	1,12 n.s.	А	В	В	С
	B2	0,09 n.s.	0,49 n.s.	А	В	В	С
	B1	0,12**	36,27***	А	В	В	С
Inverno/Primavera	B4	0,13***	6,81***	А	В	В	С
	B2	0,07 n.s.	1,20 n.s.	А	В	В	С
	B 3	0,06 n.s.	1,77 n.s.	А	В	В	С

Tabela 3.6: Análise Discriminante das espécies estudadas através das bandas espectrais do azul (B1), do verde (B2), do vermelho (B3) e do infravermelho próximo (B4) CCD/CBERS-2, ***p < 0,001; * p< 0,05.

Período	Auto Valores (%)	Função	Variável	r	Coeficiente Não- Padronizado
	56*	FD1	B1	0,97	0,62
Verão/Outono	00	1 D I	B4	-0,38	-0,03
	44*	FD2	B4	0,79	0,16
Inverno/Primavera	72***	FD1	B1	0,99	0,62
	28***	FD2	B4	0,70	0,16

Tabela 3.7: Valores estatísticos da Regressão Múltipla aplicada aos dados de FRBS das bandas do azul (B1), do verde (B2), do vermelho (B3) e do infravermelho próximo (B4) e NDVI, das imagens CCD/CBERS-2, utilizando os dados de RMV= razão entre as biomassas aérea morta e viva; US = umidade do solo; Argila; nível_sat = nível de água das áreas amostradas na passagem do satélite e BV= biomassa viva; r² (coeficiente de determinação); b (parâmetro de declividade da reta); EP (Erro Padrão); # variáveis não demonstraram relação significativa com o parâmetro espectral.

	verão/	outono	inverno/primavera					
Variável	r ² parcial	b±EP	r ² parcial	b±EP				
Banda 1								
RMV	0,12	+3,69 ± 1,46	0,58	+4,78 ± 1,36				
US	0,45	-0,04 ± 0,01	0,11	-0,08± 0,02				
Argila	#	-	0,06	+0,07 ± 0,03				
	r² total = 0,57		r^{2} total = 0,75					
Banda 2								
RMV	0,09	-2,21 ± 1	0,65	+4,66 ± 0,56				
nível_sat	#	-	0,10	+0,09 ± 0,02				
Argila	0,13	+0,04 ± 0,01	0,13	+0,07 ± 0,01				
US	0,39	-0,04 ± 0,02	0,02	-0,02 ± 0,01				
	r ² total = 0,61		r^{2} total = 0,90					
Banda 3								
RMV	0,45	+5,38 ± 1,23	0,60	+7,87 ± 0,67				
nível_sat	#	-	0,14	-0,21 ± 0,03				
Argila	#	-	0,14	+0,09 ± 0,01				
	r² total = 0,45		r^{2} total = 0,88					
Banda 4								
nível_sat	#	-	0,42	-0,96 ± 0,17				
US	#	-	0,16	+0,17 ± 0,06				
BV	0,38	+19,32 ± 5,08	#	-				
	r ² total = 0,38		r^{2} total = 0,58					
NDVI								
BV	0,35	+0,21 ± 0,06	0,40	-0,27 ± 0,05				
US	0,16	+0,02 ± 0,0007	0,15	-0,04 ± 0,001				
	r² total = 0,51		r^{2} total = 0,55					



FIGURA 3.1: Localização geográfica da área de estudo, e parcelas-alvo avaliadas (+) nos períodos de verão-outono e inverno-primavera, no estuário da Lagoa dos Patos, região Sul do Rio Grande do Sul. (Imagem CCD/CBERS-2 - NDVI)



FIGURA 3.2: Valores médios do FRBS de cada espécie, para cada banda espectral da imagem CCD/CBERS-2, azul (B1), verde (B2), vermelho (B3) e infravermelho próximo (B4), representativos dos períodos de verão-outono (A) e inverno-primavera (B).



FIGURA 3.3: Análise de Discriminante aplicada aos dados de FRBS CCD/CBERS-2 de cada planta dominante para os períodos de verão-outono (A) e inverno-primavera (B). Linha tracejada representa a sobreposição dos grupos de espécies identificadas na análise



FIGURA 3.4: Análise de Escalonamento Multidimensional (MDS - Multi Dimensional Scaling) de FRBS CCD/CBERS-2 de cada planta dominante (*S. densiflora, S. maritimus* e *J. kraussii*) para os períodos de verão-outono (A) e inverno-primavera (B).



FIGURA 3.5: Relação Linear entre o NDVI e a biomassa viva aérea das marismas do estuário da Lagoa dos Patos para os períodos de verão-outono (A) e inverno-primavera (B).



FIGURA 3.6: Distribuição espacial da biomassa aérea viva das marismas dos locais amostrados no estuário da Lagoa dos Patos, estimada através do NDVI para os períodos de verão-outono e inverno-primavera.

3.4 DISCUSSÃO

Todas as espécies analisadas, em ambos os períodos de estudo, apresentaram valores de FRBS na região do visível baixos em comparação com aos valores na região espectral do infravermelho próximo. Este padrão geral está relacionado, principalmente, a maior absorção da radiação solar pela vegetação nos comprimentos de onda do visível do que no infravermelho próximo (Ponzoni & Shimabukuro 2007). Os maiores valores de biomassa observados foram, em ordem decrescente, nas parcelas-alvo de J. kraussii, S. densiflora, S. maritimus e S. alterniflora, que apresentaram, nesta mesma ordem, os maiores valores de FRBS no infravermelho próximo e os menores FRBS no visível, com exceção na S. alterniflora, que no visível apresentou FRBS semelhantes ao J. kraussii. O aumento da biomassa sobre o dossel ocasiona um aumento no espalhamento da radiação devido ao maior número da camada de folhas, o que provoca um aumento da reflectância na região do infravermelho. Este fenômeno denominado de espalhamento múltiplo (Ponzoni & Shimabukuro 2007) e as diferenças nas produtividades das marismas das diferentes espécies estudadas (Gaona et al. 1996, Costa 1998b, 1998c, Seeliger et al. 1998, Peixoto & Costa 2004, Cunha et al. 2005) podem explicar a hierarquia de FRBS do infravermelho próximo entre as espécies.

A semelhança espectral no visível entre *S. alterniflora* e *J. kraussii* parece resultar de seus menores valores de RMV em relação aos observados para *S. densiflora* e *S. maritimus*, em ambos os períodos de estudo. A exposição de estruturas fotossintetizantes menos recobertas de detritos em *S. alterniflora* e *J. kraussii* faz com que a absorção por suas parcelas-alvo, principalmente no azul e vermelho, seja mais acentuada (Ponzoni & Shimabukuro 2007, Salisbury & Ross 1991), consequentemente refletindo menos nestas bandas espectrais. Estas respostas de diminuição do FRBS no visível e de aumento no infravermelho próximo foram observadas em outros estudos de cobertura vegetal herbácea, quando ocorreu um estímulo ao aumento de biomassa aérea viva (fotossintetizante). Semelhantes resultados são descritos para marismas de *S. alterniflora* irrigadas com efluente de esgoto não salino (reduzindo limitação de nutrientes e o estresse salino) (Hardisk *et al.* 1983), bem como para pastos da grama *Paspalum notatum* submetidos a enriquecimento por adubação nitrogenada (Fonseca *et al.* 2002).

Através da combinação das bandas espectrais do azul e infravermelho próximo foi possível identificar, através de Análise Discriminante e de Análise MDS, três grupos formados por parcelas-alvo de *J. kraussii*, *S. alterniflora* e *S. densiflora - S. maritimus*. A partir das regressões múltiplas ficou demonstrado que o índice RMV afeta marcadamente a resposta espectral, contribuindo significativamente para a separação das espécies avaliadas. A diversidade fisiográfica e os alagamentos irregulares ocorridos nas áreas de marismas do estuário da Lagoa dos Patos (Costa 1998a,1998b), afetam o acúmulo de biomassa sobre estas áreas, originando diferenças espectrais capazes de serem identificadas pelo sensor CCD/CBERS-2.

O padrão vertical observado das espécies de plantas de marismas estudadas neste trabalho é compatível com os dados anteriormente descritos para o estuário da Lagoa dos Patos. As marismas inferiores, dominadas por *S. alterniflora* possuem uma forma de crescimento espaçado, deixando grande parte do solo exposto, por situarem-se nas zonas mais baixas, o acúmulo de biomassa morta é menor, uma vez que grande parte deste material é exportado através das marés, para as águas adjacentes (Seeliger *et al.* 1998,

Cunha et al. 2005). Para o período de inverno-primavera a discriminação entre as espécies ocorre principalmente pelo RMV, porém é ainda maior quando consideramos o alagamento das áreas estudadas, na data da passagem do satélite. Isto ocorre por que a água apresenta um comportamento distinto dos demais alvos, refletindo pouco mais que 5% da energia em quase todas as faixas do espectro eletromagnético (Moreira 2001), sendo desta forma, facilmente identificada nas imagens de satélite. O piso médio das marismas é dominado por S. densiflora, que apresenta um crescimento na forma de moitas criando uma densa cobertura vegetal (Costa 1998b). Nestas marismas espessas camadas de biomassa morta recobrem o solo (detrito depositado), devido à alta taxa de renovação foliar desta espécie (Peixoto & Costa 2004). Todas as parcelas-alvo de S. maritimus analisadas apresentaram grande redução de biomassa aérea no período amostral de inverno-primavera, devido à não produção de novas hastes e folhas no outono e processo de decomposição/consumo e exportação de detrito, predominante no outono/inverno (Brepohl et al. 1996, Costa 1998c, Hickenbick et al. 2004). Entretanto, a ocorrência de uma grande abundância de S. densiflora em parcelas-alvo de S. maritimus (comum na área estudada; Costa et al. 2003) fez com que estas não apresentassem características espectrais distintas a ponto de ser discriminada num pixel de 20 m pelo sensor CCD do CBERS-2. Finalmente, o piso entremarés superior das marismas do estuário apresenta cobertura vegetal dominada por J. kraussii, onde foram observadas altas biomassas aéreas durante todo o ano, variando entre 1967 g m⁻² e 3945 g m⁻², padrão este também descrito por Gaona *et al.* (1996).

A maior diferença de magnitude de biomassa ocorre entre as espécies de marisma (exemplo, entre *S. alterniflora* e *J. kraussii*), e estes macrohábitats não mudaram de posição entre as estações do ano. Assim, a partir da espacialização da biomassa aérea das espécies

dominantes das áreas das marismas estudadas, percebe-se que embora tenha ocorrido o ruído de fundo causado pela água no período de inverno-primavera, os mapas gerados apresentam uma boa estimativa deste parâmetro. Os valores gerados de biomassa a partir de funções incluindo dados de todas as espécies reproduziram muito bem, localmente (onde não ocorriam todas as espécies), os valores estimados pelas coletas de biomassa. Foi possível observar a diferença sazonal para a biomassa destas espécies, com maiores valores no período de verão-outono e menores no período de inverno-primavera. Devido à capacidade de fixação de carbono atmosférico das marismas e a marcada influência da temperatura no desenvolvimento destas plantas, deve ser considerado prioritário futuros estudos de relacionamento de imagens orbitais com a cobertura vegetal das marismas, para compreensão da adaptabilidade de nosso ecossistema costeiro ao atual período de aquecimento regional (Marengo *et al.* 2007, Nobre 2001).

A redução das áreas inferiores observadas no mapa de biomassas de invernoprimavera, fortemente evidenciada na Ilha da Pólvora e no Farol, está relacionada com o nível de água mais alto neste período, mas principalmente com a mistura espectral de borda. Os pixels destas áreas inferiores apresentaram resposta espectral fortemente influenciada pela água, não sendo classificados como vegetação, apresentando valores de NDVI negativos. No Saco da Mangueira, observamos que a redução destas áreas não é tão evidenciada, provavelmente devido à topografia mais elevada deste local, que apresenta um gradiente abrupto na transição da vegetação para a água estuarina, o que não acontece nas outras localidades, devido à presença das marismas inferiores.

A característica espectral apresentada pela água, faz com que sua presença nas parcelas-alvo das marismas seja um importante fator a ser considerado para a

caracterização espectral destes ambientes e utilização do índice NDVI. O pixel de 20 m do sensor CCD do CBERS-2, fez com que a mistura espectral dos componentes água e vegetação nas parcelas-alvo estudadas dificultasse o mapeamento da vegetação através do NDVI, principalmente no período de inverno-primavera. Gross et al. 1987 relatam em seu trabalho utilizando imagens TM/LANDSAT para quantificar a biomassa aérea de S. alterniflora através do NDVI, que a mistura de pixel, nas áreas alagadas, foi um dos principais fatores que afetaram na qualidade dos resultados gerados para a S. alterniflora. O NDVI, além de ser amplamente utilizado para estimativa da biomassa e estudo da dinâmica da vegetação, apresenta grande potencial para identificação de corpos de água, devido esta ser um dos poucos alvos a apresentar valores negativos para este índice (Carvalho, http://www.gisengenharia.com.br/pdfs/identobrashidraulicas.pdf). No período de invernoprimavera, os valores de NDVI negativos observados representam a grande interferência da água sobre a reflectância das parcelas-alvo, sendo a biomassa de S. alterniflora melhor quantificada para valores de NDVI acima de 0,15. No período de verão-outono, o ruído causado pela presença da água foi possivelmente menor, devido a menor freqüência de alagamentos, nível da água mais baixo na data da passagem do satélite e a maior quantidade de biomassa viva presente nas parcelas-alvo de todas as espécies estudadas.

3.5 CONCLUSÕES

Três macrohábitats representativos dos pisos entremarés, inferior, médio e superior, colonizados, respectivamente, por *S. alterniflora*, *S. densiflora* - *S. maritimus* e *J. kraussii* no estuário da Lagoa dos Patos, foram discriminados a partir das imagens CCD/CBERS-2.

O NDVI calculado a partir dos FRBS das imagens CCD/CBERS-2 não foi um bom indicador da densidade de biomassas abaixo de 500 g.m⁻², em áreas alagadas colonizadas por *S. alterniflora*. O sedimento fino e orgânico capaz de reter um alto grau de umidade e a presença periódica de lâmina de água na superfície das marismas gera um ruído de fundo na resposta espectral CCD/CBERS-2 da cobertura vegetal das áreas mais baixas no entremarés das marismas.

4. VARIAÇÃO DA RESPOSTA ESPECTRAL DAS MARISMAS DOMINADAS POR Spartina alterniflora NO ESTUÁRIO DA LAGOA DOS PATOS (RS)

4.1- INTRODUÇÃO

A *Spartina alterniflora* Loisel é uma grama halófita que domina grandes extensões da zona entremarés em costas sedimentares das Américas, formando banhados alagados por águas salgadas denominados marismas (Costa & Davy 1992, Adam 1993). Características estruturais das marismas de *S. alterniflora*, tais como a biomassa da sua copa e a granulometria de seu sedimento, influenciam processos ecológicos vitais para a zona costeira. Levantamentos orbitais e técnicas de sensoriamento remoto podem ser ferramentas eficientes para estimar a importância em escala regional destes ambientes, ao permitirem o mapeamento e o monitoramento das grandes extensões das marismas e da variação espaçotemporal de suas características estruturais.

Na zona tropical e subtropical (até a cidade de Laguna; SC, 28° 30' S) da costa brasileira, esta espécie freqüentemente forma franjas de marismas na borda inferior dos

mangues (Adaime 1978, Costa & Davy 1992). O mapeamento através de imagens TM/LANDSAT da costa do sudoeste do Atlântico, entre o extremo sul do Brazil e a península Valdes (na Argentina, 43° S), detectou cerca de 213.300 ha de marismas, sendo que destes 38.000 ha são dominados pela cobertura de S. alterniflora (Isacch et al. 2006). No estuário da Lagoa dos Patos (RS), dos 7000 ha de marismas, S. alterniflora domina cerca de 110 ha nos pisos mais baixos da zona entremarés (Nogueira & Costa 2003a, Marangoni & Costa 2006). O crescimento e a produção primária da S. alterniflora apresentam uma relação linear positiva com a temperatura (Cunha et al. 2005), com marcada variação sazonal da biomassa viva e morta no sul do Brasil. A produção primária aérea (670-1707 g peso seco m⁻² ano⁻¹; Peixoto et al. 1997, Cunha et al. 2005) e subterrânea (até 4000 g m⁻²; Cunha et al. 2005) de Spartina alterniflora sustenta a teia trófica detritívora estuarina e inclusive importantes recursos pesqueiros (Costa et al. 1997, Abreu et al. 2006). Os processos de formação e de decomposição de sua biomassa vegetal influenciam os ciclos de macronutrientes (Niencheski & Baumgarten 1998) e de elementos traço (Fe, Mn, Zn, Cu, Pb e Cd) nos estuários (Lacerda et al. 1997, Marins et al. 1997).

As imagens de satélite constituem uma ferramenta útil para o monitoramento espacial de grandes extensões, bem como permitem conhecer e avaliar a variação da resposta espectral da cobertura vegetal (Ponzoni & Shimabukuro 2007). Estudos realizados por Gross *et al.* (1990) e Hardisky *et al.* (1984) demonstram a possibilidade de utilização dos dados do sensor TM do satélite LANDSAT para quantificação das variações de biomassa de *S. alterniflora.* Recentemente, Liesenberg *et al.* (2007) relataram à possibilidade de análise da dinâmica sazonal e fisionomia de paisagem do cerrado através de dados orbitais dos sensores MODIS/TERRA e AQUA. Recentemente Rossatti *et al.*

(2006) apresentam a possibilidade de caracterização espectral de gramíneas forrageiras para detectar a doença "mela-das-sementes da Branquiária" através de dados CCD do satélite sino-brasileiro CBERS-2. Além disso, estudos realizados em áreas de mangues (Kampel et al. 2005, Passos et al. 2007), demonstram a possibilidade de caracterização e de mapeamento de ambientes costeiros alagados utilizando dados CCD do CBERS-2. S. alterniflora domina hábitats alagados até 60% do tempo (Copertino 1995, Costa 1998b), sendo o crescimento e a distribuição espacial de S. alterniflora marcadamente afetados pela hidrologia local, vulneráveis a ação das marés, ventos e ondas (Costa et al. 2005). No caso particular do sudoeste do Atlântico (Costa et al. 2003), grandes reduções da extensão das marismas podem ocorrer em anos chuvosos e com águas altas de El Nino (Costa et al. 2005). Uma vantagem utilização das imagens CCD/CBERS-2 para mapeamento e monitoramento das marismas é a possibilidade de aquisição gratuita destas imagens, através do *site* do INPE, bem como o suporte de ajuda que é oferecido por esta instituição, o que proporciona maior segurança na extração das informações e maior conhecimento do produto gerado, uma vez que poucos estudos nestes ambientes vêm sendo realizados.

O presente trabalho tem como objetivo verificar a variabilidade da resposta espectral entre áreas baixas de duas marismas dominadas por *S. alterniflora* no estuário da Lagoa dos Patos através de imagens CCD/CBERS-2. Adicionalmente, foi analisado o comportamento da resposta espectral dentro de cada marisma (heterogeneidade espacial) e o relacionamento desta variação com fatores de superfície (edáficos, hidrológicos e a quantidade de biomassa aérea de *S. alterniflora*).

4.1.1- Locais de Estudo

Foram selecionadas duas marismas com cobertura vegetal dominada por *S. alterniflora*, localizadas no Estuário da Lagoa dos Patos (ELP), para o estudo da variação espacial e sazonal da cobertura desta espécie. Os locais encontram-se distanciados da foz do estuário, respectivamente, 5 km e 15 km (Figura 4.1), conseqüentemente, distintamente influenciadas pela água marinha (Coutinho & Seeliger 1984).

A marisma 1 localizada no Farol da Barra do município de São José do Norte, RS (Farol), próxima da foz do estuário (32° 06' S; 52° 04' W), caracteriza-se por apresentar altas salinidades das águas de alagamento (euhalina) (Coutinho & Seeliger 1984, Costa 1998a) e estrutura espacial marcadamente zonada (pisos inferior e superior, respectivamente, dominados por *S. alterniflora* e *Juncus kraussi* Hochst.) (Costa 1998a, Costa & Marangoni 2000, Nogueira & Costa 2003a). A marisma do Farol não demonstrava modificações antropogênicas e contava com área de plano entremarés vegetado e hábitats aquáticos, respectivamente de 10 ha e 20 ha (Costa *et al.* 1997).

A marisma 2 localizada na Ilha da Pólvora (32° 01 S; 52° 06' W), na parte mesohalina do estuário (próxima à cidade de Rio Grande, RS; Coutinho & Seeliger, 1984), apresenta uma maior diversidade de espécies e cobertura vegetal formada por mosaicos de *Spartina densiflora Brong., S. alterniflora, Scirpus maritimus L.* e *Myrsine parvifolia* A. Dc. (Costa 1998a, Costa *et al.* 2003, Nogueira *et al.* 2001). A Ilha da Pólvora possui aproximadamente 40 ha de marismas.
4.2- MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1- Posicionamento de Parcelas-alvo nas Marismas

Os dois locais selecionados foram visitados em janeiro de 2006 para demarcação e posicionamento geográfico das 5 parcelas-alvo de cobertura vegetal dominada por *S. alterniflora*, em cada um, para avaliação da resposta espectral da cobertura vegetal. Cada parcelas-alvo delimitada media 15 m de raio, a partir do ponto central (30 m de diâmetro). Cada uma das parcelas-alvo foi identificada em campo com auxílio do GPS ETREX na projeção UTM, datum SAD 69. No centro da cada parcela-alvo, foi fixada uma estaca de madeira, constituindo em um marco, georeferenciado, que serviu para identificar as parcelas-alvo nas visitas de análise visual dos locais e coletas de dados. Para a Ilha da Pólvora os códigos dos marcos estabelecidos foram P11, P12, P13, P14 e P15 e para o Farol os códigos foram P16, P17, P18, P19 e P20.

O posicionamento das parcelas-alvo visou incluir e detectar a maior parte da variabilidade espacial observada para cobertura de *S. alterniflora*, em cada local, abrangendo áreas com distinta altura da vegetação e diferentes graus de alagamento conforme Copertino *et al.* (1997), Cunha *et al.* (2005) e Costa *et al.* (2003).

4.2.2- Imagens CCD/CBERS-2 e seu Processamento

A análise espectral das marismas vegetadas por *S. alterniflora* foi realizada com a utilização das imagens do satélite CBERS-2, captadas pela câmara de alta resolução CCD (Couple Charged Device), órbita 157, ponto 136 nas datas de 15/01/06 e 23/11/06 representativas, dos períodos de estudo de verão-outono e inverno-primavera (Figura 4.2). As bandas do sensor utilizadas foram: banda 1 (azul; 0,45 μ m - 0,52 μ m), banda 2 (verde; 0,52 μ m - 0,59 μ m), banda 3 (vermelho; 0,63 μ m - 0,69 μ m), banda 4 (infravermelho próximo; 0,77 μ m - 0,89 μ m). Estas imagens foram adquiridas gratuitamente através do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espacias) pelo endereço eletrônico: http://www.dgi.inpe.br/CDSR/n-index.php.

Foram utilizadas imagens com ausência de nuvens dos locais estudados e o intervalo entre as datas da passagem do satélite e as datas das coletas/observações de campo, para o período de verão-outono foi de 36 dias para a Ilha da Pólvora e de 47 dias para o Farol. No período de inverno-primavera esta defasagem foi de 64 dias para a Ilha da Pólvora e de 43 dias para o Farol.

Após a obtenção das imagens CCD/CBERS-2, foram efetuadas correções atmosféricas e conversão dos números digitais (NDs) das imagens para FRBS (Fatores de Reflectância Bidirecional de Superfície) através da adaptação do programa SCORADIS (Sistema de Correção Atmosférica de Imagens de Satélite) (Zullo 1994). Este programa tem como base para correção atmosférica o modelo de transferência radiativa 5S "Simulation du Signal Satellitarie dans le Spectre Solarie" (Tanré *et al.* 1990) para as imagens CCD/CBERS-2 (Ponzoni *et al.* 2006).

Para a realização da correção atmosférica nas imagens CCD/CBERS-2, foram informados como entrada no programa SCORADIS os seguintes dados referentes às imagens estudadas: nome do arquivo a ser salvo com os dados atmosféricos; data da aquisição da imagem; horário da aquisição da imagem; longitude e latitude central da cena; modelo atmosférico (utilizamos o Tropical); modelo de aerossol (utilizamos o Marítimo); concentração de aerossóis (a partir da visibilidade em km); banda da imagem a ser corrigida.

Este procedimento foi realizado para as quatro bandas das imagens CCD/CBERS-2 (azul, verde, vermelho e infravermelho próximo), separadamente. O arquivo de correção atmosférica gerado para cada banda espectral, conforme descrito acima, foi utilizado para conversão dos NDs em Fator de Reflectância Bidirecional de Superfície, tendo como dados de entrada no programa SCORADIS os seguintes parâmetros: arquivo de dados atmosféricos (gerado na etapa anterior); nome da imagem; número de linhas e colunas da imagem; nome da imagem de saída.

No final deste procedimento, obteve-se uma imagem com os FRBS, para cada banda analisada. Estas imagens foram importadas para o programa SPRING onde foi realizado o georeferenciamento e a leitura de pixel de cada parcela-alvo estudada, a partir da sua coordenada geográfica, para obtenção do FRBS.

No aplicativo SPRING foi gerado um banco de dados para as imagens a serem utilizadas (Câmara *et al.* 1996). Sobre as imagens inseridas no banco de dados foi realizada a identificação dos locais de estudo e o georeferenciamento com base no banco de dados georeferenciado do Projeto SIGMAR (Nogueira, 2003). Foi utilizada a projeção UTM, Datum SAD69 (South American Datum) e no mínimo 6 pontos de controle distribuídos ao longo da imagem. Foi obtido um erro máximo de georeferenciamento de 6,5 m (0,35 pixel), semelhante ao erro aceitável de 0,5 pixel para áreas urbanas, com facilidade de encontrar pontos para o georeferenciamento (Câmara *et al.* 1996). A validação do georeferenciamento foi realizada através da localização de 25 pontos de controle coletados em campo, com o GPS Etrex de navegação, na mesma projeção e Datum do georeferenciamento.

Tendo em vista que o índice NDVI (Índice Vegetacional de Diferença Normalizada; *Normalized Difference Vegetation Index*) é o mais utilizado para a avaliação do vigor da cobertura vegetal (Moreira 2001, Ponzoni & Shimabukuro 2007), seus valores foram estimados para cada parcela-alvo nas imagens CCD/CBERS-2 dos períodos de verãooutono e de inverno-primavera. Imagens NDVI foram geradas a partir da imagem FRBS, utilizando uma rotina escrita na Linguagem LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) do aplicativo SPRING, com base nos valores do FRBS, empregando a equação [1]:

$$NDVI = (FRBS_4 - FRBS_3) / (FRBS_4 + FRBS_3)$$
[1]

Onde:

FRBS₄ corresponde ao Fator de Reflectância Bidirecional de Superfície da banda do infravermelho próximo;

FRBS₃ corresponde ao Fator de Reflectância Bidirecional de Superfície da banda do vermelho.

Para cada período do ano o FRBS nas bandas azul, verde, vermelho e infravermelho próximo da câmara CCD/CBERS-2 e da imagem NDVI foram coletados para o ponto de georeferenciamento de cada parcela-alvo através do modo de leitura de pixel do aplicativo SPRING.

4.2.3. Coleta de dados de superfície

Foi realizado, em 2006, um levantamento topográfico das parcelas-alvo de cada marisma (medido no ponto central) com o nível laser FPM Holding GMBH e uma precisão de 1 cm. O nível topográfico de cada parcela-alvo foi relacionado ao ponto de monitoramento diário do estuário da Lagoa dos Patos (Estação Porto Rei - 32° 00 S; 52° 07 W), através de medidas simultâneas nas marismas e no ponto de monitoramento. O monitoramento do nível da água do estuário vem sendo efetuado desde junho de 1992 na estação Porto Rei, localizada aproximadamente, a 1 km da marisma da Ilha da Pólvora e a 11 km da marisma do Farol. (Figura 4.2, para dados do período de estudo). Os valores de altura das parcelas-alvo foram expressos em relação ao nível médio decadal do estuário da Lagoa dos Patos (Nível Médio da Lagoa - NML de 1997 a 2006) (Costa *et al.* 2003).

O nível da água nas parcelas-alvo no dia da passagem do satélite (nível_sat), foi estimado pela altura da coluna de água da estação de monitoramento, bem como a freqüência de alagamento a partir de uma equação polinomial de quarta ordem ($r^2 = 0,99$) entre freqüências de alagamento no período decadal de 1997-2006 e o nível topográfico da zona entremarés (Figuras 4.3 e 4.4).

Os dados de precipitação e de temperatura do ar dos anos de 2006 foram obtidos através do Banco de Dados Meteorológicos do Laboratório de Meteorologia da FURG.

Em Fevereiro de 2006, foram coletadas 3 amostras superficiais de sedimento em cada parcela-alvo. Uma fração de 20g foi utilizada para verificação do teor de umidade através de secagem em estufa (60°C por 72 horas). A granulometria das amostras foi determinada através do peneiramento (grãos > 0,062 mm de diâmetro) e pipetagem (grãos < 0,062 mm de diâmetro), conforme Suguio (1973). O teor de matéria orgânica do solo foi determinado de uma alíquota de 10g do sedimento através da perda de peso após combustão em mufla à temperatura de 550°C por 6 horas (Brower & Zar 1977).

A variação temporal da cobertura vegetal das duas marismas foi avaliada a partir da amostragem em dois períodos temporais de 2006, caracterizados como verão-outono (entre os meses de janeiro e fevereiro) e inverno-primavera (entre os meses de setembro e novembro). Para cada um destes períodos, as coberturas de *S. alterniflora* e espécies associadas, em cada parcela-alvo, foram estimadas visualmente (em uma escala de 1% a 100%), através da projeção vertical da copa dentro de sete quadrados amostrais de 0,5 m x 0,5 m (Brower & Zar 1977), espaçados a cada 5 m ao longo de uma transversal de 30 m posicionada no centro da parcela-alvo. Os valores de cobertura visual foram convertidos para uma escala de oitavas [log₂(cobertura)], para uma melhor acurácia de comparação temporal (Gauch 1984). Adicionalmente, para cada parcela-alvo e período do ano, foi coletada a biomassa aérea contida em 3 quadrados de 0,5 m x 0,5 m posicionados aleatoriamente ao longo da mesma transversal de estimativa da cobertura. No laboratório, a biomassa aérea viva e morta de *S. alterniflora* e de espécies associadas foram separadas, lavadas, secas em estufa a 60 °C por 48 horas e pesadas com o auxílio de uma balança de precisão (± 0.01 g).

4.2.4- Análise Estatística

4.2.4.1 - Dados Espectrais

Análise de Variância (ANOVA) para medidas repetidas (Zar 1984) foi utilizada para comparar a resposta espectral (FRBS de cada banda e NDVI) das parcelas-alvo de *S. alterniflora* entre os locais e estações do ano, sendo também considerado no modelo da ANOVA a interação Local x Sazonal. Os valores coletados para as bandas analisadas e NDVI apresentaram normalidade (Kolmogorov-Smirnov; p > 0,05) e homocedasticidade (Levene's; p > 0,05).

Regressões Múltiplas Lineares (Zar 1984) foram utilizadas para verificar possíveis relações causais entre variabilidade espacial e sazonal dos dados de FRBS das bandas espectrais e NDVI analisados e os valores bióticos (biomassas) e abióticos de superfície (granulometria, teor de matéria orgânica, umidade do sedimento, nível_sat e topografia). Antes de realizar as regressões foi verificada a correlação entre os fatores bióticos e abióticos de superfície através de uma Matriz de Correlação Linear de Pearson. Quando as variáveis demonstraram colinearidade (correlação significativa, p < 0,05) não foram incluídas em conjunto na Regressão Múltipla, optando-se por uma delas. Demonstraram colinearidade, a topografía e o nível_sat, assim como a biomassa total e a biomassa morta, sendo escolhidas para inclusão no modelo de Regressão Múltipla as variáveis nível_sat e biomassa morta. Apenas as variáveis independentes que apresentaram efeito significante (p < 0,05) sobre as bandas espectrais e NDVI foram incluídas no modelo de Regressão Múltipla.

4.2.4.2- Dados Abióticos de Superfície

Diferenças estatísticas entre as duas áreas de marismas colonizadas por *S*. *alterniflora*, na Ilha da Pólvora e no Farol, quanto ao nível topográfico, freqüência de alagamento, granulometria, umidade e teor de matéria orgânica do solo, foram testadas através do teste estatístico *t-Student* (Teste-T) para duas amostras independentes, ao nível de significância de 5% (Zar 1984). Exceto pela variável teor de umidade, os dados apresentaram normalidade (Kolmogorov-Smirnov; p > 0,05) e homocedasticidade (Levene's; p > 0,05). Os dados de teor de umidade, obtidos em cada estação do ano, foram analisados através do teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, para amostras independentes, com significância de 5% (Siegel 1975). Para este parâmetro foram analisadas diferenças entre os locais (amostras agrupadas por período de estudo) e sazonais (amostras agrupadas por local).

4.2.4.3- Dados Bióticos de Superfície

Diferenças estatísticas das médias de biomassa aérea seca viva, morta, total e a razão biomassa morta pela viva (RMV) entre as marismas (locais) e período do ano (diferença Sazonal) foram testadas através da Análise de Variância Bifatorial Aninhada ("Nested Design ANOVA") (Zar 1984). Nestas ANOVAs Bifatoriais, os dados das parcelas-alvo (3 amostras de biomassa) foram aninhados por local. Para avaliar a heterogeneidade espacial dos componentes da biomassa aérea e RMV dentro de cada local foram efetuadas ANOVAs Bifatoriais adicionais entre período amostrais (Sazonal) e parcelas-alvo. Em ambos os grupos de ANOVAs foram consideradas apenas interações de primeira ordem entre os fatores (Sazonal x Parcela-alvo). Nas ANOVAs que ocorreram diferenças significativas (p < 0,05), entre níveis dos fatores ou interação, foi aplicado o teste post-hoc de Fisher (LSD), para verificar onde estas diferenças estavam ocorrendo. Antes de submeter estes dados à ANOVA, foram verificados os pressupostos básicos de normalidade e homocedasticidade dos dados, utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov (p < 0,05) para a normalidade e Levene (p < 0,10) para a homocedasticidade. ANOVAs foram realizadas para análise de cobertura visual e com dados transformados de biomassa de *S. alterniflora* viva, morta (ambas com \sqrt{x}) e com o índice RMV transformado com log₁₀x.

4.3 RESULTADOS

4.3.1 – Análise Espectral da S. alterniflora

As parcelas-alvo de *S. alterniflora* apresentaram valores percentuais médios, em ambas as estações do ano, de FRBS mais altos na banda do infravermelho, entre 8% e 22% e valores mais baixos na banda do azul, entre 3% e 6%. (Figura 4.5, 4.6).

Foram encontradas diferenças significativas entre os locais de estudo para aos valores de FRBS das parcelas-alvo de *S. alterniflora* nas bandas do verde e do vermelho (Tabela 4.1), que apresentaram maiores valores médios na Ilha da Pólvora, em ambos os períodos de estudo (Figura 4.5). Apesar de não significativa, a FRBS média da banda no infravermelho próximo foi maior no Farol, associada ao alto valor em P16 (parcela-alvo mais alta no entremarés do Farol), que apresentou valores FRBS 30% maiores do que as demais parcelas-alvo nos dois períodos estudados (Figura 4.6).

As variações sazonais do FRBS foram significativas (p < 0,05) para todas as bandas analisadas e NDVI (Tabela 4.1), em ambos os locais de estudo. Maiores médias sazonais do FBRS do infravermelho próximo e NDVI foram encontradas no verão-outono, enquanto nas bandas espectrais do visível os maiores FRBS médios ocorreram no inverno (Figura 4.6).

Nenhuma medida espectral demonstrou interação Sazonal x Local significativa (Tabela 4.1).

4.3.2- Variabilidade espaço-sazonal dos parâmetros de superfície

4.3.2.1- Características Topográficas e do Sedimento das Parcelas-alvo

Os locais de coleta de *S. alterniflora* (Ilha da Pólvora e Farol de São José do Norte) não apresentavam diferenças significativas (p > 0,05) quanto às médias globais dos dados abióticos de superfície (Tabela 4.2). Entretanto, foi observada uma grande variabilidade entre as parcelas-alvo estudadas. A altura topográfica das parcelas variou de - 0,04 a 0,12 m NML. No Farol, as cinco (5) parcelas-alvo distribuíam-se por uma maior amplitude topográfica, sendo que duas de suas parcelas-alvo estiveram sujeitas a cerca de 50% de alagamento (Figura 4.4). As 5 parcelas-alvo no entremarés da Ilha da Pólvora foram sujeitas freqüências de alagamento entre 26% e 40% (Figura 4.4). O sedimento das áreas vegetadas por *S. alterniflora* foi caracterizado por altas porcentagens e grande variabilidade dos teores de argila (17,1% a 64,6%) e silte (25,8% a 74,6%) (Figura 4.7). Os maiores valores percentuais de areia ocorreram nas parcelas-alvo P11 (31,6%), P19 (20,5%) e P17 (19,2%). Os teores de matéria orgânica no sedimento foram altos (média das parcelas-alvo; 28,9% a 32,5%), sendo a maior quantidade de matéria orgânica (53,2%) observada na parcela-alvo P16, no Farol (Figura 4.7).

4.3.2.2- Variação Sazonal dos Parâmetros Abióticos de Superfície

Quanto às condições de crescimento para a *S. alterniflora*, a temperatura média do ar entre de janeiro a março 2006, representativa da amostragem de verão-outono, foi significativamente (p < 0,001) maior (22,5 ± 3,3 °C) do que de a medida de setembro a outubro (14,1 ± 4,3 °C), representativa das amostragens de inverno-primavera. No período de verão-outono (janeiro a março), o nível médio da água foi de -0,13 m em relação ao NML decadal. Esta altura de água resultou em uma freqüência de alagamento baixa para os pontos mais alto e mais baixo da Ilha da Pólvora, que variou de 3,4% a 19% do tempo, respectivamente. Neste mesmo período, o alagamento no Farol foi de 6,8% a 25,8% entre parcelas-alvo. No período de inverno-primavera (julho a setembro), o nível médio da água foi de -0,07 m NML e ocasionou uma variação na freqüência de alagamento entre as parcelas-alvo da Ilha da Pólvora entre 2,4% e 39,5% e do Farol entre 14,8% e 46,9% (Tabela 4.3).

Quanto ao alagamento dos locais de estudo, durante as coletas de parâmetros de superfície de verão-outono, em média, ambos locais estavam expostos, enquanto no inverno-primavera estavam alagados. Na semana anterior e na data de obtenção das imagens CBERS-2, predominaram as situações de exposição no verão-outono e de alagamento no inverno-primavera (Tabela 4.3).

Os valores de precipitação acumulada na semana anterior às datas de coleta de parâmetros de superfície foram mais altos nos períodos de verão-outono no Farol e no inverno-primavera na Ilha da Pólvora. Em ambos locais, os valores de precipitação acumulada na semana anterior à passagem do satélite foram mais altos do período de verão-

outono do que no de inverno-primavera. As demais condições abióticas de superfície das marismas durante a captura da imagem do satélite no verão-outono foram semelhantes às observadas nas da data de amostragem de biomassa (Tabela 4.3) (Figura 4.2).

4.3.2.3. Variação espaço-sazonal da cobertura e biomassa vegetal

Apesar dos menores valores de coberturas visuais das parcelas-alvo de *S. alterniflora* no farol terem sido observados no inverno-primavera, não foram detectadas diferenças sazonais significativas nos dois locais de estudo (ANOVA; p > 0,05). Entretanto, os valores de cobertura demonstraram uma grande variação entre as parcelas-alvo (Ilha da Pólvora, de 40% a 87,5%; Farol, de 11,4% a 60,7%; Figura 4.8). Adicionalmente, somente a parcela-alvo P16 no Farol apresentou cobertura de espécies associadas, *Paspalum vaginatum* Sw., *Bacopa monnieri* L. Wettst e *Salicornia gaudichaudiana* Moq..

Em ambos os períodos do ano, a Ilha da Pólvora apresentou maiores médias de todos componentes da biomassa aérea da *S. alterniflora* e da relação biomassa morta:viva (RMV) do que o Farol de São José do Norte (Tabela 4.4) (Figuras 4.9 e 4.10). A diferença entre locais explicou a maior parte da variação encontrada no estudo para as biomassas aéreas morta (55,8%) e total (38,3%) (Tabela 4.4). A variação destes dois componentes também foi fortemente influenciada pela heterogeneidade espacial (entre parcelas-alvo) de cada local na distribuição da biomassa, que foi responsável (p < 0,01) por mais 21,4% da variação na biomassa morta e de 21,7% da biomassa total. A RMV média das parcelas-alvo da Ilha da Pólvora foi sempre maior do que 1, enquanto no Farol esta magnitude de valores ocorreu apenas no período de inverno-primavera (Figura 4.10).

Exceto pela biomassa aérea morta, os componentes da biomassa de *S. alterniflora* demonstraram um variação sazonal significativa (p < 0,01). A diferença sazonal explicou cerca de 65,0% da variação total da biomassa viva entre as amostragens e 49% da variação da RMV (Tabela 4.4). A média de biomassa aérea viva no verão-outono foi três vezes maior do que a do inverno-primavera, tanto na Ilha da Pólvora (respectivamente, $500,3 \pm 139,4 \text{ e } 122,8 \pm 46,9 \text{ g m}^{-2}$), como no Farol (respectivamente, $348,3 \pm 50,3 \text{ e } 123,9 \pm 83,10 \text{ g m}^{-2}$). Esta variação teve um marcado efeito sobre a RMV, que foi duas a três vezes maior no inverno-primavera do que no verão-outono (Figura 4.10). Tanto o componente vivo (F_{LxP} = 2,51), como o morto (F_{LxP} = 6,47) e o total (F_{LxP} =21,05) apresentaram interação local x parcela-alvo significativas (p<0,05), enfatizando a importância da localização das parcelas-alvo dentro da marisma para a dinâmica da biomassa de *S. alterniflora*.

ANOVAs realizadas separadamente para cada local (Tabela 4.5, 4.6) permitem um detalhamento do impacto da heterogeneidade espacial (parcelas-alvo) sobre os componentes da biomassa de *S. alterniflora*. Nestas análises o efeito sazonal foi novamente determinante da variação da biomassa viva em ambos locais (62,4% a 71,8%), entretanto as biomassas aéreas morta e total foram diferenciadamente afetadas pela heterogeneidade espacial em cada local. Na Ilha da Pólvora, a principal fonte de variação da biomassa morta (62,8% da variação total) e da total (42,0%) foi a diferença entre parcelas-alvo, não ocorrendo padrões sazonais distintos entre elas (F_{PxS} não significativos; Tabela 4.5). No Farol, entretanto, parcelas-alvo baixo no entremarés (P17 e P18) demonstraram quedas muito mais acentuadas na biomassa morta no inverno-primavera (Figura 4.10), sendo as interações parcelas-alvo x sazonal as principais determinantes (p < 0,01) das biomassas morta (35,1%) e total (35,5%).

A RMV também foi determinada por diferentes fatores em cada local. Na Ilha da Pólvora, onde ocorre uma maior retenção da matéria morta, 94,9% da variação da RMV foi explicada pelo efeito sazonal (Tabelas 4.5). No Farol, a RMV foi determinada (74,8%) pela localização das parcelas-alvo no entremarés (Tabelas 4.6).

4.3.3. Regressões entre respostas espectrais e parâmetros em superfície

Análises de Regressão Múltipla foram realizadas para verificar quais foram os principais parâmetros abióticos e bióticos de superfície determinantes da resposta espectral das parcelas-alvos de *S. alterniflora*, detectada pelo CBERS-2 nos períodos estudados. A matriz de correlações entre dados espectrais e os dados bióticos e abióticos quantificados das parcelas demonstrou que a biomassa aérea total e a biomassa aérea morta foram colineares (r = 0,99, p < 0,05). Para evitar redundâncias entre variáveis independentes das regressões, o parâmetro biomassa total foi excluído da análise. As análises de Regressão Múltipla para cada período do ano explicaram, no mínimo, 43% da variação espectral encontrada nas áreas recobertas por esta espécie. Dos 10 fatores incluídos nas análises no máximo 4 deles explicaram significativamente a variação no FRBS de cada banda espectral e do NDVI. Fatores edáficos foram os principais determinantes das variações na banda do infravermelho próximo, em ambos os períodos estudados. As bandas do visível e o NDVI tiveram diferentes principais fatores para cada período (Tabela 4.7).

No período de verão-outono, os valores de FRBS para bandas verde e vermelho foram negativamente afetados pelo nível da água na passagem do satélite, bem como maiores teores de umidade reduziram as FRBS, para a banda do azul (Tabela 4.7) (Figura 4.11). Antagonicamente, no inverno-primavera os valores FRBS foram principalmente afetados pela distribuição espacial da biomassa, sendo que RMV afetou positivamente as reflectâncias nas bandas do visível (azul, verde e vermelho) (Figura 4.12). Em ambos os períodos do ano, parcelas-alvo com maiores porcentagem de silte no sedimento demonstraram reflectâncias no infravermelho muito baixas. As parcelas-alvo com maiores teores de matéria orgânica apresentaram altos FRBS para infravermelho próximo (Figura 4.11, Figura 4.12, Tabela 4.7).

Nenhuma relação positiva entre os valores de NDVI e quantidade de biomassa viva e total de *S. alterniflora* foi encontrada (Figura 4.13). Visto que no período de verãooutono, quando ocorreram maiores biomassas aéreas e totais, foram evidenciados os maiores valores de NDVI, este padrão sazonal sugere que a magnitude de biomassa é determinante para a detecção de padrões de variação da biomassa pelo NDVI.

O NDVI não foi significativamente afetado pelos fatores de superficie analisados no verão-outono. No período de inverno-primavera, as variações encontradas foram explicadas pela umidade do solo (47%) e pela biomassa viva (24%). Valores negativos de NDVI, neste período, indicam a presença de um forte ruído ambiental sobre o dado espectral. Os menores valores de biomassa total em superfície registrados no inverno-primavera em relação aos do verão-outono (Figura 4.13), aparentemente permitiram a detecção de um efeito positivo da umidade do solo sobre os valores NDVI.

Tabela 4.1: Análise de Variância dos Fatores de Reflectância Bidirecional de Superfície das parcelas-alvo de *S. alterniflora* das bandas do azul (B1), do verde (B2), do vermelho (B3) e do infravermelho próximo (B4) e NDVI CCD/CBERS-2 entre os locais (Local), entre os períodos de verão-outono e inverno-primavera (Sazonal) e interação entre os períodos estudados e os locais de coleta (Sazonal*Local). ***p<0,001; ** p<0,01; n.s.; não significativo.

		Azu	ıl (B1)	Verc	le (B2)	Verme	elho (B3)	Infraver	melho (B4)	N	DVI
Efeitos	GL	SQ	F	SQ	F	SQ	F	SQ	F	SQ	F
Local	1	16,2	4,4 n.s.	31,2	11,0**	84,0	24,0**	3,2	0,01 n.s.	0,05	2,4 n.s.
Sazonal	1	5,0	12,5 **	6,0	12,1***	110,4	92,1***	125	13,55 ***	0,20	97,0 ***
Sazonal*Local	1	1,8	4,5 n.s.	0,4	0,9 n.s.	2,4	2,04 n.s.	0,2	0,02 n.s.	0,04	0,5 n.s.
Residual Local	8	29,6		22,8		28,0		1285,8		0,17	
Residual Sazonal	8	3,2		4,0		1,2		73,8		0,02	

Tabela 4.2: Caracterização das condições médias (\pm desvio padrão; DP), mínimas e máximas de altura topográfica, freqüência de alagamento, granulometria e teor de matéria orgânica do sedimento das parcelas-alvo dominadas pela grama *S. alterniflora* em duas áreas de marismas do estuário da Lagoa dos Patos (RS), analisadas quanto a respostas espectral na imagem CCD/CBERS-2. Nenhum dos parâmetros demonstrou diferenças significativas (p<0,05) para o Teste "T" de Student, com p > 0,05).

	Ilha da	n Pólvora		Faro	l de São	o José do	Norte
Caracterização Local	Média (±DP)	Mínimo M	láximo	Média	(±DP)	Mínimo	Máximo
Altura Topográfica NML (m)	0,08 ± 0,03	0,03	0,12	0,03	± 0,07	-0,04	0,11
Frequência de Alagamento (%)	31,19 ± 4,95	26,43	39,09	39,09 ±	= 10,98	27,22	50,54
Areia (%)	14,15 ± 10,53	1,94	40,08	12,28 ±	= 12,55	1,47	44,22
Silte (%)	31,06 ± 12,64	17,47	64,62	35,52 ±	10,54	17,09	51,85
Argila (%)	54,79 ± 13,26	25,80	73,23	52,19 ±	= 13,50	28,61	74,57
Matéria Orgânica (%)	28,90 ± 10,17	11,30	44,60	32,45 ±	= 13,28	11,90	56,90

Tabela 4.3: Caracterização das condições médias (± desvio padrão; DP), mínimas e máximas da umidade do solo (%), altura da água no estuário e precipitação, ambas no dia e ao longo da semana anterior a coleta de biomassa de *S. alterniflora* e da data das imagens CCD/CBERS-2 das duas áreas de marismas do estuário da Lagoa dos Patos (RS), nos períodos de verão-outono e inverno-primavera.

		Ilha da	n Pólvora		Far	ol - São	José do	Norte
Parâmetros Sazonais nas coletas	Média	$(\pm DP)$	Mínimo	Máximo	Média	(± DP)	Mínimo	Máximo
Verão/Outono								
Umidade (%)	62,21	±16,13	36,90	81,40	68,29	± 6,82	54,50	82,40
Altura da água no dia (m)	-0,39	$\pm 0,03$	-0,43	-0,34	-0,29	$\pm 0,07$	-0,37	-0,22
Altura da água na semana anterior (m)	-0,26	$\pm 0,09$	-0,43	-0,09	-0,16	± 0,14	-0,42	0,03
Precipitação no dia (mm)*	0,00	-	-	-	41,80	-	-	-
Precipitação da semana anterior (mm)*	0,20	-	-	-	119,00	-	-	-
Inverno/Primavera								
Umidade (%)	69,51	± 7,47	60,69	80,64	76,11	± 3,79	69,13	83,53
Altura da água no dia (m)	-0,04	$\pm 0,03$	-0,08	0,01	0,01	$\pm 0,07$	-0,07	0,08
Altura da água na semana anterior (m)	-0,01	± 0,12	-0,28	0,21	-0,26	± 0,11	-0,47	-0,02
Precipitação no dia (mm)*	0,00	-	-	-	5,40	-	-	-
Precipitação da semana anterior (mm)*	88,40	-	-	-	7,40	-	-	-
Parâmetros Sazonais na Passagem do Satélite								
Verão/Outono								
Altura da água no dia (m)	-0,39	$\pm 0,03$	-0,43	-0,34	-0,36	± 0,07	-0,44	-0,29
Altura da água semana anterior (m)	-0,21	$\pm 0,11$	-0,38	0,01	-0,18	± 0,12	-0,39	0,06
Precipitação no dia (mm)*	29,20	-	-	-	29,20	-	-	-
Precipitação da semana anterior (mm)*	127,40	-	-	-	127,40	-	-	-
Inverno/Primavera								
Altura da água no dia (m)	-0,34	± 0,03	-0,38	-0,29	-0,31	± 0,07	-0,39	-0,24
Altura da água semana anterior (m)	-0,28	± 0,09	-0,43	-0,14	-0,25	± 0,11	-0,44	0,09
Precipitação no dia (mm)*	0,00	-	-	-	0,00	-	-	-
Precipitação na semana anterior (mm)*	34,80	-	-	-	34,80	-	-	-

* soma dos valores de precipitação registrados pela estação Meteorológica da FURG.

Tabela 4.4: Análises de Variância aninhada (parcelas-alvo dentro de cada local) para os dados de Biomassa Viva, Biomassa Morta e Biomassa Total e Razão biomassa viva pela biomassa morta (RMV) de *S. alterniflora* entre locais e períodos do ano. GL= grau de liberdade; SQ= soma dos quadrados; SQ (%) a soma percentual dos quadrados; F= teste de Fisher; ***p<0,001; ** p<0,01; * p<0,05; n.s. não significativo.

		В	iomassa V	iva	Bio	omassa M	orta	Bio	massa To	tal		RMV	
Efeitos	GL	SQ	SQ (%)	F	SQ	SQ (%)	F	SQ	SQ (%)	F	SQ	SQ (%)	F
Local	1	37,3	1,9	4,1*	1922,9	55,8	132,8**	1559,6	38,3	78,7**	2,4	34,1	121,7***
Parcela-Alvo (Local)	8	183,0	9,4	2,5*	748,8	21,7	6,4**	857,7	21,1	5,4**	0,3	3,7	1,6 n.s.
Sazonal	1	1264,6	65,1	138,5**	40,0	1,2	2,7 n.s.	679,0	16,7	34,2**	3,5	49,0	175,0***
Local*Sazonal	1	29,8	1,5	3,2 n.s.	54,0	1,6	3,7 n.s.	46,8	1,1	2,3 n.s.	0,0	0,0	0,0 n.s.
Residual	47	429,0	22,1		680,4	19,7		930,8	22,8		0,9	13,2	

Tabela 4.5: Análises de Variância para os dados de Biomassa Viva, Biomassa Morta e Biomassa Total e Razão biomassa viva pela biomassa morta (RMV) de *S. alterniflora* da Ilha da Pólvora. GL= grau de liberdade; SQ= soma dos quadrados; SQ (%) a soma percentual dos quadrados; F= teste de Fisher; ***p<0,001; ** p<0,01; * p<0,05; n.s. não significativo.

		Bi	omassa	Viva	Bic	massa N	Iorta	Bio	omassa '	Fotal		RMV	T
Efeitos	GL	SQ	SQ (%)) F	SQ	SQ (%)	F	SQ	SQ (%)) F	SQ	SQ (%)	F
Sazonal	1	859,0	71,8	90,9***	95,4	10,9	10,2**	552,3	37,9	40,2***	1,8	94,9	112,7***
Parcela-alvo	4	121,3	10,1	3,2*	547,7	62,8	14,7***	612,5	42,0	11,1***	0,0	2,1	2,4 n.s.
Parcela-alvo*Sazonal	4	26,8	2,2	0,7 n.s.	42,5	4,9	1,1***	19,0	1,3	0,3 n.s.	0,0	2,2	2,5 n.s.
Residual	20	188,8	15,8		186,0	21,3		274,2	18,8		0,0	0,8	

Tabela 4.6: Análises de Variância para os dados de Biomassa Viva, Biomassa Morta e Biomassa Total e Razão biomassa viva pela biomassa morta (RMV) de *S. alterniflora*. do Farol de São José do Norte. GL= grau de liberdade; SQ= soma dos quadrados; SQ (%) a soma percentual dos quadrados; F= teste de Fisher; ***p<0,001; ** p<0,01; * p<0,05; n.s. não significativo.

		B	iomassa	Viva	Bio	massa M	lorta	Bi	omassa [Fotal		RMV	
Efeitos	GL	SQ	SQ (%)	F	SQ	SQ (%)	F	SQ	SQ (%)	F	SQ	SQ (%)	F
Sazonal	1	465,2	62,4	103,2***	0,1	0,0	0,0 n.s.	273,3	26,2	27,5***	0,1	4,7	1,3 n.s.
Parcela-alvo	4	66,6	8,9	3,6*	212,5	32,0	4,6**	210,1	20,2	5,2***	1,6	74,8	86,0***
Parcela-alvo*Sazonal	4	127,7	17,1	7,0***	233,1	35,1	5,0**	370,5	35,5	9,3***	0,1	3,9	1,1 n.s.
Residual	19	85,6	11,5		218,9	32,9		188,5	18,1		0,4	16,5	

Tabela 4.7: Valores estatísticos da Regressão Múltipla aplicada aos dados de FRBS das bandas do azul (B1), do verde (B2), do vermelho (B3), do infravermelho próximo (B4) e NDVI, das imagens CCD/CBERS-2, utilizando os dados de biomassas viva, morta, cobertura visual, freqüência de alagamento, teor de umidade do solo, matéria orgânica e porcentagem de silte areia e argila para os períodos de verão-outono e inverno-primavera. b= coeficiente angular; SE= desvio padrão, r²= coeficiente de determinação; nível_sat = nível de alagamento do local amostral no dia da passagem do satélite; US = umidade do solo; RMV= razão da biomassa viva pela biomassa morta; CV = cobertura visual; BV= biomassa viva; MO= matéria orgânica; # variável não demonstrou relação significativa (p<0,05) com o parâmetro espectral.

	verão/o	outono	inverno/p	orimavera
Variável	r ² parcial	b±SE	r ² parcial	b±EP
Banda 1				
US	0,71	-0,10 ± 0,01	#	-
Argila	0,20	+0,05 ± 0,01	#	-
RMV	#	-	0,45	+6,36 ± 2,47
	r ² total = 0,91		r^{2} total = 0,45	
Banda 2				
nível_sat	0,43	-0,15 ± 0,06	#	-
RMV	#	-	0,70	+0,71 ± 0,08
Argila	#	-	0,24	+0,08 ± 0,01
	r^{2} total = 0,43		r^{2} total = 0,94	
Banda 3				
nível_sat	0,44	-0,21 ± 0,08	#	-
RMV	#	-	0,79	+0,96 ± 0,1
CV	#	-	0,15	+0,87 ± 0,22
Argila	#	-	0,03	+0,06 ± 0,02
	r^{2} total = 0,44		r^{2} total = 0,97	
Banda 4				
MO	0,31	+0,43 ± 0,14	0,48	+0,50 ± 0,15
Silte	0,45	$-0,62 \pm 0,20$	0,30	-0,66 ± 0,21
	r^{2} total = 0,76		r^{2} total = 0,78	
NDVI				
US	0,55	$0,006 \pm 0,002$	0,47	$+0,01 \pm 0,004$
BV	#	-	0,24	$-0,02 \pm 0,008$
	r² total = 0,55		r^{2} total = 0,71	



Figura 4.1: Localização geográfica da área de estudo. 1- Farol de São José do Norte e 2- Ilha da Pólvora, e parcelas-alvo avaliadas (+), no estuário da Lagoa dos Patos, RS. Imagem CCD/CBERS-2 - NDVI



Figura 4.2: Variação do nível da água do estuário da Lagoa dos Patos, para o ano de 2006 e do nível médio de cada local de estudo em relação ao nível médio decadal (1997-2006) do estuário. Estão destacadas na figura as datas das coletas de dados abióticos e bióticos, bem como as datas das imagens CCD/CBERS-2 utilizadas para análise espectral, nos períodos de estudo.



Figura 4.3: Curva da freqüência de alagamento para as áreas estudadas a partir de dados decadais (1997-2006) do nível de água do estuário da Lagoa dos Patos. Onde x representa o valor de altura topográfica (cm - NML) do ponto na zona entremarés e y a freqüência de alagamento neste ponto. r²=coeficiente de determinação



Freqüência de Alagamento (%)

Figura 4.4: Relação entre a freqüência de alagamento e a altura topográfica das parcelas-alvo colonizadas por *S. alterniflora* analisadas na Ilha da Pólvora e no Farol de São José do Norte (Estuário da Lagoa dos Patos, RS).



Figura 4.5: Valores médios do Fator de Reflectância de Superfície das parcelas-alvo de *S. alterniflora* da Ilha da Pólvora (IP) e Farol (FSJN) para cada banda espectral das imagens CCD/CBERS-2 nos períodos de verão-outono (ver/out) e de inverno-primavera (inv/prim).



Figura 4.6: Valores do Fator de Reflectância Bidirecional de Superfície (FRBS) das parcelasalvo de *S. alterniflora*, nos períodos de verão-outono (A) e inverno-primavera (B) nas bandas espectrais do azul (B1), do verde (B2), do vermelho (B3) e do infravermelho próximo (B4) do sensor CCD/CBERS-2 em duas marismas do estuário da Lagoa dos Patos, RS.



Figura 4.7: Dados granulométricos percentuais de areia, silte, argila e teor de matéria orgânica das áreas vegetadas por *S. alterniflora*, na Ilha da Pólvora (A) e no Farol de São José do Norte (B), estuário da Lagoa dos Patos, RS.





Figura 4.8: Dados de Cobertura visual média (n=7) convertidos para a escala de oitavas (ln_x), das parcelas-alvo de *S. alterniflora* localizadas na Ilha da Pólvora (P11 a P15) e Farol de São José do Norte (P16 a P20), no estuário da Lagoa dos Patos, RS.



Figura 4.9: Médias (± desvio padrão) da biomassa aérea total de *S. alterniflora*, nos períodos de verão-outono e inverno-primavera, respectivamente na Ilha da Pólvora (A e B) e no Farol de São José do Norte (C e D), no estuário da Lagoa dos Patos, RS.



Figura 4.10: Médias (± desvio padrão) da biomassa aérea viva e morta de *S. alterniflora* e razão biomassa morta pela viva (RMV), nos períodos de verão-outono e inverno-primavera, respectivamente, na Ilha da Pólvora (A e B) e no Farol de São José do Norte (C e D), no estuário da Lagoa dos Patos, RS.



Figura 4.11: Regressão Linear entre os principais fatores que contribuíram para a variação espectral e as bandas do azul (B1), do verde (B2), do vermelho (B3) e do infravermelho próximo (B4) de imagens CCD/CBERS-2 de parcelas-alvo de *S. alterniflora*, para o período de verão-outono. r= coeficiente de correlação entre as variáveis analisadas; nível_sat= nível de alagamento na passagem do satélite; US=umidade do solo; BV=biomassa viva.



Figura 4.12: Regressão Linear entre os principais fatores que contribuíram para a variação espectral e as bandas do azul (B1), do verde (B2), do vermelho (B3) e do infravermelho próximo (B4) de imagens CCD/CBERS-2 de parcelas-alvo de *S. alterniflora*, para o período de inverno-primavera. r= coeficiente de correlação entre as variáveis analisadas; RMV= razão da biomassa morta pela biomassa viva; Alag= alagamento; US=umidade do solo; CV=cobertura visual; MO=matéria orgânica.



Figura 4.13: Regressão Linear entre os principais fatores que contribuíram para a variação espectral e o NDVI de imagens CCD/CBERS-2 de parcelas-alvo de *S. alterniflora*, para os períodos de verão-outono e de inverno-primavera. r= coeficiente de correlação entre as variáveis analisadas; BV=biomassa viva; BT= biomassa total e US=umidade do solo.
4.4 DISCUSSÃO

As parcelas-alvo de marismas do estuário da Lagoa dos Patos dominadas pela cobertura da grama *S. alterniflora* demonstraram marcada variação sazonal e diferenças espaciais em seus FRBS, estimados a partir de imagens CCD/CBERS-2, nas bandas da luz visível (azul, verde, vermelho) e do infravermelho próximo.

Entretanto nas duas marismas estudadas do estuário da Lagoa dos Patos, os valores do FRBS na região do infravermelho foram mais altos do que na região do visível. Este resultado é esperado para áreas vegetadas, uma vez que na região espectral do visível (sobretudo no azul e vermelho) existe uma grande absorção da radiação eletromagnética pelos pigmentos fotossintetizantes (Salisbury & Ross 1991). Já na faixa espectral do infravermelho próximo, a radiação é espalhada de acordo com as características de estrutura interna das folhas, resultando em maior reflectância (Ponzoni & Shimabukuro 2007, Moreira 2001).

O padrão sazonal inverso da reflectância de superfície na região do visível (menor no período de verão-outono) e na banda do infravermelho próximo (menor no período de inverno-primavera) encontrado para a marisma de *S. alterniflora*, pode ser associado ao aumento da representatividade da biomassa morta na biomassa total (refletida pelo índice RMV). Diversos autores já caracterizaram a marcada variação sazonal da biomassa aérea da *S. alterniflora* no estuário da Lagoa dos Patos (Copertino *et al.* 1997, Peixoto *et al.* 1997, Costa 1998a, Cunha *et al.* 2005), com pico máximo no verão e mínimo no inverno. Copertino *et al.* (1997) caracterizaram que esta variação sazonal é determinada por altas taxas de mortalidade de folha e hastes quando temperaturas médias ficam abaixo de 15° C no inverno. As baixas temperaturas associadas as maiores freqüências de alagamento durante o inverno-primavera, contribuem para um maior estresse para as plantas nos níveis mais baixos no entremarés (Copertino *et al.* 1997, Cunha *et al.* 2005), resultando em menores valores de biomassa aérea viva de *S. alterniflora*. A decomposição e o consumo *in situ* por detritívoros (Hickenbick *et al.* 2004) além da exportação pela ação de correntes e marés (Peixoto *et al.* 1997, Cunha *et al.* 2005) também promovem a redução de biomassa. A vegetação verde, densa e uniforme absorve muito a radiação incidente na faixa do espectro eletromagnético do vermelho, onde a clorofila absorve mais energia (Ponzoni & Shimabukuro 2007, Salisbury & Ross 1991). Desta forma, quando o dossel é dominando por folhas mortas, como do período de inverno-primavera, uma maior reflectância do vermelho ocorrerá (Moreira 2001). Analogamente, Hardisky *et al.* (1984) descrevem menores valores de reflectância na região do vermelho em áreas recobertas por *S. alterniflora* durante o verão-outono do que em planos lamosos, que foram interpretados pela grande absorção neste comprimento de onda pela clorofila das folhas vivas.

A redução de biomassa aérea total da *S. alterniflora*, expondo o sedimento alagado, também pode interferir fortemente na resposta espectral dos dosséis vegetativos. Visto que a água apresenta grande capacidade de absorção do espectro eletromagnético, mas principalmente nas faixas espectrais acima da região do visível (Moreira 2001), a banda do infravermelho próximo é seletivamente mais absorvida pela água de alagamento da marisma. Maiores freqüências de águas altas ocorrem no inverno-primavera, associadas ao aumento de precipitação na bacia de drenagem Patos-Mirim (Costa *et al.* 1998, Mata & Möller 1993). A forma de crescimento espaçado das hastes de *S. alterniflora permite* a exposição parcial do sedimento praticamente durante o inverno-primavera, quando

predominam os processos de remoção da biomassa produzida da superfície das marismas. Conseqüentemente, o ciclo de crescimento desta espécie, associado aos alagamentos mais freqüente de inverno são os principais determinantes das variações sazonais observadas nas bandas do visível e do infravermelho das imagens CCD/CBERS-2.

No período de inverno-primavera o FRBS do vermelho também se mostrou fortemente influenciado pelo teor de argila do sedimento superficial (regressão múltipla). Este maior volume de água nesta época chuvosa carrega grandes quantidades de sedimentos finos suspendidos (como também ressuspendidos), que podem depositar sobre o dossel das plantas de marismas. A deposição de sedimentos finos, nas folhas da vegetação de marismas, aumenta a reflectância da banda do vermelho e diminui a reflectância na banda do infravermelho (Gross *et al.* 1986). Importante destacar que, a regressão múltipla para o período de inverno-primavera, também detectou um efeito negativo do teor de silte das parcelas-alvo sobre a do infravermelho. As variações de altura topográfica entre parcelas-alvo, resultam em diferenças da produtividade e na vulnerabilidade a remobilização do detrito e sedimento depositado que, certamente é maior durante períodos de águas altas, mais freqüentes no inverno-primavera.

Da mesma forma que afetam a reflectância das marismas sazonalmente, os maiores RMV e biomassa total explicam os maiores valores do FRBS da banda do vermelho das parcelas-alvo de *S. alterniflora* na Ilha da Pólvora em relação ao Farol. O índice RMV foi calculado para uma melhor compreensão da dinâmica da biomassa viva e morta de cada local. O RMV da Ilha da Pólvora foi sempre maior do que 1 (até cerca de 4), para os dois períodos estudados, enquanto no Farol os valores de RMV são maiores do que 1 somente no inverno-primavera. Esta é uma importante evidência de que as duas marismas

estudadas apresentam distintas trocas de materiais com o estuário. A disponibilidade de biomassa morta presente nas marismas está associada à capacidade local de exportar, consumir/decompor este material (Gaona *et al.* 1996, Hickenbick *et al.* 2004), que é aparentemente menor na Ilha da Pólvora do que no Farol. A localização da maioria das parcelas-alvo do Farol nos pisos entremarés mais baixos, sujeitos a alagamentos freqüentes e a hidrodinâmica mais intensa, sobretudo no período de inverno-primavera, facilita o transporte do material morto e expõe a superfície alagada a ser capturada pelo sensor do satélite.

As imagens CCD/CBERS-2 não só permitiram detectar a diferenças estruturais entre marismas, mas também foram capazes de revelar a heterogeneidade espacial dentro dos ambientes. A maior amplitude de distribuição vertical da S. alterniflora na marisma do Farol, faz com que suas parcelas-alvo, apresentem uma maior heterogeneidade espacial, uma vez que nesta região euhalina do estuário, esta espécie coloniza desde os pisos entremarés submergentes (limite inferior das marismas) até o piso superior da marisma, na transição com o campo arenoso adjacente. Particularmente a parcela-alvo P16, apresentou dados de superfície (bióticos e abióticos) e comportamento espectral distinto de todas as parcelas-alvo de S. alterniflora que podem ser explicados pelo maior valor topográfico e a menor freqüência de alagamento. Esta parcela-alvo também foi colonizada por outras espécies, como a grama de pequeno porte Paspalum vaginatum, que são características deste ambiente transicional para o campo e áreas pastadas (Costa et al. 1997). Além disso, esta parcela-alvo apresentou os maiores valores de matéria orgânica, argila e umidade do sedimento. O nível topográfico mais alto e teores de matéria orgânica em torno de 80% sugerem uma área mais antiga de marisma, que foi submetida a um soerguimento orgânico através do acúmulo de detritos em solo redutor e baixa taxa de decomposição dos mesmos (Adam 1993). Logo, as diferenças na resposta espectral do Farol, detectadas nas imagens CCD/CBERS-2 estão relacionadas com a heterogeneidade nas condições do solo, alagamento e cobertura vegetal dentro desta marisma. Estes resultados enfatizam a importância da consideração de fatores topográficos e edáficos como o tipo e umidade do solo na análise espectral de dosséis vegetativos em terras úmidas (sujeitas a alagamento periódico).

Outro aspecto explorado no presente estudo foi a variabilidade espacial e sazonal do NDVI. Analisando, cada período do ano em separado e.g. uma relação direta (Hardisky et al. 1984, Gross et al. 1987, Gross et al. 1990), este índice vegetacional calculado para as parcelas-alvo de S. alterniflora apresentou um comportamento oposto ao esperado tendo correlação negativa com os dados de biomassa aérea de S. alterniflora e positiva com os dados de umidade do solo. Entretanto, se for considerada a escala de maior variação da biomassa, que foi a diferença sazonal, uma relação positiva entre o NDVI e biomassa pode ser visualizada. Maiores valores de NDVI foram observados na Ilha da Pólvora no verãooutono, junto com as maiores médias de biomassas, e os menores valores de NDVI foram estimados no Farol durante o inverno-primavera, onde quantificou as menores biomassas. Este resultado parece estar relacionado à sensibilidade deste índice, calculado a partir das imagens CCD/CBERS-2, bem como devido a presença de água de alagamento/umidade no solo. Os valores estimados de NDVI das parcelas-alvo de S. alterniflora foram em geral baixos, e até mesmo negativos (entre -0,09 e 0,24), mesmo em áreas com os maiores valores de biomassa viva (150-200 g m⁻²) desta planta. Gross et al. 1987 em estudo realizado com imagens TM/LANDSAT encontraram valores de NDVI em áreas de colonizadas por *S. alterniflora*, acima de 0,25 para esta mesma amplitude de biomassa no verão. A magnitude de valores espectrais das parcelas-alvo de *S. alterniflora* poderia ser explicada, no entanto, pela maior absorção de energia eletromagnética pela água na faixa do infravermelho e maior reflexão na faixa do visível (Moreira 2001). Uma vez que NDVI é obtido através da diferença normalizada destas duas bandas espectrais, a maior absorção relativa da água de alagamento do infravermelho em relação ao vermelho, geram menores valores de NDVI. Este ruído só seria superado quando a biomassa de superfície ultrapassasse uma dada magnitude ou quando o terreno fosse drenado, permitindo uma relação direta entre valores de NDVI e densidade de biomassa. A influência do alagamento no cálculo do NDVI também foi identificada no trabalho realizado por Golt*z, et al.* 2007 no estudo realizado no com imagens MODIS/TERRA no Pantanal Sulmatogrossense, onde deduzem que áreas com valores NDVI menores ou negativos, na época de cheia, encontravam-se alagadas.

A regressão de valores NDVI com parcelas-alvo de marismas que apresentam maiores valores de biomassa viva aérea (Capítulo 3), permitiu a detecção de um relacionamento positivo entre este parâmetro, evidenciando a hipótese acima de valores limiares para a utilização do NDVI, gerado a partir de imagens CCD/CBERS-2 em marismas e do efeito do alagamento sobre as estimativas destes índices.

4.5 CONCLUSÕES

A caracterização espectral das áreas do estuário da Lagoa dos Patos, vegetadas por *S. alterniflora*, através dos FRBS das bandas do visível e infravermelho próximo das imagens CCD/CBERS-2, permitiu a avaliação da dinâmica sazonal e local da heterogeneidade espacial dos componentes de biomassa aérea vivo e morto desta espécie. Além disso, foi possível avaliar os principais fatores de superfície que influenciam cada uma das bandas espectrais analisadas.

A distinta caracterização espectral da P16, localizada no ambiente de transição de marismas para campo, demonstra a possibilidade de detecção dos diferentes hábitats encontrados nas marismas, através dos dados orbitais das imagens CCD/CBERS-2.

O índice NDVI das áreas vegetadas por *S. alterniflora*, apresentou forte influência da água, o que sugere que para estas áreas, outros índices devam ser analisados, levando em consideração esta variável e tendo um maior número de pontos de coleta.

5 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os resultados encontrados neste estudo demonstraram a possibilidade da caracterização espectral e distinção dos pisos entremarés e estimativa da biomassa aérea viva das áreas de marismas do estuário da Lagoa dos Patos, através de imagens CCD/CBERS-2.

Embora os valores de estimativa de biomassa, através do índice NDVI tenham sido influenciados pela presença da água, acredita-se que após uma maior validação com dados de campo e um maior número de amostras, este índice poderá ser uma ferramenta potencial para realizar estimativas da produção primária e variação interanual destes ambientes costeiros. Além disso, sugere-se que outras combinações de bandas espectrais sejam realizadas, levando em consideração as principais variáveis que afetaram nas respostas espectrais obtidas neste estudo, com a intenção de verificar a que melhor se relaciona com os valores de biomassa aérea viva das áreas analisadas.

Estudos futuros poderão ser realizados com a finalidade de utilização de imagens CBERS-2 para caracterizar o solo das marismas, para estimar a quantidade de detrito em sua superfície e avaliar de carbono fixado no sedimento das mesmas, tendo em vista a influência que estes parâmetros demonstraram para as variações espectrais encontradas.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, PC, CSB COSTA, CE BEMVENUTI, C ODEBRECHT, W GRANELI & AM
 ANÉSIO. 2006. Eutrophication Processes and Trophic Interactions in a Shallow
 Estuary: Preliminary Results Based on Stable Isotope Analysis (d13C and d15N).
 Estuaries and Coasts, 29(2): 277-285.
- ADAIME, RR 1978. Estudo da Variação Sazonal do "Standing-Crop" e do Repovoamento em um Banco de Spartina alterniflora Loiseleur, no Complexo Estuarino-lagunar de Cananeia. *Bol. do Inst. Oceanogr.*, 27:1-43.
- ADAM, P 1993. Saltmarsh Ecology. Nova Iorque: Cambridge University Press. 461p.
- BERTNESS, MD 1999. The ecology of Atlantic shorelines. Sinauer associates, Inc. Massachusetts. 417p.
- BREPOHL, DC, PC ABREU, AMB ANÉSIO, & CSB COSTA. 1996. Variação da biomassa microbiana durante a degradação da macrófita Scirpus maritimus var. macrostachyus (Lam) Mich. Atlântica, 18: 13-26.

- BROWER, JE, JH ZAR. 1977. Field and Laboratory Methods for General Ecology. Dubuke, Iowa: Wm. C. Brown Company Publishers. 194p.
- CAMARA, G, RCM SOUZA, UM FREITAS & J GARRIDO.1996. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. *Computers & Graphics* 20: (3) 395-403.
- CARVALHO, OA, RF GUIMARÃES. Cadastro das obras hidráulicas do estado da Bahia como instrumento da gestão territorial e ambiental. Diponível em:
- http://www.gisengenharia.com.br/pdfs/identobrashidraulicas.pdf> Acesso 11 jul 2008.
- CLARKE, KR, RN GORLEY. 2001. PRIMER v5 User Manual/Tutorial. PRIMER-E: Plymouth. 91p.
- CLODOVEU D, GC NETO. 2001. Disponível em: http://mtc-

m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.19.14.10/doc/cap3-arquitetura.pdf. Acesso em: 02/06/2008.

- COIMBRA, F, CSB COSTA. 2006. Mapeamento digital dos macrohábitats de dunas e marismas da costa do Rio Grande do Sul através de imagens de satélite e fotografias aéreas. *In: Anais do ENCOGERCO* - Encontro Nacional de Gerenciamento Costeiro. Florianópolis: Agência Brasileira de Gerenciamento Costeiro. CD-ROM 09.
- COPERTINO, M 1995. Spartina alterniflora Loisel no Estuário da Lagoa dos Patos, RS-Brasil. Desempenho populacional em pântanos Irregularmente alagados. Rio Grande:
 FURG, 1995. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica), Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Biologia, Fundação Universidade Federal do Rio Grande.

- COPERTINO, M, CSB COSTA & U SEELIGER. 1997. Dinâmica Populacional de Spartina Alterniflora em Pantanos Salgados do Estuário da Lagoa dos Patos, Rio Grande, RS. *In: VIII Seminário Regional de Ecologia* São Carlos: Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Renováveis, São Carlos. Anais. São Carlos: UFSCar, p. 295-312.
- COSTA, CSB 1998a. Marismas Irregularmente Alagadas. In: Seeliger, U, C Odebrecht, & JP Castello (eds.). Os Ecossistemas Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil. Ecoscientia, Rio Grande (RS), Cap. 5: 82-87.
- COSTA, CSB 1998b. Plantas de Marismas e Terras Alagáveis. In: Seeliger, U, C Odebrecht, & JP Castello (eds.). Os Ecossistemas Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil. Ecoscientia, Rio Grande (RS), Cap. 4: 25-29.
- COSTA, CSB 1998c. Production ecology of *Scirpus maritimus* in southern Brazil. *Ciência e Cultura* (SBPC), 50(4): 273-280.
- COSTA, CSB, AJ DAVY. 1992. Coastal Salt Marsh Communities of Latin America. In: SEELIGER, U. (Org.). Coastal Plant Communities of Latin America. New York: Academic Press, p. 179-199.
- COSTA, CSB, U SEELIGER, CPL OLIVEIRA & AMM MAZO. 1997. Distribuição, funções e valores das marismas e pradarias submersas no estuário da Lagoa dos Patos (RS, Brasil). *Atlântica*, 19: 65-83.
- COSTA, CSB, U SEELIGER & P KINAS. 1998. The effect of wind velocity and direction on the salinity regime in the lower Patos Laggon estuary. *Ciência e Cultura* 40 (9): 909-912.

- COSTA, CSB, JC MARANGONI. 2000. Impacto ambiental do asfaltamento da BR101 sobre as marismas e São José do Norte (RS, Brasil): Estado atual efeitos potenciais. *Anais do V Simpósio de Ecossistemas Brasileiros: Conservação*, São Paulo: Academia de Ciências do Estado. 1: 268-291.
- COSTA, CSB, JC MARANGONI & AMG AZEVEDO. 2003. Plant zonation in irregularly flooded salt marshes: relative importance of stress tolerance and biological interactions. *J. Ecol.*, 91 (6): 951-965.
- COSTA, CSB, FL COIMBRA & G DIMAS. 2005. Impacto do Pulso de Limnificação 2000-2004 sobre a paisagem das marismas do sul do Brasil: Estudo de caso da Ilha da Pólvora (Rio Grande, RS). Anais do VII Congresso de Ecologia do Brasil. Caxanbu, MG.1113a. CD-ROM.
- COUTINHO, R, U SEELIGER. 1984. The horizontal distribution of the benthic algal flora in the Patos Lagoon estuary, Brazil. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 80: 247 257.
- CUNHA, SR, M ASMUS & CSB COSTA. 2005. Production dynamics of *Spartina alterniflora* salt marshes in the estuary of Patos Lagoon (RS, Brazil): A Simulation model approach. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*. 9 (2): 75-85.
- FONSECA, EL, LMG ROSA & DC FONTANA. 2002. Caracterização espectral de Paspalum notatum em diferentes níveis de adubação nitrogenada. Pesq. Agropec. Bras., 37(3): 365-371.
- GAONA, CAP, AR PEIXOTO & CSB COSTA. 1996. Produção primária de uma marisma raramente alagada dominada por *Juncus effusus* L., no extremo sul do Brasil. *Atlântica*, 18: 43-54.

- GARCIA, CAE 1998. Características Hidrográficas. In: Seeliger, U, C Odebrecht, & JPCastello (eds.). Os Ecossistemas Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil.Ecoscientia, Rio Grande (RS), Chap. 4: 18-21.
- GAUCH, HG, JR 1984. Multivariate analysis in community ecology. Cambridge, Cambridge University Press. 298p.
- GROSS, MF, V KLEMAS & JE LEVASSEUR. 1986. Remote-Sensing of *Spartina-Anglica* Biomass in 5 French Salt Marshes. *Rem. Sens. Environ.*, 7: 657-664.
- GROSS, MF, MA HARDISKY, V KLEMAS & PL WOLF. 1987. Quantification of Biomass of the Marsh Grass Spartina alterniflora Loisel Using Landsat Thematic Mapper Imagery. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 53(11): 1577-1583 p.
- GROSS, MF, MA HARDYSKY & V KLEMAS. 1990. Inter-annula Spatial Variability in the Response of Spartina alterniflora Biomass to Amount of Precipitation. J. Coast Res., 6(4): 949-960.
- HARDISKY, M, R SMART & V KLEMAS. 1983. Growth response and seasonal spectral characteristics of a short *Spartina alterniflora* saltmarsh irrigated with freshwater and sewage effluent. *Rem. Sens. Environ.*, 13: 57-67.
- HARDISKY, MA DAIBER, FC ROMAN, CT & V KLEMAS. 1984. Remote-Sensing of Biomass and Annual Net Aerial Primary Productivity of a Salt-Marsh. *Rem. Sens. Environ.*, 16: 91-106.
- HICKENBICK, GIULIANO R, AL FERRO & PC ABREU. 2004. Produção de Detritos de Macrófitas Emergentes em uma Marisma do Estuário da Lagoa dos Patos: Taxas de Decomposição e Dinâmica Microbiana. *Atlântica*. 6: 61-75.

- INPE. Disponível em: http://www.cbers.inpe.br/?content=introducao. Acesso em: 20/05/2008.
- ISACCH JP, CSB COSTA, L RODRÍGUEZ-GALLEGO, D CONDE, M ESCAPA, DA GAGLIARDINI & OO IRIBARNE. 2006. Distribution of saltmarsh plant communities associated with environmental factors along a latitudinal gradient on the southwest Atlantic coast. J. Biogeogr., 33 (5): 888-902.
- KAMPEL, M, S AMARAL & MLG SOARES. 2005. Imagens CCD/CBERS e TM/Landsat para análise multi-temporal de manguezais no Nordeste brasileiro. Um estudo no litoral do Estado do Ceará. *In: Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 2005, Goiânia. 979-986.
- LACERDA LD, JL FREIXO & SM COELHO. 1997. The effect of Spartina alterniflora Loisel on trace metals accumulation in inter-tidal sediments. *Mangroves and Salt Marshes*, 1(4): 201-209.
- LÉLIS, RJF, CSB COSTA & C HARTMANN. 2001. Evolução ao longo de 50 anos de estruturas biogênicas de marismas no sul do Brasil: Ilha da Pólvora (Rio Grande, RS). *In: Anais da VIII Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quartenário (ABEQUA)*, Porto Alegre: ABEQUA/UFRGS. 483-484.
- LIESENBERG, V, FL PONZONI & LG GALVÃO. 2007. Análise da dinâmica sazonal e separabilidade espectral de algumas fitofisionomias do cerrado com índices de vegetação dos sensores MODIS/TERRA e AQUA. *Revista Árvore*, 32 (2): 295-305.

LOCH, C 2000. A Interpretação de Imagens Aéreas. Editora da UFSC. 120 p.

- MANLY, BFJ 1986. Multivariate statistical methods: a primer. London, Chapman and Hall Ltd. 159p.
- MARANGONI, JC, CSB COSTA. 2006. Variação temporal da extensão das marismas do estuário da Lagoa dos Patos (RS): Causas antrópicas e processos naturais. *In: Simpósio sobre Biomas Costeiros e Marinhos*. Salvador (BA): CBCN Centro Brasileiro para Conservação da Natureza e Desenvolvimento Sustentável. 5-8p.
- MARENGO, JA, A MENENDEZ, A GUETTER, T HOGUE & CR MECHOSO. 2007. Eventos hidrometeorológicos extremos: caracterización y evaluación de métodos de predicción de eventos extremos de clima y de la hidrología en la Cuenca del Plata. São José dos Campos: INPE. Disponível em: http://urlib.net/sid.inpe.br/mtcm17@80/2006/12.11.12.32>. Acesso 28 mar 2008.
- MARINS, RV, LD LACERDA, GO GONÇALVES, & EC PAIVA. 1997. Effect of Root
 Metabolism on the Post-Depositional Mobilization of Mercury in Salt Marsh Soils.
 Bull. Environ. Contam. Toxicol, 58: 733-738.
- MATA, MM, OO MÖLLER. 1993. Sobre o tempo de descarga do Estuario da Lagoa dos Patos. *Atlantica*, 15: 37-48.
- MENDONÇA, PT, CSB COSTA. 2007. Estabelecimento de propágulos vegetativos de Spartina alterniflora em um plano entremarés no estuário da Lagoa dos patos (RS). In: Resumos Expandidos do XII Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar (XII COLACMAR), Florianópolis, Itajaí (SC): ALICMAR-AOCEANO. 1: 1-3.
- MOREIRA, MA 2001. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação. São José dos Campos: INPE. 250p.

- NIENCHESKI, LF, MG BAUMGARTEN. 1998. Química ambiental. U., Odebrecht, C. & Castello, J. P. (Eds.). Os ecossistemas costeiro e marinho do extremo Sul do Brasil. Editora Ecoscientia. Rio Grande. Brasil. Cap. 4: 21-25.
- NOBRE, CA 2001. Mudanças climáticas globais: possíveis impactos nos ecossistemas do país. Parcerias estratégicas, 12: 239-258.
- NOGUEIRA, RXS 2002. SIGMAR: Aplicação e Análise da Vulnerabilidade das Marismas do Estuário da Lagoa dos Patos a derrames de óleo. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Oceanologia - FURG). 78 p.
- NOGUEIRA, RXS, CSB COSTA, RJF LÉLIS & C HARTMANN. 2001. Mapeamento digital da paisagem das marismas do ecomuseu da Ilha da Pólvora (Rio Grande, RS).
 In: Anais do I Simpósio de Áreas Protegidas. Pelotas: UCPEL. 162-165.
- NOGUEIRA, RXS & CSB COSTA. 2003a. SIGMAR: Aplicação e análise de sensibilidade das marismas a derrames de óleo. *In: Anais do XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)*, Belo Horizonte: INPE. 1617-1619.
- NOGUEIRA, RXS, CSB COSTA. 2003b Mapeamento das marismas do estuário da Lagoa dos Patos (RS) utilizando fotografías aéreas digitais 35 mm no modo infravermelho. *In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quartenário ABEQUA*, Recife.
- PASSOS, LG, DA SILVA, MRLF & CC VALE. 2007. Uso do satélite CBERS para detecção do manguezal da Baía de Vitória-ES. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis. Anais. São José dos Campos: INPE. 1009-1016.
- PEIXOTO, AR, CSB COSTA, & CAP GAONA. 1997. Produção Primária Líquida Aérea de Cinco Comunidades Vegetais de Uma Marisma do Estuário da Lagoa dos Patos. *In*:

VII Congresso Latino Americano de Ciências do Mar. Santos. Anais. Santos: IOUSP-ALICMAR-FIESP.

- PEIXOTO, AR, CSB COSTA. 2004. Produção primária líquida aérea de Spartina densiflora Brong. (Poaecea) no estuário da laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil. Iheringia Série Botânica, 59(1): 27-34.
- PICKARD, GL, WJ EMERY. 1990. Descriptive Physical Oceanography: An Introdution. Pergamon. 320p.
- PONZONI, FJ, ZULLO JJ & RAC LAMPARELLI. 2006. Transformações radiométricas dos dados dos sensores do satélite CBERS-2. *In: Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal*, Campo Grande, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.912-921.
- PONZONI, FJ, YE SHIMABUKURO. 2007. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação. São José dos Campos: Parêntese. 135p.
- ROSATTI, JC, EA SILVA, HR SILVA & PC KRUPPA. 2006. Caracterização espectral de áreas de gramíneas forrageiras infectadas com a doença "mela-das-sementes da braquiária" por meio de imagens CCD/CBERS-2. *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, 26 (3): 813-822.

SALISBURY, BF, WC ROSS. 1991. Plant Physiology. California, Wadsworth. 681p.

SEELIGER, U, CSB COSTA. 1998. Impactos naturais e humanos. In: Seeliger, U, C Odebrecht, & JP Castello (eds.). Os Ecossistemas Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil. Ecoscientia, Rio Grande (RS), Cap. 10: 217-226.

- SEELIGER, U, CSB COSTA, & PC ABREU. 1998. Ciclos de Produção Primária. In: Seeliger, U, C Odebrecht, & JP Castello (eds.). Os Ecossistemas Costeiro e Marinho do Extremo Sul do Brasil. Ecoscientia. Cap. 5: 73-78.
- SEELIGER, U, CSB COSTA. 2002. The Patos-Mirim basins, lagoons and estuary: natural and human forcing factors. *Loicz Reports Studies*. 21: 105-112.
- SIEGEL, S 1975. Estatística não-paramétrica para as Ciências do Comportamento. São Paulo: McGraw-Hill. 350p.
- SUGUIO, K 1973. Introdução à sedimentologia. São Paulo: EDUSP. 317p.
- TANRÉ, D, C DEROO, P DUHAUT, M HERMAN & JJ MORCRETTE. 1990.Description of a Computer Code to Simulate the Satellite Signal in the Solar Spectrum: The 5S Code, *Int. J. Remote Sens.*, 11 (4): 659-668.
- TUTORIAL SPRING. São José dos Campos: INPE. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/ . Acesso em 20/03/2007.
- VIEIRA, TGC, HMR ALVES & MPC LACERDA. 2003. Parâmetros culturais para avaliação do comportamento espectral da cultura do café (*coffea arábia*) em Minas Gerais. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 11. Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte: INPE, 2003. 247-254.
- ZAR, JH 1984. Biostatistical Analysis. Prentice-Hall Inc. Nova Iorque: Editora. 718p.
- ZULLO, J 1994. Correção atmosférica das imagens de satélite e aplicações. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Campinas: UNICAMP. 194p.