

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO  
REMOTO E METEOROLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

AGOSTINHO BOMBASSARO JUNIOR

**ESTIMATIVA DE BIOMASSA DE PRADOS DE CAPIM-AGULHA A  
PARTIR DE IMAGEM DE SATÉLITE**

Porto Alegre

2009

AGOSTINHO BOMBASSARO JUNIOR

**ESTIMATIVA DE BIOMASSA DE PRADOS DE CAPIM-AGULHA A PARTIR DE  
IMAGEM DE SATÉLITE**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto do Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – UFRGS, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Sensoriamento Remoto.

Orientador: Profa. Dra. Silvia Beatriz Alves Rolim

Porto Alegre

2009

AGOSTINHO BOMBASSARO JUNIOR

**ESTIMATIVA DE BIOMASSA DE PRADOS DE CAPIM-AGULHA A PARTIR DE  
IMAGEM DE SATÉLITE**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto do Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – UFRGS, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Sensoriamento Remoto.

Orientador: Profa Dra Silvia Beatriz Alves Rolim

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Silvia Beatriz Alves Rolim  
(UFRGS – orientadora)

---

Prof. Dr. Waterloo Pereira filho (UFSM)

---

Profa. Dra. Rosemary Hoff (EMBRAPA)

---

Profa. Dra. Eliana Lima da Fonseca  
(Instituto Geociências/UFRGS)

Porto Alegre, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2009

## AGRADECIMENTOS

Ao Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Mamíferos Aquáticos CMA-ICMBi, pelo apoio prestado cedendo pessoal e disponibilizando embarcações e toda a infraestrutura que foi necessária para a saída de campo, nas figuras de sua chefe Fábria de Oliveira Luna e Terezinha A. Sotelo Martinez chefe substituta.

À Dra Karine Magalhães da UFRPe por todo o apoio que prestou com sua equipe, Maria Elisa Pitanga de Macêdo Silva e Thiago Nogueira de Vasconcelos Reis para coleta e cálculo da biomassa do capim-agulha. Sem vocês esse trabalho não seria possível.

Aos meus pais Agostinho e Iria por tudo que sempre fizeram por mim.

À minha mãe que financiou parte desta pesquisa, pagando meu deslocamento até a área de estudo.

À Tatiane Pereira de Souza sem a qual nada disso teria sido possível.

Ao Leandro Krug Wives, pelas inúmeras vezes que me ajudou nesta dissertação.

Ao Thiago Veloso, que nesta jornada surgiu como colega e terminou como um grande amigo, obrigado pelas inúmeras vezes que me ajudou.

Ao Dr Flávio Ponzoni, que me ensinou e orientou em tudo o que necessitei em se tratando de transformações radiométricas. Mais do que um professor passou a ser um modelo de profissional.

Ao Dr Douglas Francisco Marcolino Gherardi, que verificando a impossibilidade de meu trabalho inicial sugeriu o tema apresentado nesta dissertação.

Ao Dr Regis Lima Pinto do Instituto Chico Mendes, grande amigo e exemplo de profissional, obrigado por me emprestar teu ouvido quando necessitei.

A UFRGS, que seguindo sua tradição de contrastes e contradições, permitiu que eu realizasse esse mestrado.

A CAPES que financiou este estudo.

Aos meus amigos de toda a vida, que, nos momentos difíceis, me acolheram e ajudaram a curar minhas feridas.

## RESUMO

Este trabalho trata da construção de mapas quantitativos de alvos subaquáticos a partir de imagens de satélite. Especificamente, trata da estimativa de biomassa de prados de capim-agulha (*Halodule Wrightii*) no litoral de Pernambuco a partir de imagens Landsat5. A coluna d'água altera, de maneira distinta e exponencial os diferentes comprimentos de onda eletromagnéticos distorcendo as correlações existentes entre os mesmos. Devido a isso, torna-se imprescindível eliminar a influência da coluna d'água a fim de que se possa fazer qualquer tipo de análise quantitativa relacionando alvos subaquáticos com a resposta espectral do mesmo. O método testado neste trabalho baseia-se na construção de bandas invariantes em relação à coluna d'água. As bandas invariantes em relação à coluna d'água são feitas a partir de pares de bandas. O coeficiente de determinação ( $r^2$ ) encontrado foi de 0,582 para o par de bandas (2,4) e de 0,709 para o par de bandas (3,4) o que demonstra a eficiência do método testado.

**Palavras-chaves:** Seagrass. Bandas invariantes. Sensoriamento remoto.

## ABSTRACT

This work approaches the making of quantitative maps of underwater targets based on satellite images, specifically, the estimate of biomass in seagrass (*Halodule Wrightii*) fields on Pernambuco's coast taken from images of Landsat5. The water column distinctly and exponentially alters the different electromagnetic wave lengths, distorting the existing correlation between them. Because of this, it is crucial to eliminate the water column's effect so that we can carry out different kinds of quantitative analysis relating underwater targets with their spectral response. The method tested in this work is based on the construction of bands that do not vary in relation to the water column. These invariable bands are made from pairs of bands. The determination coefficient ( $r^2$ ) found was 0.582 for the pair of bands (2.4) and 0.709 for the pair of bands (3.4), which shows the efficiency of the abovementioned method.

**Key words:** Seagrass. Invariable bands. Remote sensing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - No centro da imagem, a ilha de Itamaracá; ao norte, a área de estudo. Composição 4(R),3(G),2(B). .....	13
Figura 2 - Relação entre reflectância e cobertura de vegetação aquática submersa .....	19
Figura 3 - Fatores que influenciam a L0 para um sensor orbital .....	22
Figura 4 - Comportamento espectral de diferentes alvos. Adaptado do Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geologia do Rio de Janeiro .....	24
Figura 5 - Coeficiente de Absorção (a) e de Espalhamento (b) da Água Pura.....	25
Figura 6 - Influência da coluna d'água na resposta espectrais de <i>seagrass</i> .....	26
Figura 7 : passos para construção da razão entre o coeficiente de atenuação $K_i/K_j$ .....	30
Figura 8 - Área de estudo, a mancha clara refere-se a uma área de fundo arenoso e a parte escura com presença de capim-agulha. ....	32
Figura 9 - Imagem do capim-agulha em visada no nadir e a contribuição do fundo arenoso. ....	33
Figura 10 - Imagem TM/LANDSAT-5 órbita 214 ponto 065 .....	35
Figura 11 - Área de estudo com as estações composição 4(R),3(G),2(B) .....	35
Figura 12 - Acoplamento da imagem registrada composição falsa cor (4, 3, 2) com imagem de referência composição cor verdadeira.....	39
Figura 14 - Pontos plotados, linha de tendência e $r^2$ para os pares de banda 2,4. ...	42
Figura 15 - Pontos plotados, linha de tendência e $r^2$ para os pares de banda 2,4 calculadas a partir da média dos pixels em torno do pixel central. ....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características do sensor TM instalado no satélite Landsat-5 .....	20
Tabela 2 - Valores de calibração.....	20
Tabela 3 - Valores de média e variância dos pixels em água rasa e fundo arenoso para as bandas 1, 2, 3 e 4 do sensor TM/Landsat-5.....	40
Tabela 4 - Valores de covariância para os pares de bandas 1,2,3 e 4 coletados em água rasa. ....	40
Tabela 5 - Valores de coeficiente de atenuação para os possíveis pares de bandas .....	40
Tabela 6 - Valores de média e variância dos pixels em água PROFUNDA para as bandas 1,2,3 e 4 do sensor TM/Landsat-5.....	41
Tabela 7 - Pontos de coleta, valores de $Y_{ij}$ para os pixels e a medida de biomassa ( $g/m^{-2}$ ).....	41
Tabela 8 - Pontos de coleta, valores de $Y_{ij}$ para a média dos pixels e a medida de biomassa ( $g/m^{-2}$ ). ....	41
Tabela 9 - Valores de $r^2$ e equação da reta calculadas a partir de cada pixel.....	42
Tabela 10 Valores de $r^2$ e equação da reta calculadas a partir da média dos pixels. ....	43

## LISTA DE ABREVIATURAS

6S - *Second Simulation of the Satellite Signal in the Soplar Spectrum*

CASI - Compact Airborne Spectrographic Image

CMA - Centro de Mamíferos Aquáticos

Esun - Irradiância solar

FRB - Fator de Reflectância Bidirecional

FRB<sub>apa</sub> - Fator de Reflectância Bidirecional aparente

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

$k_i/k_j$  - coeficientes de atenuação das bandas  $i$  e  $j$

ND - Número Digital

RA - Reflectância Aparente

REM - Radiação Eletromagnética

SPOT - Systeme Probatoire de l'Observation de la Terre

UFRPE – Universidade Federal Rural de Pernambuco

VINIR - Visível e infravermelho próximo

$Y_{ij}$  - Bandas invariantes em relação a coluna d'água

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SIGLAS

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1 ÁREA DE ESTUDO .....	12
<b>1.2 OBJETIVO</b> .....	<b>13</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>14</b>
2.1 MÉTODOS USADOS NA ESTIMATIVA DE BIOMASSA EM PRADOS DE SEAGRASS .....	14
2.1.1 Coleta de dados a partir de transecção .....	15
2.1.2 Biblioteca de fotos/vídeos .....	16
2.1.3 SONARES .....	16
2.1.4 Sensores aéreos e orbitais .....	17
2.2 PROGRAMA LANDSAT .....	19
2.2.1 Transformações Radiométricas e Correção Atmosférica .....	20
2.2.2 Comportamento espectral de alvos .....	24
2.2.3 Comportamento da água .....	25
2.2.4 Comportamento espectral da vegetação .....	27
2.2.5 Construção de bandas invariantes em relação à coluna d'água .....	28
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>31</b>
3.1 SOBRE O MÉTODO ESCOLHIDO .....	31
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	32
3.2 PRÉ-PROCESSAMENTO DA IMAGEM .....	35
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>38</b>
4.1 O REGISTRO .....	38
4.2 AS TRANSFORMAÇÕES RADIOMÉTRICAS .....	39
4.3 CÁLCULO DAS BANDAS INVARIANTES EM RELAÇÃO À PROFUNDIDADE DA ÁGUA .....	40
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	<b>44</b>
5.1 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS .....	45
<b>ANEXO</b> .....	<b>51</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O capim-agulha (*Halodule wrightii*) é uma fanerógama marinha existente no Brasil desde o litoral do Piauí até o litoral de Santa Catarina (MAGALHÃES; ALVES 2001), sendo a principal espécie de fanerógama existente no Brasil. Nos seus prados, vivem mais de 115 táxons distintos (ALVES, 1991) além de ser um elemento importante na atenuação do hidrodinamismo da costa. Apesar de sua importância, os prados de capim-agulha estão sofrendo uma crescente degradação, principalmente por atividades antrópicas. Monitorar os prados de capim-agulha, portanto, passa a ser atividade fundamental, pois estabelece o grau de influência das atividades humanas no *status* dos prados existentes (PINTO, 2008).

Os prados de capim-agulha (*H. wrightii*)<sup>1</sup> são a base para várias espécies de poliquetas<sup>2</sup> (OMENA; CREED, 2004), além de servir de berçário e área de proteção de diversas espécies de moluscos, crustáceos e peixes. Nesses prados, vivem cerca de 115 táxons (ALVES, 1991), o que comprova a grande biodiversidade existente. O capim-agulha também é usado pelo Centro de Mamíferos Aquáticos (CMA) como a base da alimentação peixe-boi marinho (*Trichechus manatus*) que coleta 12 toneladas ano da planta na região de Itamaracá (MAGALHÃES; ESKINAZI-LEÇA, 2001). Além da importância no que diz respeito aos aspectos biológicos, os prados de capim-agulha contribuem para a redução da hidrodinâmica na região costeira através da estabilização do sedimento.

O capim-agulha acumula, em sua estrutura, metais presentes no meio ambiente, o que o torna um importante bioindicador da qualidade da água (AMADO FILHO et al., 2004); pode ser encontrado desde o litoral do estado do Piauí até o estado de Santa Catarina (MAGALHÃES; ALVES, 2001). Genericamente, o capim-agulha é classificado como uma fanerógama marinha (*seagrass*). Atualmente, são conhecidos 12 gêneros e 58 espécies de fanerógamas marinhas, distribuídas em quatro famílias, duas ordens (Hydrocharitales e Potamogetonales) e uma classe (Liliopsidia). Vários autores têm incluído o gênero *Ruppia* como uma fanerógama

---

<sup>1</sup> Do ponto de vista botânico, o capim-agulha (*Halodule wrightii*) é classificado como pertencente à Família Potamogetonaceae, Gênero Halodue, Espécie *H. wrightii* Asch. (<http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?415379>)

<sup>2</sup> Poliqueta é uma classe de anelídeo que inclui cerca de 8.000 espécies de vermes aquáticos. A grande maioria das espécies é típica de ambiente marinho, mas algumas formas ocupam ambientes de água doce ou salobra ([pt.wikipedia.org/wiki/Polychaeta](http://pt.wikipedia.org/wiki/Polychaeta)).

marinha, elevando o número de espécies para 60. De maneira geral, não existe uma classificação taxonômica fortemente aceita que descreva os gêneros envolvidos, uma vez que eles não estão fortemente relacionados uns aos outros. Isso torna a classificação “fanerógamas marinhas” artificial, embora a classificação de fanerógamas marinhas seja um grupo multifilético: todas as espécies nele agrupadas são angiospermas, monocotiledôneas e pertencem à mesma subclasse aquática (MAGALHÃES; ALVES, 2001).

Angiospermas são plantas com flores, que possuem sementes escondidas, pertencentes ao grupo das monocotiledôneas (o embrião possui apenas um cotilédono), folhas com nervuras paralelas, flores trímeras e raízes fasciculadas. Fanerógamas marinhas, ou *seagrass*, são encontradas no mundo inteiro, desde as latitudes mais baixas as mais altas. As angiospermas marinhas, por sua vez, são importante base da cadeia trófica detrital; além de filtrarem nutrientes, estabilizarem sedimentos, atuarem como redutores de correntes através das suas folhas, suportam cadeias tróficas complexas, sendo reconhecidas como berçário para populações economicamente importantes de crustáceos, peixes e molúsculos (BURGOS et al., 2003).

Saber o tamanho dos prados e a quantidade existente de biomassa em cada prado passam a ser informações de fundamental importância no sentido de estabelecer um acompanhamento do estado geral de qualidade e extensão.

A estimativa de biomassa pode ser entendida como o cálculo da quantidade total de matéria seca vegetal existente no prado. Neste estudo específico, tem o significado restrito da quantidade de matéria de capim-agulha existente por metro quadrado e sua expressão é em gramas de matéria seca por metro quadrado. Quanto maior for o valor de biomassa, maior será a densidade do prado. Prados em bom estado fitossanitário apresentam valores mais altos de biomassa enquanto prados doentes ou degradados apresentam valores menores.

As técnicas usadas para determinação da saúde dos prados passam pelo cálculo de sua biomassa. Essas, como a estimativa através de transecção, bibliotecas de fotos/vídeos e sonares, são trabalhosas e/ou caras. Devido à grande extensão do litoral brasileiro, torna-se fundamental a validação de um método de monitoramento destes prados que seja ao mesmo tempo prático e de baixo custo.

Neste contexto, se inserem as técnicas de sensoriamento remoto uma vez que podem analisar grandes áreas com valores relativamente baixos. Contudo,

a coluna d'água existente acima dos prados de capim-agulha torna muito difícil o uso de imagens de satélite, uma vez que esta altera a percepção da reflectância do alvo de maneira distinta para o sensor tanto pela influência de sua altura, que oscila, como pela influência distinta, que possui nas diferentes bandas analisadas.

Este trabalho tem por objetivo avaliar o uso do sensoriamento remoto para monitoramento dos prados da Capim-agulha utilizando o método proposto por Lyzenga (1978), associando bandas invariantes, em relação à coluna d'água, a grandezas físicas. Lyzenga (1978, 1981) propõe que, ao invés de se tratar individualmente cada fator existente na água que influencia na resposta espectral do alvo, seja feita uma análise geral, considerando a influência total que estes fatores exercem conjuntamente. Este método foi aplicado, posteriormente, por Armstrong (1993), nas Bahamas, e por Schweizer et al. (2005), na Venezuela, para cálculo de biomassa de prados de *seagrass* com o que obtiveram um coeficiente de determinação de 0,79 e 0,638, respectivamente.

Devido à grande extensão do litoral brasileiro e à dificuldade envolvida em estabelecer a biomassa dos prados pelo método tradicional de intersectos, a utilização de sensores remotos nessa atividade passa a ser de fundamental importância.

## 1.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo selecionada fica no município de Goiana, norte do estado de Pernambuco, divisa com o estado da Paraíba. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), tal município possui 71.796 habitantes e uma área de 501 km<sup>2</sup>. O rio Goiana delimita o norte da ilha de Itamaracá, local este onde ocorreu a primeira povoação portuguesa no Brasil. A estação de coleta localiza-se, especificamente, na praia de Catuama próximo à foz do rio Goiana (Figura 1). Essa área é particularmente importante, pois possui um grande e contínuo prado de *Halodule wrightii* com aproximadamente 1,4 km de comprimento por 400 m de largura.

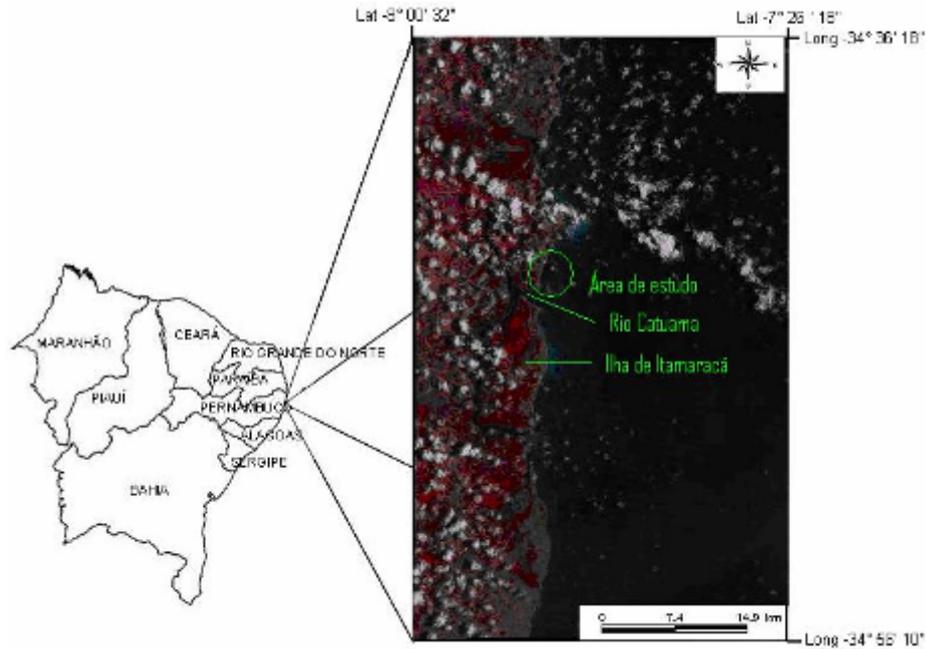


Figura 1 - No centro da imagem, a ilha de Itamaracá; ao norte, a área de estudo. Composição 4(R),3(G),2(B).

As condições da área de estudo incluem águas muito rasas (menos de 1,2 m), baixas latitudes, próximas à linha de costa, de boa transparência.

## 1.2 OBJETIVO

A seguir serão expostos os objetivos a que se propôs quando da realização dessa pesquisa.

### Objetivo Geral:

Avaliar o uso do sensoriamento remoto para monitoramento dos prados da Capim-agulha (*Halodule Wrightii*) no litoral de Pernambuco.

### Objetivos específicos:

1. Testar o método proposto por Lyzenga (1978), associando bandas invariantes, em relação à coluna d'água, a grandezas físicas.
2. Estimar a quantidade de biomassa de um prado de capim-agulha (*Halodule wrightii*) a partir de imagens do sensor TM/Landsat-5.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As primeiras técnicas desenvolvidas para aquisição de dados sobre prados de *seagrass* (extensão, biomassa, espécies existentes) partem da observação direta dos prados e envolvem um grande esforço de coleta no local a ser analisado (KOMATSU et al., 2003). Técnicos saem a campo e coletam diversas amostras do prado a ser analisado e também estabelecem o seu tamanho. Para tanto, é necessário que se percorra a totalidade da área do prado a fim de se estabelecer o seu tamanho e para coletar amostras, uniformemente distribuídas, uma vez que a estimativa da biomassa é realizada através da média da biomassa das amostras coletadas. Essas são, posteriormente, analisadas em laboratório, onde é realizado o cálculo da biomassa (MAGALHÃES et al., 1997; REIS, 2007). A partir da média calculada, o valor obtido passa a valer para toda a extensão do prado.

Numa tentativa de diminuir o tempo e o esforço empregado e aumentar a eficiência do processo, diversos métodos têm sido desenvolvidos na busca de determinar o tamanho, a composição florística e a biomassa dos mesmos. A seguir, serão mostrados os principais métodos para estimativa de biomassa em prados de *seagrass*.

### 2.1 MÉTODOS USADOS NA ESTIMATIVA DE BIOMASSA EM PRADOS DE SEAGRASS

Diversos métodos têm sido usados para estimativa de biomassa de prados de *seagrass*. Esses vão desde o cálculo por médias de amostras coletadas com uso de transecção (MAGALHÃES et al., 1997; REIS, 2007), bibliotecas de fotos/vídeos Kutser et al. (2007), Schultz (2008), o uso de sensores aerotransportados, uso de sonares (KOMATSU et al., 2003), uso imagens de satélite (PHINN et al., 2008; ANDRÉFOUET et al., 2004; ARMSTROG, 1993; SCHWEIZER et al., 2005; LYZENGA, 1978, 1981; YUAN e ZHANG, 2008).

Com exceção do método de coleta de amostras com uso de transecção, todos os demais procuram estabelecer um parâmetro comparativo entre os dados obtidos e as amostras coletadas em campo. Alguns métodos, entre os quais os

baseados em comparações, como biblioteca de fotos/vídeos, são considerados não-destrutivos, pois não se baseiam na coleta de amostras por todo o prado, como o baseado na coleta de amostras por transecção.

Outro problema enfrentado é o alto custo envolvido em diversos métodos. Esse custo pode ser tanto do ponto de vista da energia envolvida (grande número de horas/homem) para coleta e tratamento dos dados como dos valores financeiros envolvidos para a obtenção dos dados. Métodos como uso de transecção e biblioteca de vídeo/fotos têm seu custo concentrado na coleta dos dados, na saída de campo, na obtenção das amostras e em uma extenuante análise métodos. O uso de sonar e sensores aerotransportados tem seu custo na aquisição dos dados (pagamento do avião e os custos de aluguel ou aquisição/manutenção de barcos equipados com sonar). Já o uso de imagens de satélite, especialmente do sensor TM/Landsat-5, tem sido uma alternativa possível, já que o governo brasileiro adotou a política de distribuição gratuita das imagens por ele adquiridas.

### **2.1.1 Coleta de dados a partir de transecção**

O método consiste em traçar transecções (retas) perpendiculares à linha de costa, do limite inicial do prado até próximo ao seu final. Nessas, são determinados pontos – equidistantes entre si – onde são realizadas as coletas de amostras de *seagrass*. Para caracterizar a biomassa, as plantas são separadas em parte foliar e subterrânea e levadas à estufa, em sacos de papel alumínio a uma temperatura de aproximadamente 60°C por dois dias ou até que estejam totalmente secas. Em seguida, as amostras são pesadas em uma balança eletrônica de precisão. Posteriormente, é calculado o total de biomassa levando em conta a médias das amostras e a área do prado (MAGALHÃES et al., 1997; REIS, 2007).

### 2.1.2 Biblioteca de fotos/vídeos

Este método consiste em construir uma biblioteca de fotos ou vídeos que possam ser comparados com o resultado de coletas obtidas em futuras saídas de campo. Kutser et al. (2007) descreve a técnica de coleta de dados usando mergulhadores e construindo uma biblioteca a partir de fotos de áreas delimitadas com 25 cm X 25 cm, cuja biomassa será posteriormente determinada em laboratório e servirá de base para comparações futuras. Schultz (2008) faz um trabalho análogo ao de Kutser et al. (2007), usando vídeo. As vantagens destacadas destes métodos, são: possibilitadores de alta resolução espacial e visual e efetividade nas diferentes profundidades onde estão os prados de *seagrass*, portadores de não-destrutividade e possibilitadores de uma coleta rápida de dados em campo.

### 2.1.3 SONARES

Sonares têm sido utilizados para mapeamento dos prados de *seagrass* desde a década de 1970, no Mar Mediterrâneo. O método consiste em enviar ondas ultrasônicas em certa frequência na água e captar sua reflexão pelos alvos no fundo do mar. Como o coeficiente de reflexão das ondas ultrasônicas depende do material que a está refletindo, especialmente o ar contido nas folhas, é possível identificar distintos objetos. Para estimar a quantidade de biomassa, a resposta do sonar é comparada com as de um conjunto obtidas a partir de experimentação controlada e que servem de base para comparação. Esta base de dados para comparação é chamada de quadrados de exemplos. Este método é muito apropriado quando os prados são pouco densos, e/ou a água é turva ou os prados se encontram em águas profundas (KOMATSU et al., 2003).

#### 2.1.4 Sensores aéreos e orbitais

O uso de satélites para estimativa de biomassa de *seagrass* não é um assunto recente, contudo, poucos são os métodos propostos. Em 1997, Mumby et al. publicaram um artigo comparando a utilização dos sensores instalados nas plataformas Landsat-5, SPOT (Système Probatoire de l'Observation de la Terre) e CASI (Compact Airborne Spectrographic Image) para este fim. Nesse estudo, os prados de *seagrass* encontravam-se a profundidades menores que dez metros. Após a correção atmosférica, foram construídas as bandas invariantes em relação à coluna d'água usando o método de Lyzenga (1978, 1981). O coeficiente de determinação ( $r^2$ ) para o sensor instalado na plataforma SPOT foi de 0,79, e para o sensor TM/Landsat-5 foi de 0,80, enquanto o valor de  $r^2$  para o sensor instalado na plataforma CASI foi de 0,83, demonstrando que não há variação significativa em relação aos sensores comparados (MUMBY et al., 1997). Neste estudo, análise dos componentes principais explicou 92% da variância entre as bandas do sensor TM/Landsat-5 e 94% para as bandas do sensor CASI.

Phinn et al. (2008) propõem um método que leva em consideração não apenas a correção atmosférica, mas também a batimetria da área estudada. O mapa de batimetria é usado como máscara para limitar as áreas de *seagrass* a serem estudadas e tem como limite máximo a profundidade de 3 metros. O limite de 3 metros foi estabelecido a partir de observações prévias *in situ* e modelos de transferência radiativa usadas para separação da assinatura espectral do *seagrass*, sendo este o limite para separação de espécies. A estimativa da biomassa foi realizada a partir da função gerada pela regressão entre os dados coletados em campo e os valores de reflectância para cada ponto. Os melhores resultados para correlação entre comprimento de onda e biomassa foram encontrados no comprimento de onda equivalente ao verde, sendo o  $r^2$  para o Quickbird de 0,345 e para o sensor aerotransportado (CASI) de 0,500.

Outra técnica utilizada se baseia no uso de classificação supervisionada a partir do algoritmo de máxima verossimilhança (ANDRÉFOUET et al., 2004). Neste método, os autores usaram pixels de controle como base de treinamento para o algoritmo de classificação supervisionada com o intuito de mapear a biomassa de

algas no Thaiti. A classificação das imagens resultou em uma acurácia geral de 70%.

Armstrog (1993) e Schweizer et al. (2005) calcularam a biomassa a partir da construção de bandas invariantes, em relação à coluna d'água. Este método foi desenvolvido por Lyzenga (1978; 1981) e tem como pressupostos que a reflectância em águas rasas é uma função da altura da coluna d'água, das propriedades ópticas da água e da reflectância do alvo, além de partir da premissa que as propriedades ópticas da água são uniformes por toda a cena. Ao se combinar as respostas espectrais de diferentes comprimentos de onda eletromagnéticas é possível obter informações sobre a atenuação da coluna d'água e dos alvos. Com isso, é possível estabelecer uma correlação entre as bandas invariantes em relação à coluna d'água e outras grandezas, como biomassa de prados de *seagrass*. Armstrong (1993) conseguiu uma correlação ( $r^2$ ) entre bandas invariantes e biomassa na ordem de 0,79, enquanto Schwenzer (2005) obteve um  $r^2$  de 0,638.

Yuan e Zhang (2008), utilizando imagens do sensor Quickbird, estabeleceram uma relação entre resposta espectral (reflectância) e cobertura do prado (Figura 2). Para tanto, foi realizada inicialmente a transformação da imagem para valores de reflectância de superfície. Os valores obtidos foram comparados com valores obtidos *in situ* com um espectroradiômetro portátil (FieldSpec™ Pro JR, Analytical Spectral Devices, Inc., Boulder, CO) colocado na posição de nadir a 1 metro acima da superfície da água. A partir desses dois dados, foram calculados os coeficientes de regressão para 4 bandas do satélite Quickbird. O mapa de cobertura foi realizado usando um classificador supervisionado. Os valores de  $r^2$  variaram de 0,73 (banda 3, 630–690 nm) a 0,89 (banda 4, 760–900 nm).

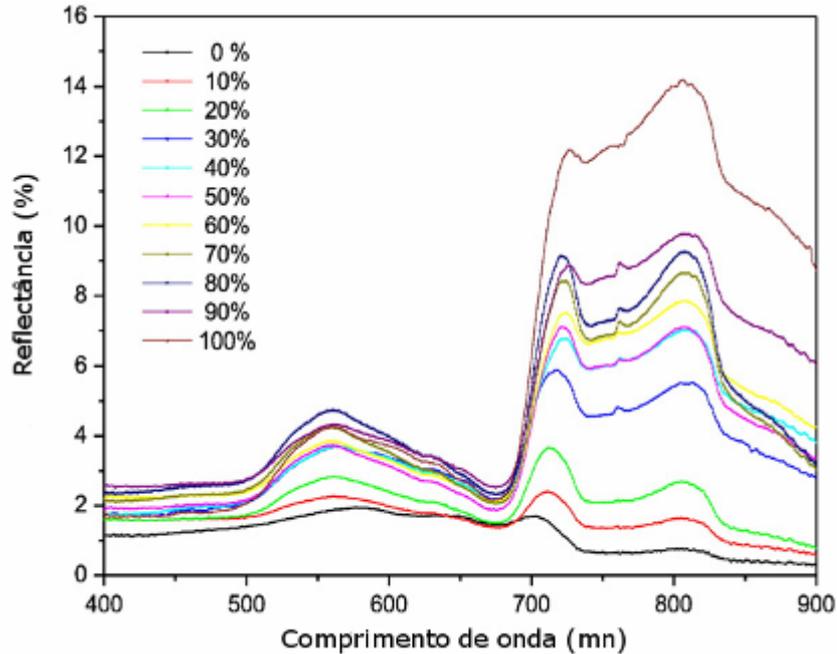


Figura 2 - Relação entre reflectância e cobertura de vegetação aquática submersa

Fonte: YUAN; ZHANG, 2008.

## 2.2 PROGRAMA LANDSAT

O Programa Landsat é o mais longo empreendimento em funcionamento para a aquisição de imagens da Terra do espaço. O primeiro satélite foi lançado em 1972; o mais recente, o Landsat-7, foi lançado em 15 de abril de 1999 e encerrou suas atividades em 2003. Atualmente, apenas o Landsat-5, lançado em 1984, está em funcionamento.

O Satélite Landsat-5 está a uma altitude de 705 km, tem como horário de passagem 09h45min no equador e uma resolução temporal de 16 dias (NASA [http://landsat.gsfc.nasa.gov/about/L5\\_td.html](http://landsat.gsfc.nasa.gov/about/L5_td.html)). O sensor TM (Thematic Mapper) nele instalado possui as seguintes características (Tabela 1):

Tabela 1 - Características do sensor TM instalado no satélite Landsat-5

<b>Bandas Espectrais</b>	<b>Resolução Espectral</b>	<b>Resolução Espacial</b>
1	0,45 - 0,52 $\mu\text{m}$	
2	0,50 - 0,60 $\mu\text{m}$	
3	0,63 - 0,69 $\mu\text{m}$	30 m
4	0,76 - 0,90 $\mu\text{m}$	
5	1,55 - 1,75 $\mu\text{m}$	
6	10,4 - 12,5 $\mu\text{m}$	120 m
7	2,08 - 2,35 $\mu\text{m}$	30 m

Fonte: USGS

Em 2003, o sensor TM do Landsat-5 passou por uma recalibração (Tabela 2) absoluta a partir de alvos invariantes como áreas desertas e uma calibração cruzada com o ETM+ Landsat (CHANDER et al., 2007).

Tabela 2 - Valores de calibração

Radiância Espectral Lmin e Lmax em $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m}$		
Bandas	Lmin( $\lambda$ )	Lmax( $\lambda$ )
TM1	-1,520	193,000
TM2	-2,840	365,000
TM3	-1,170	264,000
TM4	-1,510	221,000
TM5	-0,370	30,200
TM6	1,237	15,303
TM7	-0,150	16,500

Obs.: revistos por Chander et al. (2007) para o sensor TM instalado no satélite Landsat-5 Radiância  $L(\lambda)$  válidos de 2 de abril de 2007 até a presente data

Fonte: Chander et al. (2007)

### 2.2.1 Transformações Radiométricas e Correção Atmosférica

Os dados obtidos por sensores ópticos instalados em satélites são, fundamentalmente, as quantidades de radiação eletromagnéticas (REM) provenientes de alvos que atingem o sensor. A REM que atinge o sensor é a fração da REM proveniente do sol e que, refletida pelo alvo, se propaga dentro de um ângulo sólido (PONZONI et al., 2007). A intensidade deste fluxo refletido denomina-

se Radiância e pode ser medido para cada comprimento de onda ou para regiões específicas do espectro eletromagnético. Estes valores inicialmente não possuem um significado físico e são armazenados de forma discreta e expressos em Números Digitais (ND). Como estes valores dependem da intensidade o fluxo incidente (Irradiância), da geometria de incidência (ângulos zenital e azimutal da fonte), da geometria de visada (ângulos zenital e azimutal da visada) e da excitância do alvo, isto inviabiliza qualquer caracterização espectral de um objeto (PONZONI et al., 2007).

Excitância é o fluxo radiante refletido por um ponto localizado em uma dada superfície de um objeto e normalmente é diferente para cada direção. Quando o fluxo é igualmente refletido em todas as direções e para todos os comprimentos de onda diz-se que o objeto é isotrópico, fato raro na natureza (PONZONI et al., 2007). Os NDs são gerados a partir da quantidade de REM, Radiância, que efetivamente chega ao sensor. Em cada pixel, referente a cada banda, está registrado o valor de captado pelo sensor. Contudo, os valores de ND não estão na mesma escala para bandas distintas de um mesmo sensor o que torna impossível a comparação entre os mesmos, bem como para sensores distintos. Para solucionar essa limitação, deve-se transformar os NDs em valores físicos. Para efetuar-se esta transformação é necessário conhecimento de algumas características do sensor (como valores de ganho e offset), assim como algumas informações referentes às condições ambientais, nas quais as imagens foram geradas (PONZONI et al., 2007). Os valores de ganho e offset devem ser atualizados e divulgados à comunidade de usuários, pois oscilam ao longo do tempo, como foi mostrado anteriormente.

As técnicas de Sensoriamento Remoto se fundamentam no processo de interação entre a REM e os objetos existentes na superfície da terra. Da energia incidente do sol (irradiância)  $E_0$ , o objeto recebe uma porção direta  $E_b$  e outra difusa  $E_d$ . O sensor, por sua vez, recebe um fluxo de radiação (radiância)  $L_o$ , que representa em parte a radiância do objeto ( $L_s$ ), em parte a intensidade de fluxo decorrente de sua trajetória ( $L_p$ ), em parte a porção da radiação que é espalhada pela atmosfera ( $m$ ) e por fim a uma parte referente à contribuição de objetos vizinhos ( $a$ ), como mostra a Figura 3 (PONZONI et al., 2007).



$$FRB_{apa} = (\pi * L_{(\lambda)} * d^2) / (E_{sun(\lambda)} * \cos\theta_s) \quad (3), \text{ onde:}$$

$L_{(\lambda)}$  é valor de radiância no topo da atmosfera para a banda  $(\lambda)$ ;  
 $d$  é a distância terra-sol em unidades astronômicas no dia de ocorrência de  $L_{(\lambda)}$  e  $E_{sun(\lambda)}$ ;  
 $E_{sun(\lambda)}$  é o valor da irradiância no topo da atmosfera na banda espectral  $(\lambda)$ ;  
 $\cos\theta_s$  é o cosseno do ângulo de elevação solar.

A transformação dos NDs em  $FRB_{apa}$  possibilita que se realizem operações entre as diferentes bandas de um mesmo sensor e até mesmo entre sensores distintos, uma vez que os parâmetros físicos representados estejam todos em uma mesma escala. Contudo, os valores expressos em  $FRB_{apa}$  não dizem respeito apenas aos valores do objeto em si, mas em parte de seus vizinhos e em parte da contribuição da atmosfera. Dessas duas contribuições, só é possível tratar a segunda. O processo para a diminuição do efeito da atmosfera no valor final da reflectância é o que chamamos de correção atmosférica.

Segundo Ponzoni e Shimabukuro (2007), duas são as formas mais comuns de se realizar a correção atmosférica partindo do  $FRB_{apa}$ : pela correção atmosférica pelo pixel escuro, proposto por Chavez (1988); ou por transferência radiativa como o *Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum (6S)* (VERMOTE et al. 1987). Os métodos por transferência radiativa possuem a vantagem de considerarem também o fenômeno da absorção da radiação eletromagnética, implicando resultados mais confiáveis.

A técnica de correção atmosférica, chamada de 6S (VERMOTE et al. 1987) foi implementada em forma de aplicativo por Antunes (2001) e, tem como entrada de dados os seguintes parâmetros: satélite, mês, dia, hora, ponto central da imagem, modelo atmosférico, modelo de aerossol, visibilidade, altitude em relação ao nível do mar, sensor a bordo do satélite, banda espectral a ser transformada e número de pixels da imagem. O resultado final é uma imagem em FRB de superfície, ou simplesmente FRB, onde os valores obtidos aproximam-se dos valores observados em na superfície da terra, descaracterizando então o termo “aparente” (PONZONI et al., 2007).

## 2.2.2 Comportamento espectral de alvos

A terra apresenta basicamente três elementos predominantes na sua paisagem: água, vegetação e solo. Embora estes elementos variem em sua composição; portanto, na maneira como interagem com a REM, cada um destes três elementos apresenta, em condições normais, um comportamento médio que permite uma caracterização geral em relação à reflectância nos diversos comprimentos de onda, como mostra a Figura 4.

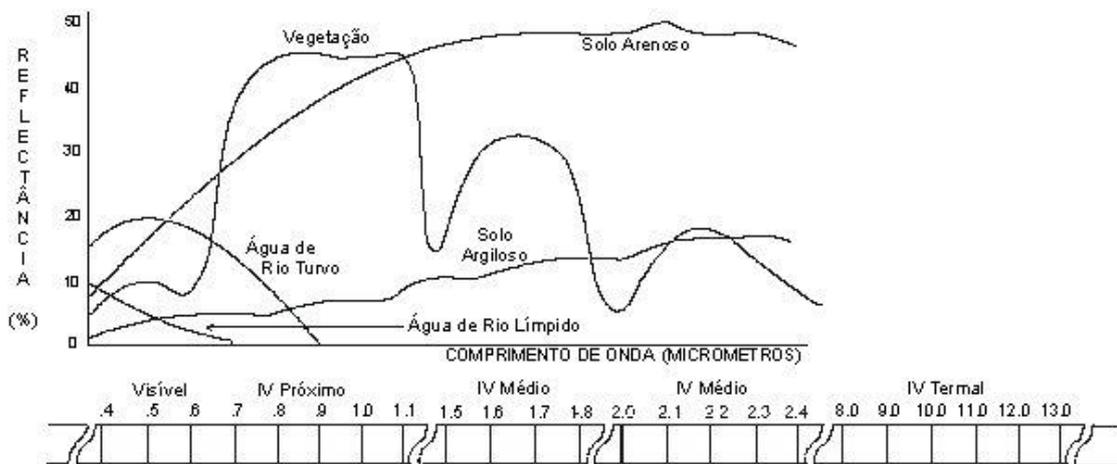


Figura 4 - Comportamento espectral de diferentes alvos. Adaptado do Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geologia do Rio de Janeiro

Fonte:FGEL, 2009

Conhecendo o comportamento espectral da radiação refletida e/ou emitida de diferentes alvos da superfície terrestre, é possível identificar alvos semelhantes, em outros locais, baseado apenas nas semelhanças do comportamento espectral Moreira (2005). A correção atmosférica tem por objetivo retirar ou minimizar os efeitos da atmosfera sobre os valores de FRB aparente tornando possível a caracterização espectral de objetos existentes na superfície da terra (PONZONI e SHIMABUKURO, 2007).

Contudo, alvos submersos apresentam um problema de outra natureza, qual seja, estão sob outro elemento que altera a sua reflectância, no caso específico, a água. A água tem forte influencia sobre a REM, dependente da altura da coluna d'água e de sua composição. Para se estudar, do ponto de vista quantitativo, alvos

submersos é necessário que a água tenha uma alta transparência e que a coluna d'água seja suficientemente baixa para permitir a influência de resposta espectral do alvo (LYZENGA, 1978; 1981).

### 2.2.3 Comportamento da água

Um dos desafios de se estudar alvos submersos deve-se à atenuação do sinal pela coluna de água, um fator decorrente principalmente de dois fatores: absorção e espalhamento, contudo, em áreas costeiras, outros fatores podem contribuir com a atenuação do sinal como salienta Green et al. (2000). Esta atenuação apresenta um comportamento exponencial (MANTOVANI; NOVO, 1996), uma vez que comprimentos de onda maiores são mais sujeitos a absorção pela água do que os comprimentos de onda menores (Figura 5).

O coeficiente de absorção (**a**) da água pura é mínimo na região compreendida entre 400 e 600 nm, aumentando rapidamente na região do infravermelho. Já o coeficiente de espalhamento (**b**) da água pura, ao contrário, é máximo na região do azul, e decresce exponencialmente em direção ao infravermelho (BARBOSA et al., 2003), como podemos observar na Figura 6.

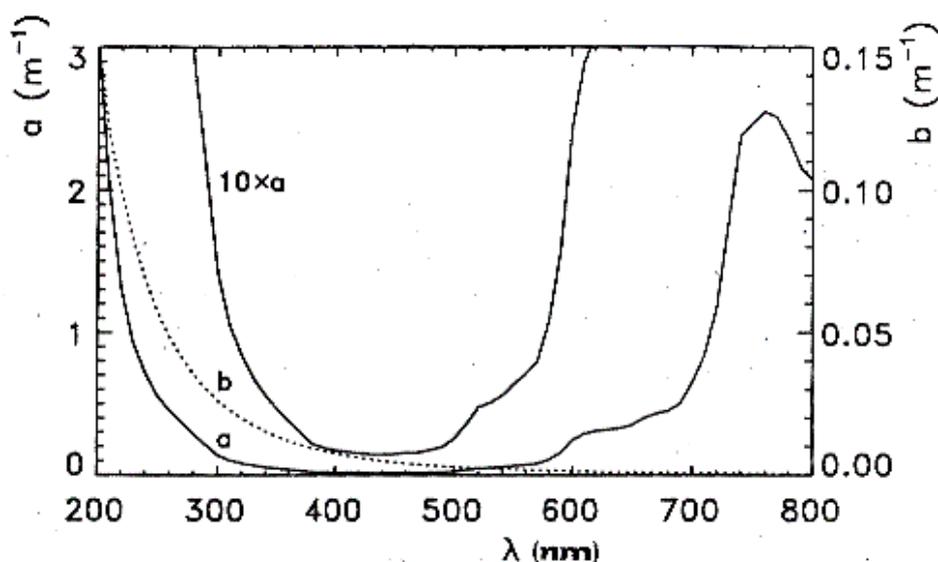


Figura 5 - Coeficiente de Absorção (a) e de Espalhamento (b) da Água Pura

Fonte: MOBLEY, 1994 apud BARBOSA et al., 2003.

Devido a isso, os estudos de alvos submersos utilizam os comprimentos de onda que variam do azul ao vermelho. Para estimativa de biomassa em prados de aproximadamente 5 m de profundidade, restringem-se as bandas utilizadas as correspondentes ao espectro visível (SCHWEIZER, et al., 2005). No presente trabalho, pôde-se usar a banda correspondente ao Infravermelho próximo, uma vez que a profundidade d'água no prado em questão ficou em média com 0,75m. Vários estudos confirmam o decréscimo da biomassa dos prados de *seagrass* conforme aumenta a altura da coluna d'água (PERGENT et al., 1994; MARBA et al., 1996; RUIZ e ROMERO, 2001). A redução de luz que atinge os prados é o fator determinante no decréscimo da biomassa (HEMMINGA, 1998).

Estudos realizados por Green et al. (2000) demonstram a influência da coluna d'água na resposta espectral de alvos, especificamente em prados de *seagrass* e macroalgas (Figura 6). Todavia, mais importante que a atenuação das respostas espectrais para cada comprimento de Radiação Eletromagnética (REM) conforme aumenta a coluna d'água, está o fato de que esta atenuação ocorre de maneira muito distinta entre os comprimentos de onda que vão do azul ao infravermelho próximo. Esta atenuação pode ser grande a ponto de confundir espectralmente areia e *seagrass* (GREEN et al., 2000).

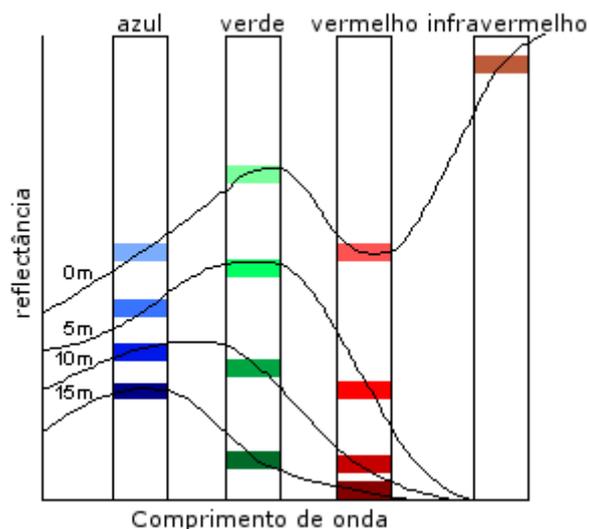


Figura 6 - Influência da coluna d'água na resposta espectrais de *seagrass*

Fonte: adaptado de GREEN et al., 2000.

A atenuação da REM ao longo da coluna d'água se deve a dois fatores principais: absorção e espalhamento da REM na água devido à existência de componentes orgânicos e inorgânicos dissolvidos e suspensos Elkalay et al. (2003).

A absorção envolve a transformação da REM em calor ou energia química (ex: fotossíntese). Segundo Green (2000), os principais elementos de absorção no mar são:

1. algas;
2. partículas orgânicas e/ou inorgânicas;
3. compostos orgânicos dissolvidos (partículas amarelas), resultado da decomposição de tecidos vegetais;
4. a própria água que absorve os comprimentos de onda maiores como vermelho e infravermelho.

O espalhamento é ocasionado, principalmente, pela quantidade de partículas orgânicas e/ou inorgânicas em suspensão na água e incrementada pelos sedimentos existentes (turbidez).

#### **2.2.4 Comportamento espectral da vegetação.**

Ponzoni e Shimabukuro (2007), afirmam que os valores de Reflectância no dossel da vegetação, para os comprimentos de onda eletromagnéticas na região do visível, são relativamente baixos devido à ação dos pigmentos fotossintetizantes que absorvem a REM incidente para a realização da fotossíntese. Segundo os mesmos autores, na região do infravermelho próximo, estes valores apresentam-se elevados devido ao espalhamento interno sofrido pela REM tanto pela estrutura morfológica das folhas como espalhamento múltiplo resultado das diferentes camadas de folhas.

### 2.2.5 Construção de bandas invariantes em relação à coluna d'água

Para se fazer uma correção da REM com o objetivo de retirar a influência da coluna d'água, é necessário que se maneje uma série de variáveis. Lyzenga (1978) propõe a seguinte fórmula:

$$L_i = L_{si} + K_i r_{Bi} \exp(-k_i f z), \quad (4), \text{ onde:}$$

$L_i$  = é a radiância da banda  $i$ ;

$L_{si}$  = é a radiância da banda  $i$  em águas muito profundas;

$K_i$  = é a constante que inclui a irradiância solar, a transmitância da atmosfera e da superfície da água e a redução da radiância devido à refração da superfície da água;

$r_{Bi}$  = é a reflectância do alvo;

$k_i$  = é o efetivo coeficiente de atenuação da água;

$f$  = é o fator geométrico do caminho percorrido na água;

$z$  = a altura da coluna d'água.

Lyzenga (1978) propôs contornar esse problema criando – a partir de combinação de pares de bandas – índices invariantes em relação à coluna d'água. Essa técnica pode ser aplicada em águas dos tipos I e II e tem a turbidez como sua principal limitação. Águas dos tipos I e II foram classificadas por Jerlov (1951) como sendo: oceânicas extremamente claras (tipo I) e costeiras muito claras (tipo II).

O uso de bandas invariantes em relação à coluna d'água possui três aplicações principais:

1. classificação multiespectral de habitats marinhos;
2. estabelecimento de relações quantitativas dados de imagens e alvos marinhos;
3. interpretação visual de dados digitais.

Após a correção atmosférica, são necessários alguns passos para a construção das bandas invariantes em relação à coluna d'água. A primeira questão a ser tratada é o processo de linearização referente à atenuação exponencial do sinal causada pela coluna de água. Isto se deve ao fato de que a radiância refletida pelo alvo é próxima à função linear da reflectância do alvo e a função exponencial da profundidade da água. A linearização de uma curva exponencial se dá pela sua

inversa, ou seja, pela função logaritma. Demonstrada por Lyzenga (1978), foi tratada através da seguinte equação:

$$X_i = \ln(L_i - L_{i\infty}) \quad (5) \text{ onde:}$$

$L_i$  é o sinal da banda  $i$  para cada pixel e  $L_{i\infty}$  é o sinal da banda para águas profundas.

A questão seguinte a ser resolvida diz respeito ao coeficiente de atenuação da água. Como este coeficiente muda de região para região e, dentro de uma região, para diferentes datas, é necessário que seja calculado para cada área estudada. Este coeficiente é obtido a partir da colocação em um gráfico das bandas  $i$  e  $j$  para um único substrato em diferentes profundidades. O primeiro passo desse processo é a linearização da curva exponencial do sinal recebido pelos sensores dos alvos submersos e dependentes da altura da coluna d'água (LYZENGA, 1978). Segundo Lyzengga (1978) esta linearização é feita pela função inversa da exponencial, ou seja, transformando a função exponencial em uma função logarítmica para cada uma das bandas a serem analisadas. A Figura 7, mostra os passos para a construção da razão do coeficiente de atenuação entre pares de bandas  $i$  e  $j$  ( $K_i/K_j$ ), onde inicialmente é realizada a linearização das bandas  $i$  e  $j$  usando logaritmo natural (passo1) e posterior construção do coeficiente de atenuação entre pares de bandas  $i$  e  $j$  ( $K_i/K_j$ ) (passo2). Neste segundo passo o conjunto transformado da banda  $i$  (passo 1) e relacionado ao conjunto transformado da banda  $j$  para um único alvo em várias profundidades ( $K_i/K_j$ ). De acordo com Lyzenga (1981), a razão entre coeficiente de atenuação pode ser calculada da seguinte forma:

$$K_i/K_j = a + \sqrt{a^2 + 1} \quad (6) \text{ onde:}$$

$K_i/K_j$  é a razão entre os coeficientes de atenuação das bandas  $i$  e  $j$  e  
 $a_{ij} = (\text{var}_i - \text{var}_j) / 2\text{cov}_{ij}$

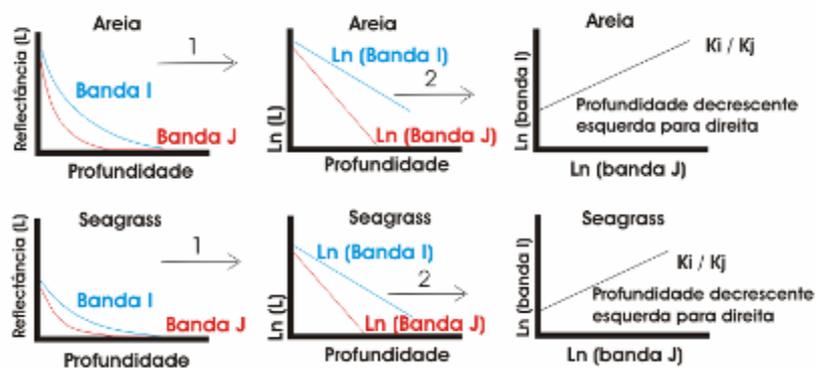


Figura 7 - passos para construção da razão entre o coeficiente de atenuação  $K_i/K_j$

Fonte: adaptado de Green, 2000.

A combinação linear da transformada logarítmica das bandas do visível produzidas na equação (1) em conjunto com o coeficiente de atenuação pode ser usada para gerar bandas não sujeitas à variação da coluna de água conforme a equação seguinte (ARMASTRONG, 1993):

$$Y_{ij} = X_i - (K_i/K_j) \quad (7)$$

O valor de  $Y_{ij}$  é calculado para as possíveis combinações entre as três bandas do visível e mais a banda do infravermelho próximo e correlacionado, linearmente, com os valores de biomassa. Foi usada a combinação que teve maior co-relação. A regressão da equação é do tipo:

$$\text{Biomassa} = a + b(Y_{ij}). \quad (8) \text{ onde:}$$

$(Y_{ij})$  é a variável independente da equação.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

Para este estudo, foi utilizada uma imagem do sensor TM/Landsat-5 adquirida no dia 21 de fevereiro de 2008, órbita 214, ponto 65 e grau de correção L2. A coleta do material (*Halodule wrightii*) foi coordenada pela professora Karine Magalhães, que também supervisionou o tratamento do mesmo (limpeza, secagem e pesagem), o qual foi realizado nas dependências da UFRPE. Para o processamento da imagem, foi utilizado o software SPRING 4.3. e para os cálculos estatísticos o programa Excel.

#### 3.1 SOBRE O MÉTODO ESCOLHIDO

O método para o cálculo da biomassa de prados de *seagrass* a partir de imagens de satélite; neste trabalho, será o proposto por Armstrog (1993) e Schweizer et al. (2005). A opção por este método deve-se à sua base teórica, desenvolvida por Lyzenga (1978; 1981), que afirma não ser possível observar a reflectância de alvos submersos apenas por correção atmosférica, uma vez que essa resposta é modificada pelos efeitos de absorção e espalhamento ao longo da coluna d'água. Para contornar este problema, Lyzenga (1978) propôs a combinação de diferentes bandas para formar índices invariantes em relação à coluna d'água.

Embora os prados analisados de *seagrass*, em geral, e do capim-agulha, em particular, se localizem, via de regra, em águas rasas – até 3 m – (DUARTE E KIRKMAM 2001); no caso específico deste trabalho, menos de 1,2 m na maré baixa, os efeitos de absorção e espalhamento da REM pela coluna d'água existem. A grande vantagem deste método é permitir calcular a biomassa existente em cada pixel da imagem e estimar a biomassa a partir de uma média, o que trará uma maior acuidade à estimativa.

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O prado de *Halodule wrightii* se inicia no limite da maré baixa e fica a uma profundidade média aproximada de 0,55 m em relação à cota zero da tábua de marés, podendo chegar a 2,85 m quando das maiores marés. Embora se trate de um prado contínuo, existem algumas áreas sem vegetação onde se percebe o fundo de areia (Figura 8). Visto de cima, percebe-se a contribuição do fundo arenoso nos valores de radiância captados pelo sensor (Figura 9). Outra característica que deve ser levada em conta é a presença de epífitas nas folhas da *Halodule wrightii* que tendem a ser em maior número nos períodos de inverno e menores nos períodos de verão.



Figura 8 - Área de estudo, a mancha clara refere-se a uma área de fundo arenoso e a parte escura com presença de capim-agulha.

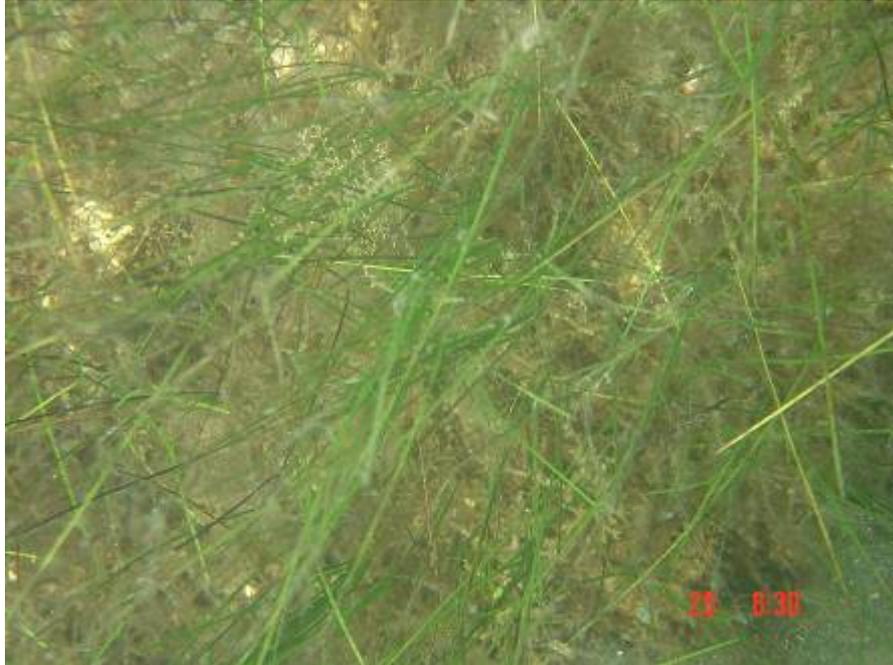


Figura 9 - Imagem do capim-agulha em visada no nadir e a contribuição do fundo arenoso.

Alguns dias antes da coleta, foi realizada uma visita por terra à área de estudo. Nesta saída de campo, foi determinado como se daria a coleta dos dados para estimativa de biomassa. Devido à grande extensão do prado, que se estende, em algumas áreas, por mais de 500 metros mar adentro, fez-se a opção por coletar as amostras a partir de uma lancha. O procedimento básico levou em conta uma amostragem aleatória da área, mas sempre observando uma distância mínima das falhas do prado evitando assim que as áreas de fundo arenoso, sem capim-agulha, pudessem influenciar, erroneamente, nos resultados. Para a coleta de dados, foram usados canos de PVC de 100 mm. As amostras coletadas foram, posteriormente, tratadas na UFRPE pela Dra. Karine Magalhães e sua equipe. Para coleta da posição de cada amostra, foi usado um GPS Garmin etrex.

O material botânico foi coletado com o auxílio de um nucleador (9 cm de diâmetro) e acondicionado em sacos de plástico para transporte ao laboratório. No laboratório de Ecossistemas Aquáticos da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), as plantas coletadas para estimativa de biomassa e densidade foram, devidamente, tratadas.

Inicialmente, as plantas foram lavadas em água corrente para retirada de restos de epífitas e sedimento. Após a lavagem, o número de hastes em cada cilindro coletor foi contado para determinação da densidade de hastes por metro quadrado; em seguida, as plantas foram separadas em partes aérea (folhas e

bainhas) e subterrânea (rizomas e raízes), levadas à estufa a 60<sup>0</sup>C até peso constante para determinação da biomassa estimada em gramas/metro quadrado.

Os dados foram coletados no dia 20 de fevereiro de 2008, entre as 8h30min e 11h32min. Nesta data, a maré baixa ocorreu às 9h58, com a altura de 0,2 m, conforme o site da Marinha do Brasil (BRASIL, 2008). Na ocasião da coleta, foi registrado, além da posição geográfica, a hora e a profundidade. A partir destas informações, foi possível cruzar esses dados com a tábua de maré e estimar a profundidade no momento de passagem do satélite. Nesta ocasião, a profundidade média na área estuda no momento da coleta foi de 0,75 m, sendo a menor profundidade registrada de 0,22 m, e a maior, de 1,08 m.

A imagem TM/Landsat-5 (Figura 10) foi obtida no dia seguinte ao da coleta de dados de campo, no dia 21 de fevereiro de 2008 e baixada do *site* do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2008). Embora a imagem apareça com grande quantidade de nuvens e com falhas em algumas linhas, isto não foi impeditivo para a concretização deste estudo. As falhas da imagem estiveram distantes da área de estudo, que está no terço inferior da imagem, e não influenciaram a qualidade radiométrica da área estudada. A utilização desta imagem deveu-se ao fato de ser a única imagem, tanto do sensor TM/Landsat-5 como do sensor ASTER, disponível no período entre 20 de janeiro e 20 de abril de 2008. Esta janela corresponde a um intervalo de três meses antes até três meses depois da coleta de material em campo. Foi avaliado juntamente com a professora Karine Magalhães da UFRP, que um período maior poderia não corresponder a biomassa real uma vez que existe variação da mesma durante o ano.

A opção de utilizar imagens do sensor TM/Landsat-5 deveu-se, primeiramente, ao fato de serem de distribuição gratuita pelo governo brasileiro e por terem sido testadas em trabalhos anteriores. Embora se tenha pensado em analisar também imagens da plataforma ASTER, isto não foi possível devido à inexistência de imagens apropriadas em datas próximas à da coleta de material. Por datas próximas, entende-se um período de que compreende os três meses anteriores e posteriores à coleta dos dados em campo.

A imagem da área estudada apresenta uma nuvem que cobre uma parte dos pontos coletados (Figura 11), o que limitou as análises e exigiu uma validação apenas do ponto de vista estatístico do estudo realizado.

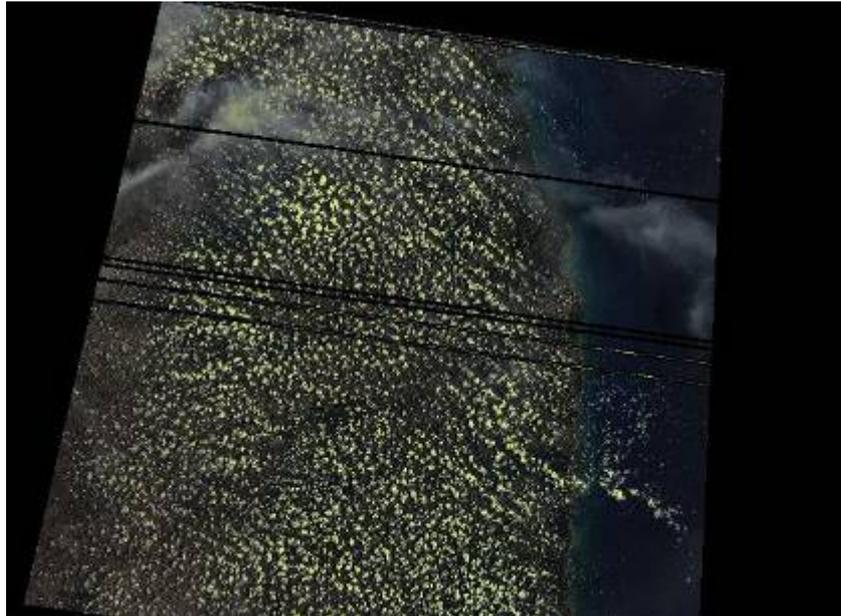


Figura 10 Imagem TM/LANDSAT-5 órbita 214 ponto 065 adquirida no dia 21 de fevereiro de 2008  
Composição cor verdadeira. A área de estudo encontra-se no terço inferior da imagem

Fonte: INPE, 2009

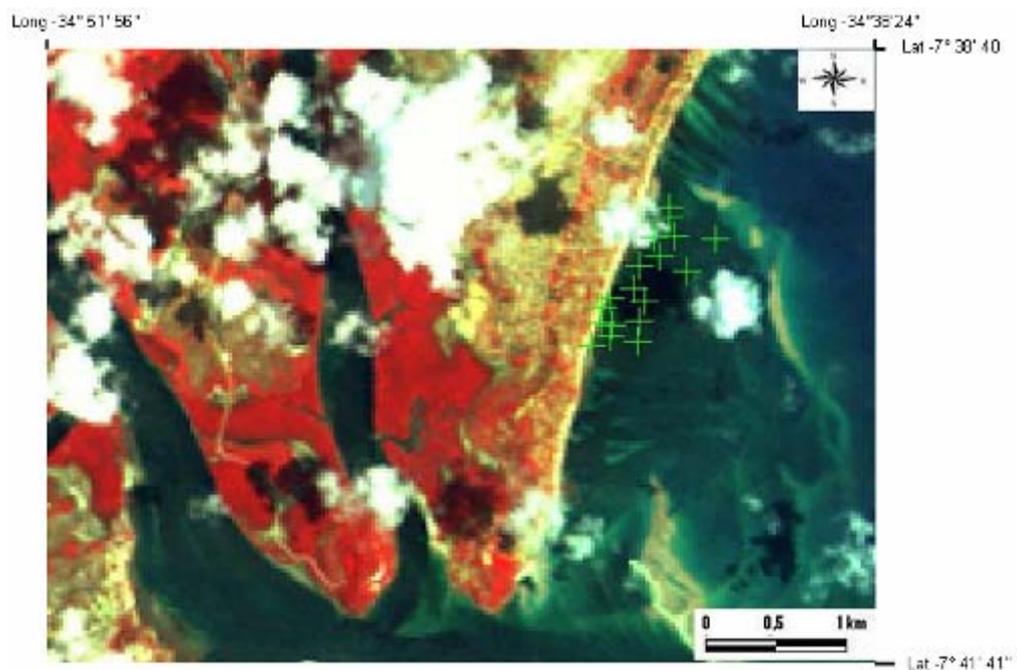


Figura 11 - Área de estudo com as estações composição 4(R),3(G),2(B)

### 3.2 PRÉ-PROCESSAMENTO DA IMAGEM

Para a realização das transformações radiométricas, foi utilizado o software SPRING (versão 4.3.3) desenvolvido e distribuído pelo Instituto Nacional de

Pesquisas Espaciais (INPE). Inicialmente, a imagem foi recortada e registrada a partir de imagens GEOCOVER, segundo Silva e Valeriano (2003) e com cartas obtidas na 3ª Divisão de Levantamento do Exército Brasileiro. A imagem GEOCOVER foi obtida através do site do INPE (<http://www.inpe.br>). GEOCOVER é o nome dado ao projeto zulu que criou um mosaico de imagens ortorretificadas Landsat para uma escala 1:50.000, (NASA, 2008) em formato MrSID, com projeção UTM e Datum WGS 84 e resolução espacial de 14,5m.

Segue-se então com o georeferenciamento imagem para imagem, utilizando a cena que esteja inserida no mosaico obtido. Após o processo de transformação, a imagem passou do formato MrSID para Geotiff e sua projeção foi redefinida como UTM/SAD69 o mesmo da imagem fornecida pelo INPE para este trabalho.

O primeiro passo para o processo de transformar imagens TM/Landsat-5 em de número digital (ND) para reflectância de superfície é um passo intermediário, em que os valores dos NDs são transformados em valores de Reflectância Aparente (RA). Esta transformação foi realizada no software SPRING 4.3 através de um algoritmo (anexo A) em linguagem LEGAL, cedido pelo professor Dr. Flávio Jorge Ponzoni. Neste algoritmo, são considerados o ângulo de elevação solar e os índices da calibração ( $L_{min}$  e  $L_{max}$ ) para cada banda espectral (CHANDER et al., 2007), e os valores de irradiância solar ( $esun$ ) estimados no topo da atmosfera, para cada banda espectral. No final, os valores foram multiplicados por 255 para facilitar a visualização.

Uma vez transformada a imagem de ND em reflectância aparente, as bandas foram exportadas para o formato RAW. Neste formato, foi realizada uma segunda transformação radiométrica, criando um conjunto de imagens com valores de reflectância de superfície. Para tanto, foi utilizado um programa baseado no 6S (*Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum*) implementado por Antunes (2001) cuja base teórica esta documentada por Vermote et al. (1997). Os parâmetros analisados para as diversas transformações foram: modelo atmosférico (tropical), modelo de aerossol (marítimo), visibilidade e altura em relação ao nível do mar.

Os valores dos pixels foram obtidos usando o software SPRING (versão 4.3.3) e os seus valores foram tratados estatisticamente no programa Excel. Também foi usado o programa Excel para o cálculo das bandas invariantes em

relação a coluna d'água e construção de regressão linear entre esta a biomassa do prado de capim-agulha e o coeficiente de correlação.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A imagem foi registrada utilizando-se o Software SPRING 4.3.3 (INPE). Posteriormente os valores dos pixels foram transformados de ND para reflectância aparente. A partir deste ponto foram calculadas as bandas invariantes em relação a coluna d'água, sendo o melhor resultado obtido pelo par de bandas TM3 e TM4 com um  $r^2$  de 0,7090.

### 4.1 O REGISTRO

O registro da imagem foi realizado no Software SPRING 4.3.3 (INPE), obtendo um erro médio quadrático para polinômio de segundo grau no valor de 0,172.

Posteriormente, foi realizado o acoplamento entre a imagem de referência (Geocover) e a imagem registrada para se verificar, de maneira visual, a exatidão do registro (Figura 12). Pôde-se observar um bom registro no que toca às margens do rio e à continuidade da estrada; contudo, fica evidente que a linha de costa foi alterada. Esta alteração se dá devido ao grande hidrodinamismo existente na região.

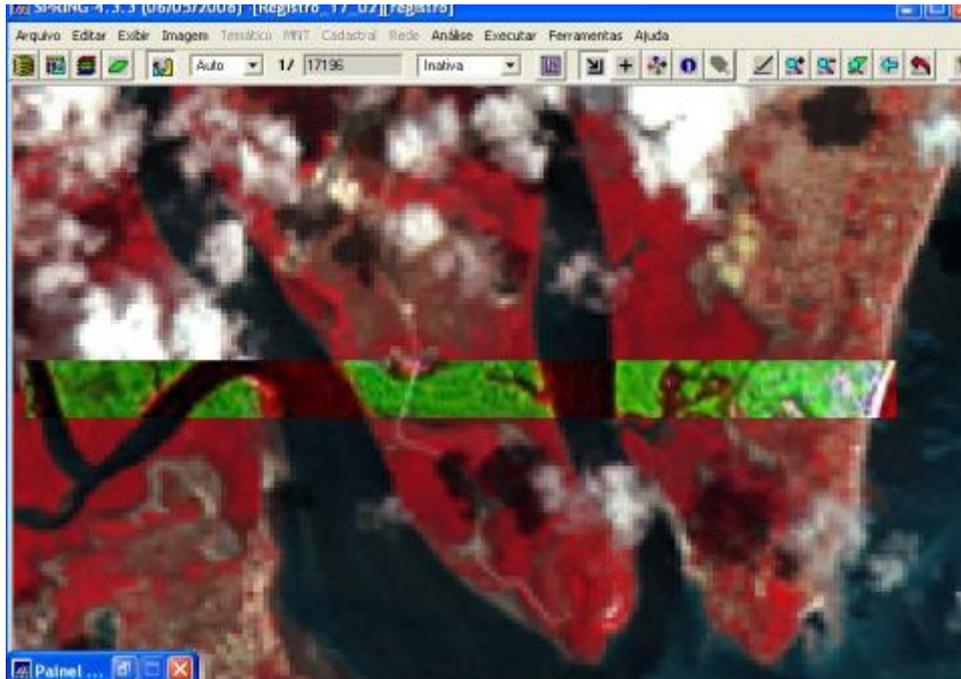


Figura 12 - Acoplamento da imagem registrada composição falsa cor (4, 3, 2) com imagem de referência composição cor verdadeira.

## 4.2 AS TRANSFORMAÇÕES RADIOMÉTRICAS

A transformação da imagem TM/Landsat-5 de ND para reflectância de superfície (metodologia descrita no item 3.2) foi realizada fixando dois dos quatro parâmetros que são levados em consideração, quais sejam modelo atmosférico como tropical e altura em relação ao nível do mar em 1 metro. Os outros parâmetros analisados foram o modelo de aerosol (continental/marítimo) e a visibilidade em quilômetros para os valores de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 km.

Os parâmetros para correção atmosférica utilizados neste trabalho foram os seguintes: modelo de aerosol marítimo e visibilidade de 40 km, uma vez que foi a combinação que mostrou a melhor caracterização espectral dos alvos mais conhecidos, quais sejam: água, vegetação e areia.

Os valores de reflectância de superfície foram transformados em escala de tons de cinza valores entre 0 a 255.

### 4.3 CÁLCULO DAS BANDAS INVARIANTES EM RELAÇÃO À PROFUNDIDADE DA ÁGUA

Para o cálculo da razão de atenuação, foram coletados dados referentes a 50 pixels na água rasa e fundo arenoso. A partir desta base de dados, foram calculados a variância e a média dos valores de reflectância (em escala de 0 a 255) de cada banda (Tabela 3) a covariância entre os pares de bandas (i e j) (Tabela 4) que constituirão o coeficiente de atenuação ( $K_i/K_j$ ) (Tabela 5).

Tabela 3 - Valores de média e variância dos pixels em água rasa e fundo arenoso para as bandas 1, 2, 3 e 4 do sensor TM/Landsat-5

TM1	TM2	TM3	TM4
MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA
34,24	38,42	23	8,7
VAR	VAR	VAR	VAR
2,798367	1,758776	3,836735	2,010204

Tabela 4 - Valores de covariância para os pares de bandas 1,2,3 e4 coletados em água rasa.

Cov(i,j)	
Cov(1,2)	1,4192
Cov(1,3)	0,1
Cov(1,4)	-0,308
Cov(2,3)	0,84
Cov(2,4)	0,246
Cov(3,4)	1,1

Tabela 5 - Valores de coeficiente de atenuação para os possíveis pares de bandas.

$K_i/K_j$	
$K_1/K_2$	1,431223
$K_1/K_3$	0,095428
$K_1/K_4$	0,344424
$K_2/K_3$	0,353677
$K_2/K_4$	0,611978
$K_3/K_4$	2,129972

Para o cálculo das bandas invariantes em relação à profundidade da água, foi calculada a média dos níveis de cinza de cada banda do visível e infravermelho próximo (VINIR) partir de 50 pixels coletados em águas profundas. Suas médias e variâncias estão expressas na tabela 06.

Tabela 6 - Valores de média e variância dos pixels em água PROFUNDA para as bandas 1,2,3 e 4 do sensor TM/Landsat-5.

TM1	TM2	TM3	TM4
MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA	MÉDIA
19	11,28	8	5,88
VAR	VAR	VAR	VAR
1,183673	2,001633	0,081633	0,148571

Devido a problemas com as nuvens (Figura 11), vários pontos de coleta foram descartados o que prejudicou a análise estatística do experimento. A partir dos pontos que restaram, foram construídos os valores das bandas invariantes em relação a coluna d'água ( $Y_{ij}$ ) calculados tanto a partir dos valores dos pixels (Tabela 07) como pela média dos nove pontos que compõem a matriz 3x3 com o pixel central (Tabela 08). Esse segundo procedimento – cálculo pela média – foi realizado porque o registro contou com poucos pontos de controle, o que pode ter trazido algum erro.

Tabela 7 - Pontos de coleta, valores de  $Y_{ij}$  para os pixels e a medida de biomassa ( $g/m^2$ )

Ponto de coleta	$Y_{(2,3)}$	$Y_{(2,4)}$	$Y_{(3,4)}$	Biomassa
1	1,531915	3,463174	6,307862	91,16
2	1,883404	2,5495	1,838055	65,89
3	1,538735	2,204831	1,838055	66,34
4	1,477395	2,096265	1,704523	78,97
5	1,174748	1,284119	0,008943	44,22
6	0,918105	1,091959	0,191264	70,40
7	0,510331	0,931277	1,144907	63,63
8	0,823423	0,617395	-1,03726	41,97

Tabela 8 - Pontos de coleta, valores de  $Y_{ij}$  para a média dos pixels e a medida de biomassa ( $g/m^2$ ).

Ponto central de coleta	$Y_{(2,3)}$	$Y_{(2,4)}$	$Y_{(3,4)}$	Biomassa
1	1,636939	2,96449	4,182362	91,16
2	1,817301	2,66393	2,490026	65,89
3	1,631144	2,132955	1,26952	66,34
4	1,539953	1,847386	0,613367	78,97
5	1,354142	1,679748	0,741891	44,22
6	1,247659	1,580403	0,762076	70,40
7	0,509996	1,309064	2,488192	63,63
8	0,891575	0,756455	-0,83677	41,97

Os valores referentes ao coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e a equação da reta que explica a quantidade de biomassa estão expressos na tabela 09 O melhor resultado quando analisado pixel a pixel foi para o par de bandas 3 e 4 e pode ser visualizado na figura 13. Os valores referentes ao coeficiente de determinação, encontrados para o par de bandas 2 e 4, foi de 0,5826 (Tabela 10) e pode ser visualizado na figura 14.

Tabela 9 - Valores de  $r^2$  e equação da reta calculadas a partir de cada pixel.

$Y_{(i,j)}$	$r^2$	Equação da reta
$Y_{(2,3)}$	0,1796	$y = 15,195x + 46,601$
$Y_{(2,4)}$	0,5826	$y = 12,964x + 42,251$
$Y_{(3,4)}$	0,7090	$y = 6,2627x + 55,934$

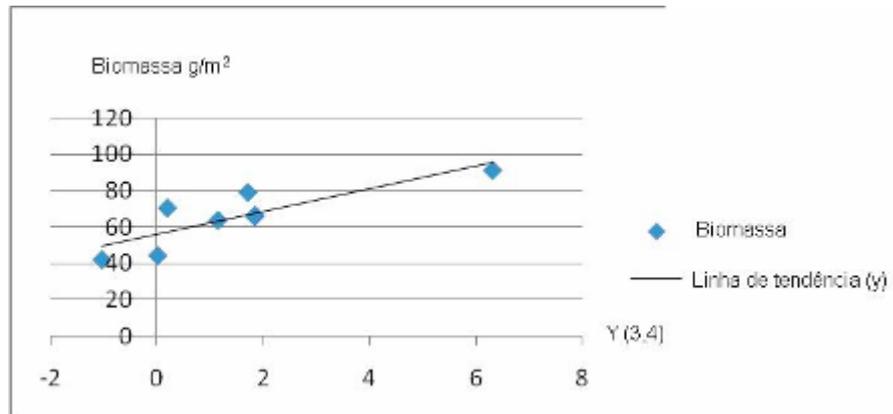


Figura 13 - Pontos plotados, linha de tendência e  $r^2$  para os pares de banda 3,4.

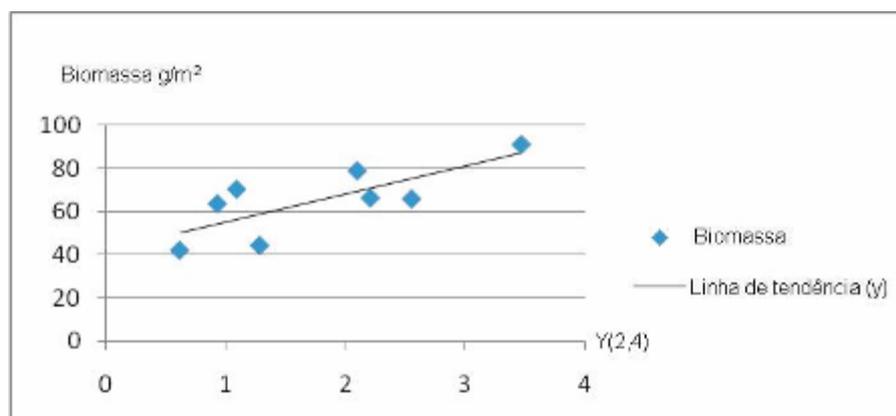


Figura 14 - Pontos plotados, linha de tendência e  $r^2$  para os pares de banda 2,4.

Quando analisamos os resultados tomando como base a média dos pixels formado por uma matriz de 3x3, cujo pixel central é o ponto de coleta (Tabela 10), notamos que o melhor resultado está na combinação das bandas 2 e 4.

O resultado pode ser visualizado na figura 15.

Tabela 10 Valores de  $r^2$  e equação da reta calculadas a partir da média dos pixels.

$Y_{(i,i)}$	$r^2$	Equação da reta
$Y_{(2,3)}$	0,1943	$y = 16,496x + 43,409$
$Y_{(2,4)}$	0,5055	$y = 16,287x + 34,922$
$Y_{(3,4)}$	0,4848	$y = 7,4074x + 54,482$

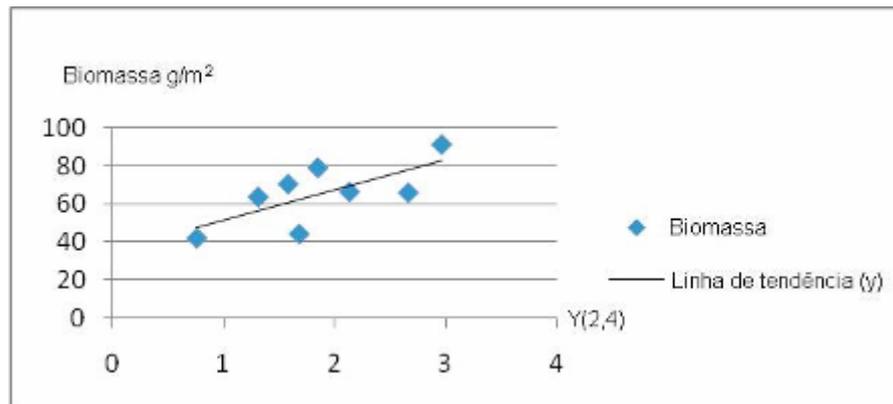


Figura 15 - Pontos plotados, linha de tendência e  $r^2$  para os pares de banda 2,4 calculadas a partir da média dos pixels em torno do pixel central.

Embora a luz azul tenha maior penetração na coluna d'água, tanto Armstrong (1993) como Schweizer et al. (2005) encontraram os melhores resultados quando cruzaram as bandas de menor comprimento – no caso do sensor TM/Landsat-5 – as bandas 2 e 3 correspondentes à faixa espectral do verde e do vermelho, respectivamente. Armstrong (1993) encontrou sua melhor combinação usando as bandas 2 e 3 com um  $r^2$  de 0,7915 e Schweizer et al. (2005) um  $r^2$  de 0,638 para este mesmo par de bandas.

## 5 CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho, referentes ao coeficiente de determinação entre bandas invariantes em relação à coluna d'água e biomassa, foram de 0,709 quando usadas as bandas 3 e 4 e de 0,582 para o par de bandas 2 e 4 demonstrando ser possível estimar a biomassa e portanto o monitoramento de prados de Capim-agulha (*Halodule Wrightii*) no litoral de Pernambuco com o uso do sensoriamento remoto. Os resultados obtidos comprovam a eficácia do método proposto por Lyzenga (1978,1981). Esses resultados são coerentes com aqueles obtidos por Armstrong (1993) e por Schweizer et al. (2005) que também se basearam no método desenvolvido por Lyzenga (1978,1981).

A estimativa de biomassa total do prado não foi possível, pois faltaram informações de campo que pudessem validar os limites da área efetivamente ocupada por capim-agulha. No caso específico do prado estudado, a baixa altura da coluna d'água, menos de 1 m, tornou possível a utilização da banda correspondente ao infravermelho próximo. Este resultado, que não encontra semelhantes na literatura pesquisada, deve ser mais bem estudado a partir de estudos na mesma área e em outras áreas com características semelhantes como os prados existentes na foz do rio Tatuamunha no estado de Alagoas.

Este trabalho é pioneiro no Brasil e abre a possibilidade de monitorar a qualidade dos prados em grandes extensões do litoral brasileiro, o que não tem sido possível com as técnicas utilizadas atualmente. Também é possível que seja pensada a construção de um mapa do litoral brasileiro com a delimitação dos prados, não só de capim-agulha, mas de todas as fanerógamas marinhas existentes no Brasil. Seria possibilitado o conhecimento de seu estado atual baseado na biomassa média e total de cada prado, o que seria de muita importância para a análise no momento de realizar estudos de impacto ambiental.

## 5.1 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

A partir deste trabalho inicial, uma série de estudos complementares poderia ser realizada. Um estudo mais longo de um prado construindo uma série histórica poderia servir de base para consolidar a importância do método no acompanhamento da qualidade dos prados de capim-agulha.

Seria interessante a escolha de uma área – com amplo estudo de campo e delimitação precisa do prado – para que fossem analisadas, complementarmente, técnicas de classificação do prado a partir das imagens de satélite. Também comparar os resultados obtidos com o sensor TM/Landsat-5 com o sensor ASTER, que possui uma resolução espacial maior. Por último, sugere-se a verificação da abrangência do método através de uma série de estudos futuros que incluam as seguintes questões:

1. os valores dos coeficientes de atenuação ( $K_i/K_j$ ) obtidos em uma área da imagem podem ser usados para toda a imagem;
2. o uso da técnica de correção atmosférica por normalização permitirá o uso dos coeficientes de atenuação ( $K_i/K_j$ ) obtidos em uma cena para outras cenas? Caso se verifique essa alternativa, abre-se a possibilidade da construção de uma série histórica em relação à qualidade dos prados de capim-agulha a partir de imagens obtidas por mais de 20 anos do sensor TM/Landsat-5;
3. o limite de coluna d'água que o método consegue eliminar eficientemente deve ser esclarecido;
4. a análise comparativa com outros métodos deve ser feita para distintas faixas de profundidade.

## REFERÊNCIAS

ALVES, M. A. **Macrofauna do fital *Halodule wrightii* Ascherson (Angiosmermae, Patomagetonaceae) da praia de Jaguaribe, ilha de Itamaracá-PE, Brasil.** UFPE: Recife 1991. 316 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) – Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade Federal de Pernambuco, 1991.

AMADO FILHO, G. M.; CREED, C.J.; ANDRADE, R. L.; PFEIFFER, C.W. Metal accumulation by *Halodule wrightii* populations. **Aquatic Botany**. v. 80, p. 241–251, 2004.

ANDRÉFOUET, S; ZUBIA, M.; PAYRI, C. Mapping and biomass estimation of the invasive brown algae *Turbinaria ornata* (Turner) J. Agardh and *Sargassum mangarevense* (Grunow) Setchell on heterogeneous Tahitian coral reefs using 4-meter resolution IKONOS satellite data. **Coral Reefs**, Berlin, v.23 p. 26-38, 2004.

ANTUNES, M. A. H. **Second simulation of satellite signal in the solar spectrum - 6S**, 4.1. 2001. 1 CD-ROM

ARMSTRONG, R. A. Remote sensing of submerged vegetation canopies for biomass estimation. **International Journal of Remote Sensing**, London , v. 14, n. 3, p. 621-627, fev. 1993.

BARBOSA, C.C.F. et al. Caracterização espectral das massas d'água amazônicas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11º, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2003. p. 2419-2425.

BRASIL. Marinha do Brasil. **Diretoria de hidrografia e navegação**. Disponível em: <<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/>>. Acesso em: 20 jun. 2008.

BURGOS, C. D.; GUIMARÃES, N. C. L.; MAGALHÃES, K. M. MOURA JUNIOR, A. M. SEAGRASSNET – Rede Mundial de Monitoramento de Angiospermas Marinhas. In: JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO DA UFRPE, 3º, 2003, Recife. **Anais...** Recife, 2003. CD-ROM, 2003.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; BARS J.A. Revised Landsat-5 Thematic Mapper Radiometric Calibration. **IEEE Geoscience And Remote Sensing Letters**, Piscataway, NJ v. 4, n. 3, p. 490-495, jul. 2007.

CHAVEZ, P.S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, New York, v.24, n.3, p.459-79, 1988.

DUARTE, C.M, KIRKMAN, H. **Global seagrass research methods** ;. Elsevier, Amsterdam. 2001., 473 p.,

ELKALAY, K. et al. A model of the seasonal dynamics of biomass and production of the seagrass *Posidonia oceanica* in the Bay of Calvi (Northwestern Mediterranean). **Ecological Modelling**, Amsterdam, n. 167, p. 1-18, 2003.

FACULDADE DE GEALOGIA (FGEL), Universidade estadual do rio de janeiro (UERJ). **Comportamento espectral de diferentes alvos. Adaptado do Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geologia do Rio de Janeiro**. Disponível em: <[http://www.fgel.uerj.br/labgis/gis\\_atualizada/sensoriamento/espectro](http://www.fgel.uerj.br/labgis/gis_atualizada/sensoriamento/espectro)>. Acesso em: 10 mar. 2009.

GREEN, E.P; Mumby, P.J; Alasdair J; Edwards, J. Clark C.D; - Edited by Edwards A.J. Coastal Management Sourcebooks UNESCO 2000. Disponível em: <<http://www.unesco.org/csi/pub/source/rs.htm> >. Acesso em: 28 set. 2008.

HEMMINGA, M. A. The root/rhizome system of seagrasses: an asset and a burden. **Journal of Sea Research**, Den Burg, Texel, v. 39, n. 3-4, p. 183-196, June 1998.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Disponível em: <<http://www.inpe.br>>. Acesso em: 15 mar. 2009.

JERLOV, N.G., Optical studies of ocean water. **Report of Swedish Deep-Sea Expeditions**, n. 3, p.73-97, 1951.

KOMATSU, T. et al. Hydro-acoustic methods as a practical tool for cartography of seagrass beds. **Otsuchi Marine Science**, Iwate-ken, v. 28, n. 72-79, 2003.

KUTSER, T.; VAHTMÄE, E.; ROELFSEMA, C. M.; METSAMAA, L. Photo-library method for mapping seagrass biomass. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, London, v. 75, n. 4, p. 559-563, dez. 2007.

LYZENGA, D. R, Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow water using aircraft and Landsat data. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 2, p. 71-82, 1981.

\_\_\_\_\_. Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features. **Applied Optics**, Easton, v. 17, p. 379-383, 1978.

MAGALHÃES K. M; LEÇA, E. E.; MOURA JR, A. M. Morfometria e biomassa da fanerógama marinha *halodule wrightii* ascherson no litoral norte de Pernambuco. **Trabalhos Oceanograficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v. 25, p.83-92,1997.

\_\_\_\_\_, ESKINAZI-LEÇA, E. Características ecológicas dos prados de capim-agulha (*Halodule wrightii* Ascherson) no litoral de Pernambuco. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE MALACOLOGIA, 17., 2001, Recife. **Anais...** Recife, 2001. v.1 p. 1-4.

\_\_\_\_\_; CAZUZA, M . Distribuição das angiospermas marinhas no litoral do estado de Pernambuco, Brasil. 1ª parte: levantamentos de herbário e literatura. **Cadernos FAFIRE**, Recife, v. 4, n. 11, p. 20-26, 2005.

\_\_\_\_\_; ALVES, M. S. As fanerógamas marinhas do litoral do estado de Pernambuco. In: SILVA, J. M. C; TABARELLI. M. **Diagnóstico da biodiversidade de Pernambuco**. Recife: SECTMA, 2001. p. 147-181.

MANTOVANI, J. E.; NOVO, E. M. L. DE M. Comportamento espectral da Matéria Orgânica Dissolvida. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. **Anais...** Salvador: INPE, 1996. p. 917-923.

MARBA N; CEBRIAN J; ENRIQUEZ S; DUARTE C.M. Growth patterns of Western Mediterranean seagrasses: species-specific responses to seasonal forcing. **Marine Ecology Progress Series**, Oldendorf, Luhe, v. 133, p.203-205, 1996.

MARKHAN, B.L., BARKER, J.L. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures. **Landsat Technical Notes**, EOSAT, n.1, p.1-8,1986

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2005.

MUMBY, P.J. et al. Measurement of seagrass standing crop using satellite and digital airborne remote sensing. **Marine Ecology Progress Series**, Oldendorf, Luhe, v. 159, p. 51-60, 1997.

NASA (National Aeronautics and Space Administration). **Projeto Zulu**. Disponível em: <<https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>>. Acesso em: 23 set. 2008.

OMENA E.; CREED, J. C. Fauna of Seagrass Beds (*Halodule wrightii* Ascherson) Along the Coast of Rio de Janeiro (Southeast Brazil). **Marine Ecology**, Berlin, v. 25, n. 4, p. 273–288, 2004.

PERGENT, G.; ROMERO, J; MARTINO, P.M; MATEO, M. A; BOUDOURESQUES, F. Primary production, stocks and fluxes in the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. **Marine Ecology Progress Series**, Oldendorf, Luhe, v.106 p.139-146 1994.

PHINN, S. et al. Mapping seagrass species, cover and biomass in shallow waters: An assessment of satellite multi-spectral and airborne hyper-spectral imaging systems in Moreton Bay (Australia), **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 112, p.3413-3425, 2008.

PINTO, R.L. **Distribuição espacial e temporal de peixes-bois (*Trichechus manatus*) reintroduzidos no litoral nordeste e avaliação da primeira década (1994-2004) do Programa de Reintrodução**. UFPE: Recife, 2008, xvii, 161 f. Tese (Doutorado em Oceanografia), Centro Tecnologia e Geoprocessamento, Universidade Federal de Pernambuco, 2008.

PONZONI, F. J. ; SHIMABUKURO, Y. E.. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. v. 1. 135 p.

\_\_\_\_\_; ZULLO JUNIOR, J.; LAMPARELLI, R. A. C. **Calibração absoluta de sensores orbitais: conceituação, principais procedimentos e aplicação**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. v. 1. 72 p.

REIS, T. N. V. **Estimativa de abundância da Angiosperma Marinha *Halodule wrightii* Asc, em prados do Estado de Pernambuco, Brasil**. UFPE: Recife, 2007. 75 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Centro Tecnologia e Geoprocessamento , Universidade Federal de Pernambuco, 2007.

RUIZ J.M; PEREZ M; ROMERO, J. Effects of Fish Farm Loadings on Seagrass (*Posidonia oceanica*) Distribution, Growth and Photosynthesis. **Marine Pollution**

**Bulletin**, London, v.42, n. 9, p.749-760, sep. 2001.

SCHULTZ, T. S. Seagrass monitoring by underwater videography: Disturbance regimes, sampling design, and statistical Power. **Aquatic Botany**, Amsterdam , v. 88, p. 228-238, 2008.

SCHWEIZER, D.; ARMSTRONG, R. A.; POSADA, J. Remote sensing characterization of benthic habitats and submerged vegetation biomass in Los Roques Archipelago National Park, Venezuela. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 26, n. 12, p.2657-2667. jun. 2005.

SILVA, B. S. G; VALERIANO, D. M. Georeferenciamento e análise da correção atmosférica para o cálculo de albedo usando o sensor Landsat ETM+. XI. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 2143 - 2150.

THE UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Landsat Project**. Disponível em: <<http://edc.usgs.gov/products/satellite/band.html>>. Acesso em: 10 dez. 2007.

VERMOTE, E. F. et al. Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: An Overview. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, New York, v. 35, n. 3, may 1997.

YUAN, L; ZHANG, L. Mapping large-scale distribution of submerged aquatic vegetation coverage using remote sensing. **Ecological Informatics**, Amsterdam, v.3 p. 245-251, 2008.

## ANEXO

```

{
Image Im1, Im2, Im3, Im4, Im5, Im6 ("imagem");
Image Im13, Im14, Im15, Im16, Im17, Im18 ("Reflectancia");
Digital Im7, Im8, Im9, Im10, Im11, Im12 ("Grade");

Im1=Recupere (Nome="banda_1");
Im2=Recupere (Nome="banda_2");
Im3=Recupere (Nome="banda_3");
Im4=Recupere (Nome="banda_4");
Im5=Recupere (Nome="banda_5");
Im6=Recupere (Nome="banda_7");

Im7=Novo (Nome="Gr1", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min=0, Max=255);
Im8=Novo (Nome="Gr2", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min=0, Max=255);
Im9=Novo (Nome="Gr3", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min=0, Max=255);
Im10=Novo (Nome="Gr4", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min=0, Max=255);
Im11=Novo (Nome="Gr5", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min=0, Max=255);
Im12=Novo (Nome="Gr7", ResX=30, ResY=30, Escala=50000, Min=0, Max=255);

Im13=Novo (Nome="Ra1", ResX=30, ResY=30, Nbits=8);
Im14=Novo (Nome="Ra2", ResX=30, ResY=30, Nbits=8);
Im15=Novo (Nome="Ra3", ResX=30, ResY=30, Nbits=8);
Im16=Novo (Nome="Ra4", ResX=30, ResY=30, Nbits=8);
Im17=Novo (Nome="Ra5", ResX=30, ResY=30, Nbits=8);
Im18=Novo (Nome="Ra7", ResX=30, ResY=30, Nbits=8);

elev=33.34/57.001;
zen=98.821/57.001 - elev;
pi=3.141592654;
dmax=255;
dist=1;

Lmin1=-0.152;
Lmin2=-0.284;
Lmin3=-0.117;
Lmin4=-0.151;
Lmin5=-0.037;
Lmin7=-0.015;

Lmax1=19.30;
Lmax2=36.50;
Lmax3=26.40;
Lmax4=22.10;
Lmax5=3.02;
Lmax7=1.65;

esun1=195.2;
esun2=182.7;
esun3=155.0;
esun4=104.0;
esun5=22.07;
esun7=7.49;

Im7= (((Lmin1+(Lmax1-Lmin1)*(Digital (Im1/dmax)))*pi*dist^2)/(esun1*cos(zen)))*255;
Im7= Im7 <= 0 ? 0 : Im7;

```

```

lm13= Imagem (lm7);
lm8= (((Lmin2+(Lmax2-Lmin2)*(Digital (lm2/dmax))))*pi*dist^2)/(esun2*cos(zen))*255;
lm8= lm8 <= 0 ? 0 : lm8;
lm14= Imagem (lm8);
lm9= (((Lmin3+(Lmax3-Lmin3)*(Digital (lm3/dmax))))*pi*dist^2)/(esun3*cos(zen))*255;
lm9= lm9 <= 0 ? 0 : lm9;
lm15= Imagem (lm9);
lm10= (((Lmin4+(Lmax4-Lmin4)*(Digital (lm4/dmax))))*pi*dist^2)/(esun4*cos(zen))*255;
lm10= lm10 <= 0 ? 0 : lm10;
lm16= Imagem (lm10);
lm11= (((Lmin5+(Lmax5-Lmin5)*(Digital (lm5/dmax))))*pi*dist^2)/(esun5*cos(zen))*255;
lm11= lm11 <= 0 ? 0 : lm11;
lm17= Imagem (lm11);
lm12= (((Lmin7+(Lmax7-Lmin7)*(Digital (lm6/dmax))))*pi*dist^2)/(esun7*cos(zen))*255;
lm12= lm12 <= 0 ? 0 : lm12;
lm18= Imagem (lm12);

}

```