

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ**

**CENTRO DE ESTUDOS DO MAR**

**PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS COSTEIROS E OCEÂNICOS**

**BRUNO MARTINI MOREIRA**

**BALANÇO ESPAÇO-TEMPORAL DA ABSORÇÃO DE LUZ PELAS ÁGUAS DA  
DESEMBOCADURA DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ, BRASIL, POR IMAGENS  
MODIS-AQUA**

Pontal do Paraná

2011

BRUNO MARTINI MOREIRA

**BALANÇO ESPAÇO-TEMPORAL DA ABSORÇÃO DE LUZ PELAS ÁGUAS DA  
DESEMBOCADURA DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ, BRASIL, POR  
IMAGENS MODIS-AQUA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos, Centro de Estudos do Mar, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Dinâmica.

Orientador: Prof. Dr. Maurício de Almeida Noernberg

Co-orientadora: Profa. Dra. Eunice da Costa Machado

Pontal do Paraná

2011

***In memoriam*** a Heloíza Penha Martini Moreira e Paulo Martini Junior.

**“A busca não é só um meio para se chegar a um fim, ela é o próprio fim. Para alguém chegar à verdade, terá de percorrer o caminho.”**

**José Rodrigues dos Santos**

**A Fórmula de Deus.**

**“Há mais coisas entre o céu e a terra do que nossa vã filosofia sequer consegue supor.”**

**William Shakespeare**

## RESUMO

Um grande esforço científico internacional tem sido aplicado nos últimos anos no desenvolvimento de algoritmos regionais e na classificação óptica de corpos de água naturais, especialmente de águas do Caso 2. Além de opticamente mais complexas, costumam sustentar diversas atividades humanas, como acontece em estuários. O presente estudo investiga a dinâmica dos coeficientes de absorção da luz pelo sensor MODIS-Aqua no Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), durante todo o período de funcionamento (2002-2010) do satélite, visando identificar a resposta dos produtos ( $a$ ,  $adg$  e  $aph$ ), sua dinâmica espacial e temporal. Os pontos mais internos ao CEP apresentaram maiores coeficientes de absorção em relação aos externos, mas a proporção de  $adg$  e  $aph$  variou mais discretamente. A variação sazonal (máximos na primavera-verão) foi maior que a anual para  $a$ ,  $adg$  e  $aph$  até 2008. Em 2009 e 2010 as médias de absorção de luz foram maiores para todos os pontos, indicando uma possível tendência interanual.

**Palavras-chave:** Fitoplâncton, detrito-*gelbstoff*, cor do mar,  $adg$ ,  $aph$ .

## ABSTRACT

**Abstract.** A great international scientific effort has been done on the last few years on regional algorithms and natural water bodies optical classification development, specially of Case 2 waters. Besides more optically complex, they use to support many human activities, as it happens on estuaries. The present study investigates the light absorption coefficients dynamics through MODIS-Aqua sensor over Paranaguá's Estuarine Complex (PEC) during the whole satellite functioning period (2002-2010), seeking to identify the products ( $a$ ,  $adg$  and  $aph$ ) responses, their spatial and temporal dynamics. The more PEC's internal spots showed absorption coefficients higher than the external spots, but the  $adg$  and  $aph$  proportion varied more discreetly. The seasonal variation (maxima during spring-summer) was higher than annual variation for  $a$ ,  $adg$  and  $aph$  until 2008. During 2009 and 2010 the mean light absorptions were higher for every spot, indicating a possible interannual tendency.

**Key-words:** phytoplankton, debris-*gelbstoff*, ocean color,  $adg$ ,  $aph$ .

## LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 – COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ (CEP) COM OS PONTOS AMOSTRAIS E ISÓBATAS
- FIGURA 2 – MÉDIAS SAZONAIS DE ABSORÇÃO DE LUZ PELO FITOPLÂNCTON ( $M^{-1}$ ) POR PONTO AMOSTRAL DE JULHO DE 2002 A JULHO DE 2010. A: PONTOS INTERNOS AO ESTUÁRIO (1, 2, 3 E 11) E PONTO INTERMEDIÁRIO (4). B: PONTOS EXTERNOS AO ESTUÁRIO (5, 6, 7, 9 E 10). NO EIXO X OS ANOS ESTÃO SETORIZADOS EM ESTAÇÕES, VERÃO (SU), OUTONO (F), INVERNO (W) E PRIMAVERA (SP)
- FIGURA 3 – MÉDIAS SAZONAIS DE ABSORÇÃO DE LUZ PELO DETRITO-*GELBSTOFF* ( $M^{-1}$ ) POR PONTO AMOSTRAL DE JULHO DE 2002 A JULHO DE 2010. A: PONTOS INTERNOS AO ESTUÁRIO (1, 2, 3 E 11) E PONTO INTERMEDIÁRIO (4). B: PONTOS EXTERNOS AO ESTUÁRIO (5, 6, 7, 9 E 10). NO EIXO X OS ANOS ESTÃO SETORIZADOS EM ESTAÇÕES, VERÃO (SU), OUTONO (F), INVERNO (W) E PRIMAVERA (SP)
- FIGURA 4 – MÉDIAS SAZONAIS DA PROPORÇÃO DE ABSORÇÃO DE LUZ PELO FITOPLÂNCTON EM RELAÇÃO À ABSORÇÃO TOTAL ( $M^{-1}$ ) POR PONTO AMOSTRAL DE JULHO DE 2002 A JULHO DE 2010. A: PONTOS INTERNOS AO ESTUÁRIO (1, 2, 3 E 11) E PONTO INTERMEDIÁRIO (4). B: PONTOS EXTERNOS AO ESTUÁRIO (5, 6, 7, 9 E 10). NO EIXO X OS ANOS ESTÃO SETORIZADOS EM ESTAÇÕES, VERÃO (SU), OUTONO (F), INVERNO (W) E PRIMAVERA (SP)
- FIGURA 5 – MÉDIAS SAZONAIS DA PROPORÇÃO DE ABSORÇÃO DE LUZ PELO DETRITO-*GELBSTOFF* ( $M^{-1}$ ) EM RELAÇÃO À ABSORÇÃO TOTAL POR PONTO AMOSTRAL DE JULHO DE 2002 A JULHO DE 2010. A: PONTOS INTERNOS AO ESTUÁRIO (1, 2, 3 E 11) E PONTO INTERMEDIÁRIO (4). B: PONTOS EXTERNOS AO ESTUÁRIO (5, 6, 7, 9 E 10). NO EIXO X OS ANOS ESTÃO SETORIZADOS EM ESTAÇÕES, VERÃO (SU), OUTONO (F), INVERNO (W) E PRIMAVERA (SP)
- FIGURA 6 – MÉDIAS ANUAIS DE ABSORÇÃO DE LUZ PELO DETRITO-*GELBSTOFF*, FITOPLÂNCTON E ÁGUA PURA EM RELAÇÃO À ABSORÇÃO TOTAL DE JULHO DE 2002 A JULHO DE 2010
- FIGURA 7 – MÉDIAS SAZONAIS DE ABSORÇÃO DE LUZ PELA ÁGUA PURA EM RELAÇÃO À ABSORÇÃO TOTAL DE JULHO DE 2002 A JULHO DE 2010

## LISTA DE TABELAS

- TABELA 1 – NÚMERO DE IMAGENS ORBITAIS PROCESSADAS (QUADROS EM CINZA) E COM A QUALIDADE REQUERIDA (QUADROS EM BRANCO) PARA CADA ESTAÇÃO DO ANO ENTRE 2002 E 2010. .  $\Sigma$  = SOMATÓRIO OU VALOR TOTAL DE IMAGENS
- TABELA 2 – NÚMERO DE FALHAS DE LEITURA DO SENSOR DOS PRODUTOS MODIS-AQUA PARA CADA PONTO AMOSTRAL NAS IMAGENS DE JULHO DE 2002 A JULHO DE 2010. COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ (CEP) COM OS PONTOS AMOSTRAIS E ISÓBATAS
- TABELA 3 – MÉDIAS ANUAIS, MÉDIA E DESVIO PADRÃO INTERANUAL DE ADG E APH SEPARADAS PELA POSIÇÃO GEOGRÁFICA DOS PONTOS AMOSTRAIS. PONTOS INTERNOS AO ESTUÁRIO ESTÃO MARCADOS EM CINZA ESCURO (1, 2, 3 E 11), EM CINZA CLARO O PONTO INTERMEDIÁRIO (4) E EM BRANCO OS EXTERNOS AO ESTUÁRIO (5, 6, 7, 9 E 10)
- TABELA 4 – PROPORÇÕES MÉDIAS ANUAIS, MÉDIA E DESVIO PADRÃO INTERANUAL DE ABSORÇÃO DA LUZ PELO DETRITO-*GELBSTOFF* E PELO FITOPLÂNCTON SEPARADAS POR PONTO AMOSTRAL
- TABELA 5 – VALORES MEDIDOS DE ABSORÇÃO DA LUZ TOTAL, PELO FITOPLÂNCTON E PELO DETRITO-*GELBSTOFF* ( $M^{-1}$ ) E SUAS RESPECTIVAS PORCENTAGENS EM RELAÇÃO A A COM SEUS MÍNIMOS, MÁXIMOS, MÉDIAS SAZONAIS, DESVIO PADRÃO E CONTRIBUIÇÃO PERCENTUAL PARA O PERÍODO DE JULHO DE 2002 A JULHO DE 2010

## LISTA DE SIGLAS

ACAS – Água Central do Atlântico Sul

CEP – Complexo Estuarino de Paranaguá

EOS – *Earth Observing System*

GSFC – *Goddard Space Flight Center* (NASA)

HDF – *Hierarchical Data Format*

IOCCG – *International Ocean-Colour Coordinating Group* (Grupo Internacional de Coordenação Da Cor do Mar)

LAADS – *Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System*

MODIS – *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (EUA)

NASA – *National Aeronautics and Space Administration* (Administração Aeronáutica e Espacial do EUA)

POA – Propriedades Ópticas Aparentes

POI – Propriedades Ópticas Inerentes

QAA – *Quase-Analytical Algorithm* (Algoritmo Quase Analítico)

RCM – Radiometria da Cor do Mar

$R_{RS}$  – Reflectância de sensoriamento remoto



## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	
3.1. Resposta dos produtos MODIS-Aqua.....	15
3.2. Balanço espacial da absorção de luz.....	16
3.3. Balanço temporal da absorção de luz.....	19
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28
5. ATIVIDADES COMPLEMENTARES.....	33

# SPACE-TEMPORAL BUDGET OF LIGHT ABSORPTION BY PARANAGUA ESTUARINE COMPLEX'S WATERS DISCHARGE, BRAZIL, THROUGH MODIS-AQUA IMAGES

## BALANÇO ESPAÇO-TEMPORAL DA ABSORÇÃO DE LUZ PELAS ÁGUAS DA DESEMBOCADURA DO COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ, BRASIL, POR IMAGENS MODIS-AQUA

Bruno Martini<sup>1</sup>, Maurício A. Noernberg<sup>1</sup>, Eduardo A. M. Stein<sup>1</sup>, Eunice C. Machado<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Estudos do Mar, Universidade Federal do Paraná. Av. Beira-mar, s/n. Caixa Postal: 50.002. CEP: 83255-971. Balneário de Pontal do Sul - Pontal do Paraná - PR – Brasil.

**Running title:** Balanço espaço-temporal de  $a$ ,  $adg$  e  $aph$ .

**Abstract.** A great international scientific effort has been done in the last few years on regional algorithms and natural water bodies optical classification development, specially of Case 2 waters. Besides more optically complex, these waters use to support many human activities, as it happens on estuaries. The present study investigates the light absorption coefficients dynamics through MODIS-Aqua sensor over Paranaguá's Estuarine Complex (PEC) during the whole satellite functioning period (2002-2010), seeking to identify the products ( $a$ ,  $adg$  and  $aph$ ) responses, their spatial and temporal dynamics. The more PEC's internal spots showed absorption coefficients higher than the external spots, but the  $adg$  and  $aph$  proportion varied more discreetly. The seasonal variation (maxima during spring-summer) was higher than annual variation for  $a$ ,  $adg$  and  $aph$  until 2008. During 2009 and 2010 the mean light absorptions were higher for every spot, indicating a possible interannual tendency.

**Key-words:** phytoplankton, debris-gelbstoff, ocean color,  $adg$ ,  $aph$ .

**Resumo.** Um grande esforço científico internacional tem sido aplicado nos últimos anos no desenvolvimento de algoritmos regionais e na classificação óptica de corpos de água naturais, especialmente de águas do Caso 2. Além de opticamente mais complexas, estas águas costumam sustentar diversas atividades humanas, como acontece em estuários. O presente estudo investiga a dinâmica dos coeficientes de absorção da luz pelo sensor MODIS-Aqua no Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), durante todo o período de funcionamento (2002-2010) do satélite, visando identificar a resposta dos produtos ( $a$ ,  $adg$  e  $aph$ ), sua dinâmica espacial e temporal. Os pontos mais internos ao CEP apresentaram maiores coeficientes de absorção em relação aos externos, mas a proporção de  $adg$  e  $aph$  variou mais discretamente. A variação sazonal (máximos na primavera-verão) foi maior que a anual para  $a$ ,  $adg$  e  $aph$  até 2008. Em 2009 e 2010 as médias de absorção de luz foram maiores para todos os pontos, indicando uma possível tendência interanual.

**Palavras-chave:** Fitoplâncton, detrito-gelbstoff, cor do mar,  $adg$ ,  $aph$ .

\* Corresponding author: [brunofarnel@gmail.com](mailto:brunofarnel@gmail.com)

phone: + 55419990-0170

10

§ Current address: Centro de Estudos do Mar (CEM/UFPR), Av. Beira-mar, s/n, Caixa Postal: 50.002, CEP: 83255-971, Balneário de Pontal do Sul - Pontal do Paraná - PR – BRASIL.

## Introdução

Estuários são sistemas costeiros complexos por representarem uma área de forte interação entre a atmosfera, o mar e o continente. Apresentam elevada produtividade e diversidade biológica e tendem a atrair diversas atividades econômicas, com conseqüente urbanização. Suas águas são marcadas por um forte gradiente de salinidade com as águas de seu exterior normalmente mais salgadas, de caráter marinho, com águas mais doces oriundas dos rios em seu interior e águas misturadas em seu centro. O movimento destas águas para dentro ou para fora do estuário se dá na forma de uma pluma superficial de água mais doce que está sujeita a padrões de vento, chuva e da hidrodinâmica local, especialmente os movimentos de maré. Os ventos podem tanto direcionar a circulação da pluma estuarina para dentro do estuário, como podem direcioná-la para fora deste. A descarga fluvial é reforçada com a intensificação das chuvas, carreando água doce, matéria orgânica, sedimentos e nutrientes para dentro do estuário.

Como os estuários costumam ter grande importância para atividades humanas e para a manutenção do equilíbrio ambiental marinho, seu monitoramento se faz necessário. Hu *et al.* (2004) demonstraram a eficácia de se utilizar o sensor de cor do mar MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) a bordo do satélite Aqua da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) para avaliar e monitorar estes sistemas costeiros por conta da capacidade dos sensores orbitais de imagear grandes áreas por longos períodos de forma freqüente, em escala sinótica e a baixo custo. O MODIS-Aqua é uma das mais sofisticadas ferramentas disponíveis para estudos de radiometria da cor do mar (RCM) e faz parte de uma constelação de plataformas orbitais internacionais, responsável pelo Sistema de Observação da Terra (EOS na sigla em inglês) (NASA, 2002).

Conforme estabelece a hidrografia óptica, a radiação eletromagnética do Sol interage com elementos opticamente ativos, aqueles que absorvem, espalham e refletem os fótons durante seu percurso através da atmosfera e da água até ser captada por sensores naturais, como os olhos humanos, e artificiais, como os a bordo de satélites, que formam imagens com padrões de cores. Os constituintes opticamente ativos da água já consagrados nos estudos de RCM são o fitoplâncton, o *gelbstoff* e os detritos. Águas costeiras e interiores são tratadas como águas do Caso 2, onde a complexidade óptica é muito superior à de águas do Caso 1, as oceânicas, segundo a simplificada, mas ainda utilizada classificação óptica de Morel e Prieur (1977). Ao contrário do Caso 1, águas do Caso 2 não são dominadas pelo coeficiente de absorção pelo fitoplâncton, sendo a cor da água determinada também pelos coeficientes de absorção do *gelbstoff* e dos detritos em concentrações independentes um do outro. Os esforços das principais agências espaciais do mundo, junto o IOCCG (*International Ocean-Colour Coordinating Group*) estão voltados para otimizar a aplicação da RCM em estudos ambientais, principalmente através do desenvolvimento de algoritmos regionais e da classificação óptica de corpos de água naturais. Especial interesse é dado às águas do Caso 2, caracterizadas pela complexidade óptica.

O coeficiente de absorção pelo fitoplâncton representa a absorção da luz solar por distintas combinações de pigmentos fotossintéticos de diferentes espécies de microalgas planctônicas. O fitoplâncton é à base da teia trófica marinha e parcialmente responsável pela regulação do clima e pela ciclagem do carbono no planeta através de sua capacidade fotossintética. Como os outros dois constituintes opticamente ativos da água do mar (detritos e *gelbstoff*) possuem comportamento espectral semelhante, o MODIS não é capaz de separar os coeficientes de absorção de cada um deles, sendo tratados conjuntamente como detrito-*gelbstoff* (IOCCG, 2006).

Os coeficientes de absorção da luz pelo fitoplâncton, pelo detrito-*gelbstoff* e total são tratados como propriedades ópticas inerentes (POI) da água, segundo Preisendorfer (1976). Significa que estes coeficientes de absorção da luz dependem diretamente das substâncias presentes no meio. As propriedades ópticas aparentes (POA) dependem de como o observador percebe estas substâncias presentes na água em função do ângulo zenital de incidência do campo de luz sobre elas, levando-se em consideração também o espalhamento e reflexão que elas causam nos fótons.

O presente estudo objetiva testar a resposta do sensor MODIS-Aqua, desde o início de suas operações em maio de 2002 até julho de 2010, para o balanço das absorções de luz no CEP, através dos principais produtos disponibilizados pela NASA (*a*, *aph* e *adg*). Foi investigado o balanço espacial dos coeficientes de absorção de luz através da comparação dos resultados da área mais interna em relação à mais externa da desembocadura do CEP. A hipótese de trabalho é que os pontos mais internos devem apresentar maiores valores para os coeficientes de absorção de luz em função de uma maior concentração de material particulado e dissolvido dentro do estuário. O fitoplâncton também deve atingir maiores concentrações nesta área, por conta do aporte de nutrientes pela drenagem continental e lixiviação. O balanço temporal compreendeu os padrões sazonais para um período de nove anos, durante o qual espera-se que haja uma certa uniformidade na variação anual, com uma maior dinâmica sazonal.

A investigação do balanço dinâmico dos coeficientes de absorção da luz total (*a*), pelo fitoplâncton (*aph*) e pelo detrito-*gelbstoff* (*adg* e *aph*) nas águas da desembocadura do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) ao longo de todo o tempo de funcionamento do MODIS-Aqua, fornece subsídios para uma posterior classificação óptica, conforme Prieur e Sathyendranath (1981) e Gould (2003). Com o conhecimento prévio da resposta do sensor MODIS e do algoritmo QAA para a área de estudo a classificação óptica se torna mais confiável, por conta da larga série temporal investigada e dos padrões identificados. Pelos mesmos motivos, o trabalho também contribui para o futuro desenvolvimento de um algoritmo regional. Diante da escassez de estudos da dinâmica fitoplanctônica e do material dissolvido e em suspensão nas águas da desembocadura deste estuário, a presente investigação acena com uma estimativa indireta em escala sinótica de como se deu esta dinâmica nos últimos 9 anos.

## **Materiais e Métodos**

O Complexo Estuarino de Paranaguá, localizado no estado do Paraná, é o maior do Sul do Brasil (BIGARELLA, 1978) e é uma das regiões com maior área de Mata Atlântica conservada no país. De acordo com Lessa et al. (1998), ele pode ser dividido em três setores: a zona mais baixa da boca (eurialina), um funil estuarino (polialino) e zona meândrica (oligo ou mesoalina) na cabeça do estuário. A área de estudo compreende a zona da boca, cercada de planícies praias e a parte mais baixa do funil estuarino, formando a desembocadura do CEP (Figura 1).

O CEP é circundado por extensos manguezais em sua zona meândrica que funcionam como a principal fonte de detritos para o sistema estuarino, com suas gamboas que concentram consideravelmente o aporte de água doce, além dos rios propriamente ditos (REBELLO; BRANDINI, 1990). O complexo estuarino recebe a drenagem de cerca de 70% da área da bacia hidrográfica litorânea paranaense (MANTOVANELLI, 1999). O clima na região do litoral paranaense é classificado como Cfa (temperado, sem estação seca e com verões quentes, acima dos 22°C), segundo classificação de Köppen revisada (PEEL et al., 2007). Apresenta precipitação regular ao longo do ano todo (IPARDES, 1991). Em média, a evaporação é sete vezes maior que a precipitação no inverno. No verão há um excedente hídrico com um potencial oito vezes maior ao do inverno de gerar erosão pela chuva, carreando material particulado e dissolvido para o estuário. O regime de maré regional é caracterizado como micro-maré (< 2 metros de

amplitude) semi-diurna, com duas preamares e duas baixamars de diferentes amplitudes (LANA *et al.*, 2001).

Foram estabelecidos dez pontos amostrais com base nas informações a respeito do comportamento da pluma estuarina do CEP (NOERNBERG, 2001; FREITAS, 2007; ANGELOTTI, 2008) e de outros estuários (PIOLA *et al.*, 2008) e baías (MOREY, *et al.*, 2009), a principal feição oceanográfica da região a afetar a distribuição dos constituintes ópticos da água. Cinco pontos estão localizados no interior do CEP, sendo um mais centralizado na ponta oeste da Ilha do Mel e dois em cada desembocadura (norte e sul). Outros cinco foram estabelecidos na área externa do CEP até a proximidade da isóbata de 20 m (Figura 1), onde a pluma tende a atuar sob a influência das forçantes meteorológicas e oceanográficas (NOERNBERG, 2001; FREITAS, 2007; ANGELOTTI, 2008). A possibilidade dos pontos amostrais serem opticamente rasos foi testada com base em medições da penetração de luz na água com disco de Secchi, comparadas com medições de profundidade pelo CTD compacto da marca JFE realizadas em oito cruzeiros de novembro de 2009 a julho de 2010.

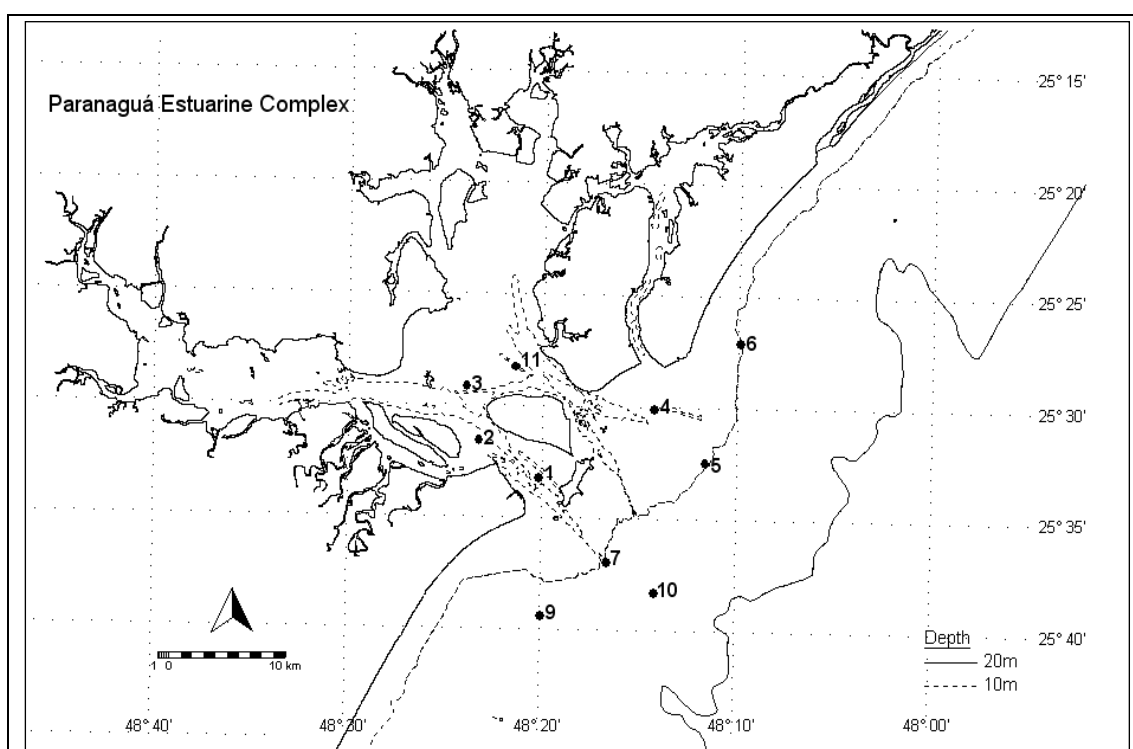


Figura 1: Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) com os pontos amostrais e isóbatas.

Foram tomadas todas as imagens orbitais MODIS-Aqua disponibilizadas pelo *Level 1 and Atmosphere Archive and Distribution System (LAADS)* do Centro de Vão Espacial Goddard (GSFC), sustentado pela NASA (<http://ladsweb.nascom.nasa.gov>) via *File Transfer Protocol (FTP)* que possuíam a qualidade requerida para o CEP (corte da imagem entre 25 a 26° S e 48 a 49° W). A imagem foi considerada qualificada quando havia um ângulo de visada adequado, sem *sunglint* (interferência causada pela reflexão especular do Sol) ou cobertura por nuvens e com no máximo três pontos amostrais com leituras inconsistentes nos seus respectivos pixels. As falhas de leitura para alguns pontos amostrais no nível de processamento L2, ocorrem devido principalmente à cobertura por pequenas nuvens ou aerossóis, representada pelo valor  $-0,7767 \text{ m}^{-1}$  e condições de falha do algoritmo para um ou mais produtos naquele pixel, caso do valor  $5,7767 \text{ m}^{-1}$  (BAILEY, 2011). A escala temporal completa cobriu de junho de 2002, quando o satélite começou a transmitir dados de domínio público, até julho de 2010. A seleção destas

imagens foi feita a partir do dispositivo “*Quick Look*”, que fornece uma espécie de miniatura das imagens, que são armazenados para compor o banco de dados digital local. Para latitudes inferiores a 30°, como é o caso da área de estudo, a cobertura do MODIS-Aqua é feita a cada 1 ou 2 dias, sempre no período da tarde entre as 13 e 15h local.

O processamento das imagens foi realizado a partir de imagens MYD01 – *Raw Radiances in Counts*, no formato *Hierarchical Data Format* (HDF) do nível L1A para L2, através do aplicativo SeaDAS v.6.1, também disponibilizado pela NASA (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/seadas>). As imagens foram processadas para a maior resolução espacial disponível para o sensor MODIS, de 250 m.

Os seguintes produtos MODIS-Aqua foram obtidos através do SeaDAS para cada ponto amostral: coeficiente de absorção total da luz ( $a_{443\_qaa}$ ), coeficiente absorção pelo fitoplâncton ( $aph_{443\_qaa}$ ) e finalmente o coeficiente de absorção combinado entre detrito e *gelbstoff* ( $adg_{443\_qaa}$ ). Para tal, foi utilizada a equação derivada do protocolo da NASA (MUELLER *et al.*, 2002):

$$a = aw + aph + adg$$

Onde  $aw$  é a absorção pela água do mar, obtida de Pope e Fry (1997). Como não há medição para o comprimento de onda específico de 443 nm, foi utilizado o valor correspondente a 442,5 nm. A seleção espectral dos produtos foi centrada no comprimento de onda de 443 nm, por ser a banda do MODIS mais próxima de 440 nm (faixa do azul no espectro eletromagnético), valor recomendado pelo IOCCG (2006). No espectro eletromagnético do visível, a absorção pelos pigmentos fotossintéticos (especialmente a clorofila-*a*) do fitoplâncton tem um pico bem distinto dos outros constituintes opticamente ativos da água do mar por volta dos 440 nm. Desta forma, este comprimento de onda é o que permite uma separação mais clara entre a absorção da luz pelo fitoplâncton e pelo detrito-*gelbstoff*. Não há dados *in situ* para os coeficientes de absorção disponíveis para a área de estudo.

Dentre os algoritmos disponibilizados pelo SeaDAS, foi selecionado o algoritmo quase-analítico QAA (*Quase-Analytical Algorithm*), desenvolvido por Lee (2002; 2007) e amplamente utilizado pela relação custo/benefício entre sua dificuldade e agilidade de implementação e a sua precisão (IOCCG, 2006). Ele deriva as propriedades ópticas inerentes requeridas a partir da reflectância de sensoriamento remoto ( $R_{SR}$ ). O algoritmo foi originalmente desenvolvido para estudos de águas do Caso 1 da região do Golfo do México. Apesar da IOCCG (2006) recomendar o desenvolvimento de algoritmos regionais para águas do Caso 2, o processo leva tempo e ainda é comum na literatura que algoritmos desenvolvidos para o Caso 1, especialmente o QAA, sejam usados em estudos de águas do Caso 2. Também não há algoritmos desenvolvidos para a área de estudo. Por outro lado, diversos autores já publicaram a respeito da eficiência do QAA para distintas áreas do planeta (MAJEWSKI, 2006; SHANG *et al.*, 2010; LEE *et al.*, 2010). Oliveira (2009) atestou sua eficiência para estudos na bacia do Rio São Francisco.

O fator de correção atmosférica utilizado foi o modelo padrão do sensor MODIS e do aplicativo SeaDAS, desenvolvido por Gordon e Wang (1994). Ele calcula a reflectância dos aerossóis por pixel da imagem orbital utilizando as bandas do infravermelho próximo. Radiâncias centradas nos comprimentos de onda entre 748 e 869 nm são utilizadas para selecionar o modelo de aerossóis para cada região estudada, assumindo valor nulo para a radiância ascendente da água (*water-leaving radiance*) no espectro do infravermelho próximo.

## Resultados e Discussão

### Resposta dos produtos MODIS-Aqua

O número total de imagens orbitais do CEP processadas para o período de 4 de julho de 2002 a 31 de julho de 2010 foi de 455, abrangendo aproximadamente 15,26% dos dias neste período. Do total de imagens processadas, somente quase metade delas, 232 ou 51,62%, foram classificadas como imagens com a qualidade requerida. Com relação ao percentual médio anual de imagens com a qualidade requerida, o valor é ainda menor, aproximadamente 7,83% imagens qualificadas por ano, com um desvio padrão de 0,85%, indicando que este baixo percentual foi recorrente para todos os anos analisados. A tabela I apresenta detalhadamente o número de imagens processadas, incluindo as desqualificadas e as qualificadas para cada estação do ano no período investigado. A abordagem aqui adotada é distinta das mais comumente utilizadas para estudos interanuais, como a seleção das médias disponibilizadas pela NASA através dos produtos nível L3, ou mesmo da interpolação de diversos pixels ao redor de um ponto amostral. Apesar de mais trabalhosa, esta metodologia permitiu investigar de forma mais detalhada o balanço das absorções com todas as limitações do método para a área de estudo.

Tabela I: Número de imagens orbitais processadas (quadros em cinza) e com a qualidade requerida (quadros em branco) para cada estação do ano entre 2002 e 2010.  $\Sigma$  = somatório ou valor total de imagens.

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	$\Sigma$
<b>Verão austral</b>	2	18	18	9	13	26	12	8	9	115
	1	6	5	6	3	7	6	3	4	42
<b>Outono austral</b>	0	20	21	17	18	30	19	19	14	158
	0	15	11	10	12	16	9	11	7	94
<b>Inverno austral</b>	15	14	18	19	17	2	14	17	8	124
	8	12	11	10	14	1	9	7	6	84
<b>Primavera austral</b>	7	8	10	4	7	4	7	11	0	58
	4	2	3	2	2	3	2	4	0	24
<b><math>\Sigma</math></b>	24	60	67	49	55	62	52	55	31	<b>455</b>
	13	35	30	28	31	27	26	25	17	<b>232</b>

A seleção dos pontos amostrais se mostrou eficaz para analisar as áreas mais críticas para a obtenção de dados orbitais. Conforme mostra a tabela II, os pontos mais internos, 1 e 2 na desembocadura sul e o 11, na desembocadura norte, os mais próximos a terras emersas, estão mais sujeitos a falhas do algoritmo na leitura espectral realizada por um sensor orbital. Seu percentual de amostragens com falhas de leitura em todo o período investigado foi de 30,17%, 45,69% e 24,14%, respectivamente, contra apenas 12,80% do total para todos os pontos amostrais. Os pontos com menores percentuais de falhas na leitura de absorção foram o



ponto 5 e 7, ambos com apenas 0,86% e localizados na isóbata de 10 m, desembocadura norte e sul do estuário, respectivamente.

Ficou evidente a dificuldade de se utilizar as técnicas de RCM para águas muito próximas a terras emersas, como rios, pequenos lagos ou mesmo desembocaduras estreitas de estuários, como no caso do CEP. As condições de falha do algoritmo QAA nestes casos, ocorreram provavelmente pela sua dificuldade em separar terras emersas da água. A complexidade óptica das águas aumenta rapidamente conforme se aproxima da terra (BUKATA *et al.*, 1995). Os dados obtidos no ponto 3 reforçam esta lógica, sendo ele o quarto ponto amostral mais próximo da costa, com o quarta maior percentagem de falhas de leitura, 15,95%.

Tabela II: Número de falhas de leitura dos produtos MODIS-Aqua para cada ponto amostral nas imagens de julho de 2002 a julho de 2010.

Ponto amostral	Falhas de leitura	Percentual de falhas de leitura
1	70	30.17
2	106	45.69
3	37	15.95
4	5	2.16
5	2	0.86
6	9	3.88
7	2	0.86
9	7	3.02
10	3	1.29
11	56	24.14
<b>Total</b>	<b>297</b>	<b>12.80</b>

A possibilidade de haver considerável efeito de fundo na radiância ascendente da água, o que caracterizaria o ponto amostral como área opticamente rasa foi minimizada. A comparação dos dados de profundidade medidos pelo CTD excederam as medições de profundidade de penetração da luz realizadas com o disco de Secchi para todos os pontos em todas as coletas de campo, geralmente em vários metros, mesmo para os pontos mais internos ao estuário.

#### Balanco espacial da absorção de luz

Nitidamente as médias anuais e a interanual de  $a$ ,  $adg$  e  $aph$  foram mais elevadas para os pontos mais internos do estuário (1, 2, 3 e 11) em relação aos mais externos (5, 6, 7, 9 e 10). O ponto 4 exibiu características de um ponto intermediário, como sua posição geográfica sugere, com médias mais altas que dos pontos externos e mais baixas que dos internos para as componentes  $adg$  e  $aph$  (tabela III). Mesmo levando-se em conta o desvio padrão, esta tendência se manteve. Os resultados estão em concordância com Machado *et al.* (1997) e com a tendência global indicada pela NASA em <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/13>. Como regra geral, quanto maior a proximidade da costa, maior a absorção de luz, por conta de uma maior carga de material dissolvido e em suspensão na água.



Tabela III: Médias anuais, média e desvio padrão interanual de *adg* e *aph* separadas pela posição geográfica dos pontos amostrais. Pontos internos ao estuário estão marcados em cinza escuro (1, 2, 3 e 11), em cinza claro o ponto intermediário (4) e em branco os externos ao estuário. (5, 6, 7, 9 e 10).

<b>adg_443_qaa (m<sup>-1</sup>)</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>Média</b>	<b>DP</b>
<b>1 (interno)</b>	0.7826	0.8831	0.9848	1.1982	0.8606	1.1751	0.9712	0.9834	0.4629	0.9169	0.2214
<b>2 (interno)</b>	1.2409	1.6942	1.3724	1.1503	1.4418	1.5793	1.3792	0.8315	0.9630	1.2947	0.2792
<b>3 (interno)</b>	1.1848	1.3979	1.4288	1.5847	1.3847	1.8770	1.6748	1.1300	0.6992	1.3736	0.3432
<b>11 (interno)</b>	1.7686	1.6411	2.0009	1.6936	1.5586	1.7460	1.6324	1.4020	0.8322	1.5862	0.3261
<b>4 (intermediário)</b>	0.5984	0.7311	0.6874	0.6530	0.5619	0.7979	0.6919	0.5916	0.2979	0.6235	0.1428
<b>5 (externo)</b>	0.2600	0.3046	0.3549	0.2964	0.2773	0.3476	0.3362	0.3316	0.1785	0.2986	0.0553
<b>6 (externo)</b>	0.2663	0.3176	0.5275	0.3139	0.3155	0.3105	0.3784	0.3077	0.2042	0.3268	0.0885
<b>7 (externo)</b>	0.2742	0.2667	0.3544	0.2508	0.2493	0.3315	0.3410	0.4287	0.1354	0.2924	0.0833
<b>9 (externo)</b>	0.2146	0.2127	0.2815	0.1849	0.1827	0.2287	0.4003	0.3227	0.1179	0.2384	0.0844
<b>10 (externo)</b>	0.1895	0.1555	0.2379	0.1696	0.1535	0.2086	0.2252	0.3729	0.1032	0.2018	0.0763
<b>aph_443_qaa (m<sup>-1</sup>)</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>Média</b>	<b>DP</b>
<b>1 (interno)</b>	0.1554	0.1489	0.1824	0.2165	0.1545	0.2400	0.1903	0.2560	0.5272	0.5272	0.1178
<b>2 (interno)</b>	0.2326	0.3095	0.3596	0.2297	0.2725	0.2895	0.2872	0.2218	1.1403	1.1403	0.2916
<b>3 (interno)</b>	0.2434	0.2498	0.3530	0.3193	0.2509	0.3890	0.3193	0.5378	0.8059	0.8059	0.1825
<b>11 (interno)</b>	0.3279	0.2929	0.3603	0.3122	0.2813	0.3282	0.3150	0.2973	1.0948	1.0948	0.2612
<b>4 (intermediário)</b>	0.1322	0.1416	0.1412	0.1380	0.1172	0.1578	0.1647	0.1953	0.4119	0.4119	0.0906
<b>5 (externo)</b>	0.0734	0.0640	0.0837	0.0840	0.0763	0.0783	0.1010	0.1428	0.2437	0.2437	0.0568
<b>6 (externo)</b>	0.0745	0.0674	0.1018	0.0753	0.0743	0.0659	0.0873	0.1292	0.2360	0.2360	0.0544
<b>7 (externo)</b>	0.0625	0.0563	0.0703	0.0603	0.0666	0.0626	0.0892	0.1383	0.1876	0.1876	0.0451
<b>9 (externo)</b>	0.0492	0.0407	0.0581	0.0456	0.0411	0.0443	0.0831	0.0999	0.1624	0.1624	0.0405
<b>10 (externo)</b>	0.0453	0.0317	0.0477	0.0437	0.0359	0.0444	0.0554	0.1129	0.1495	0.1495	0.0403

Para o período de 2002 a 2010, proporções ligeiramente maiores de *adg* em relação a *a* foram registradas nos pontos 1, 2, 4 e 11, todos situados nos canais de drenagem norte ou sul do estuário, evidenciando seu papel no carreamento do material dissolvido e particulado terrígeno, especialmente pela descarga de água doce fluvial no complexo estuarino. Na tabela IV pode-se verificar as proporções de *adg* e *aph* e em relação a *a* anual e interanualmente por ponto amostral.

Tabela IV: Proporções médias anuais, média e desvio padrão interanual da absorção de luz pelo detrito-*gelbstoff* e pelo fitoplâncton separadas por ponto amostral.

<i>adg</i> (%)	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Média	Desvio padrão
1	80,2293	84,0195	81,5842	83,1693	83,8642	78,5023	79,7829	68,4302	51,0557	76,7375	10,7344
2	80,9189	82,9813	80,8034	77,6852	79,7983	82,7579	76,2419	66,0019	44,5196	74,6343	12,4157
3	78,0009	83,1485	79,7988	78,7880	83,2288	76,0806	80,8401	57,9929	42,7553	73,4038	13,7922
4	79,9215	82,3791	79,2326	79,8515	81,5302	81,6644	78,1949	68,1771	48,5633	75,5	10,9577
5	77,1041	79,3231	78,9351	74,9768	75,9649	78,0726	74,6465	62,5048	47,7448	72,1414	10,4555
6	76,2485	80,7577	81,0368	78,0508	77,7229	79,9233	78,6109	64,4316	50,8613	74,1826	10,0841
7	78,5461	79,5196	80,0459	76,6113	76,8977	81,4711	76,1340	62,7289	49,0987	73,4504	10,6517
9	77,4776	80,6069	78,4290	75,7142	78,5308	80,8216	77,9568	65,0799	48,3723	73,6655	10,5851
10	77,0231	78,8942	79,9563	74,5266	78,0097	78,2114	76,6837	61,9732	46,9264	72,4672	10,9906
11	81,4395	83,0539	81,9181	81,5463	81,5261	81,1093	77,7150	70,6244	42,5169	75,7166	13,0097
<i>aph</i> (%)	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Média	Desvio padrão
1	18,7256	15,1067	17,4795	16,0486	15,1613	20,5723	19,2725	30,6395	48,0977	22,3449	10,7529
2	18,1596	16,4878	18,5109	16,6159	19,3880	16,6327	23,0257	33,0996	55,0000	24,1023	12,7250
3	21,1846	16,1794	19,6181	20,6340	16,1128	23,2693	18,6667	41,2030	56,6231	25,9434	13,7705
4	19,0111	16,8874	18,1106	18,9816	17,7334	17,3456	20,7891	30,7745	50,4810	23,3460	11,0255
5	20,4236	18,3943	19,1877	22,8296	21,5395	19,9692	23,3970	35,4150	50,6587	25,7572	10,6337
6	21,6314	17,2484	17,1439	19,8584	19,2512	17,7745	19,4963	33,3228	47,0448	23,6413	10,0857
7	18,9026	17,9261	17,4862	20,7102	20,5459	15,9906	21,7432	34,8919	48,8709	24,1186	10,8073
9	19,2301	16,0773	17,2081	20,4528	18,0178	16,1653	19,5122	32,4644	48,6008	23,0810	10,7865
10	19,1029	17,0349	16,7666	21,5389	18,2085	18,0451	20,0962	34,2487	50,3354	23,9308	11,2564
11	19,1013	16,3541	17,0155	17,7785	17,1423	18,5178	21,0248	28,3682	55,6005	23,4337	12,6029

A proporção de *aph* nesta mesma escala temporal foi ligeiramente maior nos pontos 3 e 5. Para o ponto 3, este destaque de 25,94% na contribuição à absorção da luz pode ser explicado por ser o ponto mais interno ao estuário, além de próximo à Ilha do Mel, portanto mais exposto a um aporte de nutrientes terrígenos do estuário e da própria Ilha do Mel, que poderiam contribuir para uma maior produção primária. Por outro lado, seu desvio padrão foi o maior registrado, levantando a possibilidade desta condição ser altamente variável. A segunda maior proporção média de *aph* (25,76%) e também segundo menor desvio padrão registrados no ponto 5 não podem ser tão facilmente explicados, apesar deste ponto também parecer estar mais sujeito à uma produção **primária nova**. Apesar de ser uma área muito rasa da plataforma continental interna, é possível que mesmo ali eventualmente ocorra a intrusão de diferentes massas d'água, como a superficial Frente Subtropical de Plataforma do Rio da Prata (PIOLA *et al.*, 2000; 2008) e a subsuperficial ACAS – Água Central do Atlântico Sul (BRANDINI *et al.*, 1989) que transportam nutrientes essenciais ao fitoplâncton. Como há indícios de que as correntes de maré do CEP tendem a desaguar mais

pela desembocadura sul e encher pela norte, a hidrodinâmica local pode privilegiar a intrusão destas massas d'água pelo norte, justamente próxima ao ponto 5.

A variabilidade espacial do balanço das absorções de luz nas águas da desembocadura do CEP foi testada comparando-se as maiores e menores médias anuais registradas por ponto amostral de 2002 a 2010 para os três produtos MODIS-Aqua *a*, *adg* e *aph* (tabela III). A diferença entre a maior e menor média anual registradas foi de 92,08% para *a*, 94,84% para *adg* e 97,22% para *aph*. A mesma comparação entre a maior e a menor média anual registrada foi feita para a proporção de *adg* e *aph* em relação à absorção total, *a* (tabela IV), resultando em valores bem menores, 41,50% e 41,52%, respectivamente. Fica claro que diferentes locais do CEP absorvem a luz com intensidades bem distintas, mas que a contribuição relativa à absorção pelo fitoplâncton e pelo detrito-*gelbstoff*, varia em proporção bem menor. Em outras palavras, a variabilidade espacial é bastante significativa na absorção da luz, mas a proporção entre os componentes opticamente ativos, varia de forma bem mais discreta. A repetição deste padrão, mas não exatamente a mesma proporção, foi observada para todas as imagens (dias) selecionadas.

#### Balanço temporal da absorção de luz

A tabela V mostra os valores medidos de *a*, *aph* e *adg*, os percentuais de *aph* e *adg* em relação a *a*, suas médias, desvio padrão e extremos, em escala sazonal interanual para todos os anos investigados. Na escala interanual investigada, o coeficiente de absorção total da luz (*a*) variou de 5,7125 m<sup>-1</sup>, medida no ponto 11, dentro do estuário, em 13 de agosto de 2005 (período de inverno), a 0,0719 m<sup>-1</sup>, medida no ponto 10, o mais distante da costa, em 27 de julho, também inverno deste mesmo ano. Sua média interanual foi de 0,8079 m<sup>-1</sup>. Mesmo em escala interanual o máximo e mínimo registrados ocorreram durante o inverno de um mesmo ano, sendo 85,86% maior e 91,1% menor que a média interanual, respectivamente. Os resultados demonstram a dinâmica complexa representada pelo balanço das absorções de luz em regiões costeiras (águas do Caso 2), principalmente em grandes estuários sujeitos à drenagem continental e à urbanização, como o CEP. Neste caso, os pontos mais internos ao CEP puxaram a média geral de *a*, *aph* e *adg* para cima, enquanto os mais externos a puxaram para baixo.

Tabela V: Valores medidos de absorção da luz total, pelo fitoplâncton e pelo detrito-*gelbstoff* ( $m^{-1}$ ) e suas respectivas porcentagens em relação a *a* com seus mínimos, máximos, médias sazonais, desvio padrão e contribuição percentual para o período de de julho de 2002 a julho de 2010.

	Valor Mínimo	Valor Máximo	Valor Médio	Desvio Padrão	% Mínima	% Máxima	% Média	Desvio Padrão (%)
<i>a</i> verão	0.0935	5.6284	0.8350	0.9376	X	X	X	X
<i>aph</i> verão	0.0161	1.9248	0.1585	0.1842	13.6997	60.0000	21.3222	12.4900
<i>adg</i> verão	0.0419	4.7771	0.6704	0.7940	38.3210	95.5270	76.9131	12.8504
<i>a</i> outono	0.0735	5.5507	0.8995	0.9743	X	X	X	X
<i>aph</i> outono	0.0110	2.9150	0.2004	0.2448	12.1776	60.3313	24.4648	14.3327
<i>adg</i> outono	0.0421	4.7110	0.6890	0.8132	20.0946	94.8012	73.5264	14.9385
<i>a</i> inverno	0.0719	5.7125	0.8612	0.8971	X	X	X	X
<i>aph</i> inverno	0.0154	2.3384	0.1860	0.2097	12.4300	60.0368	24.0579	14.2998
<i>adg</i> inverno	0.0262	4.8485	0.6649	0.7508	31.4526	94.1248	74.2874	14.4735
<i>a</i> primavera	0.1186	4.6585	0.6698	0.8513	X	X	X	X
<i>aph</i> primavera	0.0212	0.6988	0.1297	0.1284	14.9744	60.0000	73.8376	14.2125
<i>adg</i> primavera	0.0558	3.9526	0.5334	0.7368	36.9397	93.8668	73.8376	14.2125
<i>a</i> interanual	0.0719	5.7125	0.8452	0.9325	X	X	X	X
<i>aph</i> interanual	0.0110	2.9150	0.1706	0.2156	12.1776	60.3313	22.6398	14.0022
<i>adg</i> interanual	0.0262	4.8485	0.6650	0.7827	20.0946	95.5270	75.4708	14.4083

O coeficiente de absorção da luz pelo fitoplâncton (*aph*) variou interanualmente de  $0,0110 m^{-1}$  no outono de 2003 (dia 8 de maio no ponto 10) a  $2,9150 m^{-1}$  também no outono, mas do ano 2009 (dia 29 de abril no ponto 2). Um valor relativamente tão alto (acima de  $2 m^{-1}$ ) de *aph* só foi novamente registrado para pontos internos ao CEP, no primeiro dia de inverno do mesmo ano (21 de junho, ponto 3) e no outono do ano seguinte (dia 16 de junho, ponto 11). Em geral o *aph* se manteve abaixo de  $1 m^{-1}$ , o que pode sugerir a ocorrência de eventos localizados de florações algais nesses dias. O coeficiente de absorção da luz pelos detritos e *gelbstoff* combinados (*adg*) alcançou seu mínimo de 0,0262 no inverno de 2010 em 5 de julho, ponto 9 e seu máximo de 4,8485 no inverno de 2005 em 13 de agosto no ponto 11. Os eventos extremos de *adg* não foram tão raros quanto o máximo de *aph*, mais um indício de uma possível floração algal nestes dias de 29 de abril e 21 de junho de 2009.

A primeira imagem com a qualidade requerida neste trabalho para a área de estudo ocorreu em 13 de julho de 2002, ou seja, não computando dados de outono para este ano. Para o ano de 2010, optou-se por selecionar as imagens até o final de julho, portanto sem os dados de primavera. Alguns pontos amostrais não tiveram dados computados durante algumas estações do ano, principalmente em função da cobertura por nuvens, como foi o caso do ponto 2 durante a primavera de 2003 e 2008. Todas estas limitações temporais da escala abordada podem ser vistas na figura 2, que foi dividida em quatro pontos internos e um intermediário ao CEP, figura 2 A e cinco pontos externos a ele, figura 2 B.

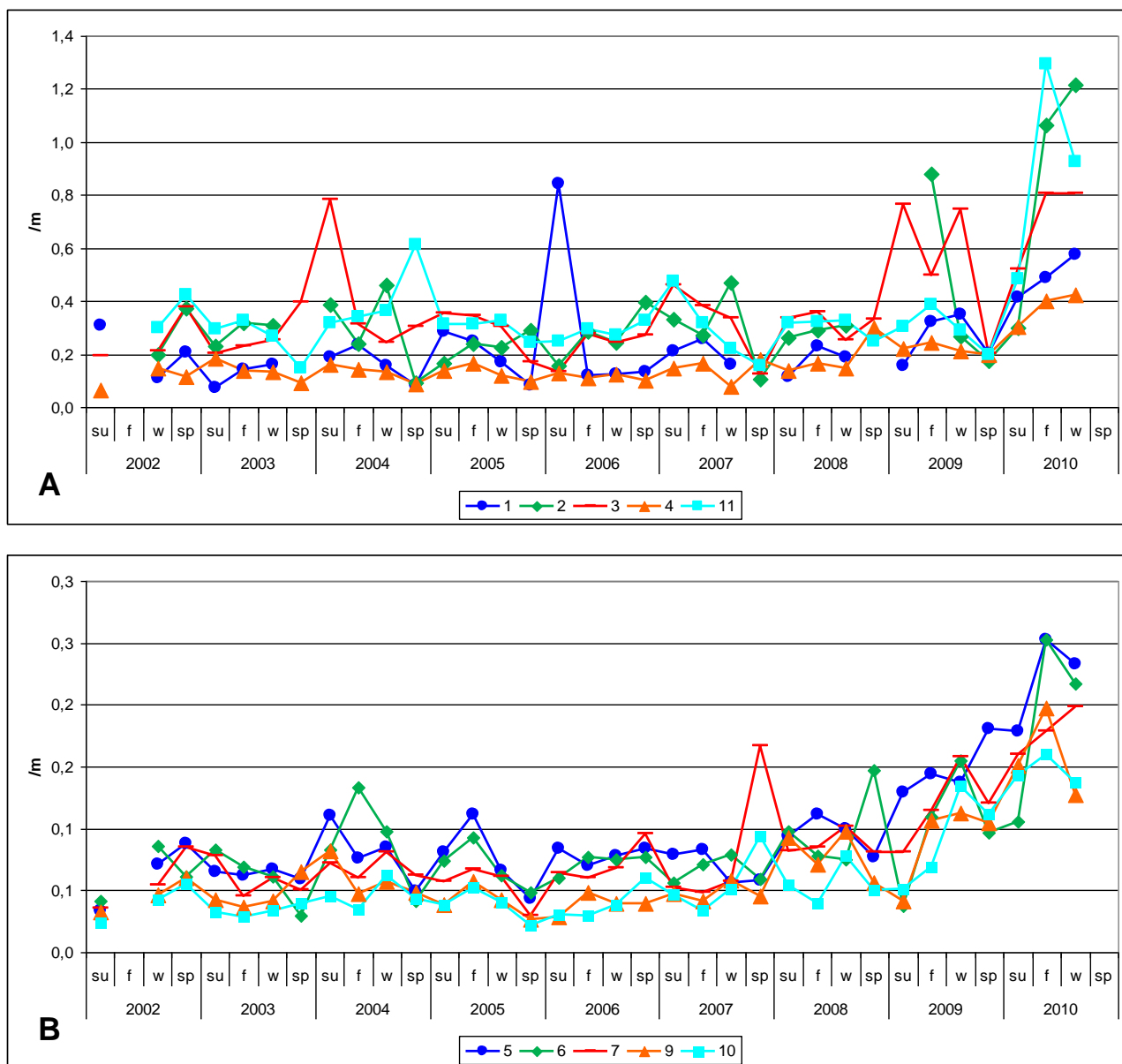


Figura 2: Médias sazonais de absorção de luz pelo fitoplâncton ( $m^{-1}$ ) por ponto amostral de julho de 2002 a julho de 2010. A: pontos internos ao estuário (1, 2, 3 e 11) e ponto intermediário (4). B: pontos externos ao estuário (5, 6, 7, 9 e 10). No eixo x os anos estão setorizados em estações, verão (su), outono (f), inverno (w) e primavera (sp).

As escalas de absorção da luz utilizadas na figura 2 A e 2 B são proposadamente diferentes para facilitar a visualização das variações sazonais em  $aph$ , tanto para a área interna ( $0-1,4 m^{-1}$ ) da desembocadura do CEP, quanto para a mais externa ( $0-0,3 m^{-1}$ ). Na tabela V foram apresentadas médias sazonais gerais de  $aph$ , com maiores valores no outono e depois no inverno e menores na primavera e verão. Os dados apresentados na figura 2 mostram uma realidade diferente, com médias sazonais por ponto amostral. O estabelecimento de médias sazonais que englobam todos os pontos amostrais agrupa as grandes diferenças no balanço da absorção da luz pelos pontos internos (com maior coeficiente de absorção) e externos (menor coeficiente de absorção), mascarando os resultados e impedindo uma correta compreensão de seu ciclo sazonal interanual (figura V).

Como mostra a figura 2, foram mais freqüentes picos de absorção no período do meio da primavera de um ano até o final do verão do ano seguinte, mesmo que nem sempre a tendência tenha se repetido para todos os pontos amostrais. Os resultados indicam que a variação sazonal foi mais marcante que a variação

interanual, pelo menos de 2002 a 2008. Notadamente a absorção de luz teve sua máxima expressão nos anos de 2009 e 2010 para todos os pontos amostrais, indicando uma possível tendência de alteração interanual positiva no balanço da absorção de luz no CEP para estes dois anos.

Na figura 3 são apresentados os dados referentes ao mesmo balanço espaço-temporal apresentado na figura 2, mas desta vez para o coeficiente de absorção da luz pelo detrito-*gelbstoff*. As escalas de absorção da luz utilizadas na figura 3 A e 3 B também são propositadamente diferentes para facilitar a visualização das variações sazonais em *adg*, tanto para a área interna (0-6,0 m<sup>-1</sup>) da desembocadura do CEP, quanto para a mais externa (0-0,9 m<sup>-1</sup>). As escalas utilizadas na figura 3 A e B são nitidamente maiores que aquelas adotadas para a figura 2 A e B, deixando claro que o coeficiente de absorção pelo detrito-*gelbstoff* é bem maior que o coeficiente de absorção pelo fitoplâncton, especialmente para os mais internos ao CEP. O fato do *adg* ter sido sempre maior que o *aph* não chega a ser surpreendente, visto que o primeiro se refere a dois dos principais constituintes opticamente ativos da água e o último apenas um. A diferença consideravelmente maior indica que o CEP não teve uma resposta espectral dominada pelo fitoplâncton no período analisado, mas que esta deve ter sido dominada pelos detritos ou pelo *gelbstoff*, como é esperado para águas do Caso 2 (MOREL; PRIEUR, 1977).

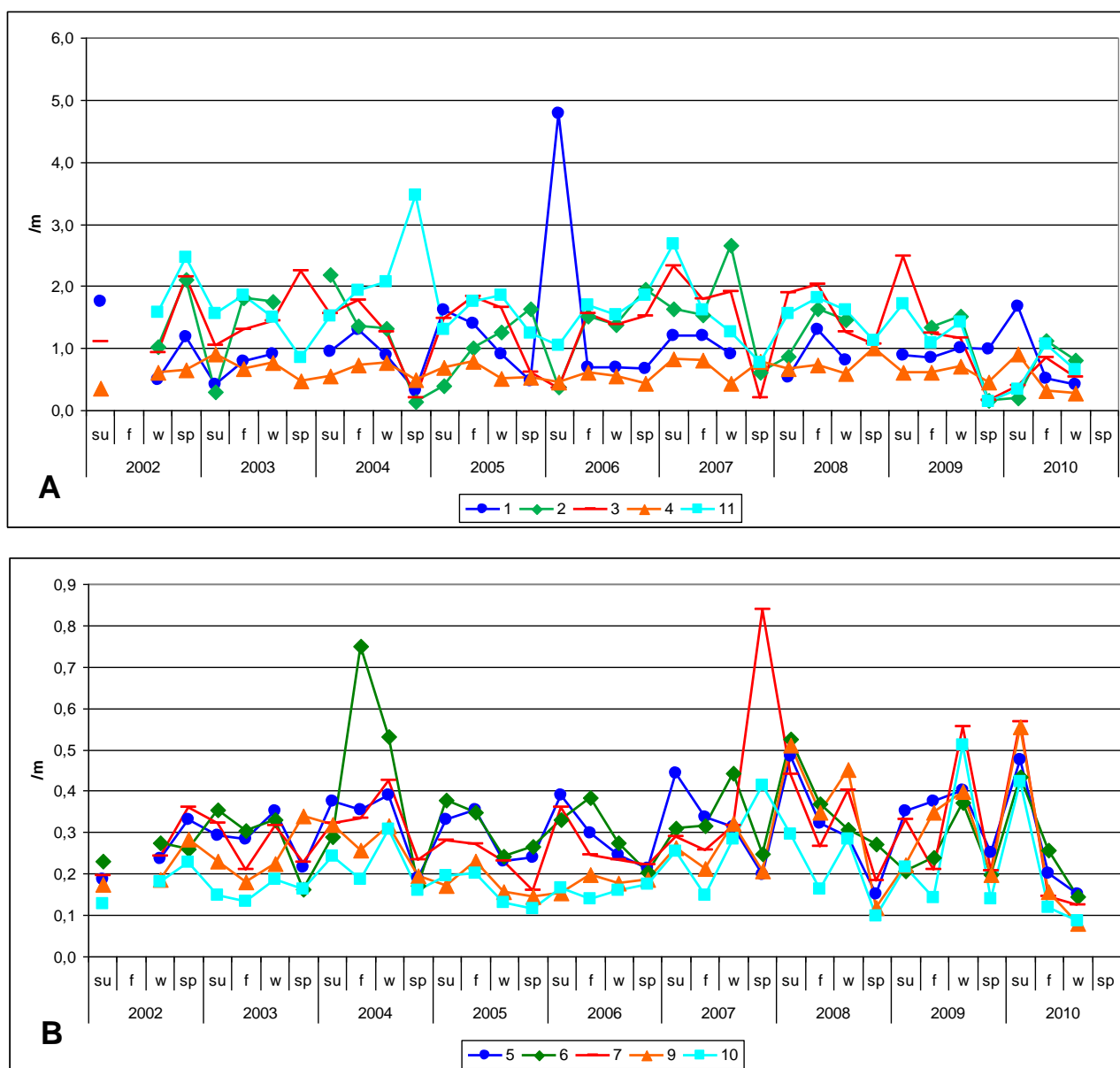


Figura 3: Médias sazonais de absorção de luz pelo detrito-*gelbstoff* ( $m^{-1}$ ) por ponto amostral de julho de 2002 a julho de 2010. A: pontos internos ao estuário (1, 2, 3 e 11) e ponto intermediário (4). B: pontos externos ao estuário (5, 6, 7, 9 e 10). No eixo x os anos estão setorizados em estações, verão (su), outono (f), inverno (w) e primavera (sp).

O balanço sazonal do *adg* apresentado na figura 3 também mostra uma tendência de crescimento durante o período de primavera-verão para quase todos os pontos amostrais, assim como a figura 2 para o *aph*. A principal diferença fica por conta de alguns picos mais pronunciados que se iniciam durante o inverno, provavelmente graças às chuvas de julho que costumam atingir a área de estudo (FERNANDES; BRANDINI, 2004).

Tanto para a figura 2, quanto para a 3, os picos na absorção de luz na primavera-verão estão provavelmente mais relacionados ao período de maior precipitação na área de estudo. A precipitação ao longo do CEP aumenta a drenagem e lixiviação continentais, resultando em uma pluma estuarina que avança superficialmente até 25 km da costa (ANGELOTTI, 2008), enriquecendo suas águas com *gelbstoff*, detritos e nutrientes. O aporte de nutrientes novos acaba estimulando a floração fitoplanctônica na região. O padrão de ventos também pode ter influenciado, pois nesta época predominam ventos de nordeste (LANA, 2001) que por transporte de Ekman tendem a dispersar a pluma para fora do estuário, enquanto no outono-inverno os

freqüentes ventos de sul empilham e aprisionam a pluma dentro dele. Pelas imagens orbitais serem instantâneas, condições de maré astronômica e mais ainda, eventos de maré meteorológica podem influenciar na distribuição desta pluma estuarina no momento de algum imageamento. No entanto, a grande escala temporal abordada minimiza este tipo de influência no resultado final.

A intrusão da Água Central do Atlântico Sul (ACAS), mais rica em nutrientes que a Água Costeira (AC), já foi documentada como um evento de maior ocorrência durante o verão (BRANDINI *et al.*, 1989; BRANDINI 1990), podendo ter contribuído para alguns dos maiores picos observados em *aph*. Durante o outono e principalmente o inverno uma pluma estuarina muito mais intensa que a do CEP, conhecida como Frente Subtropical de Plataforma do Rio da Prata pode ser impulsionada por ventos sul e sudoeste e alcançar a plataforma rasa do Paraná enriquecendo suas águas com detritos de pequena granulometria, gelbstoff e principalmente nutrientes. Alguns eventos de intrusão desta pluma da Bacia da Prata, na Argentina, podem resultar em biomassa fitoplanctônica e mesmo produtividade primária maiores que no verão (BRANDINI, 1990; FERNANDES; BRANDINI, 2004), o que talvez explique os altos valores de *aph* nos pontos mais externos ao CEP no inverno de 2009 e 2010 (figura 2 B). No entanto, não há trabalhos que apontem a influência destes processos oceanográficos de meso-escala espacial antes da isóbata de 20 m em frente ao CEP.

Fernandes e Brandini (2004) sugeriram que eventos de ressuspensão causados por movimentos de maré e turbulência por ventos em diversas escalas espaciais também podem disponibilizar nutrientes na zona eufótica de um ou mais pontos amostrais, favorecendo o desenvolvimento do fitoplâncton localmente. Os mesmos autores consideram a poluição urbana na região um fator de menor impacto para a regulação da dinâmica fitoplanctônica.

A figura 4 permite a inferência do balanço proporcional da absorção de luz pelo fitoplâncton em relação à absorção total nas águas da desembocadura do CEP. As proporções foram calculadas considerando a absorvância total como sendo 100%. Os pontos mais internos ao estuário (A) apresentam picos bem distintos novamente no período entre a primavera e o verão, sendo o menor destes entre os anos 2006 e 2007 e o maior entre 2009 e 2010. Portanto, o fitoplâncton parece ter tido grande responsabilidade no aumento da absorção total nestes anos mais recentes. O ponto 3 apresentou um pico distintamente mais alto que os outros pontos no período primavera-verão de 2004 a 2005. No caso do ponto 3, a alta de primavera em 2004 pode ser explicada pelo fato de ter havido apenas uma amostragem na primavera deste ano para este ponto.

Os pontos mais externos (B) também apresentaram picos perceptíveis, porém mais discretos. As exceções ficaram por conta da primavera-verão de 2005-2006, quando somente o ponto 5 sofreu uma ligeira alta enquanto os outros pontos só apresentaram crescimento na contribuição óptica pelo fitoplâncton durante o outono; e o período 2009-2010, quando todos os pontos apresentaram um queda na proporção de *aph* durante o verão, seguida de uma surpreendente e crescente alta no outono e inverno. Conforme dito anteriormente, esta alta pode representar a influência de processos oceanográfico de meso-escala espacial, como uma intrusão da Frente Subtropical de Plataforma do Rio da Prata e merece uma investigação futura mais aprofundada, inclusive para testar se este crescimento na contribuição óptica pelo fitoplâncton é mesmo uma tendência verificável para o ano de 2010 em diante.



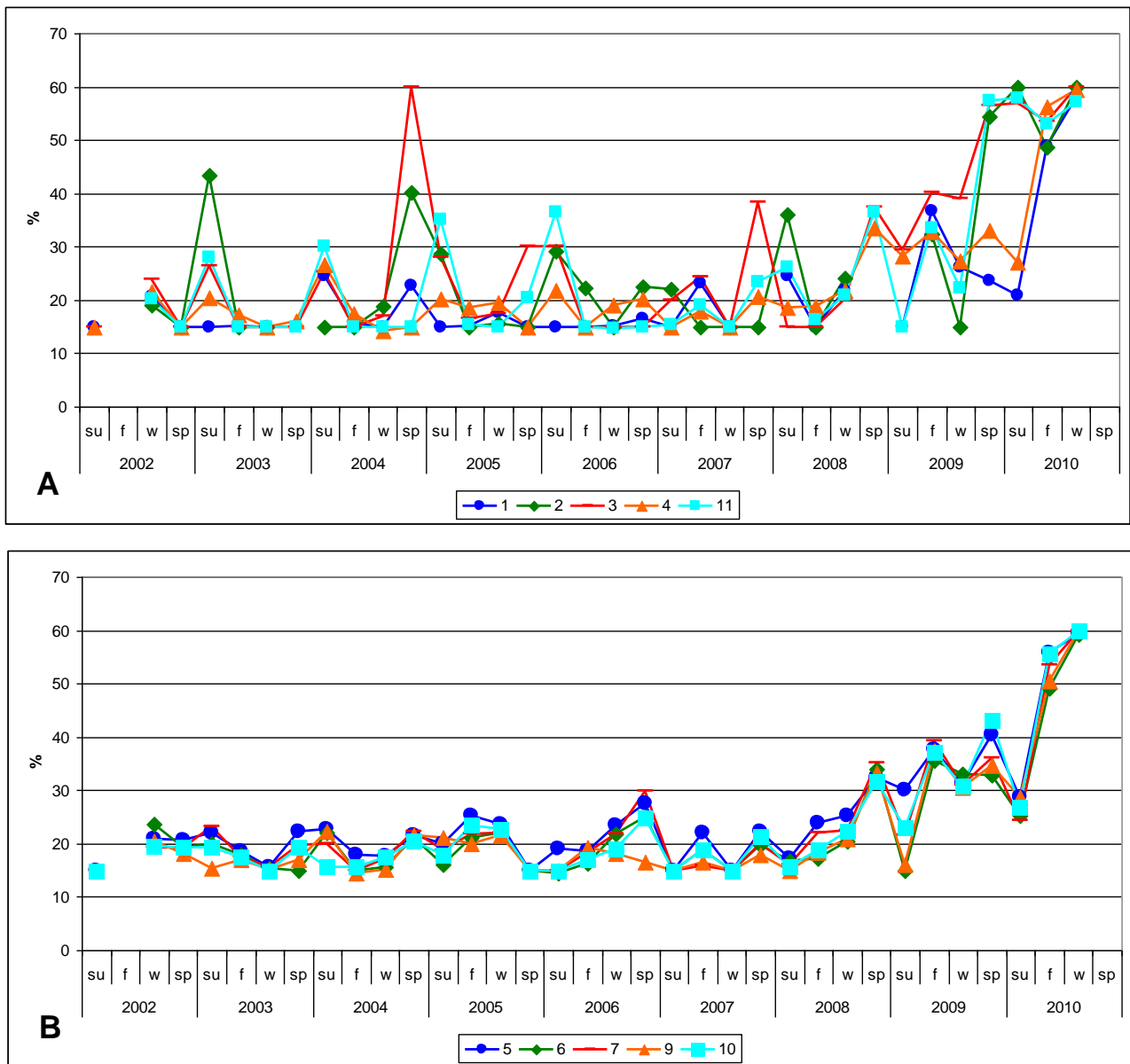


Figura 4: Médias sazonais da proporção de absorção de luz pelo fitoplâncton em relação à absorção total para o período de julho de 2002 a julho de 2010. A: pontos internos ao estuário (1, 2, 3 e 11) e ponto intermediário (4). B: pontos externos ao estuário (5, 6, 7, 9 e 10). No eixo x os anos estão setorizados em estações, verão (su), outono (f), inverno (w) e primavera (sp).

Logicamente, as médias sazonais da proporção de *adg* (figura 5) seguem padrão inverso às médias sazonais de *aph* (figura 4), por serem estes dois produtos MODIS-Aqua os constituintes altamente dominantes para a absorção total. Portanto, a proporção de contribuição na absorção total pelo detritogelbstoff foi maior durante as estações de outono e inverno, com cavas mais acentuadas para os pontos internos e intermediário (5 A) e menos acentuadas para os pontos externos (B). A proporção média de *adg* interanual para todos os pontos foi de aproximadamente 74,95%, enquanto o *aph* foi de 22,69% para o período analisado.

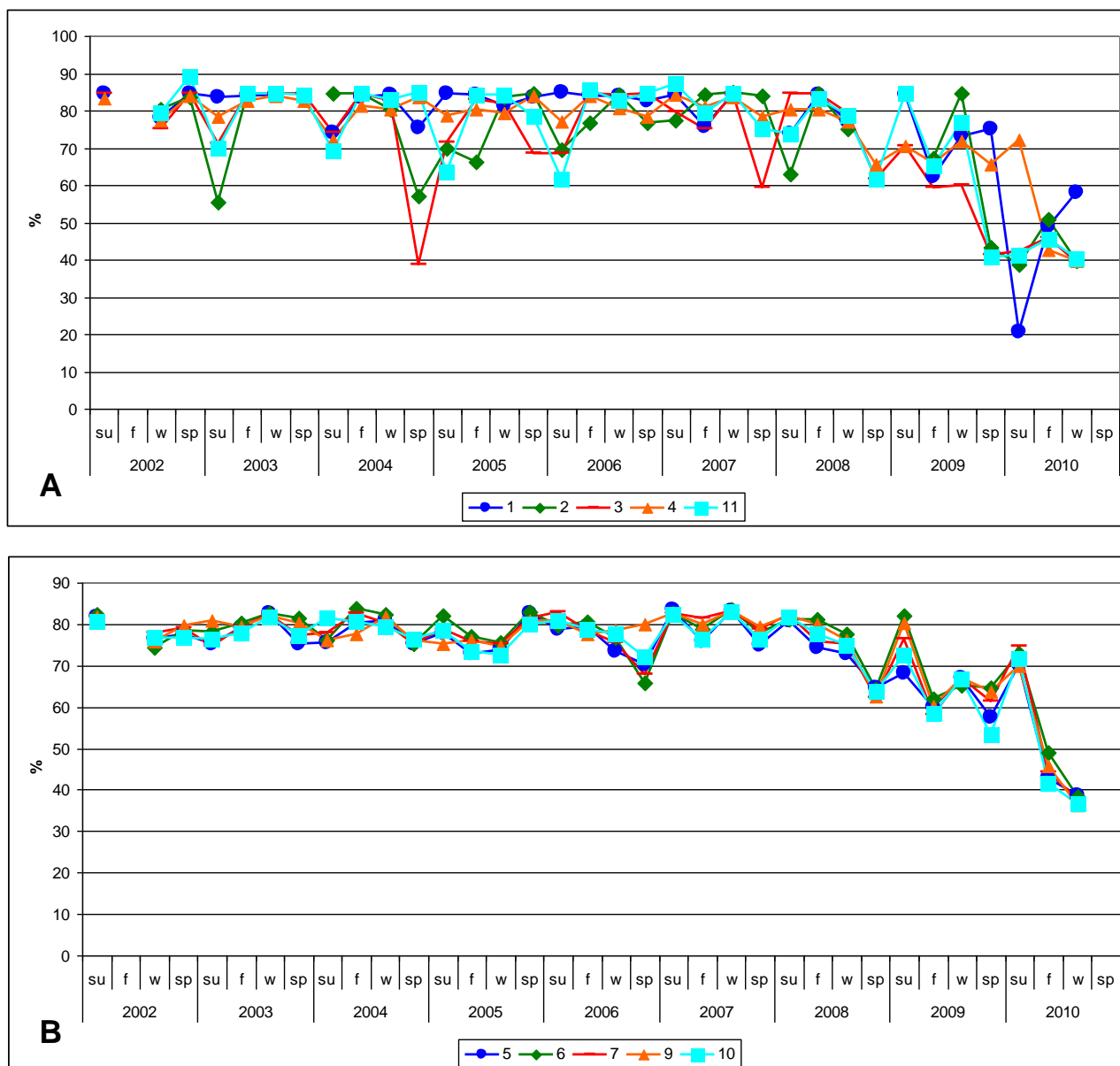


Figura 5: Médias sazonais da proporção de absorção de luz pelo detrito-*gelbstoff* em relação à absorção total para o período de julho de 2002 a julho de 2010. A: pontos internos ao estuário (1, 2, 3 e 11) e ponto intermediário (4). B: pontos externos ao estuário (5, 6, 7, 9 e 10). No eixo x os anos estão setorizados em estações, verão (su), outono (f), inverno (w) e primavera (sp).

Águas hipoteticamente bem equilibradas na contribuição de seus constituintes opticamente ativos apresentariam valores de dízima periódica para cada um dos seus três constituintes, 33,33%. Quaisquer constituintes que alcancem percentuais médios mais altos que desta dízima são considerados os fatores dominantes na resposta óptica das águas investigadas. Assim, as águas da desembocadura do CEP apresentam uma óbvia dominância do *adg* sobre o *aph* em todos os anos, à exceção da primeira metade de 2010, que apresentou pela primeira vez uma tendência de dominância pelo *aph*. A mudança na resposta óptica observada no primeiro semestre de 2010 expõe a necessidade de dar continuidade à investigação do balanço das absorções de luz para se determinar se esta é um tendência transformativa na composição óptica da desembocadura do CEP ou se trata de um ano atípico, além de investigar suas possíveis causas. Para os anos anteriores, cuja dominância da resposta óptica é regida pelo *adg*, faz-se necessário implementar a classificação óptica conforme Gould (2003) para separar esta componente em *ad* (coeficiente de absorção

por detritos) e *ag* (coeficiente de absorção por *gelbstoff*), para determinação do constituinte opticamente ativo dominante no CEP.

O constituinte óptico de menor contribuição para a absorção total, o *aw*, contribuiu com apenas 1,05%, deixando evidente que para fechar a conta falta um valor pouco maior, aproximadamente 1,3%, que pode ser considerado como uma taxa de erro na estimativa dos produtos MODIS-Aqua. Apesar de baixa, esta taxa de erro ainda é maior que o *aw* para a região e período estudados. A diferença de 1,3% provavelmente resulta de pequenos erros na estimativa dos produtos *a*, *adg* e *aph* para a área de estudo pelo algoritmo QAA.

A figura 6 apresenta as médias percentuais anuais das três componentes, que somadas resultam na absorção total da luz. Duas delas são produtos MODIS-Aqua disponibilizados pela NASA, o *aph\_443\_qaa* e o *adg\_443\_qaa* e a terceira uma constante, *aw*, tomada de Pope e Fry (1997) em 442,5 nm. Por ser uma constante, sua contribuição permanece proporcionalmente a mesma na média anual (0,78-1,34%), ou mesmo interanual (1,05%). A proporção de *aph* se manteve próxima de 20% de 2002 a 2007, baixando para 12,43% em 2008 para depois alcançar suas maiores contribuições percentuais. Durante 2009 sua média anual foi de 31,15% e de janeiro a julho de 2010 foi ainda maior, 48,09%.

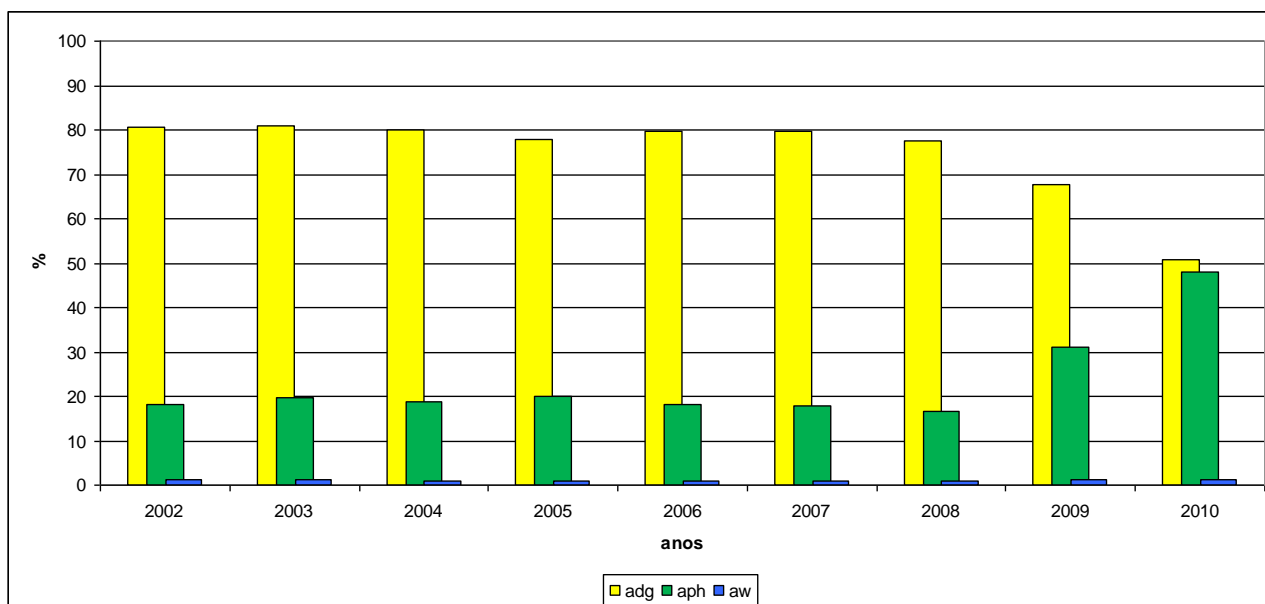


Figura 6: Médias anuais de absorção de luz pelo detrito-*gelbstoff*, fitoplâncton e água pura em relação à absorção total de julho de 2002 a julho de 2010.

Os resultados mostrados na figura 7 evidencia que dinâmica sazonal é muito maior que a dinâmica anual também para o coeficiente de absorção da luz pela água pura. O *aw* alcançou percentual de média sazonal mínimo na primavera de 2008, correspondendo a 0,46% e máximo na primavera de 2009, quase 2,2% de *a*. Apesar da menor urgência, o estabelecimento de novas constantes para *aw*, especificamente nos comprimentos de onda altamente utilizados e não contemplados pelo trabalho de Pope e Fry (1997), como 412 e 443 nm, poderá aumentar, ainda que pouco, a precisão de futuras pesquisas em RCM.

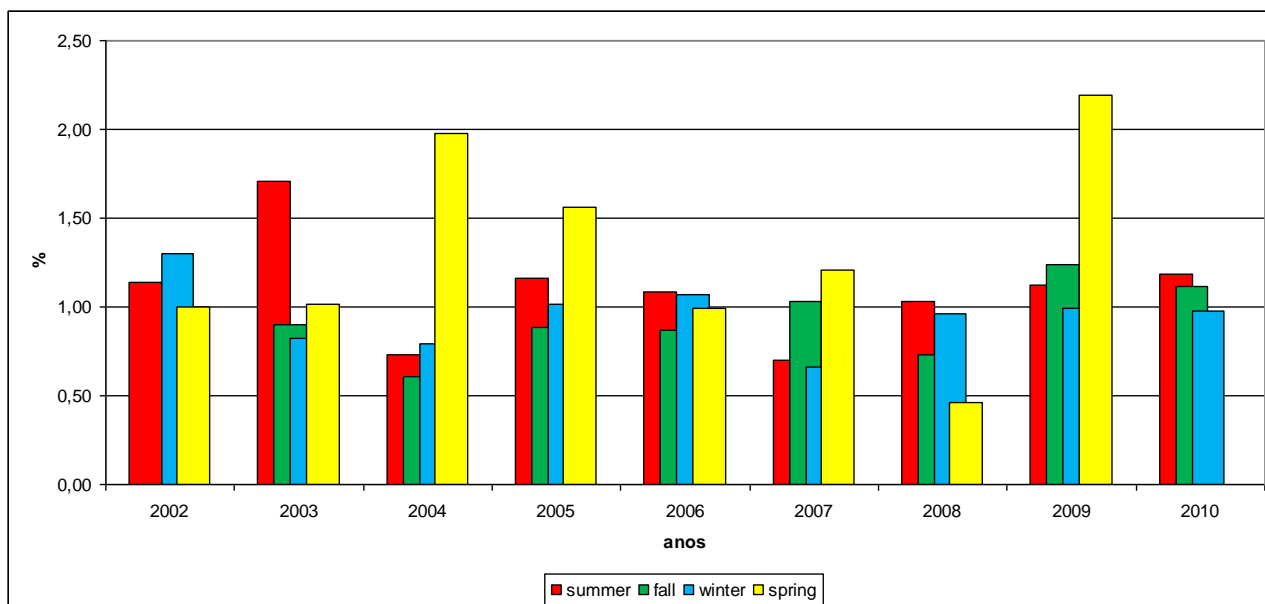


Figura 7: Médias sazonais de absorção de luz pela água pura em relação à absorção total de julho de 2002 a julho de 2010.

Os valores máximos e mínimos de  $a$ ,  $adg$  e  $aph$  registrados em um banco de dados para todas as imagens, sazonalmente, anualmente e interanualmente beneficiam a seleção de algoritmos mais sofisticados para futuras pesquisas de RCM no CEP e o desenvolvimento de um algoritmo regional (IOCCG, 2006). O mesmo pode ser feito para quaisquer corpos de água do Caso 2, tipicamente complexos. Estudos de classificação óptica de corpos d'água geralmente abordam escalas temporais muito curtas, de poucos dias (GOULD, 2003) a no máximo cinco anos (OLIVEIRA, 2009). Fica evidente a necessidade de se abordar escalas temporais mais longas para se implementar uma classificação óptica mais confiável. A partir do desenvolvimento de algumas destas aplicações posteriores, estudos futuros poderão utilizar a RCM no CEP como ferramenta para estudos mais aplicados, como modelagens ecológicas, gerenciamento costeiro e tantas outras sugeridas pelo IOCCG (2008).

### Referências Bibliográficas

ANGELOTTI, R. **Variabilidade da pluma e da estratificação termo-halina na desembocadura do complexo estuarino de Paranaguá e plataforma adjacente**. 152 p. Dissertação (Mestrado em Sistemas Costeiros e Oceânicos) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná, 2008.

BAILEY, S. **Ocean Color Forum**. Disponível em:

<[http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/forum/oceancolor/topic\\_show.pl?pid=16374;hl=#pid\\_16374](http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/forum/oceancolor/topic_show.pl?pid=16374;hl=#pid_16374)>. Acesso em: 19/01/2011.

BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; MATOS, D. J.; WERNER, A. **A Serra do Mar e a Porção Oriental do Estado do Paraná**. Curitiba: Secretaria de Estado do Planejamento, Governo do Paraná, 1978.

BRANDINI, F. P.; MORAES, C. L. B.; THAMM, C. A. 1989. Shelf Break Upwelling Subsurface Maxima of Chlorophyll and Nitrite, and Vertical Distribution of a Subtropical Nano-microplankton Community off Southeastern Brazil. In: BRANDINI, F. P. (ed.) *Memórias do III Encontro Brasileiro de Plâncton*. Curitiba, 190 p.

BRANDINI, F. P. Hydrography and characteristics of the phytoplankton in shelf and oceanic waters off southern Brazil during winter (July / August 1982) and summer (February / March 1984). **Hydrobiologia**, n. 196, p. 111-148, 1990.

BUKATA, R. P.; JEROME, J. H.; KONDRATYEV, K. Y.; POZDNYAKOV, D. V.. **Optical Properties and Remote Sensing of Inland and Coastal Waters**. CRC Press LLC, Boca Raton. 362 p, 1995.

FERNANDES, L. F.; BRANDINI, F. P. Diatom associations in shelf waters off Paraná state, southern Brazil: annual variation in relation to environmental factors. **Brazilian Journal of Oceanography**, n. 52, v. 1, p. 19-34, 2004.

FREITAS, F. H. & NOERNBERG, M. A. Análise dos fatores limitantes da resolução temporal do sensor Aqua-Modis em estudos de águas costeiras: um exemplo do sul do Brasil. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIAS DO MAR, 2004, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis, 2004, p. 385.

GORDON, H. R.; WANG, M. Retrieval of water-leaving radiance and aerosol optical thickness over the ocean with SeaWiFS: a preliminary algorithm. **Applied Optics**, v. 33, n. 3, p. 443-452, 1994.

GOULD, R. W. & ARNONE, R. A. Optical water mass classification for ocean color imagery. Proceedings: **Second International Conference, Current Problems in Optics of natural Waters**, St. Petersburg. 2003.

HU, C.; CHEN, Z.; CLAYTON, T. D.; SWARZENSKI, P.; BROCK, J. C.; MULLER-KARGER, F. E. Assessment of estuarine water-quality indicators using MODIS medium-resolution bands: Initial results from Tampa Bay, FL. **Remote Sensing of Environment**, n. 93, p. 423-441, 2004.

IOCCG. Morel, A. (ed.). Minimum Requirements for an Operational Ocean-Colour Sensor for the Open Ocean. **Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group, n. 1**, Villefranche-sur-Mer, França, 1998.

IOCCG. Lee, Z. P. (ed.). Remote Sensing of Inherent Optical Properties: Fundamentals, Tests of Algorithms and Applications. **Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group, n. 5**, Dartmouth, Canadá, 2006.

IOCCG. Gregg, W. W. (ed.). Ocean-Colour Data Merging. **Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group, n. 6**, Greenbelt, EUA, 2007.

IOCCG. Platt, T., Hoepffner, N., Stuart, V. & Brown, C. (eds). Why Ocean Colour? The Societal Benefits of Ocean-Colour Technology. **Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group, n. 7**. Dartmouth, Canadá, 2008.

IPARDES. Diagnóstico físico ambiental da Serra do Mar- area sul. Vol. 02. Curitiba, 1991.

LAADS. NASA, 2002-2011. Disponível em <<http://ladsweb.nascom.nasa.gov>>. Acesso em 15/03/2010.

LANA, P. C.; MARONE, E.; LOPES, R. M.; MACHADO, E. C. 2001. The Subtropical Estuarine Complex Of Paranaguá Bay, Brazil. P. 131-145. *In*: Seeliger, U. & Kjerfve, B (Eds). **Ecological Studies**. Springer-Verlag, Berlim, Alemanha.

LEE, Z. P., CARDER, K. L.; ARNONE, R. Deriving inherent optical properties from water color. A multi-band quasi-analytical algorithm for optically deep waters. **Applied Optics**, v. 41, n. 27, p. 5755-5772, 2002.

LEE, Z. P.; WEIDEMANN, A., KINDLE, J.; ARNONE, R.; CARDER, K. L.; DAVIS, C. Euphotic zone depth: Its derivation and implication to ocean-color remote sensing. **Journal of Geophysical Research**, v. 112, 2007.

LEE, Z. P.; SHANG, S.; HU, C.; LEWIS, M.; ARNONE, R.; LI, Y.; LUBAC, B. Time series of bio-optical properties in a subtropical gyre: Implications for the evaluation of interannual trends of biogeochemical properties. **Journal of Geophysical Research**, v. 115, p. 1-13, 2010.

LESSA, G. C.; MEYERS, S. R.; MARONE, E. Holocene stratigraphy in the Paranaguá Bay Estuary, Southern Brazil. **Journal of Sedimentary Research**, v. 68, n. 6, p. 1060-1076, 1998.

MAJEWSKI, L. J. Remotely sensing seasonal and interannual oceanic primary production for Western Australian waters. **Strategic Research Fund for the Marine Environment, final report**, v. 1, p. 51-57, 2006.

MANTOVANELLI, A. Caracterização da dinâmica hídrica e do material particulado em suspensão na Baía de Paranaguá e em sua bacia de drenagem. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 51, 91-114, 2002.

MOREL, A.; PRIEUR, L. Analysis of variations on ocean color. **Limnology and Oceanography**, n. 22, p. 709-722, 1977.

MOREY, S. L.; DUKHOVSKOY, D., S.; BOURASSA, M. A. Connectivity of the Apalachicola River flow variability and the physical and bio-optical oceanic properties of the northern West Florida Shelf. **Continental Shelf Research**, n. 29, p. 1264-1275, 2009.

MUELLER, J. L.; FARGION, G.; McCLAIN, C. R. Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation, Revision 4, Volume IV. **NASA – Goddard Space Flight Center**, Greenbelt, EUA, 2002.

NASA. Aqua Brochure, 44 p., NP 1 – 422> Goddard Space Flight Center, Greenbelt, 2002.

NOERNEBERG, M. A. **Processos Morfodinâmicos no Complexo Estuarino de Paranaguá – Paraná - Brasil: um estudo a partir de dados *in situ* e Landsat-TM.** 142 p. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

OCEAN COLOR SEADAS. NASA. Disponível em <<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/seadas>>. Acesso em julho de 2009.

OCEAN COLOR SEADAS. NASA. Disponível em <<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/13>>. Acesso em janeiro de 2011.

OLIVEIRA, N. E. **Impacto de barragens sobre a dispersão de matéria e a sustentabilidade da pluma costeira do rio São Francisco (SE/AL): análise espacial e temporal por sensoriamento remoto.** 153 p. Tese (Doutorado em Geociências Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2009.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; McMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, n. 11, p. 1633-1644, 2007.

PIOLA, A. R.; CAMPOS, E. J. D.; MÖLLER, O. O.; CHARO, M.; MARTINEZ, C. The Subtropical Shelf Front off Eastern South América. **Journal of Geophysical Research**, n. 105, p. 6565-6578, 2000.

PIOLA, A. R.; ROMERO, S. I.; ZAJACZKOVSKI, U. Space-time variability of the Plata plume inferred from ocean color. **Continental Shelf Research**, n. 28, p. 1556-1567, 2008.

POPE, R. M.; FRY, E. S. Absorption spectrum (380 -700 nm) of pure water. II. Integrating cavity measurements. **Applied Optics**, n. 36, p. 8710-8723, 1997.

PREISENDORFER, R. W. Hydrologic Optics. Vol. 1 Introduction, U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Environment Research Laboratory, Honolulu, 218 p, 1976.



PRIEUR, L.; SATHYENDRANATH, S. An optical classification of coastal and oceanic waters based on the specific spectral absorption curves of phytoplankton pigments, dissolved organic matter, and other particulate materials. **Limnology and Oceanography**, v. 26, n. 4, p. 671-689, 1981.

REBELLO, J.; BRANDINI, F. P. Variação Temporal de Parâmetros Hidrográficos e Material Particulado em Suspensão em Dois Pontos Fixos da Baía de Paranaguá, Paraná. **Nerítica**, Pontal do Paraná, v. 5, n. 1, p. 95-111, 1990.

SHANG, S.; DONG, Q.; LEE, Z.; LI, Y.; XIE, Y.; BEHRENFELD, M. MODIS observed phytoplankton dynamics in the Taiwan Strait: an absorption-based analysis. **Biogeosciences Discuss**, n. 7, p. 7795-7819, 2010.

### **Atividades Complementares**

Estágio de 25 h em leitura espectral dos constituintes opticamente ativos da água do mar no Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo supervisionado por Mayza Pompeu. De 27 a 29 de novembro de 2010.

MOREIRA, B. M.; RIBEIRO, G. C. Antropoceno: a época da humanidade? Submetido à **Ciência Hoje** em 12 de agosto de 2010 e aceito em 03 de março de 2011.