



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



SENSORIAMENTO REMOTO HIPERESPECTRAL DA QUALIDADE DA ÁGUA DA BAÍA DE PARANAGUÁ, PARANÁ, BRASIL.

LIGIA FERREIRA GRANJA DA LUZ

Relatório Final de Iniciação Científica,
orientado pelo Dr. Milton Kampel e Dr.
Mauricio Noernberg.

INPE

São José dos Campos
2015

RESUMO

A cor da água é uma fonte útil de informações sobre algumas propriedades químicas, físicas e biológicas de lagos, rios e oceanos. O estudo da cor do oceano através do sensoriamento remoto envolve a análise das variações em magnitude e qualidade espectral, da radiação que sai de um corpo d'água, para obter informações quantitativas sobre o tipo de substâncias presentes e suas concentrações. As regiões costeiras são mais complexas que águas das regiões oceânicas, pois variam em função de diversos componentes opticamente ativos, como a matéria orgânica dissolvida colorida (CDOM), os detritos e o fitoplâncton. Nas regiões costeiras diversas atividades econômicas coexistem com uma área de grande biodiversidade, como acontece no Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP). Estudar e monitorar os impactos antrópicos nessa região é de fundamental interesse, tanto econômico como ecológico. O sensor HICO, a bordo da International Space Station (ISS), é um sensor hiperspectral desenvolvido especialmente para o sensoriamento remoto desse complexo ambiente. Neste estudo foram comparados dados coletados *In Situ* com dados obtidos remotamente pelo sensor HICO, de 4 datas distintas, cada uma com 5 pontos amostrais. As imagens foram processadas pelo Naval Reserch Laboratory (NRL), onde além da correção atmosférica foram gerados resultados de diferentes parâmetros, usando diferentes algoritmos, para assim avaliar qual melhor se adequa à região. Os resultados mais significativos foram gerados pelo Algoritmo Quase-Analítico (QAA) para os coeficientes de absorção de CDOM e detritos, com um r^2 de 0.82. Os resultados apresentados para diferentes estações de ano, oscilando entre períodos secos e chuvosos, nos permitiu avaliar a dinâmica espacial e temporal dos parâmetros ópticos da baía de Paranaguá.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Mapa da baía de Paranaguá. Os pontos no mapa indicam as áreas de coleta, ao longo do eixo Leste-Oeste do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP). 5
- Figura 2:** Infográfico com explicação da análise realizada em laboratório dos coeficientes de absorção do Fitoplâncton, do CDOM e dos detritos. 8
- Figura 3:** Valores de salinidade e temperatura observados nos pontos de coletas, separados em azul pelas datas (pontos de 1 a 4 correspondem ao dia 07/08/2011, de 5 a 6 ao dia 05/04/2012, de 11 a 15 ao dia 15/06/2012 e de 16 a 19 ao dia 22/09/2012). 11
- Figura 4:** Valores de salinidade e absorvância do CDOM na banda 443. A parte destacada se refere à coleta de 22 de setembro de 2012, com os maiores valores de precipitação (25 mm) entre os períodos amostrados..... 12
- Figura 5:** Relação inversa entre os dados de salinidade e coeficiente de absorção do CDOM (443), para os pontos com maior confiança de dados (coletas dos dias 05/04/2012, 15/06/2012 e 22/09/2012). 12
- Figura 6:** Tábuas de maré para o período estudado. (a) 07/07/2011, (b) 05/04/2012, (c) 15/06/2012 e (d) 22/09/2012 (Fonte: DNH/CHM). 13
- Figura 7:** Diagrama de dispersão do MPS e do Kd, com a linha de tendência e r^2 de 0.60..... 13
- Figura 8:** Regressão linear entre os dados de coeficiente de absorção do fitoplâncton obtidos In Situ e pelo sensor HICO com o algoritmo QAA, ambos no comprimento de onda 444 nm. .. 14
- Figura 9:** Regressão linear entre os dados de coeficiente de absorção do fitoplâncton obtidos In Situ e pelo sensor HICO com o algoritmo Gould, em 444 nm. 14
- Figura 10:** Coeficiente de absorção do fitoplâncton observado através de diferentes técnicas (In Situ, pelo sensor HICO através do algoritmo Gould e através do algoritmo QAA). 15
- Figura 11:** Fitoplâncton observado através de diferentes métodos analíticos..... 15
- Figura 12:** Métodos para se estimar produção primária através do sensor HICO, sendo aPh_QAA o coeficiente de absorção do fitoplâncton através do algoritmo QAA, aPh_Gould estimado pelo algoritmo de Gould, matéria orgânica particulada pelo POM_Gould e OC4 seria a clorofila-a. 16
- Figura 13:** Regressão linear do coeficiente de absorção das partículas não algais entre os dados In Situ e os dados do sensor HICO pelo algoritmo Gould. 17
- Figura 14:** Valores de a_{CAMP} e MPS amostrados In Situ. 17
- Figura 15:** Material particulado em suspensão In Situ e obtidos pelo sensor através do algoritmo Gould. 18

Figura 16: *Diagrama de dispersão da absorbância dos detritos e CDOM na banda 444 nm, dos dados In Situ e pelo Sensor com o algoritmo QAA..... 18*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Área de estudo	4
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	7
2.1. Dados In Situ	7
2.2. Laboratório	7
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	9
4. CONCLUSÃO	18
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

1. INTRODUÇÃO

A água costeira é uma mistura complexa de diversos materiais dissolvidos e particulados, de origem orgânica ou inorgânica. Estes materiais interagem com a luz de diferentes maneiras dependendo de sua concentração e natureza, fazendo com que cada uma deles possua características ópticas únicas. A presença desses componentes na coluna d'água é responsável por modificações em sua cor, pois eles absorvem ou espalham seletivamente a luz incidente. Este fato torna a cor da água uma fonte útil de informações sobre algumas propriedades químicas, físicas e biológicas de lagos, rios e oceanos. A matéria orgânica dissolvida, por exemplo, deixa a água com um tom amarronzado. O fitoplâncton, dependendo da composição de seus pigmentos, pode deixar a cor da água esverdeada, amarelada ou avermelhada (SOUZA (Org.), 2008, p. 199).

Para avaliar a qualidade da água dos oceanos em escalas regional e global, são necessárias medições frequentes, bem distribuídas e com grande cobertura espacial. Esta amostragem é praticamente impossível de ser conduzida somente por métodos tradicionais in situ, principalmente ao largo de grandes regiões como a baía de Paranaguá. A utilização do sensoriamento remoto a nível orbital permite que esta abordagem espacial global seja realizada.

A análise da cor da água pode ser realizada com o uso de sistemas de sensores passivos, capazes de monitorar o fluxo de radiação que chega aos seus detectores em diferentes comprimentos de onda, nas faixas do visível e infravermelho próximo do espectro eletromagnético. Esses sensores podem ser instalados em satélites, aeronaves, ou qualquer outra plataforma remota. Eles operam durante o dia e sua fonte de energia é o próprio sol, cujos fótons podem seguir caminhos diferentes antes de alcançarem o detector remoto (SOUZA (Org.), 2008, p. 199). O sinal detectado pelo sensor é formado pela luz solar na faixa do visível, que interage com partículas na atmosfera e na água em sua trajetória descendente em direção à superfície do planeta, e depois também em sua trajetória ascendente em direção aos sensores remotos.

Conforme esta luz penetra na coluna d'água, ela sofre atenuação em função da absorção, espalhamento e retroespalhamento das moléculas de água e do material dissolvido e particulado, até alcançar o fundo marinho ou ser completamente dissipada (Sathyendranath, 2000).

Nos corpos de águas naturais há três principais constituintes opticamente ativos que determinam sua cor: a matéria orgânica dissolvida colorida (CDOM), os detritos e o fitoplâncton. O CDOM, também chamado de gelbstoff, é composto por substâncias húmicas e fúlvicas, de natureza refratária, e produzidos pela decomposição de matéria orgânica. Os detritos correspondem ao material particulado orgânico e inorgânico, exceto o fitoplâncton. Em regiões costeiras e baías, a ação das ondas, correntes e antrópicas (como a dragagem) podem ressuspender sedimentos de fundo, modificando significativamente a característica espectral do local, aumentando assim a quantidade de detritos presentes na zona eufótica. O fitoplâncton é um componente importante no ciclo global do carbono e forma a base da cadeia alimentar dos oceanos. Sua concentração é, muitas vezes, inferida através de seu principal componente, a clorofila-a. No entanto, é importante reconhecer que a clorofila-a vem acompanhada de um grande número de pigmentos auxiliares nas células fitoplanctônicas, e que esses pigmentos variam em características e estrutura, fazendo com que cada amostra d'água seja diferente.

Em geral as águas dos estuários são biologicamente mais produtivas do que as dos rios e do oceano adjacente, graças a características como: a baixa profundidade, que favorece a relação entre a coluna de água e os sedimentos; a alta disponibilidade de energia proveniente da variação das marés e dos gradientes de densidade, que são gerados pela entrada de água do mar; além da grande quantidade de material antrópico que chega ao sistema, aumentando a carga de nutrientes, estimulando a produtividade desses corpos de água e na maioria das vezes acentuando um processo de eutrofização (Miranda et al., 2002). Assim, a resposta espectral dessas águas, também conhecidas como do Caso 2, são mais complexas se comparadas com as do

Caso 1, águas oceânicas. Nas águas do Caso 1 todos os constituintes opticamente ativos variam em função do fitoplâncton, enquanto em águas do Caso 2 todos os três componentes (CDOM, detritos e fitoplâncton) variam de forma não linear e independentemente dos outros, além da possível influência da refletância do fundo – caso das águas opticamente rasas (Sathyendranath, 2000).

O estudo da cor do oceano através do sensoriamento remoto envolve a análise das variações em magnitude e qualidade espectral, da radiação que sai de um corpo d'água, para obter informações quantitativas sobre o tipo de substâncias e suas concentrações. Para isso, é necessário conhecer as propriedades e os processos ópticos da área a ser estudada, e distinguir seus efeitos no campo de luz (Sathyendranath 2000). Conhecendo os coeficientes de absorção de cada um desses componentes podemos inferir o coeficiente de absorção espectral da coluna d'água em um ponto referido através da fórmula:

$$a_{sw}(\lambda) = a_w(\lambda) + a_{CDOM}(\lambda) + a_{ph} + a_{NAP}(\lambda)$$

Onde, $a_w(\lambda)$ representa a absorção da água pura do mar, $a_{NAP}(\lambda)$ representa a absorção das partículas não-pigmentadas, $a_{ph}(\lambda)$ representa a absorção do fitoplâncton e $a_{CDOM}(\lambda)$ representa a absorção da matéria orgânica colorida dissolvida (MUELLER et al., 2002).

Este estudo será baseado nas imagens obtidas pelo sensor Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean (HICO) na região da baía de Paranaguá. Este sensor é o primeiro espectrômetro imageador de altíssima resolução espectral instalado na Estação Espacial Internacional (International Space Station-NASA), designado para observações costeiras. Ele faz varreduras em 128 canais espectrais (380 a 1000 nm) com resolução espacial de 90 metros.

1.1. Área de estudo

O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) se localiza na porção centro-norte do litoral do Paraná, na região sul do Brasil. Ele é formado por 2 eixos principais, definidos de acordo com os limites das subregiões de drenagem continental, totalizando uma área de cerca de 550 km² (Noernberg et al., 2006). Na direção Leste-Oeste localizam-se as baías de Antonina e Paranaguá, enquanto o eixo Norte-Sul é composto pela baía das Laranjeiras e por 5 enseadas menores (Itaqui, Medeiros, Benito, Guaraqueçaba e Pinheiros).

Seu clima é caracterizado como úmido subtropical com temperatura média anual acima de 22 °C, e precipitação média anual acima de 3000 mm divididos entre dois períodos sazonais principais, a estação chuvosa (Outubro à Março) e a estação seca (Abril à Setembro) (Mizerkowski et al., 2012).

A bacia de drenagem da região é complexa, com uma densidade que pode chegar a cerca de 2 rios/km² (Noernberg et al., 2006). Grande parte da descarga de água doce, que pode chegar a média anual de 200 m³/s, provém de 6 rios principais apresentados por ordem decrescente de vazão: Cachoeira, Nhundiaquara, Guaraguaçu, Faisqueira, Sagrado e Cacatu (Mizerkowski et al., 2012).



Figura 1: Mapa da baía de Paranaguá. Os pontos no mapa indicam as áreas de coleta, ao longo do eixo Leste-Oeste do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP).

A variabilidade sazonal do CEP afeta diretamente os processos biogeoquímicos e hidrodinâmicos. No período chuvoso, o maior aporte de água doce favorece um maior aporte de nutrientes a partir da descarga fluvial, que são incorporados pelo fitoplâncton. O período seco é marcado pela menor produtividade primária, já que frentes frias e ventos vindos de Sul durante o inverno misturam a coluna d'água, tornando-a menos favorável para o crescimento fitoplanctônico. Verticalmente, a estrutura da coluna d'água é

essencialmente homogênea, com exceção de alguns momentos, como durante chuvas intensas somadas à fortes marés vazantes, que fazem com que a coluna d'água apresente um padrão de estratificação salina (Marone et al., 2007).

O CEP possui extensas áreas de manguezais que fornecem considerável aporte de detritos e CDOM, de origem terrígenos (REBELLO & BRANDINI, 1990). No verão há um excedente hídrico com alto potencial de gerar erosão pela chuva, carregando ainda mais material particulado e dissolvido para o estuário.

A população, de aproximadamente 155.000 habitantes (IBGE, 2010), vive em três principais cidades e inúmeras comunidades de pescadores ao redor das margens no estuário. A baía de Paranaguá abriga ainda um dos mais importantes portos da América Latina. A Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina foi responsável pela movimentação de mais de 17 milhões de toneladas de mercadorias e cerca de 300 mil contêineres entre janeiro e maio de 2012 (APPA, 2012).

As diferentes atividades econômicas como turismo, agricultura, portos e pesca, coexistem com uma região de grande importância ecológica, em um dos maiores remanescentes de Mata Atlântica do Brasil. Estudar e monitorar os impactos antrópicos nessa região é de fundamental interesse, tanto econômico como ecológico.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Dados In Situ

Amostras de água da baía de Paranaguá foram coletadas periodicamente durante o período de 2011 a 2014, pelo Laboratório de Oceanografia Costeira e Geoprocessamento (LOCG) do Centro de Estudos do Mar, Universidade Federal do Paraná, sob coordenação do Dr. Noernberg.

Para este estudo foram escolhidos cinco pontos amostrais dentro da baía, como podemos observar na Figura 01. Em cada ponto foi amostrada a água de superfície, obtida a profundidade de Secchi e, realizados perfis de temperatura, salinidade, turbidez e fluorescência da clorofila utilizando um CTD (Alec CTD).

2.2. Laboratório

Para determinação do material particulado em suspensão (MPS) e da concentração de Clorofila-a nas amostras de água, foi utilizado o método proposto por Strickland and Parsons (1972).

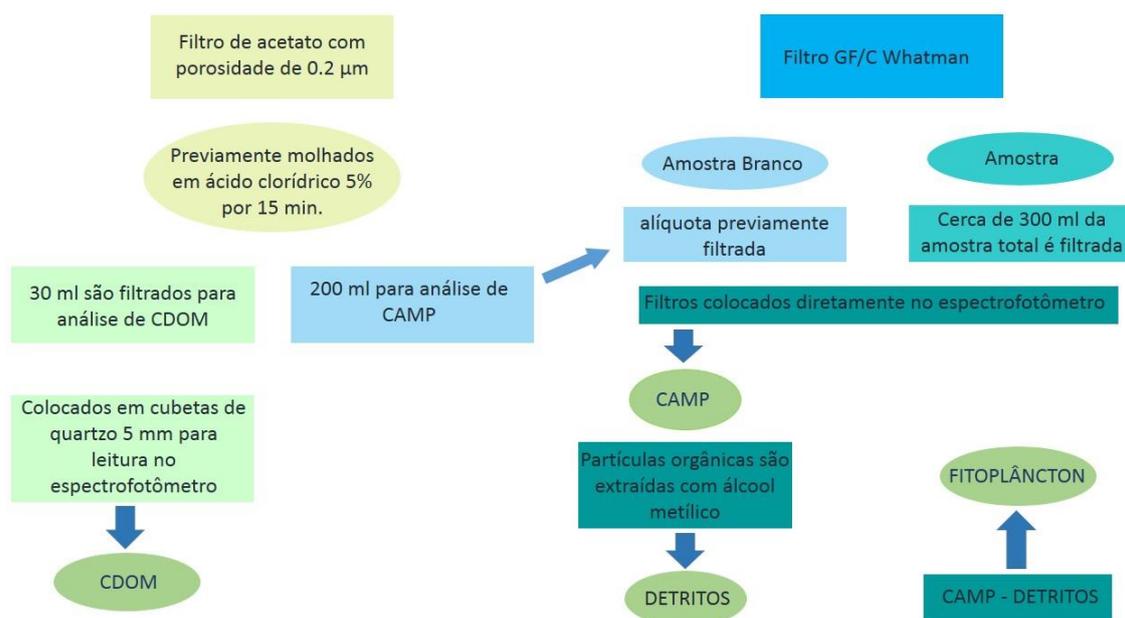


Figura 2: Infográfico com explicação da análise realizada em laboratório dos coeficientes de absorção do Fitoplâncton, do CDOM e dos detritos.

O coeficiente de absorção do material particulado (a_{CAMP}) foi obtido através do método de Mitchell et al., 2002, a água coletada foi filtrada em diferentes volumes com o filtro GF/F Whatman, o qual foi colocado diretamente no espectrofotômetro para leitura de absorbância das partículas nele contidas. O coeficiente de absorção do material particulado não-pigmentado (a_{NAP}) foi obtido através da queima com álcool metílico de todas as partículas orgânicas contidas no filtro de CAMP, utilizando o mesmo procedimento de colocação direta do filtro no espectrofotômetro. O coeficiente de absorção do fitoplâncton (a_{Ph}) foi determinado pela diferença entre o material particulado total e as partículas não-pigmentadas, seguindo a relação:

$$a_{CAMP}(\lambda) = a_{NAP}(\lambda) + a_{Ph}(\lambda)$$

O cálculo do coeficiente de absorção da matéria orgânica dissolvida colorida (a_{CDOM}) foi estimado pela normalização da absorbância no espectro de 660 nm, utilizando a equação:

$$a_{CDOM\ Norm.}(\lambda) = (a_{CDOM}(\lambda) - a_{CDOM}(660)) \times 2.303$$

2.3. Imagens de sensoriamento remoto

As imagens foram processadas pelo Laboratório de Pesquisas Navais do Centro Espacial Stennis (NRL/SSC) usando o Sistema de Processamento Automático (APS), que inclui calibração do sensor, correção atmosférica e inversão de algoritmos bio-ópticos (Martinolich et. al., 2011). Para a correção atmosférica foi aplicada a abordagem padrão proposta por Gordon & Wang (1994), com iterações do infravermelho próximo ativadas para contabilizar valores maiores que zero para a reflectância de águas costeiras (Stumpf et al., 2003). Para georreferenciamento e avaliação final das imagens será usado o software ENVI 4.2 (Exelis Visual Information Solutions-RSI).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sensor HICO forneceu imagens da baía de Paranaguá de junho de 2011 a setembro de 2014, quando terminou sua operação devido a problemas técnicos. Durante esse período foram feitas 74 imagens da área estudada, onde 17 delas foram realizadas simultaneamente com amostragens em campo. Dessas, apenas 4 imagens foram consideradas com qualidade adequada para este estudo (tabela 1). O baixo número de imagens de qualidade se deve ao fato da baía se encontrar em uma região com altíssimo índice pluviométrico, isso faz com que ocorram falhas na leitura das imagens devido à alta cobertura de nuvens e aerossóis.

Tabela 1: *Datas das coletas In Situ, dessa as que coincidem com imagens do sensor HICO são marcadas com "X", assim como as de qualidade adequada.*

Data das coletas In Situ	Imagem HICO	Imagens com qualidade
07/agosto/2011	X	X
30/setembro/2011	X	
21/outubro/2011	X	
19/novembro/2011	X	
17/dezembro/2011	X	

21/Janeiro/2012	X	
18/Fevereiro/2012	X	
27/Fevereiro/2012	X	
01/ Março /2012	X	
05/ Março /2012		
08/Março/2012		
28/Março/2012		
04/Abril/2012		
05/Abril/2012	X	X
29/Maio/2012	X	
15/Junho/2012	X	X
28/Junho/2012		
30/Julho/2012		
25/Agosto/2012	X	
22/Setembro/2012	X	X
31/Outubro/2012		
30/Julho/2013		
20/Setembro/2013	X	
01/Outubro/2013	X	
05/Outubro/2013	X	
05/Dezembro/2013	X	
27/Janeiro/2014	X	
11/Abril/2014		

Os dados de salinidade e temperatura variaram de acordo com as fases de maré e variações sazonais, como podemos ver na figura 3. Os pontos 1, 5, 10 e 15 foram tomados próximo ao porto de Paranaguá (pontos mais internos desse estudo), e correspondem às menores salinidades observadas, corroborando para hipótese de que a baía recebe grande aporte de água doce (cerca de $200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), proveniente dos rios que desaguam na região, diminuindo até 10 pontos a salinidade dos pontos mais internos se compararmos com os pontos da desembocadura sul da baía. A temperatura da superfície do mar (TSM) variou inversamente com a salinidade, sendo que as menores temperaturas entre os pontos são encontradas na desembocadura sul. A maior TSM foi de 26.7°C no outono e a menor de 18.0°C no inverno, com uma média de 22.5°C . O maior valor de salinidade observado foi de 32 na primavera e o menor foi 18.8 no outono, com média de 28.32.

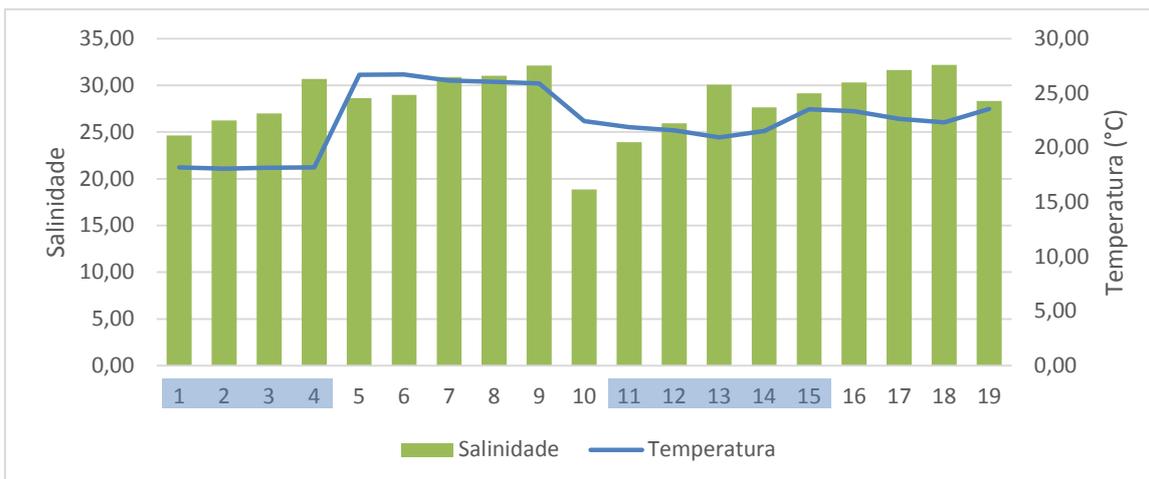


Figura 3: Valores de salinidade e temperatura observados nos pontos de coletas, separados em azul pelas datas (pontos de 1 a 4 correspondem ao dia 07/08/2011, de 5 a 6 ao dia 05/04/2012, de 11 a 15 ao dia 15/06/2012 e de 16 a 19 ao dia 22/09/2012).

Ao analisarmos os dados de precipitação para os dias em que foram realizadas as coletas, verificamos que na coleta do dia 22 de setembro choveu mais de 25 mm (Fonte: INMET/INPE), sendo este o único dia que pode ter sido influenciado por precipitação. Águas com menor salinidade possuem maior conteúdo orgânico dissolvido e a drenagem continental parece ser a maior fonte desse material para o sistema (Coble et al., 2003). Assim, podemos observar essa relação inversa dos dados de salinidade com os dados de a_{CDOM} no comprimento de onda de 443 nm na figura 4 e 5, onde a regressão linear simples nos retornou um coeficiente de determinação de 0.54.

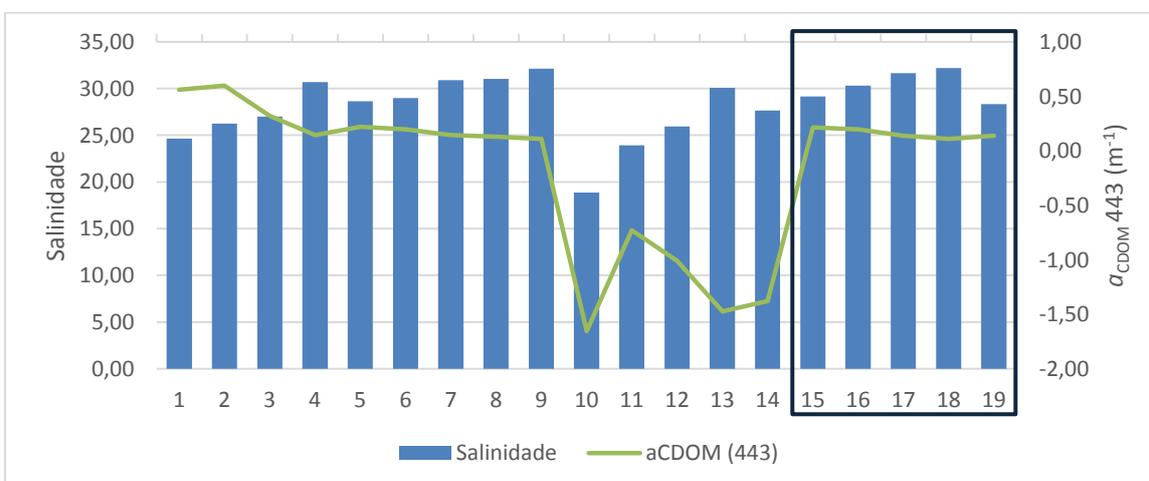


Figura 4: Valores de salinidade e absorbância do CDOM na banda 443. A parte destacada se refere à coleta de 22 de setembro de 2012, com os maiores valores de precipitação (25 mm) entre os períodos amostrados.

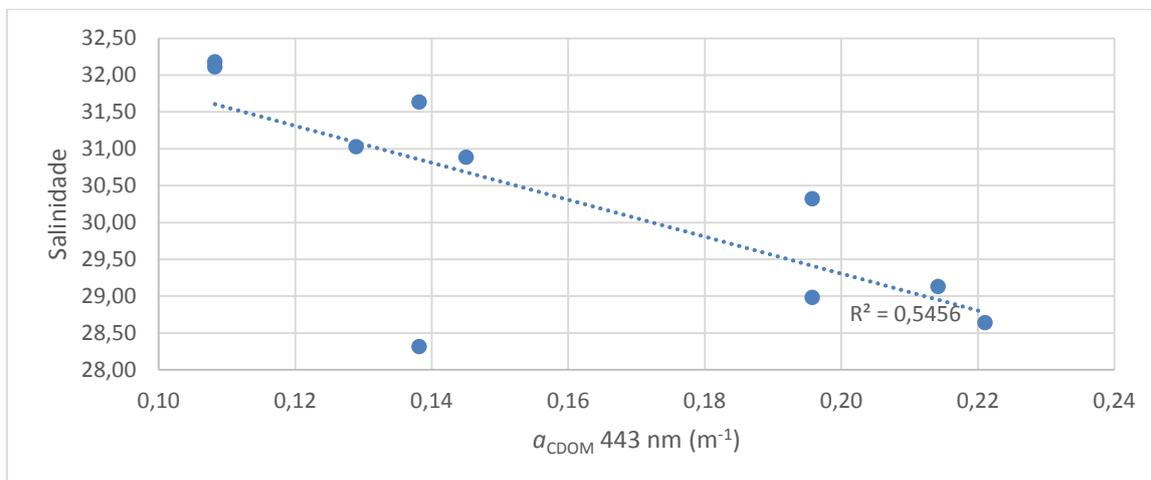


Figura 5: Relação inversa entre os dados de salinidade e coeficiente de absorção do CDOM (443), para os pontos com maior confiança de dados (coletas dos dias 05/04/2012, 15/06/2012 e 22/09/2012).

Os valores de salinidade apresentados na Figura 4 para os pontos de 1 a 4 se mostraram maiores do que o esperado, principalmente no ponto 4 onde a salinidade atinge 30,6 pontos a mais do que o ponto 1. Isso pode ter ocorrido pois a amostragem foi realizada em maré enchente (Figura 6a), o que faz com que a salinidade aumente no interior da baía.

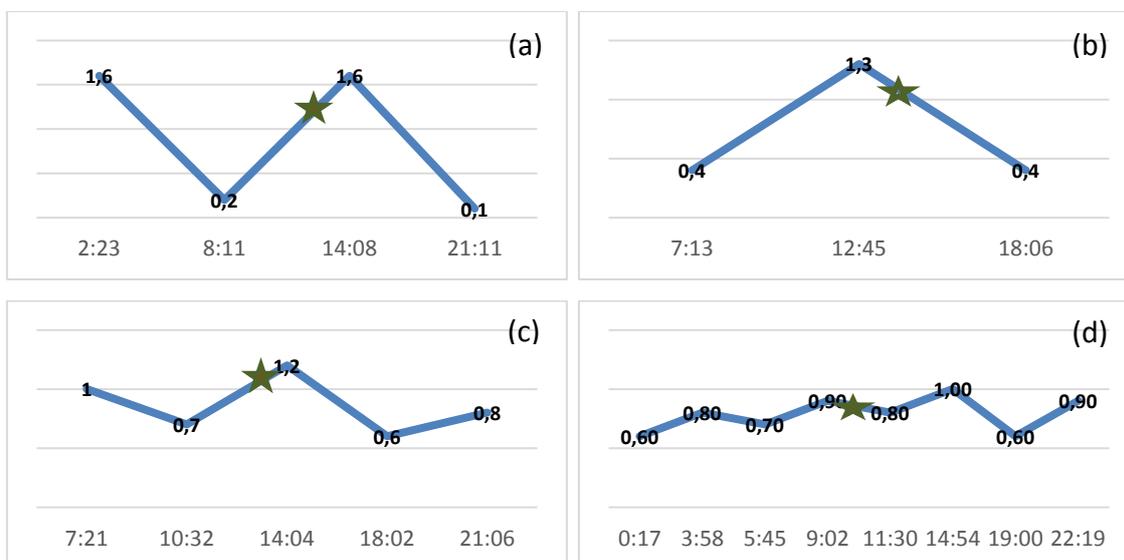


Figura 6: Tábuas de maré para o período estudado. (a) 07/07/2011, (b) 05/04/2012, (c) 15/06/2012 e (d) 22/09/2012 (Fonte: DNH/CHM).

O material particulado em suspensão (MPS) também sofre influência da precipitação e da proximidade à costa. Quanto mais interno o ponto, menor será o coeficiente de atenuação da luz na água (K_d), devido à grande quantidade de material particulado em suspensão e matéria orgânica colorida dissolvida (CDOM). Apesar dessa constatação observamos na Figura 7 que essa relação não ocorre entre os dados apresentados. Essa resposta pode ser devido ao fato de que as coletas não ocorrem no momento exato do imageamento do sensor, podendo assim ter seus valores influenciados pela variação da maré local ou outros fatores adversos.

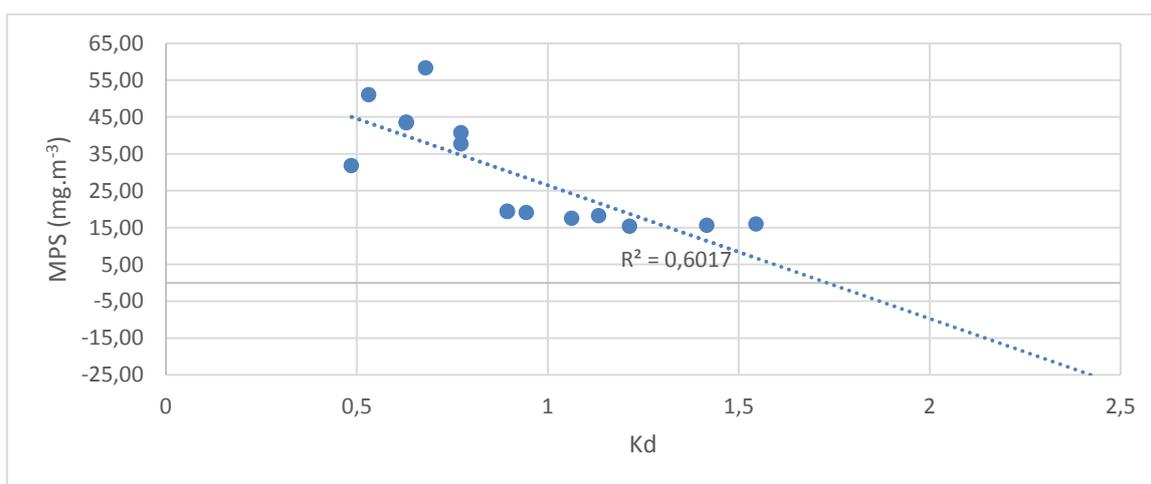


Figura 7: Diagrama de dispersão do MPS e do K_d , com a linha de tendência e r^2 de 0.60.

O material particulado é um dos principais componentes que contribuem para a cor do oceano em regiões de alta turbidez e produtividade, como as águas de Caso 2 da região da baía de Paranaguá. O espectro de absorção do material particulado é sub-dividido entre a contribuição das partículas não algais (PNA) e do fitoplâncton (a_{Ph}) (Mizerkowski et al. 2013).

Ao realizarmos uma regressão linear com os dados de coeficiente de absorção do fitoplâncton (a_{Ph}) obtidos *In Situ* e pelo sensor HICO usando o algoritmo

QAA, obtemos um coeficiente de determinação de 0.049. O algoritmo do Gould se mostrou ainda com uma menor significância, com r^2 de 0.031.

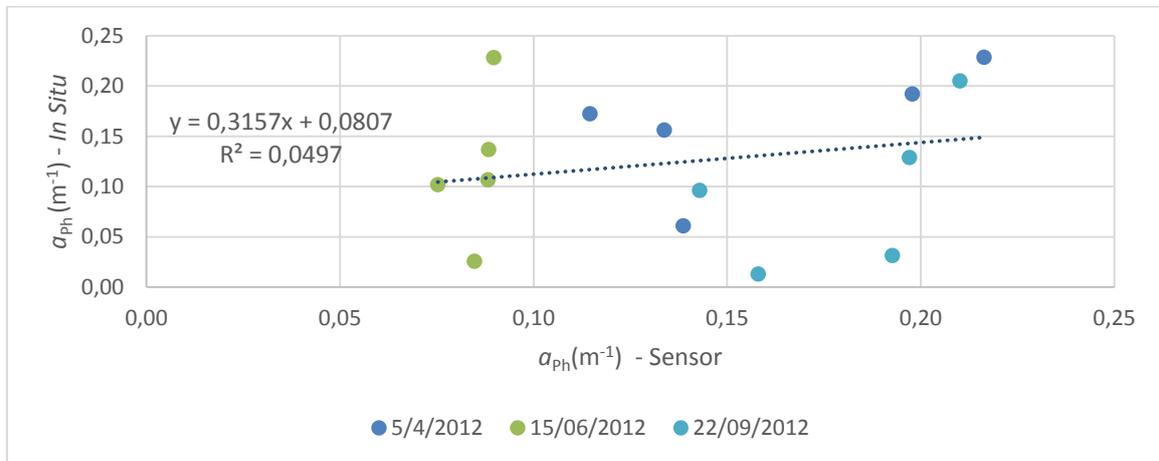


Figura 8: Regressão linear entre os dados de coeficiente de absorção do fitoplâncton obtidos *In Situ* e pelo sensor HICO com o algoritmo QAA, ambos no comprimento de onda 444 nm.

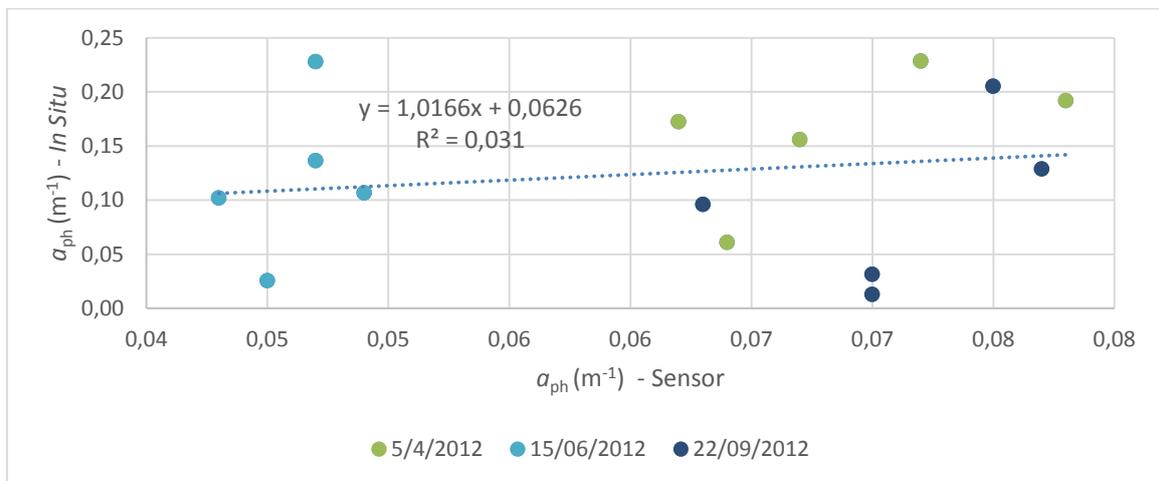


Figura 9: Regressão linear entre os dados de coeficiente de absorção do fitoplâncton obtidos *In Situ* e pelo sensor HICO com o algoritmo Gould, em 444 nm.

Como podemos observar na figura 10, onde comparamos os dados de a_{Ph} obtidos *In Situ* com os dados do sensor HICO para os diferentes algoritmos, verificamos que não existem grandes semelhanças entre os dados do sensor e os *In Situ*. O algoritmo Gould se apresentou com um intervalo entre os valores menor que o QAA algoritmo.

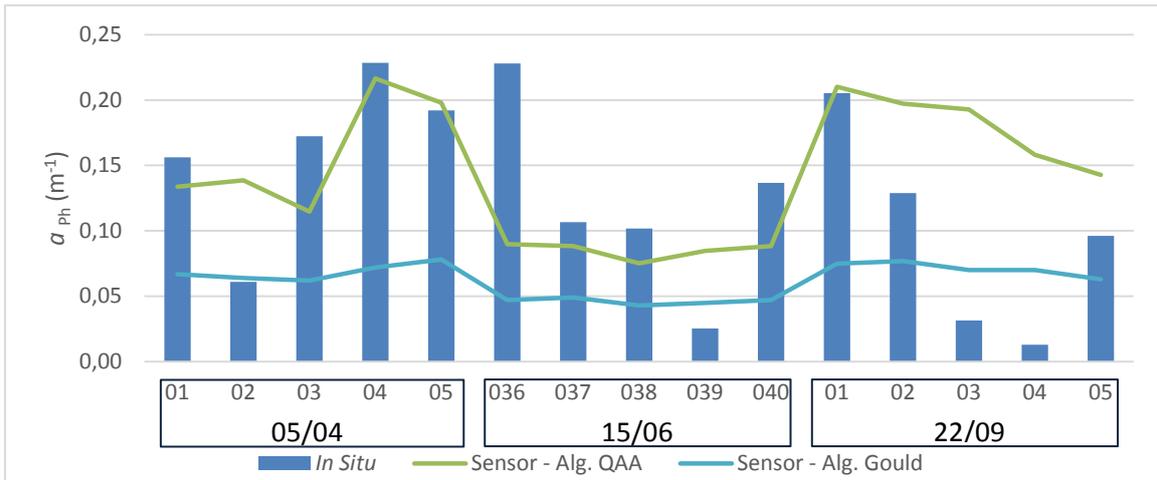


Figura 10: Coeficiente de absorção do fitoplâncton observado através de diferentes técnicas (*In Situ*, pelo sensor HICO através do algoritmo Gould e através do algoritmo QAA).

Neste estudo foram realizadas 3 diferentes técnicas para estimar a quantidade de fitoplâncton presente na região; a fluorescência da clorofila (obtida com CTD), clorofila-*a* e o coeficiente de absorção do fitoplâncton (descritos no item 2.1), essas variáveis deveriam se comportar de maneira semelhante através dos pontos, mas como podemos observar na figura 11 isso não ocorre. A clorofila-*a* e a fluorescência da clorofila possuem um padrão mais definido, já a α_{Ph} possui um padrão completamente diferente dos demais. Indicando assim a necessidade de um refinamento nos métodos analíticos e de se aumentar o banco de dados.



Figura 11: Fitoplâncton observado através de diferentes métodos analíticos.

Os valores de fitoplâncton inferidos por diferentes algoritmos do sensor se apresentaram mais coerentes entre si (Figura 11) que os observados *In Situ* para diferentes métodos *In Situ* (Figura 10).

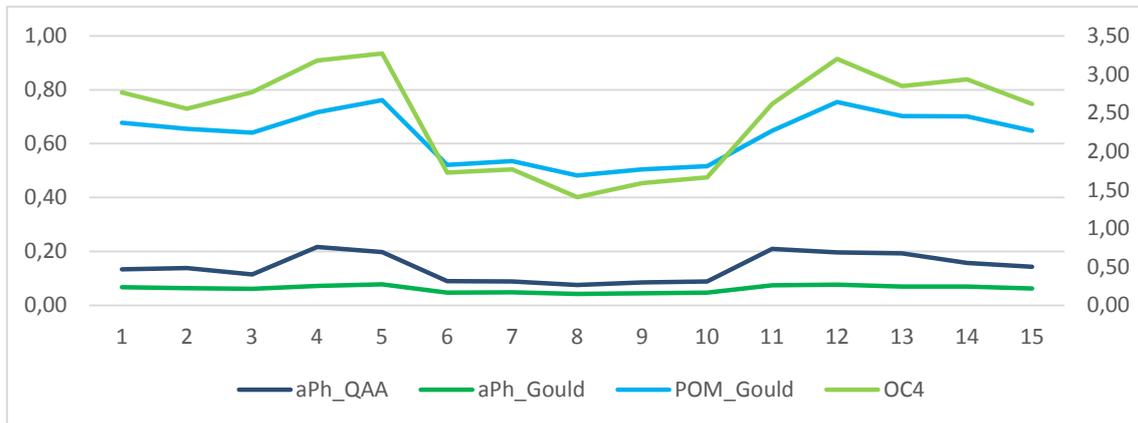


Figura 12: Métodos para se estimar produção primária através do sensor HICO, sendo aPh_QAA o coeficiente de absorção do fitoplâncton através do algoritmo QAA, aPh_Gould estimado pelo algoritmo de Gould, matéria orgânica particulada pelo POM_Gould e OC4 seria a clorofila-a.

Devido à diversos processos hidrodinâmicos e à maior complexidade nas condições do ambiente óptico apreentado, a relação entre a clorofila e os coeficientes de absorção do fitoplâncton podem apresentar diferentes tendências. O desenvolvimento da comunidade fitoplanctônica na baía de Paranaguá está relacionada a um conjunto de fatores ideais de crescimento, relacionados ao gradiente salino, à disponibilidade de luz e a hidrodinâmica local (Mizerkowski et al. 2013).

O diagrama de dispersão entre coeficiente de absorção das partículas não algais (a_{PNA}) estimado pelos dados *In Situ* e pelo sensor se apresentou com uma boa distribuição dos dados, com um r^2 de 0.51 sendo significativo se considerarmos a quantidade de n amostrais da análise ($n=15$).

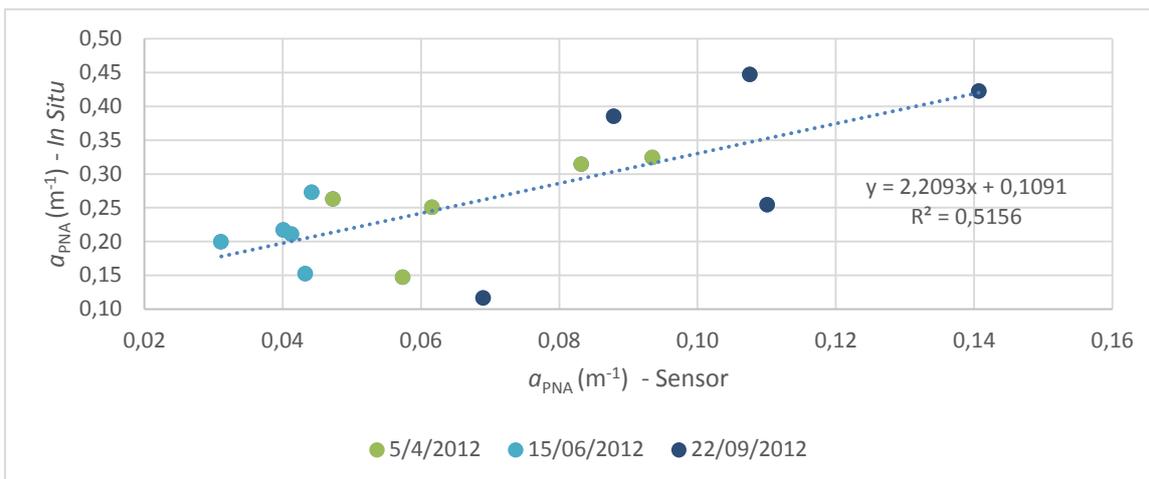


Figura 13: Regressão linear do coeficiente de absorção das partículas não algais entre os dados In Situ e os dados do sensor HICO pelo algoritmo Gould.

Ao compararmos os dados das partículas em suspensão amostrados através do a_{CAMP} e MPS (Figura 14) observamos que os resultados desses diferentes processos analíticos não seguem nenhum padrão de valores ao longo das amostras. Indicando a necessidade de melhora nos métodos analíticos.

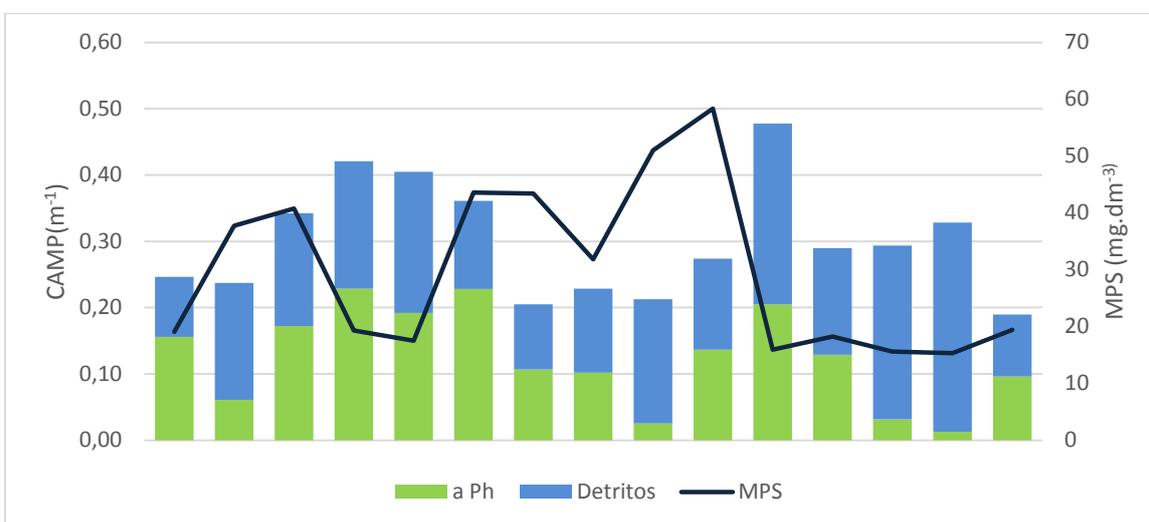


Figura 14: Valores de a_{CAMP} e MPS amostrados In Situ.

Ao correlacionarmos os dados de MPS e material particulado em suspensão (TSS) obtido pelo sensor com o algoritmo Gould, obtemos uma regressão com

r^2 de 0.61. Ou seja, com maior correlação entre os dados do que os observados entre a_{PNA} na Figura 14.



Figura 15: Material particulado em suspensão *In Situ* e obtidos pelo sensor através do algoritmo Gould.

A correlação com melhor significância apresentada aqui foi a observada do coeficiente de absorção dos detritos e CDOM (a_{dg}) no comprimento de onda de 444 nm, para os dados *In Situ* e do sensor com o algoritmo QAA (Figura 16).

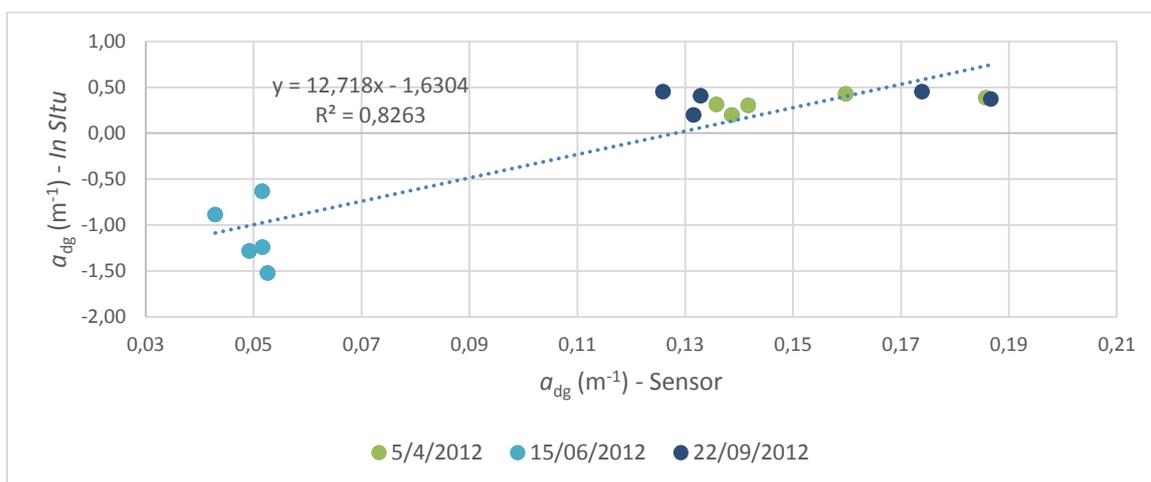


Figura 16: Diagrama de dispersão da absorbância dos detritos e CDOM na banda 444 nm, dos dados *In Situ* e pelo Sensor com o algoritmo QAA.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho abordou informações sobre os diferentes parâmetros das propriedades ópticas da baía de Paranaguá. Foram comparados diferentes métodos analíticos de observação *In Situ* e diferentes algoritmos para o sensor HICO. Avanços em relação à classificação óptica da baía de Paranaguá foram feitos, mas ainda há a necessidade de uma ampliação no banco de dados de coletas *In Situ* para uma melhor compreensão de que fatores podem influenciar nas alterações dessas propriedades.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APPA. **Movimentação de cargas nos portos de Antonina e Paranaguá entre janeiro e maio de 2012.** Disponível em: www.portosdoparana.pr.gov.br/. Acesso em 15/09/2014.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2010.** Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em 23/08/2014.

GORDON, H. R., AND M. WANG. **Retrieval of water-leaving radiance and aerosol optical thickness over the oceans with SeaWiFS: A preliminary algorithm.** *Applied Optics* 33: 443-452, 1994.

MARONE, E., NOERNBERG, M., LAUTERT, L. F., SANTOS, I. DOS, FILL, H. D., BUBA, H., & MARENDA, A. **Medições de correntes e curva vazão-maré na baía de Paranaguá, PR.** *Boletim Paranaense de Geociencias*, (60), 55–64, 2007.

MARTINOLICH, P. AND T. SCARDINO. **Automated Processing System User's Guide Version 4.2, NRL.** Washington, D.C, 2011.

MIRANDA, L. B., CASTRO, B. M., KJERFVE, B. **Princípios de Oceanografia Física de estuários.** São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo. 424p. 2002.

Mizerkowski, B.D., Noernberg, M.A. & Moreira, B.M., 2013. **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.** , pp.7795–7802

MIZERKOWSKI, B. D., HESSE, K.-J., LADWIG, N., DA COSTA MACHADO, E., ROSA, R., ARAUJO, T., & KOCH, D. **Sources, loads and dispersion of dissolved inorganic nutrients in Paranaguá Bay.** *Ocean Dynamics*, 62(10-12), 1409–1424. 2012.

MOREIRA, B. M. **Balço espaço-temporal da absorção de luz pelas águas da desembocadura do Complexo Estuarino de Paranaguá, Brasil, por imagens MODIS-AQUA.** Dissertação (Mestrado em Dinâmica costeira) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Pontal do Paraná. 2011.

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.

NOERNBERG, M. A, LAUTERT, L. F. C., ARAUJO, A D., MARONE, E., ANGELOTTI, R., NETTO, J. P. B., & KRUG, L. **Remote sensing and GIS integration for modelling the Paranagua estuarine complex -Brazil.** *Journal of Coastal Research*, 3(39). 2006.

SATHYENDRANATH, S. **Remote Sensing of Ocean Colour in Coastal , and Other Optically-Complex Waters.** Reports and Monographs of the International Ocean Colour Coordinating Group, Revision 3, 1–145. 2000.

SOUZA, RONALD BUSS DE. (Organizador). **Oceanografia por Satélites.** 2. ed. - São Paulo: Oficina de Textos. 2008.

STRICKLAND JDH, PARSONS TR. **A practical handbook of seawater analysis.** *Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada* 167, 2nd ed: 71-80. 1972.

STUMPF, R.P., R.A ARNONE, R.W. GOULD, JR., P. MARTINOLICH, V. RANSIBRAHMANAKUL. **A Partially-Coupled Ocean-Atmosphere Model for Retrieval of Water-Leaving Radiance from SeaWiFS in Coastal Waters. Algorithm Updates for the Fourth SeaWiFS Data Reprocessing.** edited by

Hooker and E.R. Firestone. NASA Tech. Vol. 22, S.B. NASA Goddard Space Flight Center, Greenbelt: Maryland. 2003.