



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

AVALIAÇÃO DE ESTIMATIVAS POR SATÉLITE DA ABSORÇÃO DA LUZ E CLASSES DE TAMANHO DO FITOPLÂNCTON MARINHO NA ESTAÇÃO ANTARES, UBATUBA

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC/INPE/CNPq)

Carolina da Luz Viscarra (IOUSP, Bolsista PIBIC/CNPq,

carolina.viscarra@usp.br)

Milton Kampel (INPE, Orientador, milton@dss.inpe.br)

COLABORADORES

Mateus Chuqui
Mayza Pompeu
Natália Rudorff

Julho de 2018



AGRADECIMENTOS

Primeiramente é necessário que eu agradeça a Deus, porque sem teste estatístico ou de validação, Ele me deu força e entusiasmo para seguir adiante sem pestanejar. Eu sabia que não seria fácil e nem um caminho de flores, porém é do sacrifício e da dor que conseguimos extrair de nós mesmos nossas maiores forças e capacidade de resolver problemas e ir atrás dos nossos sonhos.

Agradeço também à minha família, que sempre apoiou meus estudos, nos momentos de glória e nos momentos de reclusão e dificuldade. Agradeço a cada gesto de incentivo e de carinho dos meus pais, meus avós e minha irmã, pessoas especiais que nunca me deixaram cair no desânimo ou sequer pensar em desistir.

Ao Gustavo Priante, agradeço a companhia e a dedicação. Agradeço a cada jantar, cada bolo, cada açaí, cada xícara de café levada até mim enquanto eu estava estudando e fazendo meus procedimentos e relatórios. Obrigada pelo seu amor, e também por sempre tentar me fazer acreditar que sou capaz, a melhor naquilo que faço e que mesmo antes de me formar, já sou uma oceanógrafa de alma.

Ao Instituto Oceanográfico e ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais por me abrir espaço e me dar oportunidade de iniciar-me no mundo acadêmico e de pesquisa. Agradeço de coração ao meu orientador Milton Kampel, que ao estender a mão e me dar essa oportunidade, abriu o novo mundo do sensoriamento remoto na minha vida de pesquisa. À Natália Ruddorf, por sempre estar disponível para dúvidas e disponibilizar dados e procedimentos.

Agradeço também a outros três professores que foram essenciais no processo de escrita deste presente trabalho: Frederico Brandini, Gavin Tilstone e Camila Signori. Foram muito importantes tanto como fonte de conhecimento em aulas e cursos, e também como fontes de inspiração.

Por último e ainda com mais carinho, agradeço ao Mateus e à Mayza, colaboradores do projeto. Sem dúvida foram eles que lutaram comigo e por mim nesse período. Agradeço o apoio, a confiança, os puxões de orelha e os incentivos.

Ao Mateus por confiar na minha capacidade e ter a certeza que eu iria executar um bom trabalho. Sou muito grata pela sua dedicação de tempo para me ensinar a mexer nos dados e nos programas e por me introduzir na equipe da forma mais amigável possível. Quando eu crescer quero ser uma oceanógrafa igual a você.



À Mayza por ser uma das mulheres mais fortes e especiais que eu tive a honra de conhecer até agora. Ela é um exemplo para mim, não somente no campo profissional, mas em todas as áreas da vida. A Mayza é mestre em usar a combinação perfeita entre doçura e assertividade, o que faz dela uma mulher forte, competente, temida por alguns, destemida e que todos gostam de ter ao redor. A ela todas as minhas palmas e gratidão pela sua amizade e por compartilhar sua vasta experiência na oceanografia.

Aos meus amigos queridos e inseparáveis, Natália Rodrigues, Roger Costa, Giovana Jeremias, Henrique Batistuzzo e Thais Fernandes. Foram eles que me aturaram na hora do mau humor, do medo, do nervosismo. E foram eles também que me acompanharam nos momentos de alegrias, de descontração e nas milhares bandejadas que demos na USP.

Agradeço a mim mesma, por não ter desistido, por ter acreditado no meu próprio potencial e naquela imagem que eu vi no espelho durante todo o ano.

Obrigado a todos e a todas que de qualquer forma, mesmo que indireta, contribuíram para que esse trabalho fosse realizado.



RESUMO

Desde agosto de 2016, o presente projeto vem avaliando e comparando dados coletados in situ e remotamente de amostras de água oriundas da estação fixa do projeto ANTARES na isóbata de 40m, na região de Ubatuba (23°36'S, 44°58'W). O objetivo principal é averiguar a aplicação de algoritmos satelitários em estimativas de absorção de luz e as classes de tamanho do fitoplâncton marinho dessa região. Em 2015 foi detectada uma distinção entre a metodologia utilizada na análise do espectro de absorção do material particulado na água com dados existentes na literatura, levando a uma tentativa de correção matemática para validação do banco de dados obtido desde 2004. Devido ao baixo número de amostras analisadas pelos dois métodos até o momento, não foi possível concluir a validação estatisticamente, porém resultados preliminares indicam que existe uma dependência do comprimento de onda e da razão entre o material fitoplanctônico e detritos. Apesar do erro metodológico, os dados de algumas estações foram comparados com os resultados de algoritmos obtidos com o SeaDAS 7.5 calculados partir de dados de reflectância acima d'água (Rrs) nas bandas de 412, 443, 469, 488, 531, 547, 555, 645, 667 e 678 nm (sensor MODIS-AQUA). O algoritmo que mais se aproximou do valor obtido em laboratório foram o GIOP, com coeficiente angular de 0,99. Por fim, buscou-se avaliar a performance dos algoritmos Hirata, Uitz e KSM que inferem o tamanho da classe das células fitoplanctônicas comparando-os com dados obtidos por contagem em microscopia invertida. Os dados de contagem através da microscopia, resultaram como classe dominante o nanoplâncton com porcentagens entre 50 e 80%. Já os produtos resultantes dos algoritmos de Uitz e Hirata, a classe de tamanho dominante foi o microplâncton e enquanto que com o KSM, o picoplâncton dominou em mais de 90% em todas as amostras.



LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Estação de Monitoramento Antares, Ubatuba	pg 8
Figura 2: Equações dos métodos R e IS (Fonte: Stramski, 2015)	pg 10
Figura 3: Comparação do método TR com os métodos R e IS	pg 13
Figura 4: Comparação do método TR com algoritmos GIOP, SWIM e GSM	pg14
Figura 5 : Gráfico das porcentagens de classes de tamanho do fitoplâncton pela técnica de microscopia - dado <i>in situ</i>	pg 15
Figura 6 : Gráfico de % s de classes de tamanho pelo algoritmo KSM	pg 16
Figura 7 : Gráfico de % de classes de tamanho do fitoplâncton pelo algoritmo Hirata	pg 17
Figura 8 : Gráfico de % de classes de tamanho do fitoplâncton pelo algoritmo Uitz	pg 18



LISTA DE ABREVIÇÕES

aph: Coeficiente de absorção da luz pelas células de fitoplâncton

Sf: Índice de classes de tamanho do fitoplâncton

Rrs: Reflectância acima da água

TR: Método de cálculo de aph a partir de transmitância e reflectância (Tassan & Ferrari, 2002)

R: Método de cálculo de aph a partir de reflectância (LAPP)



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
2. ÁREA DE ESTUDO	8
3. OBJETIVOS DO TRABALHO	9
3.1. Comparação de aph pelos métodos TR e R	9
3.2. Comparação de aph gerados com dados remotos com o método TR	9
3.3. Comparação entre dados de classes de tamanho de células inferidos remotamente em relação a dados in situ	9
4. MATERIAIS E MÉTODOS	10
4.1. Comparação de aph pelos métodos TR e R	10
4.2. Comparação de aph gerados com dados remotos com o método TR	11
4.3. Classes de tamanho de células fitoplanctônicas: dados in situ analisados através de Microscopia Invertida	11
4.4. Classes de tamanho de células fitoplanctônicas: dados remotos analisados através de algoritmos do SeaDas	12
4.5. Classes de tamanho de células fitoplanctônicas: comparação entre dados remotos e in situ	12
5. ANÁLISES E RESULTADOS	13
5.1. Comparação de aph pelos métodos TR e R	13
5.2. Comparação de aph gerados com dados remotos com o método TR	14
5.3. Classes de tamanho de células fitoplanctônicas: comparação entre dados remotos e in situ	15
6. CONCLUSÃO	19
7. REFERÊNCIAS	20



1. INTRODUÇÃO

Sensoriamento remoto é fundamentalmente definido como o uso de radiação eletromagnética para adquirir informação sobre os oceanos, continentes e atmosfera sem ter contato físico com o objeto, superfície ou fenômeno a ser investigado (MARTIM, 2014). Justamente por não estar contato direto com o objeto de estudo, as informações a serem estudadas são deduzidas a partir da distribuição da intensidade e frequência de energia da radiação recebida.

Essa informação recebida é armazenada ou em banco de dados ou em forma de imagens com georreferenciamento, para que seja possível mensurar parâmetros em algum ponto específico do globo ao qual se destina o estudo.

Um dos parâmetros que se busca através de dados de sensoriamento remoto é a concentração da clorofila nos oceanos, um dos principais pigmentos fotossintéticos associados à produção primária do fitoplâncton marinho.

O conhecimento a despeito da distribuição espacial e temporal da produção primária marinha é essencial para estudos oceanográficos que busquem investigar o ciclo global do carbono e a teia trófica marinha, a qual o fitoplâncton representa a camada basal.

Os estudos que investigam a distribuição da produção primária global marinha e suas propriedades ópticas associadas se dividem em três maiores áreas: observações por satélites da cor do oceano, observações de material *in situ* de nutrientes e espécies, e modelos numéricos que combinem observações *in situ* e satelitárias (MARTIM, 2014). A componente de absorção pelas partículas de fitoplâncton e detritos é altamente variável nos oceanos e é importante não somente para a oceanografia por satélites, mas também envolve questões da ótica do oceano, física, bioquímica e oceanografia biológica (STRAMSKI et al, 2015).

A rede Antares busca estudar as mudanças de longo prazo nos ecossistemas da América do Sul, relacionando sua base de dados de satélite de clorofila da superfícies da água do mar com medições *in situ* nas estações costeiras pré estabelecidas.

É neste contexto que a presente pesquisa se insere, primeiramente buscando corrigir valores de dados de coeficiente de absorção do material em suspensão da

água do mar (aph) e comparar ao método de Tassan e Ferrari (2002). Em segundo lugar buscou-se associar os valores de dados obtidos remotamente de classes de tamanho do fitoplâncton (picoplâncton, nanoplâncton e micropoplâncton) calculados em 2017 com algoritmos existentes na literatura (KSM, Hirata e Uitz) e com valores in situ de contagens de células fitoplanctônicas através da técnica de microscopia.

Portanto estudos como esse são de extrema importância para as pesquisas oceanográficas que avaliam as componentes de cor no oceano do Atlântico Sul. Somente estudando e validando dados remotos com dados in situ será possível aprimorar de forma consistente os algoritmos de produção primária já existentes. Com maiores e melhores validações de dados nestes algoritmos, será possível extrair informações coerentes e acuradas a respeito da cor dos oceanos observadas por satélites.

2. ÁREA DE ESTUDO

A região monitorada pelo projeto ANTARES situa-se na isóbata de 40 m ao largo de Ubatuba (23°36'S, 44°58'W) desde 2004, como mostrado a seguir:

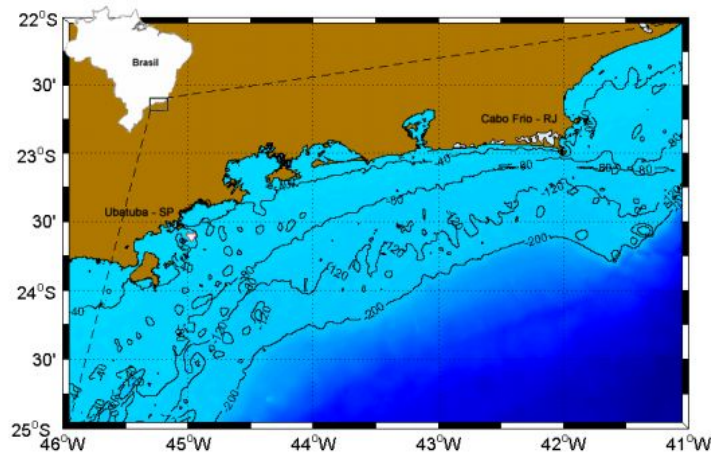


Figura 1: Estação de Monitoramento Antares, Ubatuba.

(Fonte: Harlamov, 2013)



3. OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo geral do trabalho foi analisar a aplicação de algoritmos satelitários em estimativas de absorção de luz e as classes de tamanho do fitoplâncton marinho da estação de monitoramento ANTARES em Ubatuba (isóbata 40m, 23°36'S, 44°58'W), comparando-os com valores de medidas in situ através da microscopia invertida.

No período a que se refere o relatório, foram realizados os seguintes procedimentos, basicamente dividido em três etapas distintas:

3.1. Comparação de aph pelos métodos TR e R

Cálculo do espectro de absorção do fitoplâncton utilizando medidas de reflectância em laboratório utilizando duas equações descritas por Stramski 2015 para o período entre agosto e novembro de 2015.

3.2. Comparação de aph gerados com dados remotos com o método TR

Cálculo do espectro de absorção do fitoplâncton utilizando medidas de reflectância em laboratório utilizando o método TR com algoritmos satelitários para o período entre agosto e novembro de 2015.

3.3. Comparação entre dados de classes de tamanho de células inferidos remotamente em relação a dados in situ

Aquisição de uma série temporal de imagens MODIS-Aqua (L2_OC) para estimativa de abundância das classes de tamanho do fitoplâncton (pico, nano e

microplâncton) através dos algoritmos de KSM, Hirata e Uitz e posteriormente comparadas com valores *in situ* resultantes da técnica de microscopia invertida para o período entre julho de 2012 e jan de 2013.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Comparação de *aph* pelos métodos TR e R

Os valores do coeficiente de absorção do fitoplâncton *in situ* utilizados foram calculados pela média entre as triplicatas de superfície estimados pelo método TR (Tassan e Ferrari, 2002), que é mais apropriado para águas costeiras devido à presença de sedimentos oriundos do aporte continental. Posteriormente foi calculado *aph* apenas com as medidas de reflectância e aplicadas à equação 1 e 2 abaixo:

Método R

$$OD_s = 0.679 OD_f^{1.2804}$$
$$OD_s = 0.322 OD_f + 0.506 OD_f^2$$

Método IS

$$OD_s = 0.323 OD_f^{1.0867}$$
$$OD_s = 0.256 OD_f + 0.111 OD_f^2$$

Figura 2: Equações dos métodos R e IS (Fonte: Stramski, 2015)

4.2. Comparação de aph gerados com dados remotos com o método TR

Os dados das estações entre agosto e novembro de 2015 foram comparados com os resultados de algoritmos obtidos com o SeaDAS v7.5 calculados partir de dados de reflectância acima d'água (Rrs) nas bandas de 412, 443, 469, 488, 531, 547, 555, 645, 667 e 678 nm (dados provenientes do sensor MODIS-AQUA).

Para os valores de reflectância acima da água obtidos do sensor MODIS-Aqua, nas duas datas próximas das coletas do ANTARES (sem cobertura de nuvens), foram aplicados diferentes modelos bio-ópticos semi-analíticos, já implementados no programa operacional do SeaDAS v7.5: algoritmos GSM, GIOP e SWIM.

4.3. Classes de tamanho de células fitoplanctônicas: dados in situ analisados através de Microscopia Invertida

O uso do microscópio é essencial para a maioria dos estudos quantitativos de organismos fitoplanctônicos, mesmo existindo outras técnicas mais modernas e sofisticadas.

Para a presente análise foi utilizado a técnica descrita por Utermöhl (1958), que exige alguns procedimentos prévios da amostra de água do mar (50ml), como fixação com lugol da amostra e 72 horas de tempo de espera para que ocorra a sedimentação das células do fitoplâncton na câmara de Utermöhl. Posteriormente ao período do sedimentação, as células foram contadas com a ajuda de um microscópio de inversão permitindo portanto que se pudesse calcular a abundância de cada tamanho de células (em porcentagem).

4.4. Classes de tamanho de células fitoplanctônicas: dados remotos analisados através de algoritmos do SeaDas

As imagens do sensor MODIS a bordo do satélite Aqua foram obtidas do portal *ocean color* da NASA disponível em: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>. Procurou-se obter imagens com pouca ou nenhuma cobertura de nuvens na região de Ubatuba, referentes aos dias das coletas, ou em uma janela de até 24 horas antes ou depois da coleta. Para a análise de dados de classes de tamanho do fitoplâncton foram obtidas imagens dos dias 12/07, 12/09, 12/10, 12/11, 12/12 de 2012 e 13/01 de 2013. Essas imagens foram processadas com o auxílio do programa SeaDAS v7.5. O processamento digital envolveu aplicar as correções atmosférica e radiométrica, georreferenciamento e extração dos valores de reflectância de sensoriamento remoto acima da água em uma janela de 3 x 3 pixels em torno das coordenadas da estação-fixa Antares.

Com o procedimento acima foi possível obter remotamente valores das 3 classes de tamanho do fitoplâncton (picoplâncton, nanoplâncton e micropoplâncton) calculados em 3 diferentes algoritmos presentes no programa SeaDas: KSM, Hirata e Uitz.

4.5. Classes de tamanho de células fitoplanctônicas: comparação entre dados remotos e in situ

Com assistência do Excel, foi feita uma comparação entre dados de microscopia invertida das amostras de água e os dados de tamanho do fitoplâncton calculados pelos algoritmos KSM, Hirata e Uitz. Dessa maneira foi possível realizar comparações em porcentagem entre os dados in situ e os dados satelitários.

5. ANÁLISES E RESULTADOS

5.1. Comparação de aph pelos métodos TR e R

Os parâmetros de aph analisados em laboratório resultaram em valores superiores se comparados com o método TR. O método R superestimou em 71% e o método IS 25% se comparados com os valores estimados por TR, como mostra a figura a seguir:

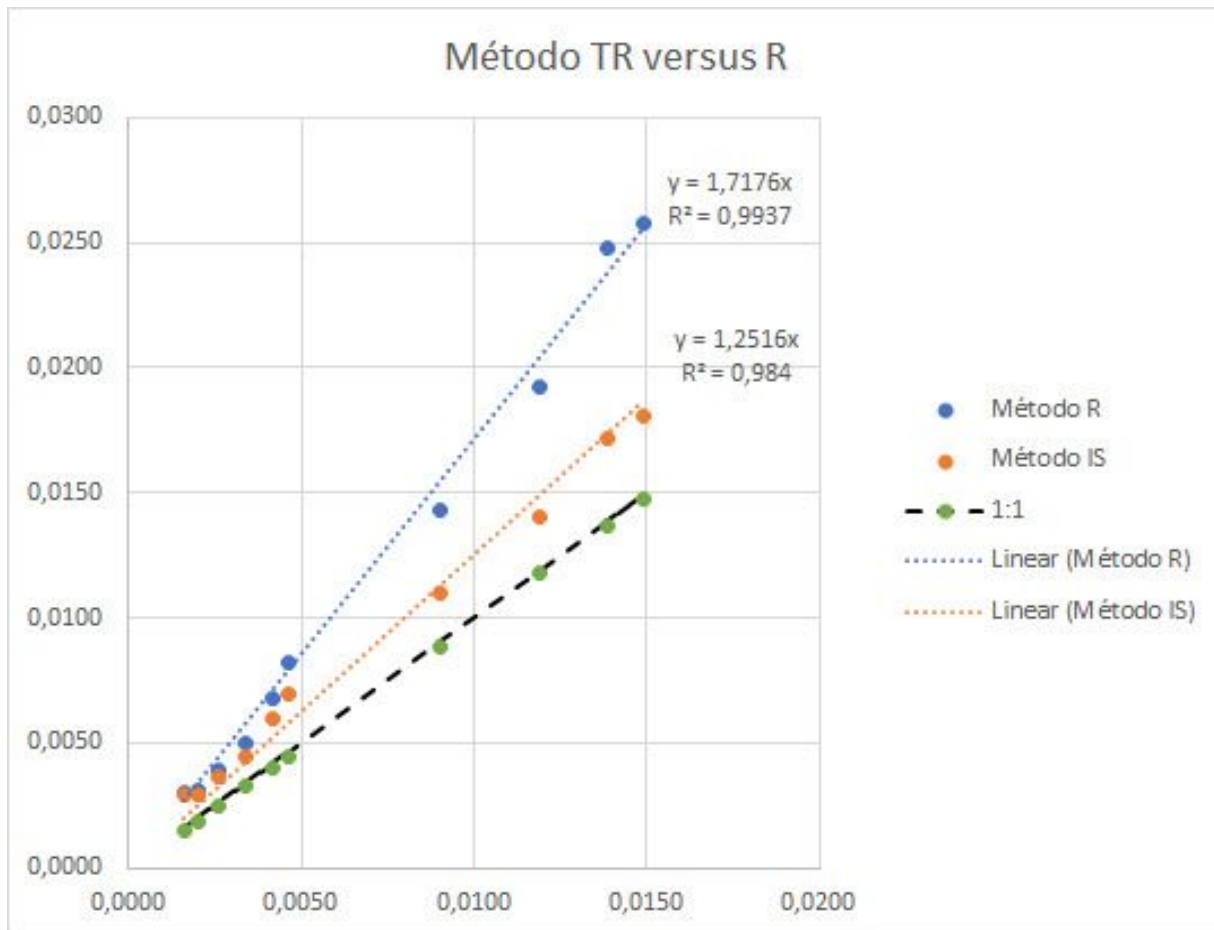


Figura 3: Comparação do método TR com os métodos R e IS

5.2. Comparação de aph gerados com dados remotos com o método TR

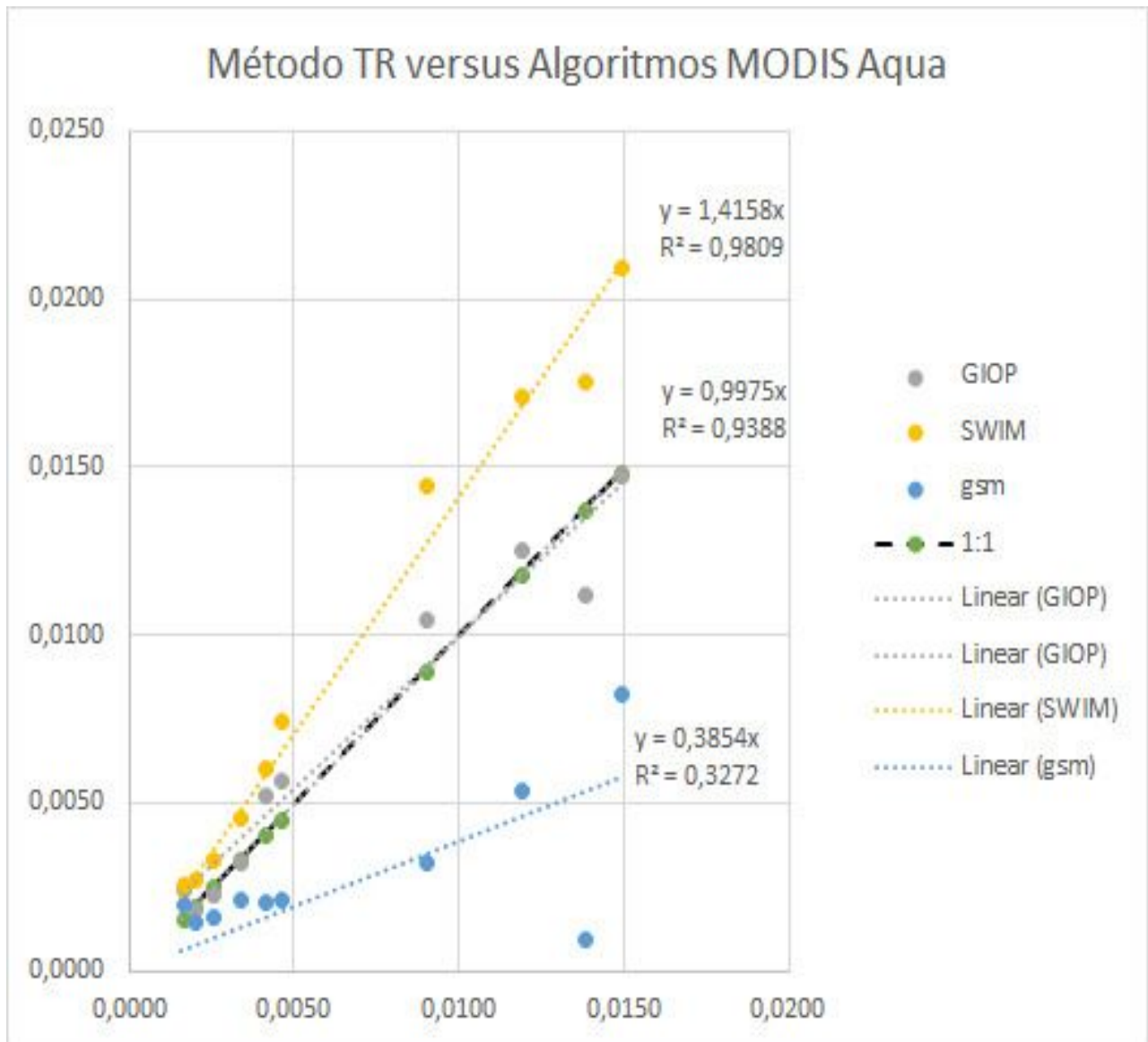


Figura 4: Comparação do método TR com os algoritmos GIOP, SWIM e GSM

De maneira geral, pode-se dizer que os algoritmos usados para análise dos dados do espectrorradiômetro MODIS (do satélite AQUA) que mais se aproximaram do

valor obtido em laboratório foi o GIOP, com coeficiente angular 0,99 e $R^2 = 0,9$. Já o SWIM superestimou em média 41% e o GSM subestimou os valores em relação às amostras obtidas *in situ* com o coeficiente angular de 0,38 (figura x)..

5.3. Classes de tamanho de células fitoplanctônicas: comparação entre dados remotos e *in situ*

As ilustrações abaixo são a representação gráfica das porcentagens de cada classe de tamanho (picoplâncton, nanoplâncton e micropoplâncton) analisados através de dados satelitários pelos algoritmos KSM, Hirata e Uitz, respectivamente.

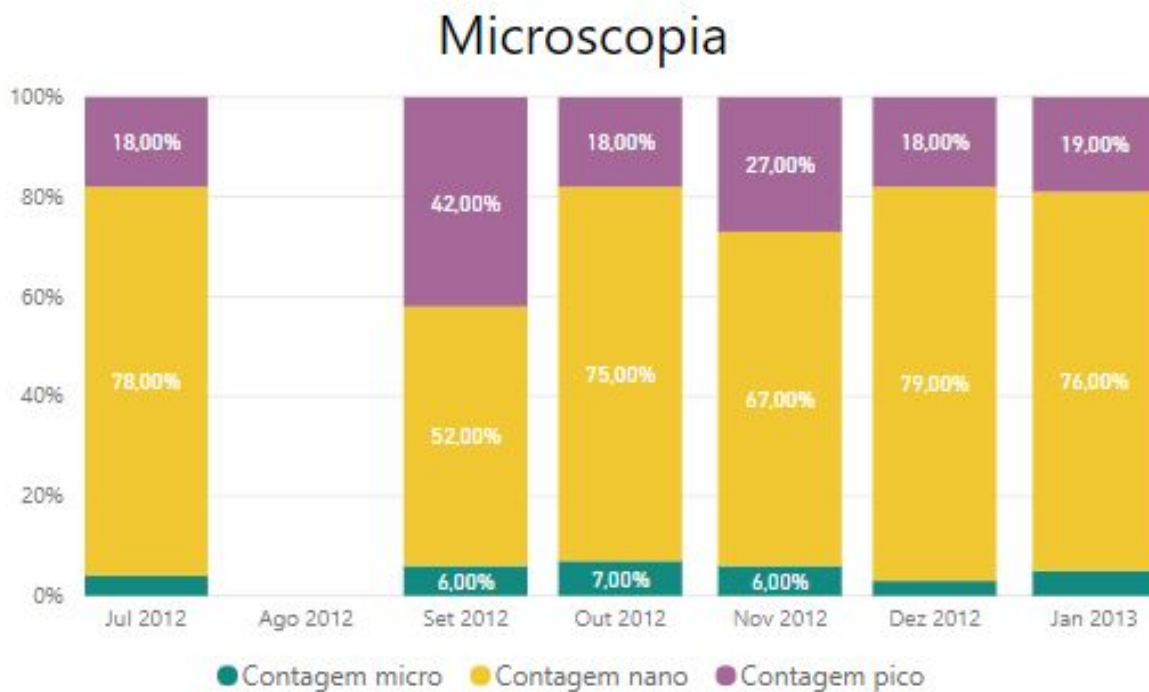


Figura 5 : Gráfico das porcentagens de classes de tamanho do fitoplâncton pela técnica de microscopia - dado *in situ*

Na figura acima, os dados de contagem através da microscopia demonstram que a porção do nanoplâncton foi claramente dominante, variando de 52% a 79%, enquanto o picoplâncton está na faixa de 18 a 42% e o microplâncton não alcançou valores maiores que 7%.

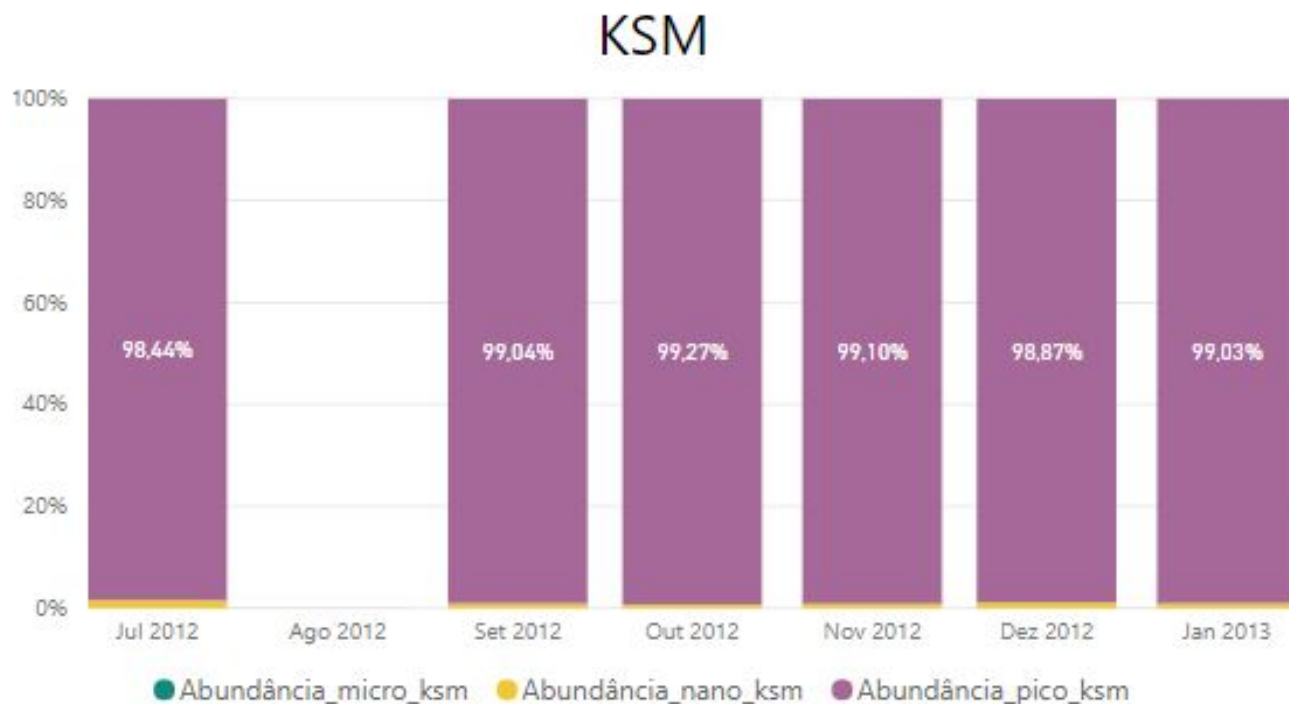


Figura 6 : Gráfico das porcentagens de classes de tamanho pelo algoritmo KSM

O gráfico do algoritmo KSM, variando entre 98,44 e 99,27%, expressa claramente a limitação do método, pois a porcentagem de abundância do picoplâncton extrapolou todos os valores estimados por microscopia invertida. Os outros tamanhos de células, nano e microplâncton nem aparecem no gráfico pois representam uma fatia irrisória do total.

O algoritmo Hirata logo abaixo demonstra que o picoplâncton varia de 15,75% a 28,44%, enquanto que o nanoplâncton fica na faixa de 19,23% até 43,31%, já o micropoplâncton diverge de 28,46% a 65,02% em abundância.

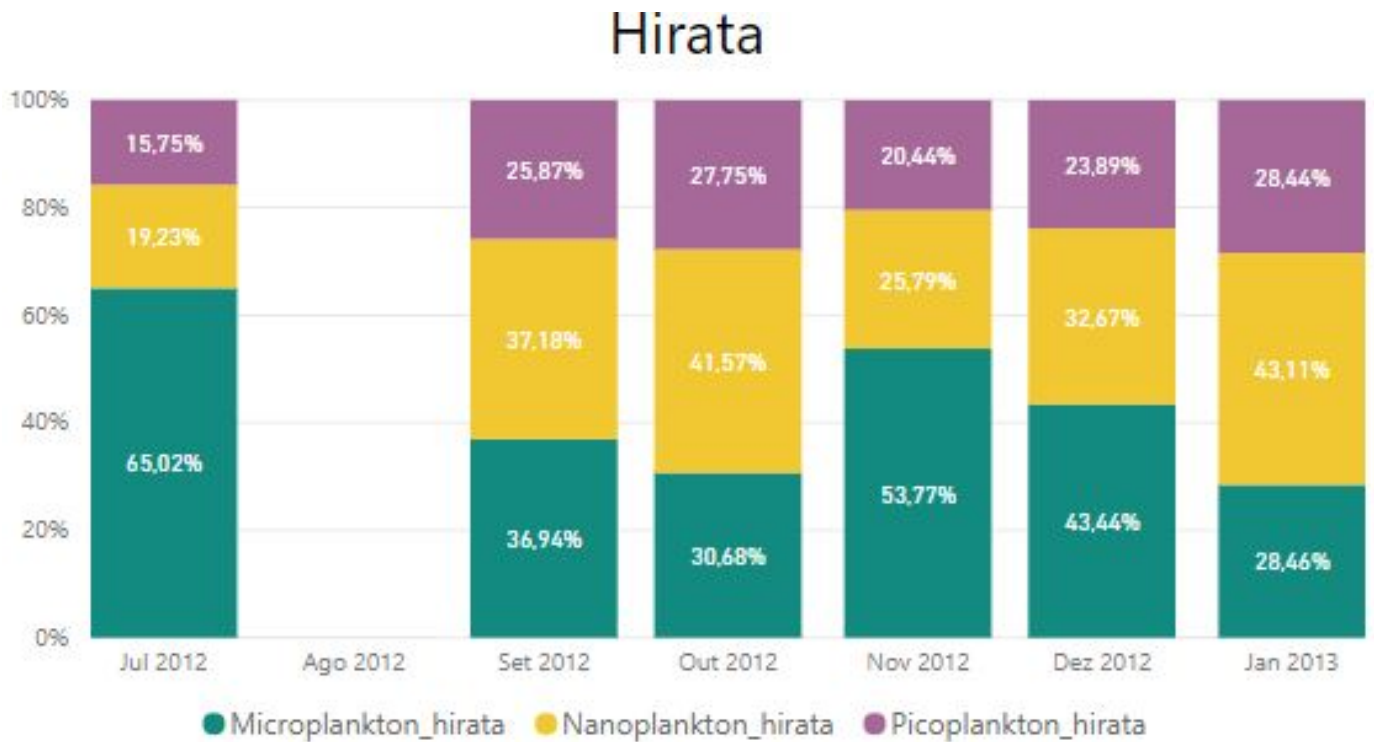


Figura 7 : Gráfico das porcentagens de classes de tamanho do fitoplâncton pelo algoritmo Hirata

Na figura da próxima página, há os valores de abundância calculados a partir do algoritmo Uitz. Onde o micropoplâncton variou de 30,68% a 61,81%, o nanoplâncton foi de 27,72% a 46,35% e o picoplâncton vai de 10,48% a 21,83%.

Uitz

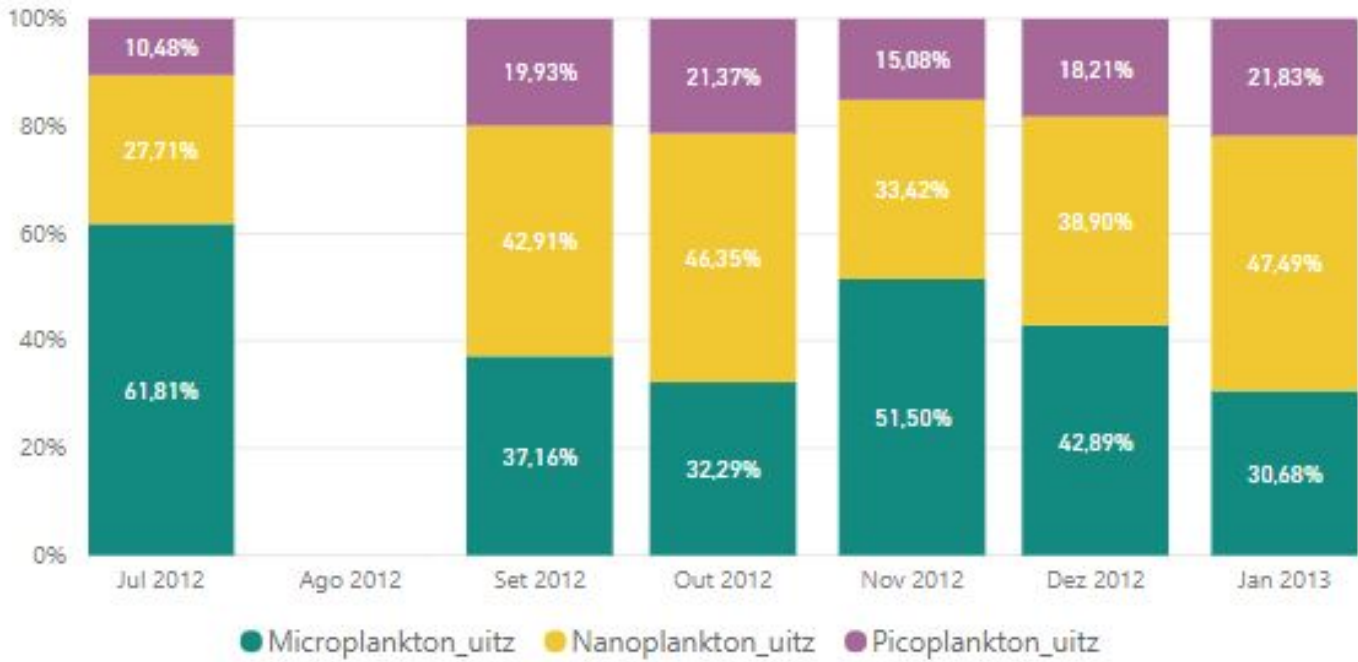


Figura 8 : Gráfico das porcentagens de classes de tamanho do fitoplâncton pelo algoritmo Uitz

6. CONCLUSÃO

Foi possível constatar após a comparação entre os métodos *in situ* e remoto que os valores estimados através dos algoritmos Hirata e Uitz de porcentagem de classes de tamanho do fitoplâncton, subestimam a classe do nanoplâncton e indicam valores superiores de micropoplâncton se comparados aos valores reais de contagem de células obtidas por microscopia invertida.

Principalmente nos dados remotos da abundância da classe de picoplâncton calculado pelo algoritmo KSM, ficou nítido que o método é limitado. O algoritmo calculou a porcentagem em torno de 99% para esta classe de tamanho, enquanto que as contagens *in situ* variaram de 18 a 42%. Posteriores estudos são necessários para que se possa adaptar alguns parâmetros objetivando uma análise mais robusta estatisticamente e confiável.

Outra medida essencial é que se continue alimentando o banco de dados da estação fixa ANTARES para que as análises estatísticas tornem-se cada vez mais fundamentadas no processo de validação, e como sugerido na primeira parte desta pesquisa, todos os parâmetros de absorvância da rede ANTARES, desde 2004, devem ser igualmente corrigidos como feito neste trabalho.

Em geral, é preciso mais estudos para que os coeficientes de absorção de luz pelo fitoplâncton e partículas de detritos sejam testados e confrontados com dados *in situ*. Somente dessa maneira será possível chegar em níveis de parâmetros remotos refinados o suficiente para que os algoritmos satelitários trabalhem com um alto nível de confiança em relação aos dados *in situ*.



7. REFERÊNCIAS

Ciotti, A. M.; et al. "Assessment of the relationships between dominant cell size in natural phytoplankton communities and the spectral shape of the absorption coefficient". *Limnol. Oceanogr.*, 47(2), pg 404-417, 2002.

Ciotti, A. M. & Bricaud, A. "Retrievals of a size parameter for phytoplankton and spectral light absorption by colored detrital matter from water-leaving radiances at SeaWiFS channels in a continental shelf region off Brazil". *Limnol. Oceanogr.: Methods* 4, pg 237-253, 2006

Harlamov, V. "Qualidade espectral da irradiância solar na região costeira ao largo de Ubatuba - SP." Monografia de bacharelado em oceanografia apresentada no Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2013.

Martin, S. "An Introduction to Ocean Remote Sensing". Second Edition, Cambridge University Press, pg 136-192, 2014.

Mitchell, B. G., et al. "Algorithms for Determining the Absorption Coefficient of Aquatic Particles Using the Quantitative Filter Technique (QFT)". *SPIE Vol 1302 Ocean Optics X*, 1990.

Stramski, D., et al. "Correction of pathlength amplification in the filter-pad technique for measurements of particulate absorption coefficient in the visible spectral region". *Applied Optics*, vol 54, n 22, 2015.

Tassan, S. & Ferrari, G. M. "A sensitivity analysis of the 'Transmittance-Reflectance method for measuring light absorption by aquatic particles". *Journal of Plankton Research*, Vol.24, pg 757-774, 2002.



Utermöhl, von H. Neue Wege in der quantitativen Erfassung des Planktons. (Mit besondere Berücksichtigung des Ultraplanktons). *Verh. Int. Verein. Theor. Angew. Limnol.*, pg 567–595, 1931.