

Radiação Ultra-Violeta e Fitoplâncton

Seminários de Fitoplâncton e Produção Primária

Patricia Martins Sparagna Luís Fabiano Baldasso
Renan Kuwana Renata Roque Porcaro

Instituto Oceanográfico
Universidade de São Paulo

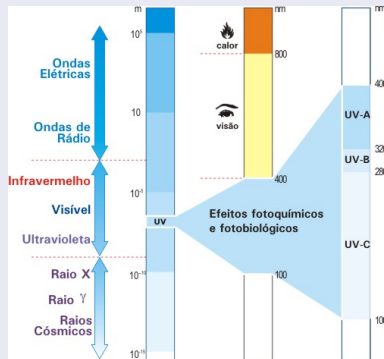
Junho, 2008

Sumário

- 1 **Introdução**
 - A radiação ultra-violeta
 - A penetração de UV na coluna d'água
- 2 **Danos provocados pelo UV**
- 3 **Combate ao danos causados pelo UV**
- 4 **Estudos de casos**
 - Proteção contra UV no fitoplâncton
 - Mistura vertical e efeitos do UV na comunidade Planctônica

A Radiação Ultra-violeta

- A radiação ultra-violeta é um componente natural do espectro de radiação solar (corresponde à cerca de 6% do total da radiação emitida pelo sol)



<http://www.achetudoeregiao.com.br/astrologia/Astrologia/espectroeletromag.jpg>

A Radiação Ultra-violeta

- Esse tipo de radiação é responsável por um grande número de reações fotoquímicas que ocorrem principalmente nas regiões mais altas da atmosfera, agindo como catalisador de reações químicas e tendo influência marcante nos mecanismos de aquecimento dessas camadas.
- A forte redução na quantidade de radiação ultra-violeta que atinge naturalmente a superfície da Terra deve-se basicamente à absorção pelo ozônio e pelo oxigênio estratosféricos. Apesar do ozônio ser um gás "traço" na atmosfera, a atenuação do UV pelo mesmo é ordens de magnitude maior do que aquela atribuída ao oxigênio.

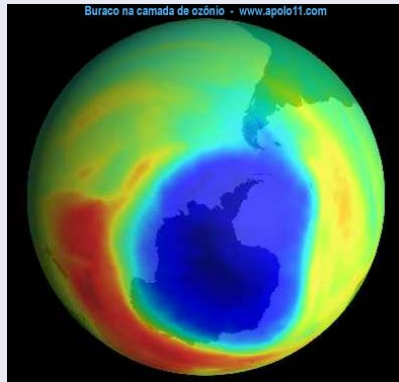
O ozônio

- A maior produção de ozônio ocorre sobre o Equador e os trópicos, mas a circulação atmosférica transporta este ozônio produzido em direção aos pólos, promovendo um máximo em latitudes mais altas.
- Influências antrópicas - a emissão de CFCs e gases-estufa têm perturbado o ciclo natural do ozônio



<http://www.it.uc.pt/emanuel/coimbra/chamine1.jpg>

Formação do buraco na camada de ozônio sobre a Antártica



http://tabareu.files.wordpress.com/2007/08/camada_ozonio.jpg

Na Antártica

- Uma das grandes preocupações é o padrão anual de depleção de ozônio sobre a Antártica e a porção sul dos oceanos.



http://news.bbc.co.uk/media/images/42347000/jpg/_42347557_antartica2_bbc.jpg

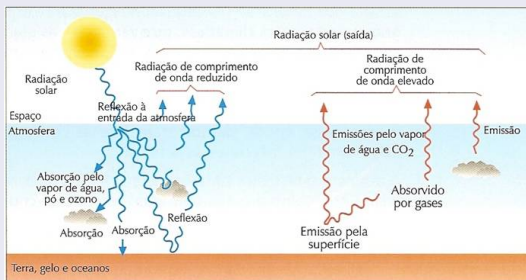
- Fora da região antártica, as reduções de ozônio são menos dramáticas, mas ainda significativas.

Na Antártica

- A formação sazonal do buraco na camada de ozônio sobre a Antártica foi reconhecida pela primeira vez no início da década de 1980
- Estímulo à pesquisas enfocando organismos fitoplanctônicos, devido à sua importância como base na cadeia trófica dos oceanos e como produtores de aproximadamente metade do oxigênio global.
- Os sistemas ecológicos de altas latitudes se desenvolveram sob regimes de UV menos intensos e podem ser menos adaptáveis de forma rápida a grandes aumentos na intensidade ou mudanças no espectro.

Redução da radiação UV na superfície terrestre

- Absorção pelo ozônio e oxigênio estratosféricos
- Sofrem espalhamento por moléculas e aerossóis
- São refletidos pelas nuvens



http://cache01.stormap.sapo.pt/fotostore02/fotos//3b/07/ea/45068_0003hq01.jpg

Efeitos da radiação UV

Efeitos geralmente causados pelo excesso e longo prazo de exposição:

- A atenuação do crescimento de lavouras e frutos
- Os cânceres e mutações genéticas em peixes e anfíbios
- O desgaste e deterioração de tintas e polímeros
- A diminuição da produção de fitoplâncton

Subdivisão da radiação ultra-violeta

- UV-A - entre 315 e 400nm - pouco absorvida pelos gases presentes na atmosfera e atinge a superfície terrestre em maiores quantidades.
- UV-B - entre 280 e 315nm - fortemente absorvida pelo ozônio presente principalmente na estratosfera e atinge a superfície terrestre em quantidades muito tênues. Muito nociva aos seres vivos, provocando principalmente queimaduras e diversos tipos de cânceres
- UV-C - entre 100 e 280nm - totalmente absorvida pelo oxigênio e ozônio presentes na atmosfera e tem influência relevante sobre as reações fotoquímicas dessa região. É gerada artificialmente através de lâmpadas e utilizada para esterilizar água e equipamentos cirúrgicos

Penetração de UV na coluna d'água

A transparência da água à luz solar depende:

- Concentrações de substâncias dissolvidas ou particuladas opticamente ativas
- Propriedades ópticas da própria água

Essas substâncias dissolvidas ou particuladas sofrem variações temporais e espaciais e podem mudar a composição espectral da UV que chega até os organismos aquáticos.

Mistura vertical

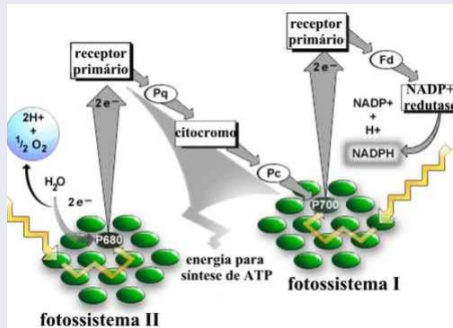
- A mistura vertical altera a exposição dos organismos à UV e tem efeitos significativos sobre a inibição da fotossíntese integrada na coluna d'água.
- Estudos mostram que a mistura vertical é insignificante para a inibição da fotossíntese em águas claras do oceano aberto, mas que a mesma pode ser extremamente importante em águas costeiras turvas, onde as diferenças na transmitância podem ser atribuídas a variações no material dissolvido e em suspensão.

Mistura vertical

- Quando a mistura vertical é fraca, o tempo de transporte vertical acaba sendo mais longo do que o de foto-resposta. Desta forma, o fitoplâncton tem tempo de responder à intensidade luminosa ao seu redor.
- Já quando a mistura vertical é forte, a célula fitoplanctônica não tem tempo de se ajustar à condição luminosa do ambiente e várias características de fotoaclimatação devem existir simultaneamente numa determinada profundidade para que a célula possa desempenhar suas funções de maneira eficiente.
- Mecanismos de fotoaclimatação dependentes do histórico de exposição à luz e dos tempos de resposta das células individuais.

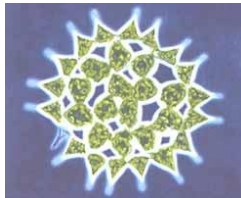
Fotoinibição

- A fotoinibição é um processo reversível que inativa o Fotossistema II, quando a luz incidente excede a capacidade do transporte de elétrons.



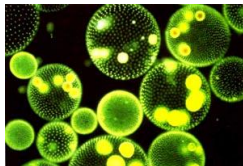
<http://www.infoescola.com/imagens/fotossistemas.jpg>

- Fótons de alta energia que são absorvidos podem ionizar as moléculas
- Ao ser absorvido a energia é dissipada por calor ou fluorescência
- Reações com outras moléculas formando intermediários instáveis ou fotoprodutos estáveis
- Degradação fotoquímica de biomoléculas (forma direta)

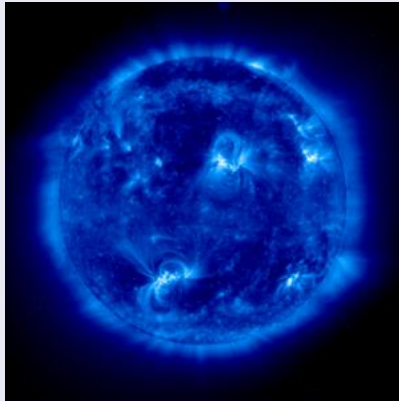


Fitoplâncton agrupados com cloroplastos à mostra
<http://planeta.lamatriz.org/desvan/fitoplancton.jpg>

- Produção de espécies reativas de oxigênio → maior dano oxidativo espalhado dentro da molécula (forma indireta)
- Estresse líquido manifesta-se em termos de aumento de demanda de energia para proteção e reparo; mudanças de composição; desbalanço na taxa de crescimento; mortalidade maior.
- Fotossistema II e o DNA são os principais alvos de danos do UV e os pigmentos fotossintéticos podem ser alvos potenciais.



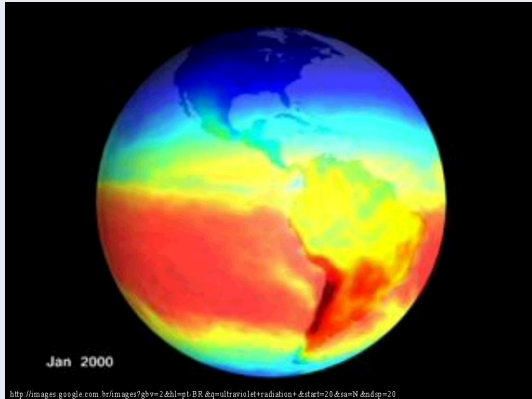
Diatomáceas mostrando algumas de suas estruturas
<http://profesores.sanvalero.net/w0548/fitoplancton/fitoplancton2.jpg>



Sol emitindo UV

<http://fixedreference.org/2006-Wikipedia-CD-Selection/images/58/5867.gif>

- Estudos mostram que fitoplâncton de baixas latitudes estão mais adaptados à uma maior incidência de RUV do que os fitoplâncton de altas latitudes
- Essa característica pode estar ligada à compostos que absorvem UV, podendo ser sintetizados em horas e sua concentração depende da espécie



Nível de UV na superfície da Terra, janeiro de 2000
<http://images.google.com.br/images?gbv=2&hl=pt-BR&q=ultraviolet+radiation+&start=20&sa=N&ndsp=20>

Mecanismos:

- 1 Dissipação de energia dos centros de reação
- 2 Produção de pigmentos e outras substâncias fotoprotetoras
- 3 Mecanismos de reparo
- 4 Síntese de substâncias que absorvem UV

1 - Dissipação de energia dos centros de reação

- Depois do foto-dano potencial causado, de forma mais direta, pelo UV a alvos celulares, a interação da radiação com O_2 e cromóforos celulares resulta na produção espécies reativas de oxigênio . No entanto, as células algais aparentemente tem mecanismos de dissipação de energia que lhes permitem desintoxicar esses produtos de reações fotoquímicas.
- Essa dissipação não radiativa da energia de excitação excedente é um importante processo (curto prazo) para a fotoproteção do PS II.

2 - Produção de pigmentos e outras substâncias fotoprotetoras

- Carotenóides agem como antioxidantes e dissipadores de excesso de energia luminosa
- Acúmulo de carotenóides como resposta a altas irradiâncias observado em: clorófitas, cianobactérias, dinoflagelados
- Acúmulo em resposta à UV foi reportado apenas em cianobactérias e clorófitas
- Em algumas algas o mecanismo para a extinção não fotoquímica envolve interconversão da diatoxantina em diadinoxantina (não visto em diatomáceas)
- Sob luz, diadinoxantina desepoxidada (reação de transferência de O_2) em diatoxantina (reversível) → fotoproteção algal

2 - Produção de pigmentos e outras substâncias fotoprotetoras

- Condições de luz durante o crescimento algal afetam o balanço da concentração de pigmentos do ciclo xantofiliano
- Demers et al. (1991) sugeriu que aclimatação controla o acúmulo (longo prazo) dos pigmentos do ciclo xantofiliano, mas parece ser independente das reações rápidas deste ciclo
- Essas reações permitiram que as células se acomodassem à mudanças rápidas no campo luminoso
- Favoreceu, então, mecanismos de fotoproteção de longo prazo
- Arsalane et al. (1994)

2 - Produção de pigmentos e outras substâncias fotoprotetoras

- A conversão de diadinoxantina em diatoxantina não é usada por todas as algas, algumas usam a desepoxidação da violaxantina e têm a presença de anteraxantina (Arsalane et al., 1994)
- Diadinoxantina presente em: diatomáceas, primnesiofíceas e algumas crisofíceas
- O ciclo xantofiliano está presente em quase todos os grupos

2 - Produção de pigmentos e outras substâncias fotoprotetoras



Esqueleto de sílica de radiolário

http://br.geocities.com/pri_biologiaonline/radiolario.gif

3 - Mecanismo de reparo

- Reparo rápido de complexos fotossintéticos danificados (Ex.: através do ciclo da proteína D1)
- Fotoproteção
- Variações na concentração de nitrogênio ou na temperatura podem comprometer os processos de reparo e proteção, aumentando o impacto da radiação sobre os organismos e ecossistemas aquáticos.
- A ação combinada de diversos tipos de estresses faz com que a célula precise de mais de um mecanismo de resposta
- Diferença da resposta do fitoplâncton de diferentes ambientes: polares, temperadas, tropicais, eutróficos e oligotróficos.

4 - Síntese de substâncias que absorvem UV

- Sintetizam moléculas que absorvem luz como o aminoácidos tipo micosporina (MAAs)
- Não significa que os organismos sejam totalmente adaptáveis às condições de aumento de UV, pois implica em consumo extra de energia.
- Estudado por diversos pesquisadores, esse mecanismo ainda é incerto.
- Alguns estudos em populações naturais e outros com culturas de determinadas espécies.
- MAAs - compostos hidrossolúveis, identificados em diversos táxons na maioria dos organismos marinhos. (de cianobactérias à peixes)

Caso 1 - Proteção contra UV no fitoplâncton

Titulo

PROTEÇÃO CONTRA A RADIAÇÃO UV NO FITOPLÂNCTON MARINHO:
UM NOVO MÉTODO DE ESTIMATIVA BASEADO NA FLUORESCÊNCIA IN
VIVO E OS EFEITOS DO AUMENTO DE UV-B EM DUAS LATITUDES

Autor

Bruna Mohovic

Tese para a obtenção do Título de Doutor - Instituto Oceanográfico da
Universidade de São Paulo - São Paulo, 2005

Introdução

- O experimento foi realizado no Canadá e em Ubatuba.
- Mesocosmo: porção natural da população isolada em um ambiente de tamanho médio

Metodologia

- Esse experimento foi realizado com 9 mesocosmos de aproximadamente 1.800L cada.
- As amostras forma feitas em triplicatas:
 - 3 "Naturais": sem adição de UV
 - 3 "Low": com adição de UV-B correspondente a 30% de depleção de ozonio atmosférico (cerca de 133% de adição)
 - 3 "High": com adição correspondente a 60% de depleção de ozônio atmosférico (cerca de 208% de adição)
- Mediu-se a fluorescência "in vivo" com o fluorímetro para verificar a capacidade fotossintética das células e a presença de substâncias fotoprotetoras, como aminoácidos e carotenóides

Resultados

- O aumento da fotoinibição pode ser explicado pelo estresse nutricional e pela saturação luminosa por falta de substâncias fotoprotetoras.
- A adaptação dos organismos foi diferente nos dois ambientes:
- Na região tropical, houve "pool" de substâncias fotoprotetoras, e a reserva foi alocada como fonte de energia.
- Na região subpolar, houve oscilação sazonal de UV-B e melhores condições nutricionais com baixas taxas metabólicas. Se necessário, ocorre a fotoproteção.

Vantagens do uso de mesocosmos:

- Habilidade de alterar a radiância (uso de filtros ou de mais lâmpadas).
- Fidelidade na reprodução da estrutura natural da zona eufótica.
- Possibilidade de realizar experimentos de longa duração.
- Possibilidade de se avaliar efeitos sobre a comunidade.

Caso 2 - Mistura vertical e efeitos ecológicos da radiação UV na comunidade Planctônica

Titulo

VERTICAL MIXING AND ECOLOGICAL EFFECTS OF ULTRAVIOLET RADIATION IN PLANKTONIC COMMUNITIES

autores

Emma Ferrero¹, Matías Eory¹, Gustavo Ferreyra², Irene Schloss³, Horacio Zagarese⁴, Maria Vernet⁵

1 - Universidad Nacional de Luján, Departamento de Ciencias Básicas, Argentina

2 - Université du Québec, Institute des Sciences de la Mer de Rimouski, Canada

3 - Instituto Antártico Argentino, Argentina

4 - National Council for Science and Technology (CONICET), Argentina e Technological Institute of Chascomús (INTECH), Argentina

5 - Scripps Institution of Oceanography, University of California San Diego and Fernando Momo

Photochemistry and Photobiology 82 (4), 898-902 doi:10.1562/2005-11-23-RA-736, julho 2006

Introdução

- A diminuição da camada de ozônio ocorre durante a primavera austral na Antartica aumentando a exposição de UV-B em comunidades planctônicas
- Todo o UV-B solar é atenuado rapidamente na coluna d'água, mas ele pode penetrar em níveis biologicamente significativos até metade da camada fótica
- É consenso de que UV-B afeta todos os componentes pelágicos, de bactéria á peixe. Os efeitos no fitoplancton e bactéria pode alterar a rede trófica.
- Modelos matemáticos foram usados como ferramenta para ajudar a explorar as consequências de exposição de UV-B de longo tempo em vários cenários de dosagem
- fatores importantes : profundidade de mistura e a velocidade da mistura de água

Fatores

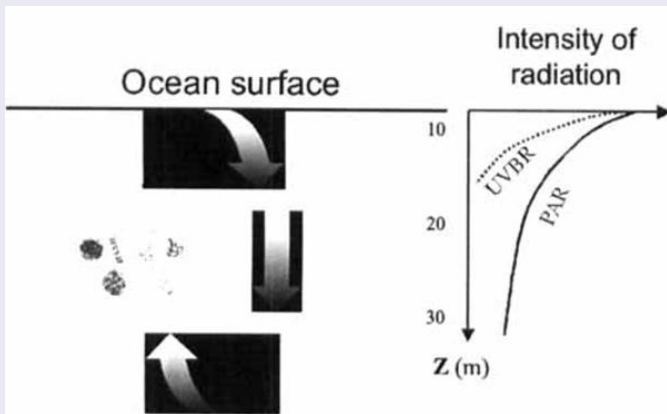
Fatores que afetam a comunidade fitoplanctônica

- profundidade de mistura
- velocidade da mistura de água
- razão dano/reparo
- presença de matéria orgânica na coluna d'água
- processo de fotobranqueamento
- processo de produção de substância de fotoproteção
- zooplâncton
- bactéria

Métodos

- Modelos matemáticos de equações diferenciais de tempo contínuo
- cada equação representa a taxa de mudança da variável em função dela ou de outras variáveis envolvidas
- Dois aspectos seriam analisados: Mistura vertical e interações na rede alimentar afetada por processos físicos

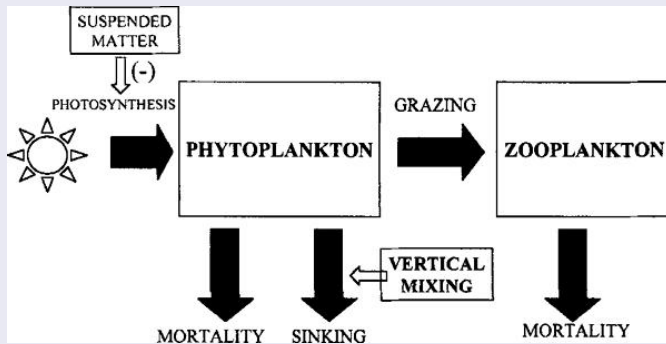
Alterações e considerações na coluna d'água



Modelo conceitual

- Modelo tipo presa e predador , onde fitoplancton é presa e zooplancton herbívoro é o predador
- Fotossíntese é a entrada do termo principal para biomassa fitoplanctônica (tangente hiperbólica em função da luz)
- três processos diminuem a biomassa autotrófica: Respiração do fito (termo linear com a biomassa); Afundamento da célula em função linear com o afundamento da mistura; Predação do zooplancton;
- Foi considerada a dinâmica da herbivoria fitoplanctônica

Modelo conceitual em caixas



Resultados

- A flutuação da luz e a dinâmica do sistema interferem na PAR exponencialmente de acordo com lei de Beer e com o tempo tal que a A média da intensidade é:

$$\begin{aligned}
 I_m &= \frac{1}{Z_m} \int_0^{Z_m} I(Z) dZ = \frac{1}{Z_m} \int_0^{Z_m} I_0 e^{-k_1 Z} dZ \\
 &= I_0 \frac{e^{-k_1 Z}}{k_1} \Big|_0^{Z_m} \frac{1}{Z_m} = \frac{I_0}{k_1} (1 - e^{-k_1 Z_m}) \frac{1}{Z_m}
 \end{aligned}$$

- e existe um coeficiente k de atenuação de material particulado

$$k_1 = \gamma \cdot C_p = \gamma \frac{N_p}{V} = \gamma \frac{N_p}{S \cdot Z_m}$$

Resultados

- O primeiro ponto de equilíbrio na ausência do predador e:

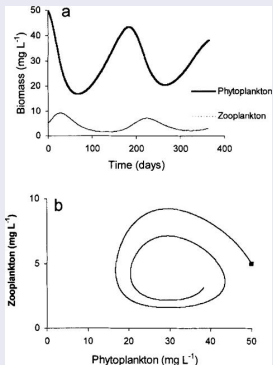
$$Eq_1(H^*, A^*) = \left(0, \frac{c - bZ_m}{P_m \tanh(W) - R} \right)$$

- e para solução interessante onde há duas soluções que não são nulas:

$$Eq_2(H^*, A^*) = \left(\frac{1}{q} \left[P_m \tanh(W) - R - (c - bZ_m) \frac{q \cdot e_T}{\mu} \right], \frac{\mu}{q e_T} \right)$$

Resultados

- Dinâmica do modelo sem considerar UV-B, onde (a) ciclo anual fitoplâncton e herbivoria e (b) diagrama de fase do sistema mostrando ponto de equilíbrio estável.



Resultados

- Considerando o efeito UV-B como inibidor fotossintético temos:

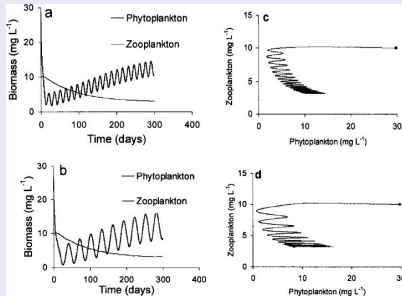
$$F = 1 - \frac{UVR_0 e^{(-k_2 Z)}}{B}$$

- Anexando todas as equações na equação inicial, temos:

$$\frac{dA}{dt} = A \cdot \left[P_m \cdot \left(1 - \frac{UVR_0 \cdot e^{(-k_2 Z)}}{B} \right) \cdot \tanh W \right] - R \cdot A - (c - bZ_m) - A \cdot Hq$$

Resultados

- Modelo considerando ação do UV-B e seus efeitos de fotoperíodos.
- (a) considerando um período de mistura de 15 dias e de (b) 30 dias
- (c) diagrama de fase das misturas de 15 dias e de (d) 30 dias



Discussões e considerações

- Apresentado um simples modelo, considerando produção, consumo, mistura vertical e inibição do UV-B.
- Este efeito pode aumentar a probabilidade de pequenos e imprevisíveis blooms
- O curto tempo da dinâmica fitoplanctônica pode ser afetado pelo período de mistura e pelos danos instantâneos provocados pelo UV
- Este tipo de estudo deve ser retomado no futuro
- Este artigo é bem sucinto e importante para entender a dinâmica da produção primária.

Referências I



Mohovic, B.

Proteção contra a radiação UV no fitoplâncton marinho: um novo método de estimativa baseado na fluorescência in vivo e os efeitos do aumento de UV-B em duas latitudes.

Tese para a obtenção do Título de Doutor - Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo - São Paulo, 2005



Corrêa, de P. M.

Pesquisas sobre radiação ultra-violeta: aplicações para a ciência e a sociedade.

Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais - CPTEC/INPE , 2006.

Referências II



FERRERO, E. et al.

Vertical Mixing and Ecological Effects of Ultraviolet Radiation in Planktonic Communities.

Photochemistry and Photobiology, 82 (4), 898-902
doi:10.1562/2005-11-23-RA-736, julho 2006.



HELBLING, W. et al.

Respuesta del fitoplancton marinho a la radiacion ultravioleta en latitudes medias (33° S).

Revista de Biología Marinha, Valparaíso, v. 28, n. 2, p. 219-237, dez. 1993.

Muito Obrigado!!!

