



INFLUÊNCIA DE FRENTES FRIAS SOBRE A LIMNOLOGIA DOS RESERVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA REGIÃO METROPOLITANA DE SÃO PAULO (RMSP).

Chiba, W.A.C. ^{1,2}

Moris, M.A. ^{1,3}; Tundisi, J.G. ^{1,2}; Passerini, M.D. ^{1,2}

1 - Universidade Federal de São Paulo, Departamento de Ecologia e Recursos Naturais, Rod. Washington Luís, Km 235, SP 310, São Carlos, 13565 - 905, SP, Brasil.

2 - Instituto Internacional de Ecologia, São Carlos, SP, Brasil

3 - Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, São Paulo, SP, Brasil
wagner.chiba@hotmail.com

INTRODUÇÃO

As mudanças nas condições meteorológicas da região sudeste do Brasil geralmente associam - se a passagem, formação ou intensificação dos sistemas frontais, que por sua vez estão associados a variações de temperatura, pressão, umidade e ventos fortes. Segundo Escobar (2007), esses fenômenos representam cerca de 70% dos padrões sinóticos de ondas de frio sobre a RMSP.

No inverno, os sistemas frontais se sucedem com maior frequência e velocidade de deslocamento, causando nebulosidade principalmente no litoral. Isto ocorre devido à impossibilidade do ar quente e úmido ser renovado durante o curto intervalo entre os sistemas frontais. Assim sendo, a nova frente irá encontrar o ar relativamente frio deixado pela precedente (Lemos e Calbete, 1996).

Estudos limnológicos recentes vêm mostrando que esses distúrbios atmosféricos estão intimamente relacionados com a estratificação e comportamento de variáveis físicas, químicas e biológicas em reservatórios, que pode ter implicações na dinâmica de populações fitoplanctônicas nesses ecossistemas, em especial no desenvolvimento de cianobactérias e diatomáceas (Tundisi *et al.*, 004 e 2007).

Sebastien (2004) estudou os reservatórios de Barra Bonita, Carlos Botelho e Tucuruí pertencentes às bacias hidrográficas do Paraná e Tocantins. Ele observou que no verão e inverno, os reservatórios Lobo - Broa e Barra Bonita, caracterizados como rasos (máxima profundidade: 30 m), apresentaram - se estáveis em virtude do vento fraco, com pequenas variações de temperatura. Este estudo mostrou também uma proliferação nesses reservatórios de alguns gêneros de algas, como Bacillariophyceae, Diatomaceae e Cyanophyceae, em razão do aumento de nutrientes como Si, PO₄, NO₂, NH₄, PO₄, NO₃, que tornam - se disponíveis devido ao revolvimento no fundo do reservatório induzido pela turbulência na superfície, em dias de vento forte. O

processo é governado pela redução de temperatura e aumento de pressão no outono ou aumento de temperatura e redução de pressão na primavera, mas torna - se acelerado com a participação do vento.

Num estudo também feito na represa Carlos Botelho, Tundisi *et al.*, (2004) mostraram que o reservatório apresentava estratificação (térmica, química e biológica) na coluna d'água em períodos calmos. Mas durante a passagem dos sistemas frontais, com ventos a partir de 6 m/s, a coluna sofria uma mistura completa. Segundo eles, esse tipo de efeito está intimamente relacionado com a força e direção do vento, e pode ser generalizado para todos os reservatórios rasos do sudeste do Brasil, em particular os do estado de São Paulo. Segundo Tundisi & Matsumura - Tundisi (2008), a circulação num reservatório pode ser expressa através da resistência térmica a circulação (RTC), trabalho do vento (W) e a estabilidade do sistema (S). Esses termos referem - se à densidade e suas diferenças (o que impede a circulação), sendo que S e W são dados em g - cm.cm - 2 e RTC é um valor adimensional.

Para uso humano, as Cyanophyceae e Diatomaceae, apresentando um efeito tóxico de acordo com a espécie, podem comprometer o uso do reservatório com o aumento de sua densidade. Sendo assim, um estudo sobre os sistemas frontais tem uma fundamental importância no que se diz respeito ao gerenciamento de represas, especialmente para o consumo.

Portanto, este trabalho tem como principais objetivos estabelecer uma climatologia de frentes frias para a RMSP, montar um esboço do comportamento dos ventos durante sua atuação sobre a represa e prever o momento de maior influência destes sobre a dinâmica dos reservatórios da região.

OBJETIVOS

- Estabelecimento uma climatologia de frentes frias para a RMSP;
- Esboço do comportamento dos ventos durante sua atuação sobre a represa;
- Previsão o momento de maior influência destes sobre a dinâmica dos reservatórios da região.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado para a Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), na Represa do Guarapiranga e Represa Billings, Braço Taquacetuba, importantes fontes de água para o abastecimento da cidade de São Paulo. Foram utilizados valores médios diários de vento horizontal medido por um anemógrafo tipo universal (marca Fuess), instalado na torre da estação meteorológica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo-IAG/USP.

As profundidades máximas medidas em ambas foram de 13 e 25 m, respectivamente, ou seja, são consideradas represas rasas.

O período considerado para o cálculo da climatologia das frentes frias na região em estudo foi de 1987 a 2007, ou seja, 21 anos.

Foi adotado o procedimento de Rodrigues *et al.*, (2004) adaptado, utilizando - se de períodos de vento meridional positivo, para detecção das frentes frias. Para isso, foram utilizadas cartas sinóticas do Serviço Meteorológico Marinho-SMM (Marinha do Brasil) e as figuras de frontogênese das reanálises do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos-CPTEC/INPE.

Para o cálculo de S, W e RTC, foram utilizadas as seguintes equações de Tundisi & Matsumura - Tundisi (2008). Esses parâmetros foram calculados para 5 meses de dados limnológicos, medidos tanto na represa Billings quanto na Guarapiranga, através de duas plataformas em tempo real, localizadas nos reservatórios.

Os dados climatológicos e limnológicos utilizados, constam da data de 01 a 13 de dezembro de 2007, constadas duas passagens de frentes frias. Para a caracterização dos períodos de circulação e estratificação térmica relacionados com a presença ou ausência de frentes frias, foram utilizados dados limnológicos de temperatura, pH e turbidez, obtidos com o uso de uma plataforma em tempo real com mecanismo para medidas do perfil da coluna d'água, do Instituto Internacional de Ecologia, localizada na boca do braço Taquacetuba da represa Billings, na RMSP.

Foi realizada análise de correlação, utilizando o programa computacional PAST ver. 1.88, de forma a permitir uma avaliação temporal entre a chegada da frente e a dinâmica do reservatório. O vento foi correlacionado com diferentes momentos dos parâmetros S, W e RTC, para determinação do período de defasagem (em dias) entre o evento vento e sua resposta no lago.

RESULTADOS

Foram calculados o regime mensal e a climatologia de frentes frias para cada estação (verão, outono, inverno e primavera). Os resultados mostram que três frentes frias, em média, atingem a RMSP por mês, num intervalo médio de 10 dias, sendo que essa frequência é maior na primavera e menor no verão. Rodrigues *et al.*, (2004) encontraram três frentes passando por Santa Catarina neste mesmo período, e segundo esses autores, esse número diminui na medida em que avança em direção a latitudes baixas, e o máximo ocorre no litoral argentino. A maior frequência desses sistemas ocorre na primavera (intervalo médio de 8 dias), e a menor no verão (intervalo médio de 11 dias). Mais especificamente, os meses que apresentaram maior ocorrência foram os de março a maio, e de agosto a dezembro, e as menores foram em janeiro, fevereiro, junho e julho. Os mínimos em fevereiro e junho fornecem boa correlação com os períodos de estratificação na coluna d'água durante o verão e inverno, observado por Sebastian (2004). A maior ocorrência desses fenômenos na primavera, e a mínima no verão, concordam com as verificações de Rodrigues *et al.*, (2004) e Andrade e Cavalcanti (2004).

Os valores de S, W e RTC calculados a partir dos dados limnológicos entre os dias 01 e 13 de dezembro de 2007, mostram que todos eles apresentam valores baixos (em módulo) durante a passagem dos sistemas frontais.

Para o cálculo das correlações, foi considerado que o mínimo de velocidade do vento representaria a chegada da frente fria, e os mínimos de S, W e RTC como o momento de máxima resposta desta no lago. Desta maneira, para se chegar ao valor da defasagem entre esses dois eventos, bastaria atrasar (recuar - las de um em um dia) as seqüências de dados limnológicos (S, W e RTC) de maneira a fazer com que seus picos e vales coincidisse com os dos dados de vento. Assim, o período entre a posição inicial e a máxima correlação representaria o tempo de resposta de um evento para o outro. Para a represa Guarapiranga, os valores das correlações mostraram - se maiores quando os parâmetros limnológicos foram comparados aos valores do vento numa defasagem de 2 e 3 dias após a chegada da frente fria. Isto indica que os maiores efeitos do sistema frontal sobre a circulação do lago ocorrem, em média, durante o segundo e terceiro dias pós - frontal. Para a represa Billings, os valores das correlações mostraram - se maiores para uma defasagem de 3 e 4 dias, indicando que os maiores efeitos do sistema frontal sobre a circulação deste reservatório ocorrem, em média, durante o terceiro e quarto dias pós - frontal. Esses valores representam o período médio de resposta entre o evento frente fria e sua máxima influência na circulação dos reservatórios. A diferença nas profundidades das duas represas pode explicar as diferenças das interações climáticas - limnológicas constatadas nas análises de correlação. A represa Billings possui maior profundidade (25 m) em relação à represa Guarapiranga (13 m), o que pode acarretar num maior tempo de resposta (3 a 4 dias) aos fatores climáticos.

CONCLUSÃO

Considerando a compatibilidade dos resultados encontrados aqui com outros obtidos por diferentes metodologias em estudos anteriores, pode-se dizer que a utilização do algoritmo para detecção de frentes, citado neste trabalho, pode ser considerada plausível para fins climatológicos, e para estudos limnológicos associados às represas.

A diferença nas profundidades das duas represas pode explicar as diferenças das interações climáticas - limnológicas constatadas nas análises de correlação. A represa Billings possui maior profundidade (25 m) em relação à represa Guarapiranga (13 m), o que pode acarretar num maior tempo de resposta (3 a 4 dias) aos fatores climáticos. Com respeito aos valores das correlações envolvendo W, estes não apresentaram os mesmos padrões de resposta à frente fria como S e RTC. Isto pode ser atribuído ao maior volume de água que uma maior profundidade possui. Desta forma, a periodicidade da influência dos fenômenos climáticos sobre o trabalho do vento (W) numa represa mais profunda é menor, como constatado para esta represa.

Os reservatórios de abastecimento de água da RMSP estão submetidos às frentes frias que atingem o sudeste com ventos e precipitação que interagem nos mecanismos de seu funcionamento e na sucessão fitoplanctônica, além de alterar a qualidade da água o que implica em modificações e adaptações no processo de tratamento para a potabilidade. Em primeiro lugar, deve-se considerar que a presença das frentes frias produz uma turbulência na coluna de água, a qual depende da força e direção dos ventos. Essa turbulência pode ser mais efetiva se os ventos atingirem de 8 a 10 m/s. Ela reorganiza o reservatório através de uma mistura vertical, promovendo a desagregação do florescimento de cianobactérias, resuspendendo sedimento do fundo do reservatório alterando a concentração de oxigênio dissolvido e a turbidez.

Quando cessa a frente fria e os ventos diminuem para 2 ou 3 m/s, há uma estabilização da coluna de água, alteração na concentração de O₂ dissolvido nas camadas profundas (diminuição) e episódios de cor e odor associados à desoxigenação e liberação de H₂S do fundo e também aumentando a concentração de manganês, o que promove degradação da qualidade.

Sendo assim, no que se diz respeito à indução turbulenta em reservatórios, pode-se dizer que os efeitos mais significativos da frente fria, com relação à atuação dos ventos, são nos 2 dias (até 3 dias) após a sua chegada. Isso porque, apesar do vento de norte nos dias anteriores ser mais forte, com média de 1,45 m/s, máxima média de 3,5 m/s e rajadas de 6,37 m/s, sua direção ainda é pouco definida (com 50% da velocidade média de nordeste, e 40% das rajadas de noroeste). Já nos dias seguintes, esse é predominantemente de quadrante sudeste (em torno de 90% da velocidade média, e 70% das rajadas), com média de 1,30 m/s, máxima média de 3 m/s e rajadas de 5,30 m/s, ou seja, com velocidade pouco inferior mas com o vento vindo sempre de um mesmo lugar.

É importante observar que os sistemas frontais podem ser mais ou menos intensos dependendo, dentre outros fatores, da época do ano em que atuam e da sua trajetória (mais ou menos próximo à costa). Além disso, essas velocidades podem ser ainda maiores sobre as represas, pois o vento medido na estação sofre influência do "dossel urbano". Também considera-se que os valores de correlação foram baixos, o que pode ser atrelado ao fato das medidas do vento não terem sido feitas exatamente no mesmo lugar das medidas limnológicas, como dito anteriormente. Por isso, estudos como esse, serão ainda mais precisos se forem utilizados dados de vento medidos exatamente sobre os reservatórios, idéia a qual será abordada em trabalhos futuros.

(Os autores gostariam de agradecer ao Instituto Internacional de Ecologia, pelos dados limnológicos e logística. À estação meteorológica do IAG/USP, por fornecer os dados meteorológicos. À FAPESP e CNPq pelo apoio financeiro, e a prefeitura municipal de São Paulo (Contrato no 056/SVMA/2008).)

REFERÊNCIAS

- Andrade, K.; Cavalcanti, I. F. A., 2004. Climatologia dos sistemas frontais e padrões de comportamento para o verão na América do Sul. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 13., 2004, Fortaleza. Anais...Fortaleza: SBMET, 1 CD - ROM.
- Escobar, G. C. J. , 2007. Padrões sinóticos associados a ondas de frio sobre a cidade de São Paulo. Revista Brasileira de Meteorologia, v.22, n. 2, p. 241 - 254.
- Lemos, C. F; Calbete, N. O., 1996. Sistemas Frontais que atuaram no Brasil de 1987 a 1995. Net. Climanálise especial, edição comemorativa de 10 anos. MCT/INPE - CPTEC. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/cliesp10a/14.html>. Acesso em 15 set. 2008.
- Rodrigues, M. L. G; Franco, D; Sugahara, S. Climatologia de frentes frias no litoral de Santa Catarina. Revista Brasileira de Geofísica, v.22, n. 2, p.135 - 151, 2004.
- Sebastien, N. Y. , 2004. Fenômenos climatológicos e hidrológicos e sua repercussão sobre a limnologia dos reservatórios de Barra Bonita - SP, Carlos Botelho (Lobo - Broa) - SP e Tucuruí - PA - Brasil. 2004. 179 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental)-Universidade de São Paulo.
- Tundisi, J. G; Matsumura - Tundisi, T; Arantes Junior, J. D; Tundisi, J. E; Manzini, N. F; Ducrot, R., 2004. The response of Carlos Botelho (Lobo, Broa) reservoir to the passage of cold fronts as reflected by physical, chemical, and biological variables. Brazilian Journal of Biology, v. 64, n. 1, p. 177 - 186.
- Tundisi, J. G; Matsumura - TUNDISI, T; ABE, D. S., 2007. Climate monitoring before and during limnological studies: a needed integration. Brazilian Journal of Biology, v. 67, n. 4, p.795 - 796.
- Tundisi, J. G; Matsumura - Tundisi, T., 2008Limnologia. São Paulo: Oficina de Textos. p. 66 - 93.