

RELAÇÕES ENTRE TEMPERATURA DO TOPO DE ATMOSFERA, DA SUPERFÍCIE DA ÁGUA E VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS: LAGO GUAÍBA (RS)

Relations between atmosphere top temperature, water surface and meteorological variables: Guaíba lake (RS)

Glenio Antonio da Luz*
Laurindo Antonio Guasselli**
Daniela Rocha Rocha***

***Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS / Porto Alegre, Rio Grande do Sul**
glenioluz@gmail.com

****Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS / Porto Alegre, Rio Grande do Sul**
laurindo.guasselli@ufrgs.br

*****Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS / Porto Alegre, Rio Grande do Sul**
danielasr87@yahoo.com.br

RESUMO

O Guaíba está localizado no estado do Rio Grande do Sul, onde se encontram uma complexidade de conjuntos de sistemas atmosféricos atuantes causando instabilidades atmosféricas e mudanças bruscas de temperatura durante a entrada de frentes frias que atuam sobre a temperatura da água. O objetivo consiste em analisar as anomalias na temperatura da água do Guaíba através de um recorte temporal embasado em imagens termais dos sensores Landsat 5 e 8 e dados meteorológicos. Para a realização do presente trabalho traçou-se perfis sobre as imagens termais onde se extraíram as médias dos *pixels*, para posteriormente, serem relacionadas com os dados meteorológicos. Quando se compara períodos de normalidade com anormalidade climática, observa-se que há um aquecimento das águas em períodos de El Niño e durante a La Niña há um aquecimento ainda maior. Os perfis com tendência de elevação ou manutenção das temperaturas, estão relacionadas com temperatura do bulbo seco, umidade relativa do ar e apresenta menor correlação com a pressão atmosférica e nebulosidade, não havendo ligação direta com os fenômenos El Niño e La Niña. A relação está diretamente ligada a entrada de frentes frias e precipitações em regiões da bacia hidrográfica e na área de abrangência do Guaíba.

Palavras-chaves: Sensoriamento Remoto. Meteorologia. Imagens Termiais. Lago.

ABSTRACT

The Guaíba Lake is located in the State of Rio Grande do Sul, where there is a complexity of atmospheric systems sets. The aim consists in to analyze the abnormalities in the Guaíba's water temperature through temporal scale founded in thermal images of Landsat 5 and 8 sensors, and compared to meteorological data. To make this paper profiles were delineated over the images where were extracted the temperature average which were related to the meteorological data. When comparing periods of climatic normality with climatic abnormality, it is observed that there is a heating of the waters in periods of El Niño and during La Niña there is an even greater heating. The profiles with temperature elevation or maintenance tendencies are related to the dry bulb, air humidity and with minor correlation with the atmospheric pressure and nebulosity, with no direct connection with the El Niño and La Niña phenomena. The connection is strictly joined to cold fronts and precipitations in the site and regions of the watershed.

Keywords: Remote Sensing. Meteorology. Thermal Images. Lake.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas a temperatura dos lagos vem sofrendo mudanças, como resultado do aumento da densidade populacional, do desenvolvimento econômico e das mudanças no uso e cobertura da terra. A limnologia, nos últimos 30 anos, vem se desenvolvendo com o objetivo de diagnosticar e prever essas mudanças na temperatura dos lagos e bacias hidrográficas, (WILLIAM, 2000).

Os ecossistemas de água doce são vulneráveis aos efeitos de mudanças no meio ambiente. Os lagos são sentinelas de mudanças climáticas e dos efeitos indicadores de respostas global de mudanças climáticas (CALIMAN et al., 2010; SHARMA, 2015) e funcionam como um sistema integrado com o clima e fatores de cobertura do solo. Os lagos são importantes componentes da superfície terrestre e podem ser utilizados como parâmetros para esquemas numéricos de previsão do tempo. Possuem largo contraste de temperatura de superfície entre a terra e a água, assim como variação temporal de Temperatura de Superfície de Lago (TSL), tanto na escala diurna quanto na sazonal, (BALSAMO *et al.*, 2010).

A temperatura de superfície pode diretamente ou indiretamente influenciar nos processos físicos, químicos e biológicos dos lagos, incluindo a temperatura da zona fotossintética e também a estabilidade da coluna de água, produtividade primária, mudanças nas espécies de peixes e aparecimento de espécies invasoras, (SHARMA, 2015).

A influência do vento atua não somente na TSL, mas também no nível da lâmina de água. Além disso, a TSL é afetada também pela maré e a entrada de água dos efluentes, (Pereira, 2010). A variabilidade climática sobre a região do Guaíba dificulta o estabelecimento de padrões e relações de temperatura entre a água e a atmosfera.

Há uma intensa relação entre as características atmosféricas com a temperatura da água dos lagos. Em regiões com grandes variações sazonais na temperatura, ocorre influência sobre a dinâmica temporal da sua ecologia, (CALIMAN et al., 2010). A temperatura de superfície é um fator importante para a sua hidrodinâmica e ecologia, mudanças na temperatura da água podem afetar os processos da história de vida de um lago e processos vitais nos organismos (metabolismo, crescimento e reprodução), (TOFFOLON et al., 2014).

Mudanças no clima e nas variáveis meteorológicas (precipitação, velocidade do vento, radiação solar e temperatura do ar) como resultado global de mudanças climáticas tem influência direta na qualidade da água dos lagos. Os efeitos podem variar de magnitude, dependendo das suas características físicas como, por exemplo: lagos eutrofizados com longo tempo de residência de água, alta quantidade de concentração de fósforo e com alta produção de fitoplâncton poderão trazer problemas em um cenário de aquecimento global.

Estatísticas sobre a relação entre a condição meteorológica e a qualidade da água indicam um aumento químico de demanda de oxigênio na água e redução da transparência, que tem como causa um aumento da temperatura do ar. Mudanças na temperatura do ar, da água do lago e dinâmica na estratificação das temperaturas podem ter marcado impacto biológico e químico no interior do lago, (HAMMOUD; PRYCE, 2007).

A temperatura da superfície da água obtém alta significância entre concentração de sólidos dissolvidos e carbono orgânico; substâncias sólidas podem afetar as taxas de temperaturas do sistema aquático através da interação da absorção de calor, (CALIMAN et al., 2010).

A TSL é resultado dos fluxos de calor na superfície de um lago, entrada e saída de águas (subterrâneas, afluentes, etc), precipitação, transporte de calor através da mistura de águas de temperaturas diferentes, entre outros. Estas, por sua vez, dependem de outras variáveis como radiação solar, temperatura do ar, velocidade e direção do vento, nebulosidade, umidade relativa, dentre outras, (TOFFOLON et al., 2014).

Mapas de TSL, construídos através de imagens de sensores orbitais termais podem ser utilizados para auxiliar em estudos da influência da direção dos ventos no sistema lacustre. Os

efeitos meteorológicos e climáticos modificam os parâmetros físicos de um lago, principalmente na camada superficial, (OESCH et al., 2005).

Entretanto, para análise das mudanças de temperatura da água de um lago é necessário um método operacional, utilizado para fazer a modelagem histórica objetivando a compreensão dos processos relacionados a respostas hidrológicas, meteorológicas e geomorfológicas (influência da topografia no condicionamento e orientação de ventos locais) que darão uma ampla abrangência no entendimento do condicionamento da TSL, (MICHAEL et al., 2000).

O lago Guaíba, no estado do Rio Grande do Sul, é afetado por diversos sistemas meteorológicos, dentre eles destacam-se os Sistemas Frontais e Sistemas Convectivos de Mesoescala, responsáveis pelas precipitações na região. Os Sistemas Frontais, caracterizados pelo encontro de duas massas de ar com características diferentes, causam mudanças bruscas na temperatura do ar em superfície. Os ecossistemas aquáticos possuem dinâmicas próprias, distintas dos demais, com características particulares que sofrem variações com a passagem de sistemas frontais, que são influenciados pela temperatura do ar, vento e outras grandezas meteorológicas, (XAVIER, 2014).

O Guaíba possui uma complexidade de fatores ambientais que influenciam na sua dinâmica, tais como presença de áreas urbanizadas e agrícolas ao longo de suas margens; topografia de planícies intercaladas com morros; hidrografia composta de rios com diferentes dinâmicas; ventos com dinâmica de variação de direção ao longo dia e de acordo com a estação do ano.

Assim este estudo tem como objetivo analisar a origem das ocorrências de anomalias nas temperaturas no lago Guaíba, orientando-o em um arcabouço espaço-temporal embasado em banco de dados meteorológicos e de imagens Landsat sensor termal.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A região hidrográfica do Guaíba está localizada nas províncias geomorfológicas ao norte, o Planalto da Bacia do Paraná, onde se localizam as cotas altimétricas mais elevadas do estado, a Depressão Periférica, com as menores altitudes e ao sul o Planalto Sul-Rio-Grandense (Escudo Sul-Rio-Grandense), (SEMA, 2015). O lago Guaíba localiza-se na Região Metropolitana de Porto Alegre, leste do estado do Rio Grande do Sul, nas coordenadas de longitude 51°00'38" a 51°21'34" Oeste e de latitude 29°57'21" a 30°26'04" Sul (Figura 1).

Segundo o Comitê do Lago Guaíba (2011) o Guaíba é constituído pelas bacias hidrográficas dos rios Jacuí (84,6%), Sinos (7,5%), Caí (5,2%) e Gravataí (2,7%). O restante vem das águas situadas em arroios que deságuam em suas margens. Tem uma bacia de acumulação de água de 1,5 bilhões de metros cúbicos, com extensão de 50 km e largura que varia de 1 a 20 km.

Como proposta metodológica para responder aos objetivos desse estudo, traçou-se um perfil definido de Norte ("N" coordenadas Lat. Long. 51°14'22,923"W 30°1'36,76"S), a Sul ("S" coordenadas Lat. Long. 51°3'38,198"W 30°24'14,619"S) no Guaíba (Figura 1), sobre as cartas batimétricas da marinha brasileira, com comprimento de 54,48783 km, de norte a sul nas áreas mais profundas do canal de navegação. Esse traçado permite verificar as tendências de aumento ou queda das temperaturas ao longo do percurso da água. Posteriormente, foram relacionadas essas tendências com dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

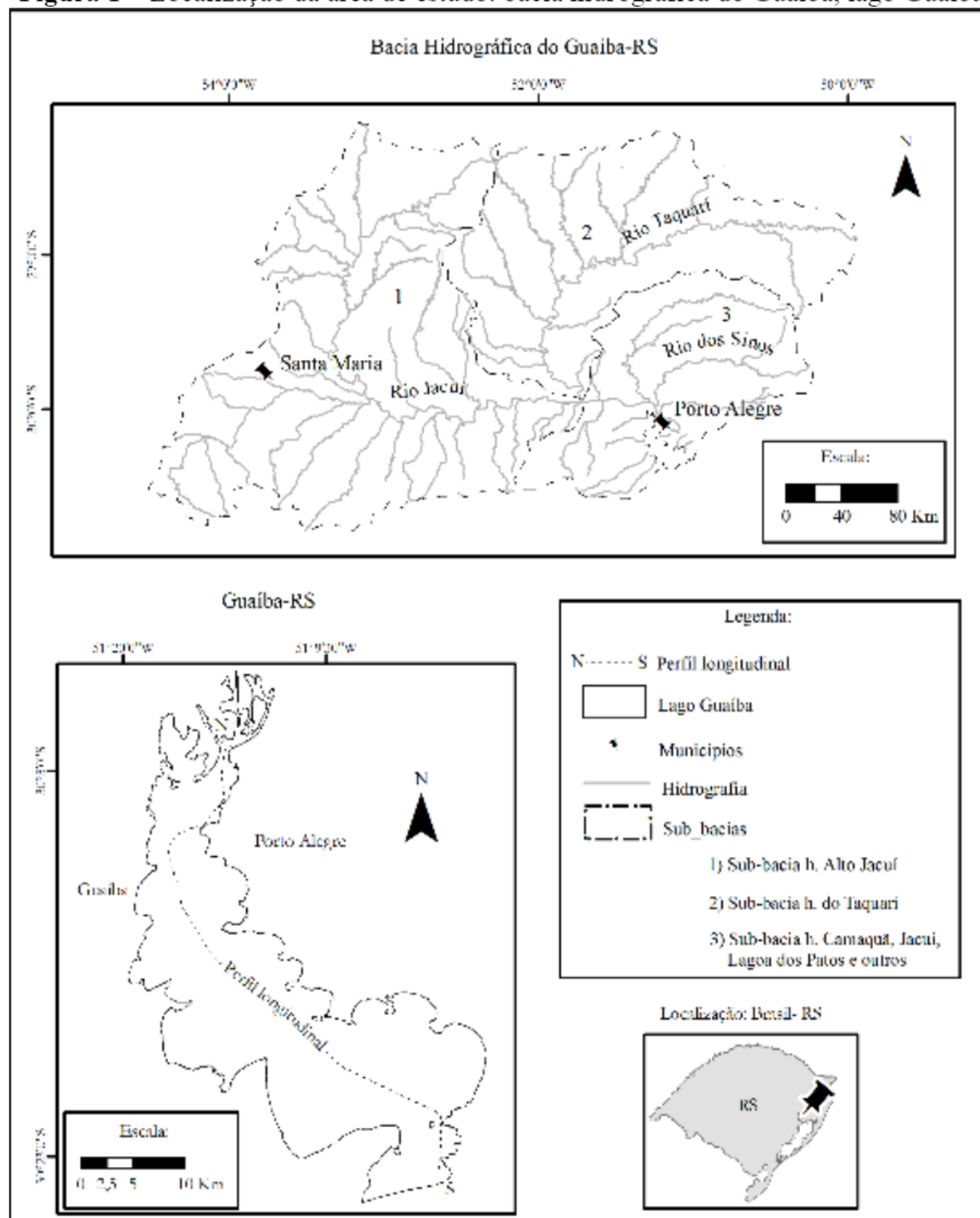
Os dados do comportamento das tendências de temperaturas do Guaíba foram relacionados com informações de períodos de normalidade/anormalidade climática (El Niño e La Niña), obtidas na página da *National Oceanic and Atmospheric Administration*- *National Weather Service- Climate Prediction Center* (NOAA).

Uma análise prévia sobre os dados de temperatura obtidos no Departamento Municipal de Água e Esgoto de Porto Alegre (DMAE) mostrou não ser possível trabalhar com dados de TSL do Guaíba, tendo em vista o intervalo temporal das coletas, incompatível com a passagem do

satélite Landsat. Desse modo optou-se por trabalhar com dados de Temperatura do Topo de Atmosfera (TOA), dos Satélites Landsat 5 e Landsat 8, a partir das bandas termais (banda 6 e banda 10, respectivamente).

A banda 6, do termal do Landsat 5, possui uma resolução espacial de 120 m e radiométrica de 10,4 μm a 12,50 μm . Já a banda 10, do termal do Landsat 8, possui uma resolução espacial de 100 m e radiométrica de 10,60 μm a 11,19 μm (USGS, 2016). São bandas termais semelhantes, ambas podem responder de modo significativo, a relação e o comportamento das temperaturas de um lago. É claro que dados não calibrados com dados de campo não representam a temperatura real da superfície, mas podem representar a variabilidade de temperatura.

Figura 1 – Localização da área de estudo: bacia hidrográfica do Guaíba, lago Guaíba



As informações das imagens foram coletadas no site da *EarthExplorer* (2016) em formato ".txt", 28 imagens sem coberturas de nuvens e a partir do *download* no site da Evolved Expendable Launch Vehicle Secondary Payload Adapter (ESPA) (2016), obtidas em extensão "geotiff", já processadas e transformadas em valores de TOA (em °C). Em função da cobertura de nuvens, os meses de maio e agosto, foram descartados. Os satélites, Landsat 8 e Landsat 5, cobrem o Guaíba entre UTC 13:00 a 13:20 (USGS, 2016), fato esse levado em consideração para a aquisição de dados no site do Instituto Nacional de Meteorologia, INMET - BDMEP (2016).

A partir do *software* ENVI 4.8 extraiu-se os valores de TOA dos *pixels* ao longo do perfil (Norte-Sul) sobre as imagens e gerados gráficos de tendência de TOA do Guaíba.

A estação do INMET está localizada em Porto Alegre (OMM: 83967- nas coordenadas: O 51°09'36" e S 30°03'00"), com altitude de 46,97 m. Foram coletados os seguintes dados meteorológicos: temperatura bulbo seco, temperatura bulbo úmido, umidade relativa, pressão atmosférica na estação, direção do vento, velocidade vento e nebulosidade nos horários UTC (Coordenada de Tempo Universal) das 18:00 horas do dia anterior à imagem e das 00:00 e 12:00 horas do dia de aquisição da imagem. Foi calculada a média (Equação 1) para cada data com imagem. Essas médias foram correlacionadas (Equação 3) com a média de 1588 valores de *pixels* de TOA das imagens Landsat 5 e 8 (Equação 2).

$$x = \frac{18:00 + 00:00 + 12:00}{3} \quad (1)$$

$$y = \frac{TOA}{1588} \quad (2)$$

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (xi - x)(yi - y)}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (xi - x)^2 \right] \left[\sum_{i=1}^n (yi - y)^2 \right]}} \quad (3)$$

Em que: x corresponde aos dados meteorológicos do INMET nos horários UTC; y as médias das TOAs; p a correlação entre x e y.

Posteriormente verificou-se a diferença entre a temperatura do ar bulbo seco/úmido (média utilizando os três horários) e a TOA da água (média dos *pixels* ao longo do perfil) das imagens, e gerada a correlação destes com a média dos valores de TOA (água) dos perfis. Esta análise permitiu verificar a relação entre a diferença de temperatura entre o ar e a água durante um longo tempo de influência do ar sobre a água.

Para verificar a influência das massas de ar no Guaíba, utilizou-se a temperatura do ar bulbo seco/úmido as 12:00 horas (por ser o horário mais próximo da passagem do satélite) subtraído da TOA da água (média dos *pixels* ao longo do perfil) nas imagens. Destaca-se que pode haver influência de fluxos de ressurgimentos de massas de água do fundo com temperatura diferente da superfície, contrastando com a influência da temperatura do ar sobre a superfície da água.

Os dados de anormalidade (El Niño e La Niña) e normalidade climática foram extraídos da base de dados do site da NOAA (2016).

Buscando analisar se os dados do INMET são suficientes para responder anormalidades nos perfis, foi necessário utilizar os dados históricos de entrada de frentes frias no estado do Rio Grande do Sul, conforme disposto no *site* do CPTEC- INPE (2016). Foi realizada uma análise indutiva e integrada dos dados meteorológicos locais (dados do INMET- Porto Alegre) com relação a dados de escalas menores (CPTEC-INPE: Boletim Climatológico- América do Sul).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O efeito da sazonalidade é significativo nas médias das TOAs no Guaíba (verão 23,9°C, outono 19,3°C, inverno 12,3°C, primavera 20,1°C). Observa-se um contraste nas TOAs, nos meses de janeiro e dezembro, durante o El Niño, que há um aquecimento acima do normal (+1,24°C e +1,68°C respectivamente) e em períodos de La Niña, em março, também há tendência de aquecimento das TOAs (+0,66°C).

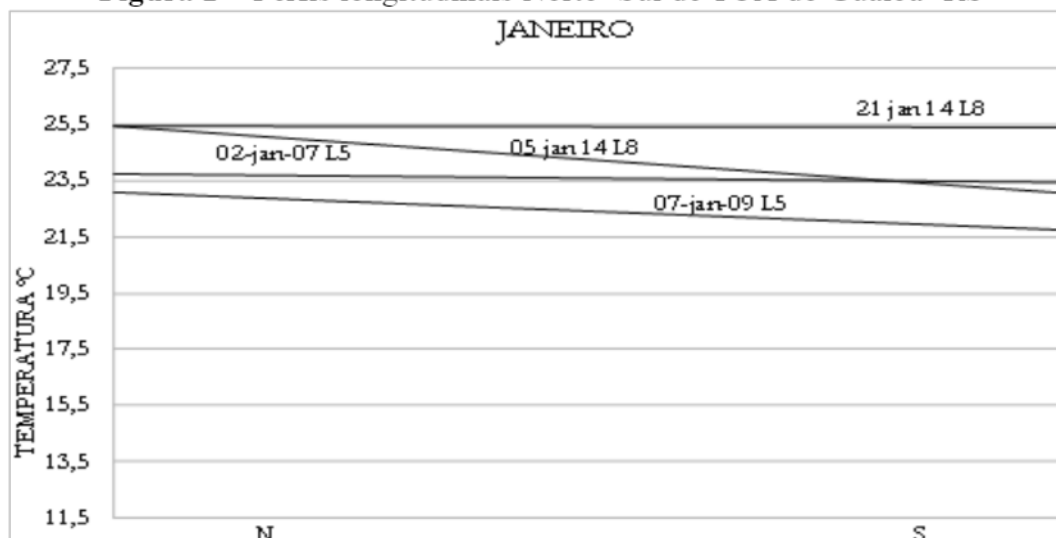
Observa-se que a diferença entre as temperaturas na entrada do Guaíba e na saída junto a lagoa dos Patos, as TOAs são inferiores a variações de +/- 3°C para todas as imagens analisadas. De acordo com Zanotta et al., (2009) as diferentes estruturas termais podem ser devidas à complexa circulação interna relacionada a parâmetros batimétricos, meteorológicos, sazonais e até aspectos como sistemática de ventos e entrada de águas externas providas de bacias da região. Não havendo uma relação direta entre períodos de anormalidade/normalidade climática com perfis de TOAs com decréscimo/acrécimo das temperaturas ao longo do canal, como pode ser observado no descrito a seguir. A maioria das TOAs, são de tendência a perda de temperatura ao longo do canal de navegação.

No período do verão, como pode ser observado em janeiro ao longo do canal de navegação do Guaíba, Figura 2(a). Os perfis mostram uma tendência ao declínio das temperaturas na medida em que se aproxima da jusante na lagoa dos Patos, a diferença dos valores de entrada e saída variam entre 2,1°C a 0,6°C; na Figura 2(b), na imagem do dia 06 de fevereiro de 2014 observa-se um decréscimo acentuado das temperaturas (1,5°C) ao aproximar-se da jusante do Guaíba ao sul. Mesma situação em março observa-se que todos os perfis possuem tendência ao declínio das temperaturas ($\Delta = -0,45^\circ\text{C}$), na medida em que se aproxima da foz, Figura 2(c). Na Figura 2(d), os dias 13 e 29 de abril de 2009, períodos de normalidade climática, as temperaturas tendem a diminuir (-1,3°C e -0,9°C respectivamente); dia 08 de junho de 2006, Figura 2(e), período de normalidade climática, da mesma forma que na maioria dos casos, a tendência é a perda gradativa de temperatura (aproximadamente -0,1°C); dia 02 de julho de 2009 é o declínio acentuado ao longo do canal de navegação, Figura 2(f), visto que está em um início de período de anormalidade climática (El Niño); dia 29 de setembro de 2009 (período de El Niño) observa-se uma tendência a perda de temperatura (-1,0°C), Figura 2(g).

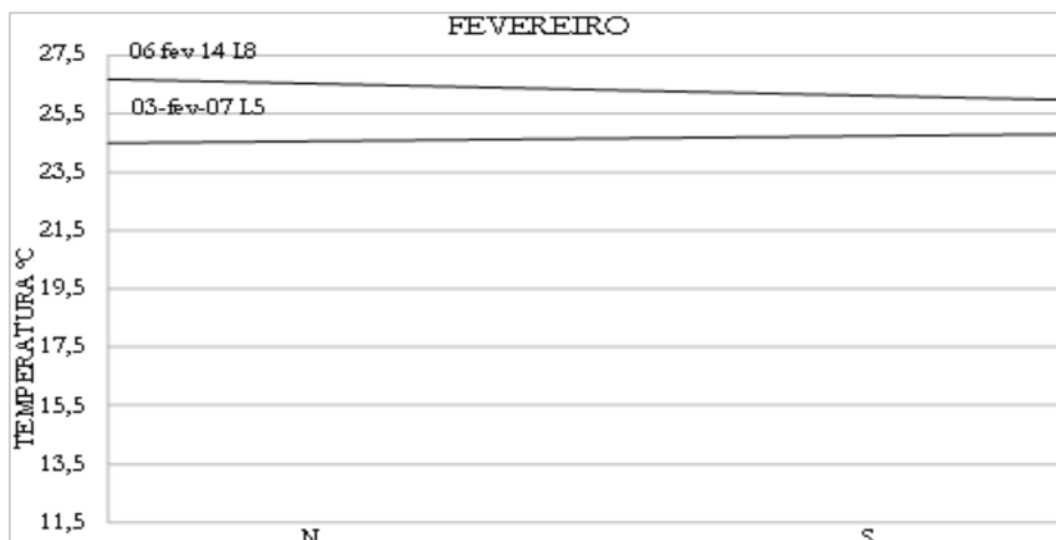
Na primavera, quando comparado a períodos de normalidade climática observa-se, no mês de outubro um aquecimento das águas em períodos de El Niño ($\Delta = +0,95^\circ\text{C}$). Durante a La Niña um aquecimento ainda maior ($\Delta = +2,64^\circ\text{C}$), fato também observado em novembro, quando as TOAs estão mais quente ($\Delta = +2,27^\circ\text{C}$) do que em períodos de El Niño ($\Delta = +1,91^\circ\text{C}$). A partir de 01 de outubro de 2007 (período de La Niña) e 14 de outubro de 2006 (El Niño), Figura 2(h), observa-se uma tendência ao declínio gradual das temperaturas (-1,4°C e -1,3°C respectivamente) na medida em que se aproxima da jusante. Em novembro as temperaturas estão próximas de 18 a 22,5°C, Figura 2(i), também com tendência ao declínio. Já o perfil do dia 20 de outubro de 2014 (período de normalidade climática), observa-se um aumento das temperaturas, aproximadamente +0,1°C. Em 18 de novembro 2013 (período de normalidade climática) observa-se as maiores temperaturas ($\Delta = 21,6^\circ\text{C}$). Em dezembro a tendência do comportamento das temperaturas é semelhante a maioria das tendências dos perfis do ano, com queda de temperatura ao se aproximar da foz, Figura 2(j).

Em períodos de anormalidade climática ocorrem maiores oscilações nas temperaturas ao longo do perfil, assim como uma redução das temperaturas quando comparado com período de normalidade climática, que podem ser observadas em: 10 de novembro de 2010 ($-0,2^{\circ}\text{C}$ na La Niña), 30 de novembro de 2006 ($-0,9^{\circ}\text{C}$ no El Niño), 15 de novembro de 2006 ($-1,3^{\circ}\text{C}$ no El Niño). No dia 30 de novembro de 2006, verifica-se a ausência de perdas significativas de temperaturas ao longo do Guaíba e de modo mais intenso no dia 12 de novembro, período de normalidade climática, onde há aumento de temperatura ($+0,4^{\circ}\text{C}$).

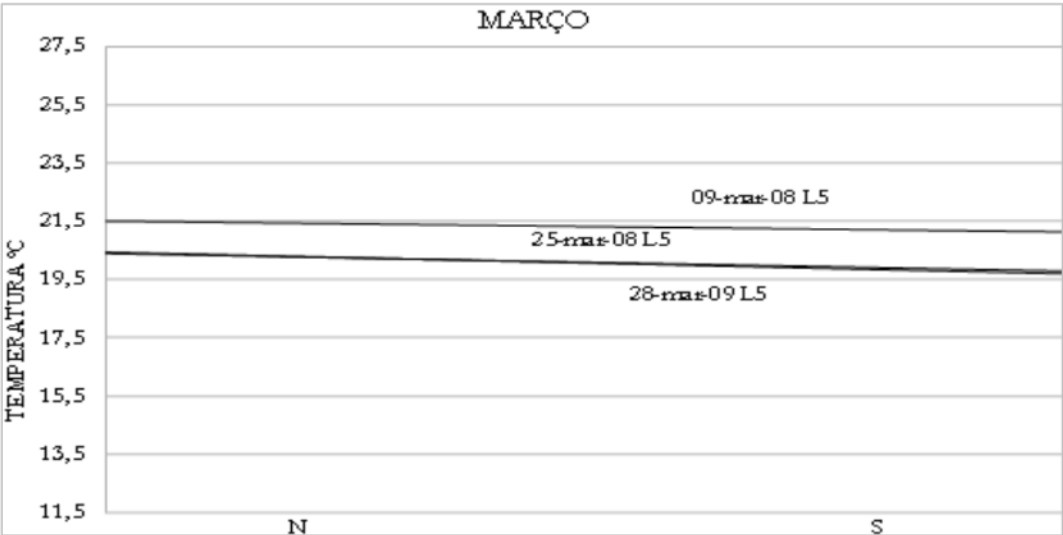
Figura 2 – Perfis longitudinais Norte- Sul de TOA do Guaíba- RS



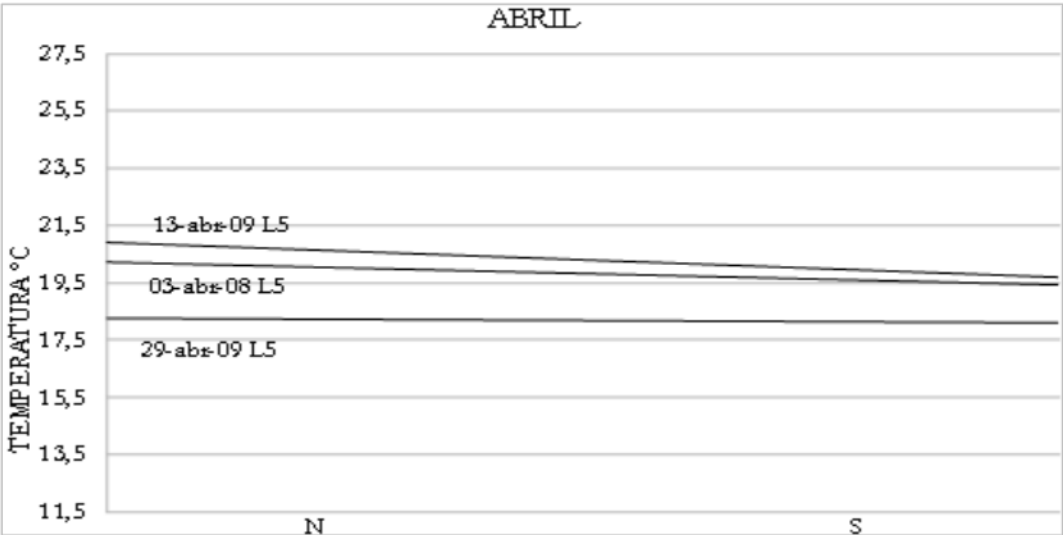
(a) janeiro



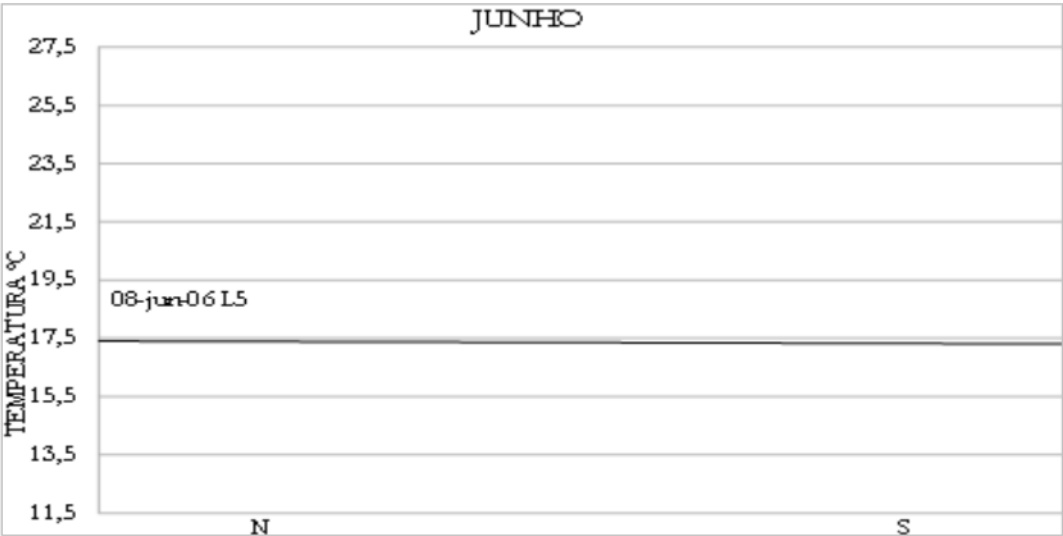
(b) fevereiro



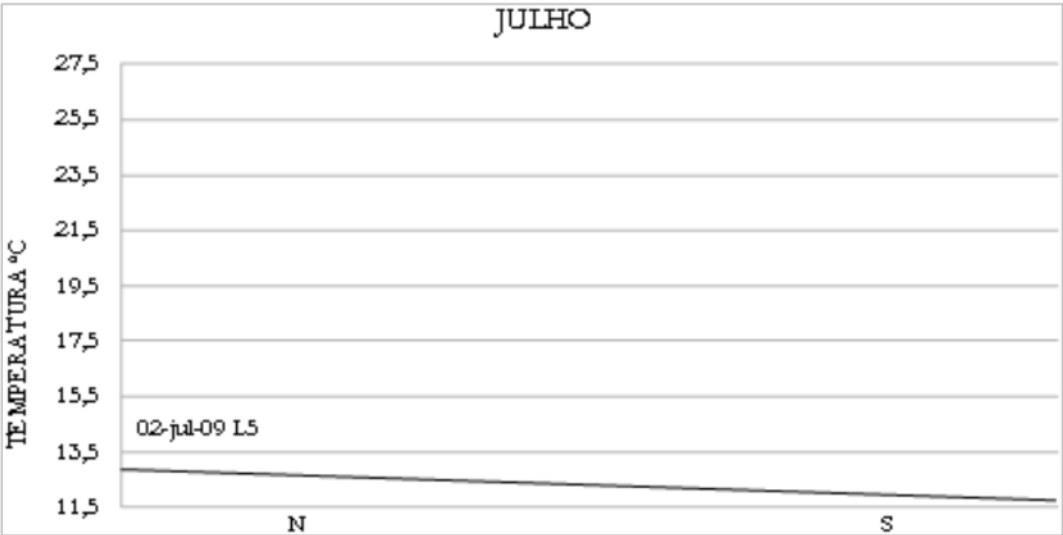
(c) março



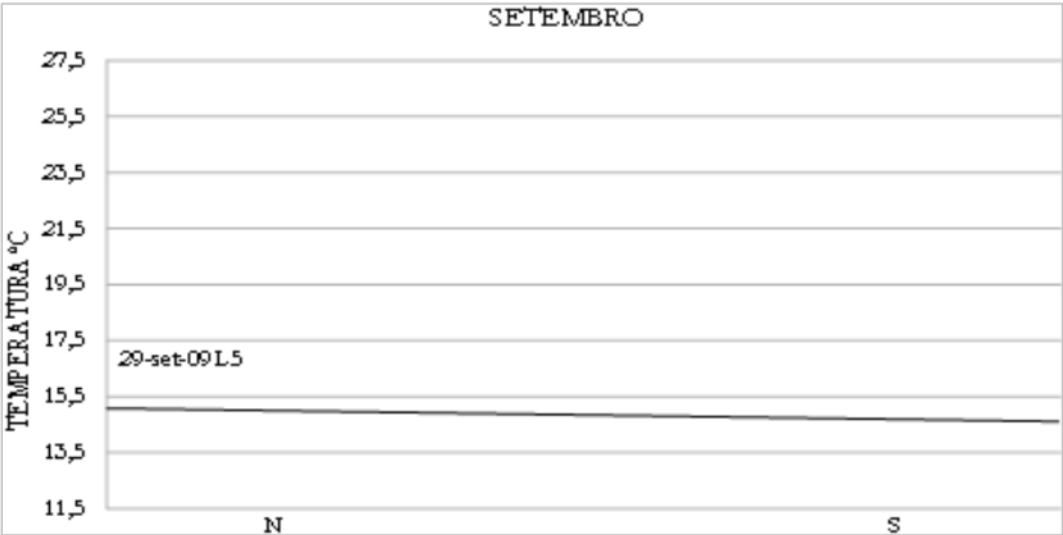
(d) abril



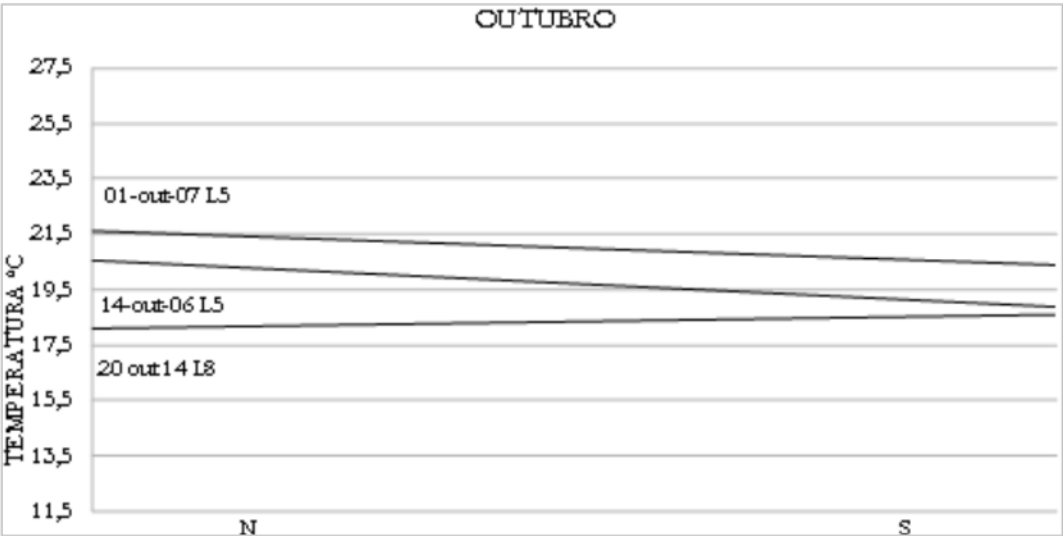
(e) junho



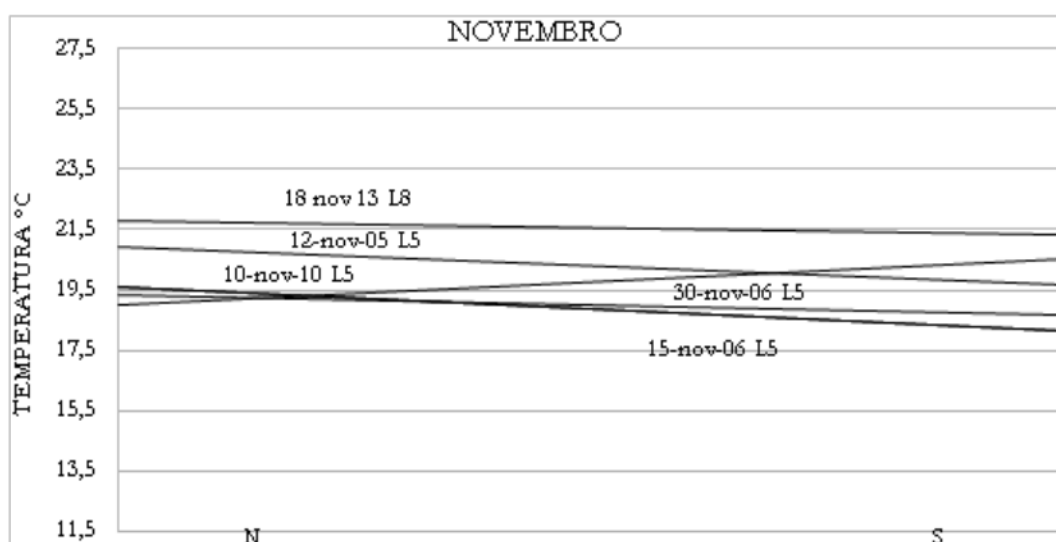
(f) julho



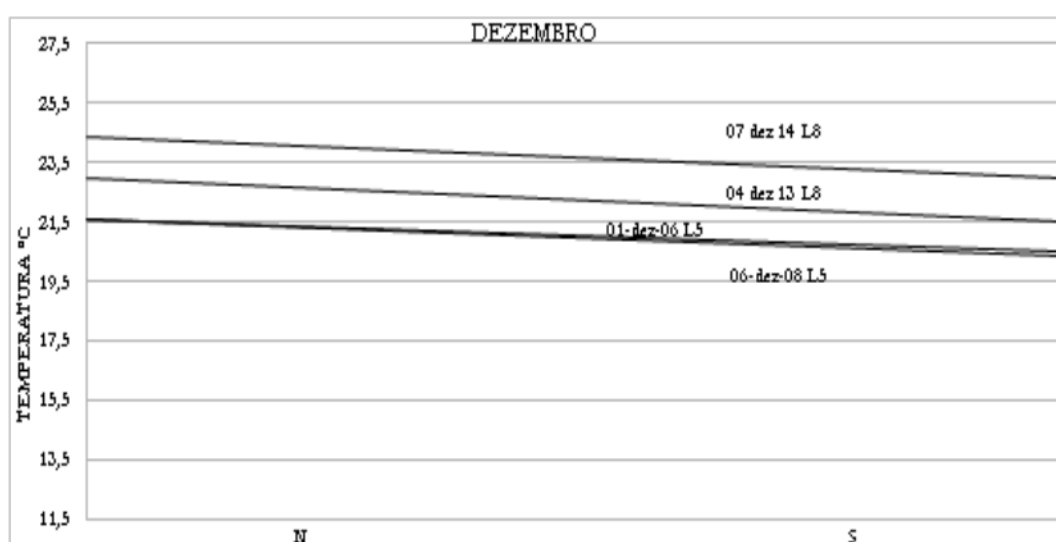
(g) setembro



(h) outubro



(i) novembro



(j) dezembro

3.1. Correlações entre temperatura de topo de atmosfera e variáveis meteorológicas

As correlações dos perfis de todas as imagens de TOA do Guaíba com variáveis meteorológicas do INMET (Quadro 1) mostram que a temperatura média do bulbo seco tem uma correlação de 0,88, seguida de uma correlação de 0,82 para temperatura média do bulbo úmido; já a média da umidade relativa possui uma correlação de -0,74. Quando comparadas todas as correlações, observa-se um aumento da correlação do bulbo seco nas 12:00 horas subtraído da TOA da água com perfis de tendência ao declínio da temperatura (correlação de 0,63).

O Quadro 1 foi elaborado com base nos dados do INMET, nos seguintes horários: 18:00 do dia anterior, às 00:00 e 12:00 do dia de aquisição da imagem e médias com base nos três horários. Os dados meteorológicos foram correlacionados com os valores de TOA (média dos pixels coletados ao longo dos perfis feitos sobre as imagens).

Nos perfis com tendência a elevação das temperaturas, na medida em que se aproxima da jusante do Guaíba, verifica-se, que, de um modo geral, as correlações ficam mais elevadas quando comparadas com as demais tendências. A correlação da temperatura média do bulbo seco

é de (0,96), seguida pela temperatura média bulbo úmido (0,91), acompanhada de uma considerável correlação da média da umidade relativa (-0,94), nebulosidade (-0,87) e média da pressão atmosférica (-0,72).

Em relação aos perfis com tendência ao declínio das temperaturas, na medida em que se aproxima da jusante, de um modo geral, possuem correlações menores, quando comparados com os demais. Os valores mais elevados estão relacionados a média da temperatura do bulbo seco (correlação de 0,85 e $R^2 = 0,1724$) e média da temperatura do bulbo úmido (correlação de 0,81 e $R^2 = 0,005$).

Quadro 1 – Correlações e erros médios quadráticos entre as temperaturas de brilho de topo de atmosfera e os dados meteorológicos, Guaíba -RS

Dados	Perfis de TOA no Guaíba		
	Todas as imagens	Com tendência a elevação a jusante	Com tendência ao declínio a jusante
Temp. bulbo seco (média) – água	Correl.= 0,42 $R^2 = 0,1187$	Correl.= 0,78 $R^2 = 0,6104$	Correl.= 0,34 $R^2 = 0,1724$
Temp. bulbo úmido (média) – água	Correl.= -0,07 $R^2 = 1E-05$	Correl.= 0,57 $R^2 = 0,328$	Correl.= 0,00 $R^2 = 0,005$
Temp. bulbo seco 12:00 – água	Correl.= 0,60 $R^2 = 0,3992$	Correl.= 0,45 $R^2 = 0,2033$	Correl.= 0,63 $R^2 = 0,3581$
Temp. bulbo úmido 12:00 – água	Correl.= 0,18 $R^2 = 0,075$	Correl.= -0,28 $R^2 = 0,0797$	Correl.= 0,27 $R^2 = 0,0327$
Temp. bulbo seco (média)	Correl.= 0,88 $R^2 = 0,7265$	Correl.= 0,96 $R^2 = 0,9257$	Correl.= 0,85 $R^2 = 0,7696$
Temp. bulbo úmido (média)	Correl.= 0,82 $R^2 = 0,6491$	Correl.= 0,91 $R^2 = 0,8307$	Correl.= 0,81 $R^2 = 0,6653$
Umidade relativa (média)	Correl.= -0,74 $R^2 = 0,4344$	Correl.= -0,94 $R^2 = 0,8766$	Correl.= -0,66 $R^2 = 0,5416$
Pressão atm. na estação (média)	Correl.= -0,52 $R^2 = 0,2255$	Correl.= -0,72 $R^2 = 0,522$	Correl.= -0,47 $R^2 = 0,2723$
Velocidade do vento (média)	Correl.= 0,19 $R^2 = 0,07$	Correl.= 0,17 $R^2 = 0,7485$	Correl.= 0,20 $R^2 = 0,1379$
Nebulosidade (média)	Correl.= -0,37 $R^2 = 0,0393$	Correl.= -0,87 $R^2 = 0,0289$	Correl.= -0,26 $R^2 = 0,0367$

Fonte: INMET (2016).

Os perfis com tendência ao declínio das temperaturas na medida em que se aproxima da foz, suas correlações mantiveram-se significativa, mas inferior quando comparada com os demais perfis, de modo que os R^2 tendem a manterem-se baixos ou semelhantes em relação a os outros. Não havendo correlação da temperatura média do bulbo úmido subtraído temperatura da água com a TOA da água.

3.2. Relação TOA (perfil de aquecimento) com frentes frias: fatores que contribuem no aquecimento das águas do Guaíba na medida em que se aproxima da lagoa dos Patos

Com base em dados de sensoriamento remoto, imagens Landsat 5 e Landsat 8 sensor termal, dados de temperatura de topo de atmosfera, num total de 28 imagens, 21 apresentaram tendência a queda da temperatura à medida que se aproximava da lagoa dos Patos. Apenas sete imagens apresentaram tendência ao aquecimento ao longo de seu percurso. Estas sete imagens (com perfil de aquecimento) foram separadas e analisadas, buscando entender o que contribui para esse padrão.

De acordo com o CLIMANÁLISE, entre os dias 10 a 15 de novembro de 2005, houve a ocorrência de episódio da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). A primeira massa de ar frio ingressou no dia 05, permanecendo no extremo sul do Rio Grande do Sul até o dia 07. No período de 08 a 12, este anticiclone frio atuou na faixa litorânea das regiões Sul e Sudeste (CLIMANÁLISE, 2016).

Em Porto Alegre e Santa Maria, no dia 12 de novembro de 2005 (Quadro 2), não se observou a presença de frente fria. Porto Alegre ficou sobre o efeito do terceiro sistema frontal, que atuou no extremo sul do Rio Grande do Sul, no dia 14, desviando-se para o oceano no dia seguinte (CLIMANÁLISE, 2016).

Em novembro em 2006, sob o efeito do El Niño, as precipitações pluviais foram ocasionadas pela atuação de frentes frias na região Sul, chovendo acima da média histórica para o mês. O último anticiclone do mês de novembro atuou de 26 a 27 no Sul do Brasil e deslocou-se pelo litoral dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, em direção ao oceano. Houve queda de temperatura de até 2,0°C em algumas cidades destes Estados (CLIMANÁLISE, 2016). No dia 30, Porto Alegre e Santa Maria estiveram sobre efeito de uma massa de ar polar tropicalizada em fase de aquecimento basal durante o período de aquisição da imagem de satélite.

Em janeiro de 2006 o El Niño já em fase de enfraquecimento. As últimas frentes frias, anterior ao dia 02 de janeiro de 2006, ocorreram no final de dezembro, originaram-se a partir de ciclogêneses entre Uruguai e Argentina. Estes sistemas seguiram para o oceano Atlântico, onde se posicionaram e contribuíram para a formação de dois episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). O terceiro anticiclone, em dezembro de 2006, atuou na retaguarda do quarto sistema frontal, posicionando-se nos setores central e litoral da região Sul no dia 27 (CLIMANÁLISE, 2016).

A última frente fria de 2006 a atingir Porto Alegre foi nos dias 26 a 27 dezembro de 2006 e em Santa Maria dia 26 dezembro (Quadro 2).

Quadro 2 – Ocorrência de Sistemas Frontais

Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Dia/					
POA												I		F					F	F	F	F			F	F	F				nov/05					
SM												I													F	F	F					nov/05				
POA						F	F	F									F	F	F	F	F					F				I	nov/06					
SM						F	F									F	F	F	F	F						F				I	nov/06					
POA																					F					F	F				dez/06					
SM																					F					F					dez/06					
POA		I			F	F	F							F						F	F	F							F	F	jan/07					
SM		I											F							F	F										jan/07					
POA			I					F										F	F												fev/07					
SM			I					F										F													fev/07					
POA		F		F									F	F	F											F			F	F	abr/08					
SM		F		F									F	F	F														F	F	abr/08					
POA			F	F																	I				F						jan/14					
SM			F	F																	I					F					jan/14					
POA	Sem informações																														out/14					
SM	Sem informações																														out/14					
Legenda:	F		Frente Fria										I		Imagem																Frente Fria/Imagem					

Fonte: Modificado de CPTEC-INPE (2016).

Em fevereiro de 2007 houve a ocorrência de dois episódios de ZCAS onde ocorreram chuvas acima da média na região Nordeste, e, abaixo da média na região Sul (CLIMANÁLISE,

2016). A frente fria que antecedeu o dia 03 de fevereiro de 2007 consiste na quarta frente fria do mês de janeiro de 2007, que segundo o CLIMANÁLISE (2016) formou-se a partir de uma ciclogênese que se configurou no dia 27, a leste da Província de Buenos Aires. Esta frente fria atuou mais a leste da região Sul entre os dias 28 e 29 trazendo chuvas. Como pode ser observado no Quadro 2 a frente fria atuou apenas nas regiões litorâneas durante os últimos dias do mês de janeiro de 2007, dias que antecedem a data da imagem (início do mês fevereiro).

O mês de abril de 2008 foi marcado por enfraquecimento do fenômeno La Niña. O primeiro sistema frontal formou-se sobre o oceano, na altura do Rio Grande do Sul (CLIMANÁLISE, 2016). Segundo Berlato e Fontana (2003) durante períodos de La Niña, há probabilidade de 75 % dos déficits hídricos serem maiores que 100 mm na metade sul do estado do Rio Grande do Sul (Região da Campanha e Litoral Sul). No dia em que a imagem foi adquirida (03 de abril de 2008), o Guaíba e a Região Central do Estado estavam sobre efeito de uma frente fria que não causou nebulosidade sobre a área de estudo.

Em janeiro de 2014 a fraca atividade frontal provocou chuvas acima da média em grande parte do estado do Rio Grande do Sul. No período entre 21 a 24 verificou-se a atuação do jato em baixos níveis, contribuindo para a intensificação da baixa do nordeste, causando grandes instabilidades na região sul do Brasil (CLIMANÁLISE, 2016).

Conforme o Quadro 2, no dia 21 de janeiro de 2014 Porto Alegre não está sobre domínio de frente fria, devido a fraca intensidade ela chegou até Santa Vitória dos Palmares no dia 20 (CLIMANÁLISE, 2016), não prosseguindo para norte. Nas Regiões do Guaíba e das nascentes do rio Jacuí, principal contribuinte de águas do Guaíba, não estão sobre domínio de frente fria.

3.3. Análise dos dados

As imagens de sensoriamento remoto termal, sem correção radiométrica, podem ser utilizadas para avaliar padrões espaciais, dentro de uma única imagem e apresentam uma série de vantagens na avaliação da temperatura da água, tais como: permite cobertura regional, monitoramento sistemático e com baixo custo, além de dados em múltiplas escalas, (HANDCOCK et al., 2012). A obtenção de um perfil longitudinal consiste na criação do modelo, utilizado para a compreensão do comportamento da estrutura termal do fluxo de água, (FAUX et al., 2001).

A tendência nas temperaturas da água, ao manterem-se ou declinar, na medida em que se aproxima da foz do lago Guaíba, apresentou relação com temperatura média do bulbo seco, temperatura média do bulbo úmido, umidade relativa, nebulosidade e média da pressão atmosférica. Os dados de temperatura da água necessitam de investigação em *site* meteorológico para que se tenha compreensão mais precisas sobre o seu comportamento, distribuição e localização das temperaturas (BROWN, 1969), já os conhecimentos climatológicos determinam as mudanças e a estrutura termal do lago, (AUSTIN e ALLEN, 2011).

Conforme o Quadro 1, a interação entre a superfície da água e a atmosfera através das trocas de calor, evaporação, chuva temperatura e umidade do ar, são em parte o que determina o fluxo de ressurgimento de massas de água, (KUENZER & DECH, 2013). Observa-se, que tais tendências de perfis de TOA também são influenciadas pela umidade relativa, apresentando-se uma forte correlação negativa ($p = -0,94$), que de fato, na medida em que se tem a redução da umidade relativa, combinada com a redução da pressão atmosférica ($p = -0,72$), ambos associados ao aumento da temperatura do ar, que ocasiona o aumento da temperatura da superfície radiométrica da água.

De modo geral, os perfis em que as temperaturas se mantiveram elevadas na medida em que se aproximam da jusante estão com temperatura mais baixa do que o normal. Ocorreu apenas uma exceção, 21 de janeiro de 2014, que segundo dados do INMET a direção do vento era norte no horário das 12:00, próximo do horário de aquisição da imagem. O vento norte é um vento

quente que facilita a manutenção, ou aumento da TOA da água, já que o calor é um processo de transferência de energia entre os corpos devido a diferença de temperatura entre eles, (MARQUES & ARAUJO, 2009).

Os tempos frontais são divididos em 4 fases: A) a 1ª fase, a pré-frontal, com duração de 1 a 3 dias, apresenta um tipo de tempo muito bem definido: pressão atmosférica em declínio contínuo e gradativo, ventos do quadrante norte (N ou NW); B) na 2ª fase, a frontal, o Estado fica sobre domínio da massa de ar fria, com a presença de nebulosidade e chuvas com ventos de todos os quadrantes; C) 3ª fase, de domínio polar, após o mau tempo provocado pela passagem da frente, tem declínio acentuado das temperaturas máximas e mínimas, podendo chegar a valores negativos, apresentando queda da pressão atmosférica e ventos o quadrante sul; D) a 4ª fase, após a passagem de uma frente fria, a fase transicional, a massa polar típica, com baixas temperaturas, e nova fase pré-frontal, com correspondente aquecimento. O domínio da massa polar modificada pelo aquecimento da base em áreas de latitudes mais baixas (polar Velha ou Tropicalizada) em função do tempo de permanência do ar frio no Sul do Brasil. A natureza da superfície e insolação facilitada por um céu limpo, a massa polar é mais intensamente modificada no interior do continente, apresentando-se mais quente e seca, (SARTORI, 2003).

Alguns dias após a passagem de uma frente fria (4ª fase transicional), com a diminuição da temperatura do ar a tendência é o aquecimento da massa de água, apesar de, ainda estar entrando uma massa de água mais fria no lago, vinda do continente, como pode ser observado na porção norte dos perfis do Guaíba.

Ainda na fase transicional há uma tendência de haver ventos leves de E e NE, devido à circulação anticiclônica, calmas, céu limpo, elevação das temperaturas máximas e mínimas, grande amplitude térmica, formação de orvalho e declínio da umidade relativa, (SARTORI, 2003).

Modelos e medidas de perfis de temperaturas próximas da superfície da água apresentam significativa variação com a temperatura da superfície e da camada logo abaixo, especialmente durante os dias de céu claro, com ventos fracos e intensa radiação solar, (DOURADO; CALTABIANO, 2008).

Ainda em relação aos perfis com tendência a elevação das temperaturas em direção a jusante, verifica-se que a nebulosidade média influência de modo oposto. Para uma correlação de -0,87 significa que o céu claro propicia que a temperatura radiométrica da água se mantenha, ou aumente na medida em que se aproxima da jusante. A medida de nebulosidade referida é de estação de terra do INMET, e não nas imagens de satélite.

A avaliação de energia é a combinação da quantidade de radiação líquida da superfície do lago e a quantidade de calor armazenado pela água (FINCH & CALVER, 2008). A radiação líquida é a quantidade de energia capturada pelo lago, é normalmente um fator de controle anual da taxa de evaporação (FINCH & CALVER, 2008; RIVAS & CASELLES, 2004), consistem em importantes componentes do ciclo hidrológico (AHMED, 1999). Os fatores que controlam a temperatura de um lago são: radiação solar, cobertura de nuvens, direção e origem do vento, transparência da água e batimetria, (MOUKOMLA & BLANKEN, 2016).

Os perfis com tendência ao declínio das temperaturas em direção a jusante são mais frequentes, são considerados perfis normais. Assim como os demais perfis, possuem fortes correlações com a temperatura do ar, mas pouco correlacionados com a umidade relativa do ar (correlação de -0,66), assim como a pressão atmosférica (correlação de -0,47).

Ressalta-se que a temperatura do bulbo seco das 12:00 subtraído da TOA da água, possui uma correlação forte (0,63) com os perfis de declínio da temperatura da água quando comparada com os demais perfis. Isto significa que a diferença de temperatura entre ar e água tem influência positiva na temperatura radiométrica da superfície da água. Em uma média global sobre os oceanos, a água perde temperatura para a atmosfera (SATO, 2005).

A presença de todos os perfis (Quadro 1) mostra que a temperatura média do bulbo seco (correlação de 0,88) e seguida de temperatura média do bulbo úmido (correlação de 0,82), predominam sobre as demais correlações (umidade média relativa do ar correlação de -0,74, temperatura média do bulbo seco das 12:00 subtraído da temperatura média da água (correlação de 0,60), média da pressão atmosférica (correlação de -0,52), diferença da temperatura média do bulbo seco da temperatura média da água (correlação de 0,42) e nebulosidade média (correlação de -0,37).

A velocidade do vento não teve uma correlação significativa em ambas as tendências de perfis. A ação do vento tende a ir contra a estratificação termal, pela mistura de calor com camadas abaixo da superfície. Com o aumento da velocidade do vento, acima de 6 ms^{-1} , ocorre a destruição da estratificação termal diurna. O pico da amplitude do ciclo diurno abaixo da camada de pele da temperatura de superfície de mar não é mais do que poucos décimos de Kelvin, (KUENZER & DECH, 2013).

A evaporação tem efeito de redução da temperatura de superfície da água. Isso porque há uma correlação positiva entre a diferença de umidade do ar do mar e a temperatura de superfície do mar, (WU et al., 2015).

De acordo com as análises feitas sobre os sistemas frontais, Quadro 2, observa-se que a maioria tem perfis anômalos (tendência de aquecimento na direção da Lagoa dos Patos). Em alguns casos foram observados a formação de episódios de ZCAS, que causam intensas chuvas na região Sudeste e Nordeste e baixa pluviosidade na região Sul, (INMET, 2016).

As frentes frias quando se deslocam pelo litoral sul em direção ao oceano Atlântico, em período pós-frontal (aquecimento basal da massa de ar), as águas do interior do continente entram no sistema Guaíba com temperaturas inferiores e, após ingressarem ganham temperatura (em função da maior exposição ao ar mais aquecido) ao longo do percurso até desaguar na lagoa dos Patos.

Durante a La Niña observa-se que em determinados momentos a região fica sobre o domínio de frente fria, com céu aberto, fator este que condiciona um aquecimento das águas do Guaíba por radiação solar.

Visto que a estratificação termal é mais pronunciada durante céu aberto e ensolarado em condições de aquecimento solar da superfície da água, ocorrendo rápida mistura de massas de água causado pelo fluxo do canal, (TORGENSEN et al., 2001). Já em ambiente menos turbulento traz a superfície massas de água mais fria originadas do lençol freático, o limite vertical da mistura local resulta em uma constante estratificação termal durante as mudanças das condições atmosféricas, (TORGENSEN et al., 2001).

A baixa umidade do ar está associada a sazonalidade, sendo que a umidade do ar climatologicamente é menor durante o período de verão (janeiro e fevereiro), justamente o fato de maior temperatura e menor umidade do ar (fato de haver uma correlação negativa entre ambos); já nos meses de abril, outubro e novembro a tendência é a maior umidade do ar associada a menor temperatura da água.

4. CONCLUSÕES

De forma geral as diferenças entre as tendências ditas normais das que possuem elevação ou mantém as TOAs da água na medida em que se aproxima da jusante do lago estão vinculadas a temperatura do bulbo seco, umidade relativa do ar e com menor significância pressão atmosférica e nebulosidade.

A variação de temperatura ao longo do perfil longitudinal do Guaíba está relacionada com a sazonalidade do clima na região e não com períodos de normalidade/anormalidade climática. Não houve uma relação direta com fenômenos El Niño e La Niña.

A maioria dos perfis com tendência a redução das TOAs da água, estão vinculados com

a temperatura do bulbo seco e úmido. Os perfis com tendência a elevação ou manutenção das TOA da água estão associados a períodos pós frontais, combinados com uma baixa umidade relativa do ar.

Quanto aos perfis de aquecimento, observa-se que as imagens estão relacionadas a momentos de ocorrências de ZCAS em períodos pós-frontais no Estado do Rio Grande do Sul, ou durante domínios frontais em épocas de La Niña, onde se tem frente fria com a presença de ar seco e frio. Todos relacionados ao aquecimento em função da radiação solar em presença de céu limpo.

REFERÊNCIAS

AHMED, A. **Estimating Lake Evaporation Using Meteorological Data & Remote Sensing: A Case Study of Lake Naivasha, Central Rift Valley, Kenya**. Thesis submitted to the International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Water Resources Survey with emphasis on Watershed Management and Conservation. Enschede, The Netherlands, 1999. Disponível em: <<ftp://ftp.itc.nl/pub/naivasha/ITC/Ahmed1999.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2016.

AUSTIN, J. A.; ALLEN, J. Sensitivity of summer Lake Superior thermal structure to meteorological forcing. **Limnol. Oceanogr.** 2011. 56(3): p. 1141–1154. Disponível em: <http://www.aslo.org/lo/toc/vol_56/issue_3/1141.pdf>. Acesso em: 23 set. 2016.

BALSAMO, G.; DUTRA, E.; STEPANENKO, V. M.; VITERBO, P.; MIRANDA, P. M. A.; MIRONOV, D. Deriving an effective lake depth from satellite lake surface temperature data: a feasibility study with MODIS data. In: **Boreal Environment Research**. 2010. 15: p. 178-190. Disponível em: <<http://www.borenv.net/BER/pdfs/ber15/ber15-178.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2016.

BERLATO, A.; FONTANA, D. C. **El Niño e La Niña: Impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul - aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2003.

BROWN, G. W. **Predicting Temperatures Small Streams**. Water Resources Research. 1969. 5(1). p. 68-75. Disponível em: <<http://www.fsl.orst.edu/rna/Documents/publications/Predicting%20temperatures%20of%20small%20streams.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2016.

CALIMAN, A.; CARNEIRO, L. S.; SANTANGELO, J. M.; GUARIENTO, R. D.; PIRES, A. P. F.; SUHETT, A. L.; QUESADO, L. B.; SCOFIELD, V.; FONTE, E. S.; LOPES, P. M.; SANCHES, L. F.; AZEVEDO, F. D.; MARINHO, C. C.; BOZELLI, R. L.; ESTEVES, F. A.; FARJALLA, V. F. Temporal coherence among tropical coastal lagoons: a search for patterns and mechanisms. In: **Braz. J. Biol.** 2010, vol. 70, no. 3 (suppl.), p. 803-814. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/bjb/v70n3s0/11.pdf>>. Acesso em: 16 mar. 2016.

CLIMANÁLISE: **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. v. 20 - nº11, Novembro/2005. Cachoeira Paulista, SP, Brasil, INPE/CPTEC. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/1105/index.html>>. Acesso em: 31 maio 2016.

CLIMANÁLISE: **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. v. 21 - nº11, Novembro/2006. Cachoeira Paulista, SP, Brasil, INPE/CPTEC. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index1106.shtml>>. Acesso em: 01 jun. 2016.

CLIMANÁLISE: **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. v. 21 - nº12, Dezembro/2006. Cachoeira Paulista, SP, Brasil, INPE/CPTEC. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index1206.shtml>>. Acesso em: 02 jun. 2016.

CLIMANÁLISE: **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. v. 22 - nº1, Janeiro/2007. Cachoeira Paulista, SP, Brasil, INPE/CPTEC. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0107.shtml>>. Acesso em: 02 jun. 2016.

CLIMANÁLISE: **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. v. 22 - nº02, Fevereiro/2007. Cachoeira Paulista, SP, Brasil, INPE/CPTEC. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0207.shtml>>. Acesso em: 03 jun. 2016.

CLIMANÁLISE: **Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. v. 23 - nº04, Abril/2008. Cachoeira Paulista, SP, Brasil, INPE/CPTEC. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/index0408.shtml>>. Acesso em: 03 jun. 2016.

Comitê do Lago Guaíba. Disponível em: <<http://www.comitelagogaiba.net/>>. Acesso em: 01 de ago. de 2011.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC): Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Climanálise Boletim**. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim>>. Acesso em: 02 jun. 2016.

DOURADO, M. S.; CALTABIANO, A. C. V. **Novos Conceitos na Definição da Temperatura da Superfície do Mar**. In: SOUZA, E. B. (org). Oceanografia por satélites. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

EarthExplorer. United States Geological Survey (USGS): Science for a Changing World. 2016. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 13 jun. 2016.

EVOLVED EXPENDABLE LAUNCH VEHICLE SECONDARY PAYLOAD ADAPTER (ESPA): SCIENCE PROCESSING ARCHITECTURE. **ESPA**: Ordering Interface. United States Geological Survey (USGS): Science for a Changing World. 2016. Disponível em: <<https://espa.cr.usgs.gov/>>. Acesso em: 13 jun. 2016.

FAUX, R. N.; MAUS, P.; LACHOWSKI, H.; TORGERSEN, C. E.; BOYD, M. S. **New Approaches for Monitoring Stream Temperature**: airborne thermal infrared remote sensing. Inventory & Monitoring Project Report Integration of Remote Sensing, US Department of Agriculture Forest Service, Engineering Remote Sensing Applications Center, 2001. Disponível em: <http://www.fs.fed.us/eng/techdev/IM/rsac_reports/TIR.pdf>. Acesso em: 21 set. 2016.

FINCH, J.; CALVER, A. **Methods for the Quantification of Evaporation from Lakes**. World Meteorological Organization's Commission for Hydrology, 2008. Disponível em: <http://nora.nerc.ac.uk/14359/1/wmoevap_271008.pdf>. Acesso em: 23 set. 2016.

HAMMOND, D.; PRYCE, A. R. **Using Science to Create a Better Place**: climate change

impacts and water temperature. Environment Agency, Rio House, Aztec West, Almondsbury, Bristol, BS32 4UD, 2007. Disponível em: <https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/290975/scho0707bnag-e-e.pdf>. Acesso em: 08 mar. 2016.

HANDCOCK, N. R.; TORGERSEN, C. E.; CHERKAUER, K. A.; GILLESPIE, A. R.; TOCKNER, K.; FAUX, R. N.; TAN, J. Thermal Infrared Remote Sensing of Water Temperature in Riverine Landscapes. In: **Fluvial Remote Sensing for Science and Management**. 2012. ed. 1ª. Edited by Patrice E. Carbonneau and Hervé Piégay, Published 2012 by John Wiley & Sons: p. 85-113. Disponível em: <http://faculty.washington.edu/cet6/pub/Handcock_etal_2012.pdf>. Acesso em: 20 set. 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET): **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP)**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>. Acesso em: 03 de maio. 2016.

KUENZER, C. e DECH, S. **Remote Sensing and Digital Image Processing: Thermal Infrared Remote Sensing: Sensors, Methods, applications**. V. 17, editor Springer, 2013.

MARQUES, N. L. R. & ARAUJO, I. S. **Física térmica**. UFRGS, Instituto de Física. Porto Alegre, 2009.

MICHAEL L.; DEAS, M. L.; LOWNY, C. L. **Water Temperature: modeling review**. California Water Modeling Forum, supposed by the Bay Delta Modeling Forum. Central Valley, 2000. Disponível em: <<http://www.cwemf.org/Pubs/BDMFTempReview.pdf>>. Acesso em: 08 mar. 2016.

MOUKOMLA, S.; BLANKEN, P. D. Remote Sensing of the North American Laurentian Great Lakes' Surface Temperature. In: **Remote Sensing of Environment**. 2016. 8 (4): p. 1-15. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2072-4292/8/4/286>>. Acesso em: 23 set. 2016.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA) - **National Weather Service - Climate Prediction Center**. Disponível em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml>. Acesso em: 17 de maio. 2016.

OESCH, D. C.; JAQUET, J. M.; HAUSER, A.; WUNDERLE, S. **Lake surface water temperature retrieval using advanced very high resolution radiometer and Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data: validation and feasibility study**. In: Journal of Geophysical Research. 2005. vol. 110. p. 1- 17. Disponível em: <http://www.grid.unep.ch/products/3_Reports/surface_water_temperature_spectroradiometer.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2016.

PEREIRA, F. F. **Modelo hidrodinâmico e de transporte bidimensional de grade não estruturada para lagos rasos**. 2010, 95 p. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Porto Alegre. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/31775/000776822.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 25 de abr. 2016.

RIVASA, R.; CASELLES, V. **A simplified equation to estimate spatial reference evaporation from remote sensing-based surface temperature and local meteorological data**. In: *Remote Sensing of Environment*. 2004. vol. 93. p. 68 – 76. Disponível em: <<http://www.utsa.edu/lrsg/Teaching/ES6973/ET-RSE1.pdf>>. Acesso em: 24 set. 2016.

SARTORI, M. G. B. A dinâmica do clima do Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimento científico. In: **Terra Livre: mudanças climáticas globais e locais**. Ano 19, vol. 1-n. 20, ISSN 0102-8030. 2003. p. 27-48. Disponível em: <http://www.agb.org.br/files/TL_N20.pdf>. Acesso em: 18 maio 2016.

SATO, O. T. Fluxo de Calor Oceânico Medido por Satélite. In: SOUZA, E. B. (org). **Oceanografia por satélites**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

Secretaria estadual do meio ambiente (SEMA). **Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba**. Disponível em: <http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu=56&cod_conteudo=6475>. Acesso em: 13 jan. 2015.

SHARMA, S. et al. A global database of lake surface temperatures collected by in situ and satellite methods from 1985–2009. In: **Scientific Data**. 2015. 2:150008, p 1-19. Disponível em: <<http://www.glerl.noaa.gov/pubs/fulltext/2015/20150016.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2016.

TOFFOLON, M. et al. Prediction of surface temperature in lakes with different morphology using air temperature. **Limnol. Oceanogr.** 2014. 59(6): p. 2185–2202. Disponível em: <http://aslo.org/lo/toc/vol_59/issue_6/2185.pdf>. Acesso em: 07 set. 2015.

TORGERSEN, C. E.; FAUX, R. N.; MCINTOSH, B. A.; POAGE, N. J.; NORTON, D. J. Airborne thermal remote sensing for water temperature assessment in rivers and streams. In: **Remote Sensing of Environment**. 2001. vol. 76: p. 386-398. Disponível em: <http://faculty.washington.edu/cet6/pub/Torgersen_etal_2001.pdf>. Acesso em: 20 set. 2016.

United States Geological Survey (USGS): Science for changing world. **Landsat Missions**. Disponível em: <<http://landsat.usgs.gov/>>. Acesso em: 29 jun. 2016.

WILLIAM, M. L. Basis for the protection and management of tropical lakes. In: **Lakes & Reservoirs: Research and Management**. 2000. 5: p. 35- 48. Disponível em: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:PfEWM_g6U-sJ:uv.colorado.edu/limnology/pubs/pdfs/Pub150.pdf+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>. Acesso em: 08 mar. 2016.

WU, R.; KIRTMAN, B. P.; PEGION, K. Surface Latent Heat Flux and Relationships with SST in CFS. National Weather Service: National Oceanic and Atmospheric Administration. In: **Science and Technology Infusion Climate Bulletin**. 2015. Disponível em: <http://www.nws.noaa.gov/ost/climate/STIP/CTB-COLA/Renguang_010908.htm>. Acesso em: 18 maio 2016.

XAVIER, M. B. **Variação da temperatura de superfície na Lagoa Mangueira nas passagens de sistemas frontais, a partir de dados de radiância do sensor MODIS**. 2014, 115 p. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito para a obtenção do título de Doutor em Sensoriamento Remoto. Porto Alegre.

Disponível em: <http://www.ufrgs.br/srm/ppgsr/publicacoes/TESE_MARILEI_XAVIER.pdf>. Acesso em: 31 maio 2016.

ZANOTTA, D. C.; GONÇALVES, G. A.; DUCATI, J. R. Mapeamento da temperatura superficial da Lagoa dos Patos – RS com dados NOAA-AVHRR. XIV SBSR, Natal - Brasil. **Anais...** 2009. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.14.16.50/doc/6681-6688.pdf?languagebutton=pt-BR>>. Acesso em: 01 de dez. 2016.

Data de submissão: 08.04.2017

Data de aceite: 05.06.2018

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.