



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**RELAÇÃO ENTRE VENTOS INTENSOS EM SUPERFÍCIE,
JATOS DE BAIXOS NÍVEIS E BRISA LACUSTRE EM
REGIÕES DE EXTENSOS RESERVATÓRIOS TROPICAIS**

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

Robson Barreto dos Passos

**Itajubá, MG, Brasil
2019**

RELAÇÃO ENTRE VENTOS INTENSOS EM SUPERFÍCIE, JATOS DE BAIXOS NÍVEIS E BRISA LACUSTRE EM REGIÕES DE EXTENSOS RESERVATÓRIOS TROPICAIS

por

Robson Barreto dos Passos

Monografia apresentada à comissão examinadora Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas da Universidade Federal Itajubá (UNIFEI, MG), como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Ciências Atmosféricas.**

Orientador: Arcilan Trevenzoli Assireu

**Itajubá, MG, Brasil
2019**

**Universidade Federal de Itajubá
Instituto de Recursos Naturais
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Monografia

**RELAÇÃO ENTRE OCORRÊNCIA DE VENTOS INTENSOS EM
SUPERFÍCIE, JATOS DE BAIXOS NÍVEIS E BRISA LACUSTRE EM
REGIÕES DE EXTENSOS RESERVATÓRIOS TROPICAIS**

elaborada por

Robson Barreto dos Passos

Como requisito parcial para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências Atmosféricas

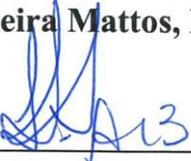
Comissão Examinadora:



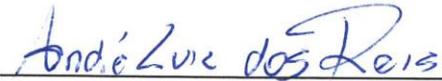
Arcilan Trevenzoli Assireu, Dr. (UNIFEI)
(Presidente/Orientador)



Enrique Vieira Mattos, Dr. (UNIFEI)



Francisco Leite de Albuquerque Neto, Dr. (UFRJ)



André Luiz dos Reis, MSc. (INPE)

Itajubá, 18 de novembro de 2019.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, pelo dom da vida, e pelas provas postas a minha frente que contribuíram para a minha evolução. Agradeço à minha família, por todo o apoio durante a minha graduação. Agradeço aos meus colegas do curso de Ciências Atmosféricas, em especial às turmas que ingressaram em 2014 e 2015, que foram uma parte muito importante de todo o processo. Agradeço a todos os professores que contribuíram para minha formação, em especial ao professor Arcilan, que depositou bastante confiança em mim. E por fim, gostaria de agradecer às numerosas pessoas que cruzaram meu caminho durante esse percurso na Unifei e que, de certa forma, fizeram parte desse período de minha vida.

RESUMO

Monografia de Graduação
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Itajubá, MG, Brasil

RELAÇÃO ENTRE VENTOS INTENSOS EM SUPERFÍCIE, JATOS DE BAIXOS NÍVEIS E BRISA LACUSTRE EM REGIÕES DE EXTENSOS RESERVATÓRIOS TROPICAIS

AUTOR: ROBSON BARRETO DOS PASSOS
ORIENTADOR: ARCILAN TREVENZOLI ASSIREU
Local e Data da Defesa: Itajubá, 18 de novembro de 2019.

A ocorrência de jatos de baixos níveis (JBNs) na região do reservatório de Furnas e a possibilidade de acoplamento entre esses eventos e a circulação de brisa lacustre é investigada neste trabalho. Além disso, é feita uma avaliação das condições sinóticas nos dias de ocorrência dos JBNs, bem como a resposta do escoamento em superfície. Para tanto, foram utilizados um ano de dados de reanálise do ERA5 e um ano de dados medidos *in situ*. Os critérios de detecção dos JBNs se basearam em um caso piloto que já havia sido analisado em estudos anteriores. Os JBNs ocorreram em sua maior parte na primavera, principalmente no mês de setembro, entre o final da noite e o começo da manhã. Quanto às características sinóticas, os JBNs ocorreram predominantemente em cenários de céu limpo ou parcialmente nublado onde havia a penetração de uma crista de alta pressão sobre o sudeste ou a atuação da borda da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). Verificou-se que em Furnas ocorre a circulação local de brisa lacustre e que, durante condições favoráveis a esta, ocorreram JBNs que resultaram em ventos intensos em superfície. A mesma análise aplicada em Furnas foi feita para uma região vizinha ao reservatório e verificou-se que embora a região não seja influenciada pela circulação local induzida pelo lago ocorreram ventos intensos em superfície em resposta aos JBNs. Inferiu-se, portanto, que outro mecanismo atua para que os JBNs ocasionem ventos intensos em superfície, entretanto, a subsidência ocasionada pela brisa lacustre pode estar intensificando a resposta dos JBNs em superfície.

Palavras-chave: Jatos de baixos níveis. Brisa lacustre. Ventos intensos.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Esquema ilustrativo da brisa lacustre.....	5
Figura 2 -	Representação de um perfil padrão na atmosfera (a) e de um perfil típico de JBN (b).....	6
Figura 3 -	Características geográficas da área de estudo e localização das fontes de dados.....	8
Figura 4 -	Mapa de cobertura de superfície para a região de estudo.....	9
Figura 5 -	Média mensal da precipitação e velocidade do vento (a) e média mensal da temperatura do ar e umidade relativa (b).....	10
Figura 6 -	Ciclo diurno da temperatura da água – T_w e da temperatura do ar – T_a (a) e ciclo anual das mesmas variáveis.....	11
Figura 7 -	Disponibilidade dos dados medidos com a torre T2 (a) e com a estação do INMET(b).....	13
Figura 8 -	Rosa dos ventos para o período do dia (a) e para o período da noite (b).....	14
Figura 9 -	Média do movimento vertical [ms^{-1}] para os primeiros 200 m da camada limite.....	15
Figura 10 -	Secção vertical para um ponto próximo ao reservatório de Furnas para o período de 19/09/2016 a 25/09/2016.....	16
Figura 11 -	Perfis verticais dos JBNs detectados entre 21/09/2016 21 HL e 22/09/2016 07 HL.....	17
Figura 12 -	Secção vertical da velocidade do vento (ERA5) e movimento vertical medido com o Lidar.....	21
Figura 13 -	Mapas de PNMM, Escoamento em 850 hPa, WV e IR para o horário de 21/09/2016 12 HL e 22/09/2016 00 HL.....	22
Figura 14 -	Condições sinóticas da PNMM e escoamento para as 03 HL do dia 22 de setembro de 2016.....	23
Figura 15 -	Secção vertical (longitude x altura) para a velocidade do vento (a) e temperatura do ar (b).....	24

Figura 16 - Distribuição espacial de ocorrência dos JBNS (a) e perfis médios para o ano de 2017 e para os períodos com atuação dos JBNS (b).....	26
Figura 17 - ΔV , altura e intensidade dos JBNS detectados no reservatório de Furnas.....	27
Figura 18 - Histogramas e boxplots da intensidade dos JBNS (a) e Altura dos JBNS (b).....	27
Figura 19 - Frequências diurna (a) e mensal (b) de ocorrências de JBNS em Furnas.....	28
Figura 20 - Gráfico de densidade de probabilidade da altura em relação à hora.....	29
Figura 21 - Quatro exemplos (a, b, c, d) de períodos com JBNS que foram detectados pelo algoritmo e respectivas velocidades medidas pela torre T2.....	30
Figura 22 - Cartas sinóticas de superfície mostrando os dois padrões sinóticos predominantes encontrados.....	31
Figura 23 - Secção vertical de velocidade do vento com respectivas velocidades do vento em superfície para Furnas (a) e Passos (b).....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Critérios para classificação como JBN encontrados na literatura.....	7
Tabela 2 – Detalhamento das fontes de dados utilizadas.....	12
Tabela 3 – Critérios e limiares utilizados para detecção dos JBNS.....	15

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ASAS – Alta Subtropical do Atlântico Sul
CLP – Camada Limite Planetária
H – Fluxo de calor sensível
IR – Infrared (Infravermelho)
JBN – Jatos de baixos níveis
JBNN - Jatos de Baixos níveis Noturnos
Lidar – Light Detection and Ranging
LLJ – Low-level jet
N – Estabilidade atmosférica
NOOA - National Oceanic and Atmospheric Administration
PNMM – Pressão ao nível médio do mar
SIMA – Sistema Automático de Monitoramento Ambiental
Ta – Temperatura do ar
Tw – Temperatura da água
WV – Water vapour (Vapor d'água)
ZCAS – Zona de convergência do Atlântico Sul
ZCOU – Zona de convergência de Umidade

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE TABELAS.....	VIII
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS	IX
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 OBJETIVO GERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
3.1 BRISA LACUSTRE	3
3.2 JATOS DE BAIXOS NÍVEIS.....	5
4. MATERIAL E MÉTODOS	8
4.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	8
4.2 CONJUNTO DE DADOS UTILIZADOS	11
4.2.1 <i>Dados medidos in situ</i>	11
4.2.2 <i>Dados de reanálise do ERA5</i>	13
4.2.3 <i>Dados de satélite</i>	14
4.3 DETECÇÃO DOS JATOS DE BAIXOS NÍVEIS	14
4.4 CARACTERIZAÇÃO DA BRISA LACUSTRE	15
4.5 CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES SINÓTICAS.....	16
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5.2 CARACTERIZAÇÃO DOS JATOS DE BAIXOS NÍVEIS SOBRE O RESERVATÓRIO	18
5.2.1 <i>Estudo de caso</i>	18
5.2.2 <i>Ocorrência de casos de JBNS para o ano de 2017</i>	25
5.3 RESPOSTA DOS JBNS EM SUPERFÍCIE	29
5.4 CARACTERÍSTICAS SINÓTICAS DURANTE A OCORRÊNCIA DE JBNS	31
5.5 COMPARAÇÃO DOS JBNS OCORRIDOS NO RESERVATÓRIO COM OS JBNS OCORRIDOS NA REGIÃO VIZINHA	33
4. CONCLUSÃO	35
5. REFERÊNCIAS.....	37

1. INTRODUÇÃO

No Brasil é comum a inundação de extensas áreas para a utilização da força hidráulica na geração de energia elétrica; esses grandes lagos artificiais são chamados de reservatórios hidrelétricos. A instalação de um reservatório ocasiona uma grande mudança na paisagem local: uma área que previamente possuía uma determinada cobertura superficial passa a ter outra com características diferentes. Com essas alterações no ambiente local, um gradiente térmico é gerado entre o reservatório e a área circundante devido à diferença de calor específico, albedo, rugosidade e balanço de energia. O gradiente térmico induz uma circulação local conhecida como brisa lacustre.

A ocorrência de brisa lacustre em reservatórios tem sido alvo de vários estudos em diversos países. *Iakunin et al. (2018)* avaliaram os impactos da brisa lacustre no reservatório de Alqueva, em Portugal e indicaram a importância desse processo de mesoescala para a circulação local. *Buchholz et al. (2017)* estudaram a influência da brisa lacustre do reservatório de Volta, em Gana, e relacionaram com o ciclo diurno de precipitação e nebulosidade. Tais estudos se justificam pelo impacto causado pela brisa lacustre no clima local, ocasionando uma forte influência nas camadas mais baixas da atmosfera (*SILLS et al. 2011*). Além disso, a brisa lacustre tem um papel importante na dispersão de poluentes, formação local de nuvens, atividades recreativas, etc. (*SEGAL et al. 1997*).

O termo jato de baixos níveis (JBN), *low-level jet (LLJ)* em inglês, foi utilizado pela primeira vez por *Means (1952; 1954)* para se referir a uma extensa área de ventos intensos abaixo do nível de 750 hPa nas Grandes Planícies (*WHITEMAN et al., 1997*). Em essência, um jato de baixos níveis é um pico de velocidade no perfil vertical do vento situado nos primeiros quilômetros da atmosfera, portanto, relativamente próximo à superfície (*MARENGO et al., 2004; BAAS et al., 2009; HU et al., 2013; KALVERLA et al., 2017*) e cuja formação se deve a diversos mecanismos atuantes na Camada Limite Planetária (CLP) (*KARAM, 2002*). A extensão vertical dos JBNs é relativamente pequena, geralmente algumas centenas de metros, no entanto a extensão horizontal pode chegar a dimensões sinóticas (*RANJHA et al., 2013*).

O conhecimento acerca dos JBNS é de grande relevância, tendo em vista seus impactos nas atividades que dependem das condições do tempo. Na aviação civil, por exemplo, a ocorrência de jatos de baixos níveis influencia nas fases de decolagem e aterrissagem das aeronaves (BALMEZ e ŞTEFAN, 2014). Christakos et al. (2014) analisaram jatos de baixos níveis costeiros ao longo do mar da costa oeste da Noruega, o que possibilitou averiguar as implicações de eventos intensos de vento nas instalações de energia eólica. Os efeitos dos jatos de baixos níveis nas turbinas de produção de energia eólica se tornam de especial interesse, visto que estudos recentes feitos no Brasil demonstram que as regiões de grandes reservatórios são propícias para a geração de energia a partir do vento (ASSIREU, 2011). Além disso, Reis (2019) analisou a influência dos JBNS na qualidade da água de um reservatório hidrelétrico brasileiro.

Este estudo se torna importante, pois busca de forma inédita avaliar a possibilidade de acoplamento entre os JBNS e a circulação local de brisa lacustre, verificando se esse acoplamento é capaz de induzir ventos intensos em superfície. A possibilidade de eventos extremos de ventos ocorrerem como resposta aos JBNS incrementa a relevância deste trabalho, pois coloca populações em risco, acidentes aéreos e náuticos podem ocorrer.

De fato, vários acidentes já foram registrados na região do Lago de Furnas, como foi averiguado por Pellegrini (2019): Em abril de 2016 houve a queda de um monomotor que ocasionou a morte de duas pessoas nas proximidades de Guapé (SILVA, 2016). A queda de um helicóptero em Capitólio/MG em janeiro de 2017 logo após a decolagem, pode ter ocorrido, segundo a reportagem do jornal Estado de Minas, devido a um fenômeno conhecido como “vento de cauda”. Na aeronave havia quatro pessoas que sofreram ferimentos leves (VALE, 2017). Em junho de 2017, a morte de dois irmãos foi noticiada no município de Fama, onde, após terem saído para pescar na manhã do dia 25, desapareceram e os corpos foram encontrados quatro dias depois (SILVA, 2017). No dia sete de setembro uma escuna com vinte pessoas naufragou no lago de Furnas entre os municípios de Capitólio e São João Batista do Gloria - MG, na Região dos cânions (MOREIRA, 2017). As ocorrências de tais acidentes podem ser mais bem compreendidas com o auxílio do presente estudo, tendo em vista que podem ter sido causados por influência de JBNS.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este estudo teve como objetivo avaliar a possibilidade de acoplamento entre os JBNs que ocorrem sobre o reservatório de Furnas e a circulação local relativa à brisa lacustre, verificando se esse acoplamento induz a ocorrência de ventos intensos próximo à superfície.

2.2 Objetivos específicos

- Verificar a ocorrência de jatos de baixos níveis na região do reservatório hidrelétrico de Furnas, visando caracterizar as particularidades desses eventos;
- Analisar detalhadamente um estudo de caso;
- Utilizar dados medidos *in situ* para a averiguação e caracterização da brisa lacustre no reservatório hidrelétrico;
- Verificar se os eventos de JBNs estão relacionados a ventos intensos próximos à superfície;
- Avaliar a relação entre a subsidência ocasionada pela brisa lacustre, a ocorrência de JBNs e ventos intensos no reservatório de Furnas.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Brisa lacustre

Na literatura é definido que a brisa lacustre é gerada devido a um contraste térmico entre o lago e a superfície terrestre ao entorno (SIMPSON, 1994). Em relação aos reservatórios hidrelétricos tem-se um problema relacionado à mudança de cobertura superficial, visto que antes do represamento uma determinada região

possuía uma cobertura superficial, geralmente floresta nativa, e após o represamento passa a ter outra, no caso, uma superfície aquática. A região então, após o represamento, passa a ter uma circulação local que não existia previamente (SAMUELSSON e TJERNSTROM, 2001).

A circulação referente à brisa lacustre é bem documentada na literatura, Potes *et al.* (2017) analisaram sua ocorrência no reservatório Alqueva, em Portugal. Samuelsson e Tjernström (2001) estudaram a brisa lacustre em um lago boreal. No Brasil, Moura *et al.* (2004) encontraram evidências observacionais das brisas lacustres no lago de Balbina, no Amazonas, e verificaram seus efeitos sobre a concentração de Ozônio. Stivari *et al.* (2005) mostraram que a circulação de brisa lacustre é dominante na região do lago de Itaipu.

O contraste térmico que gera uma diferença de pressão é ocasionado pela alta capacidade calorífica, baixo albedo e baixa rugosidade da superfície do lago em relação à região de entorno (SEGAL *et al.* 1997). Tem-se, portanto, que durante o período do dia, a superfície terrestre esquenta mais rapidamente que a superfície aquática, fazendo com que o ar sobre a superfície terrestre ascenda e seja substituído pelo ar mais frio que estava sobre a superfície aquática, o ar mais quente que foi ascendido, por sua vez, descende sobre o lago, fechando assim uma circulação local. Durante o período da noite, devido à maior capacidade calorífica, a superfície aquática se encontra mais aquecida que a superfície terrestre, fazendo com que o ar sobre o lago ascenda e seja substituído pelo ar mais frio que se encontrava na região de entorno. O ar que estava sobre o lago, após ascendência, descende sobre a região de entorno, gerando assim uma circulação fechada. Nesse caso a circulação é denominada brisa terrestre. A figura 1 ilustra teoricamente a circulação de brisa lacustre durante o período do dia.

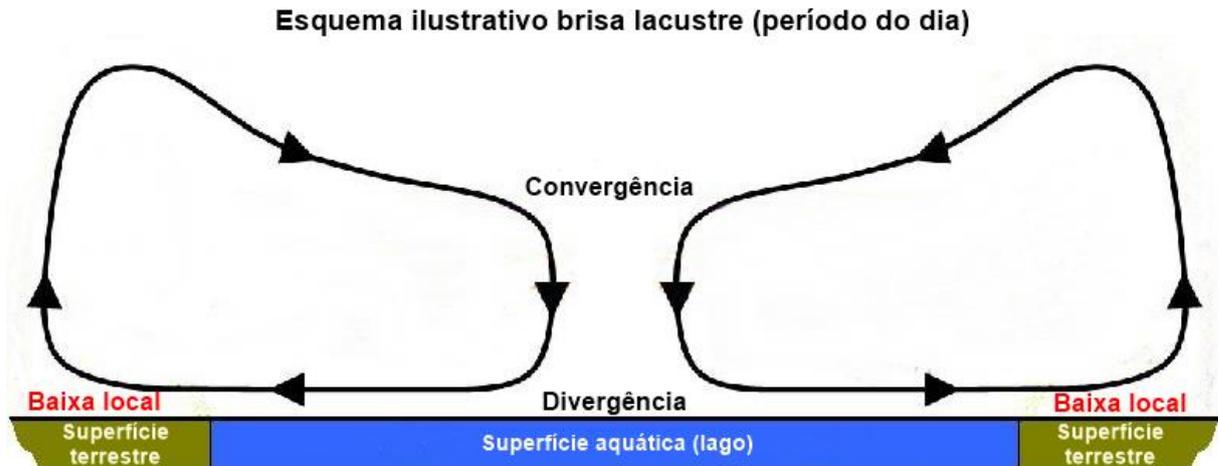


Figura 1 – Esquema ilustrativo da brisa lacustre. Baseado em Sills *et al.* 2011.

A caracterização da brisa lacustre em lagos de tamanhos pequenos e médios apresenta certas dificuldades, os formatos dos lagos muitas vezes são complexos, os terrenos nos entornos do lagos são bastante diversos e, além disso, há uma de escassez de dados com boa resolução espacial (SEGAL *et al.* 1997). A ocorrência de brisa lacustre é altamente dependente de características como: fluxo de calor sensível (H), estabilidade atmosférica (N), geometria do lago e tipo de terreno circundante ao corpo d'água (SEGAL *et al.* 1997; DROBINSKI e DUBOS 2009; CROSMAN e HOREL 2012). Além disso, a ocorrência de brisa lacustre também é influenciada pelas condições sinóticas e pela sazonalidade.

Para que a forçante térmica local seja predominante em relação à dinâmica de escala sinótica, é necessário que gradientes de pressão de escala sinótica sejam relativamente fracos e também, é necessário que a região do lago esteja com o céu parcial ou totalmente limpo (SILLS *et al.* 2011).

3.2 Jatos de baixos níveis

Em geral, a velocidade do vento aumenta com a altura, sendo possível utilizar fórmulas logarítmicas (SEDEFIAN, 1980) para calcular a sua taxa de aumento. Entretanto, em algumas situações o perfil vertical apresenta uma estrutura diferente do padrão médio, como no caso de ocorrência de JBNs. Um JBN é definido como sendo um máximo relativo no perfil vertical de velocidade do vento nos primeiros quilômetros da atmosfera (WIPPERMANN, 1973). Em muitos estudos a detecção de jatos de baixos níveis leva em consideração apenas os primeiros 500 m da

atmosfera (KALVERLA *et al.*, 2019; MAHRT *et al.*, 2010). Na figura 2a é apresentado, com base na literatura, uma ilustração de um perfil vertical “padrão” na atmosfera, enquanto que na figura 2b é representado um perfil típico de JBN.

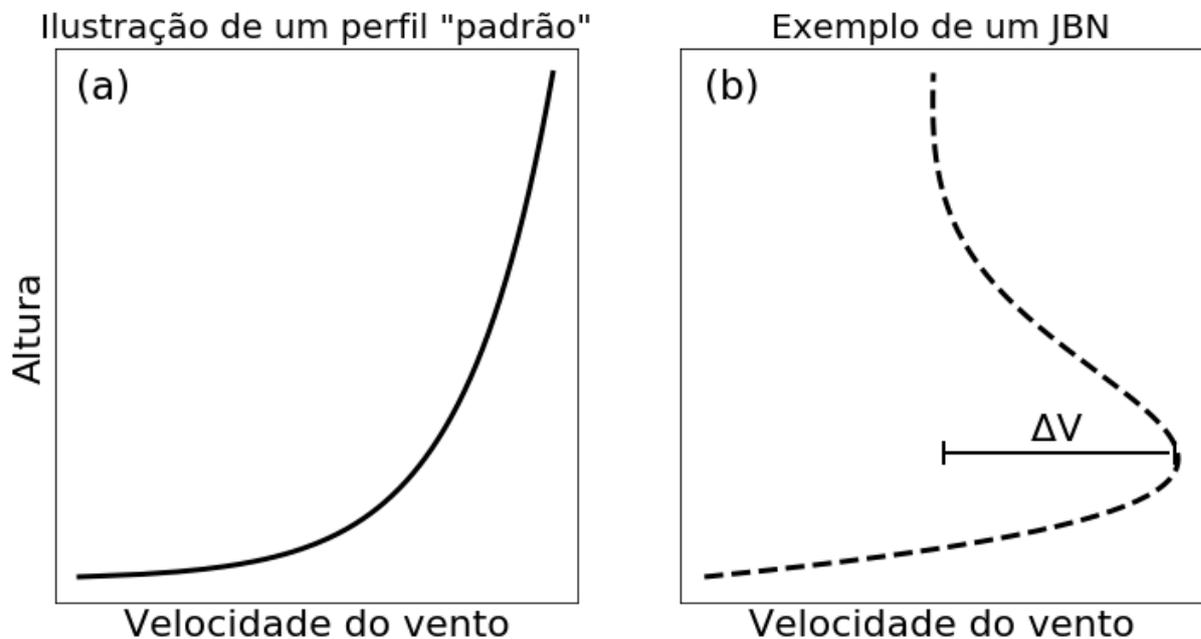


Figura 2 – Representação de um perfil padrão na atmosfera (a) e de um perfil típico de JBN (b). Baseado em Karverla *et al.* 2019.

Na figura 2b percebe-se que o perfil representado apresenta um ponto de máximo local, que é característico de um JBN, o valor de ΔV representa a diferença entre o valor do ponto máximo e o valor do mínimo local subsequente (para cima) ao ponto de máximo.

Os estudos acerca de JBNS apresentam diferenciações quanto o critério utilizado para sua classificação, não existindo, portanto, um consenso universal. Essas diferenças são motivadas pelas particularidades de cada região de estudo e dos tipos de dados utilizados. Os métodos de classificação variam desde uma simples análise do valor de máximo relativo no perfil vertical do vento até análises que utilizam critérios físicos mais complexos. A tabela 1 apresenta alguns critérios que diferentes autores usaram para definir um JBN.

Tabela 1 – Critérios para classificação como JBN encontrados na literatura

CRITÉRIO DE CLASSIFICAÇÃO COMO JBN	REFERÊNCIA
$\Delta V > 2 \text{ ms}^{-1}$ nos primeiros 1500 m acima da superfície	STULL (1988)
$\Delta V > 2 \text{ ms}^{-1}$	BLACKADAR (1957)
$V_{\text{max}} \geq 12 \text{ ms}^{-1}$ e $\Delta V \geq 6 \text{ ms}^{-1}$	BONNER (1968)
$V_{\text{max}} \geq 16 \text{ ms}^{-1}$ e $\Delta V \geq 8 \text{ ms}^{-1}$	
$V_{\text{max}} \geq 20 \text{ ms}^{-1}$ e $\Delta V \geq 10 \text{ ms}^{-1}$	
$V_{\text{max}} \geq 10 \text{ ms}^{-1}$ e $\Delta V \geq 5 \text{ ms}^{-1}$	WHITEMAN et al. (1997)
$\Delta V > 2 \text{ ms}^{-1}$ nos primeiros 500 m da atmosfera	KALVERLA (2019)

Existem diversos trabalhos que buscaram analisar o desenvolvimento e as características dos JBNs (BONNER 1968; GARRATT 1985; KRAUS *et al.* 1985; WHITEMAN *et al.* 1997; ANDREAS *et al.* 2000; BANTA *et al.* 2002; SONG *et al.* 2005). Quando se trata da formação de tais eventos, existem diversos mecanismos físicos indutores. Os que ocorrem no continente, em sua grande parte, são ocasionados em decorrência da transição para CLP noturna, onde o resfriamento radiativo gera uma inversão térmica de superfície, o que leva a uma CLP estável. A camada próxima à superfície se desacopla das camadas superiores o que resulta em ventos fracos junto à superfície e ventos mais intensos acima da CLP estável. Esse tipo de JBN é seguido por uma oscilação inercial com período igual ao período de Coriolis na latitude de ocorrência (KARAM, 2002, BAAS *et al.*, 2009, VAN DE WIEL *et al.*, 2010). Esse mecanismo faz com que a ocorrência de JBNs ocorra principalmente no período noturno, os quais geralmente são referidos com o termo de Jatos de Baixos níveis Noturnos (JBNNs). Os JBNs também podem ocorrer devido a um acoplamento com os Jatos de Altos Níveis (JANs) (UCCELLINI e KOCH, 1980), forçantes topográficas (HOLTON, 1967), efeitos baroclínicos causados por contraste térmicos na superfície e forçantes de escala sinótica (WU AND RAMAN, 1997).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Descrição da área de estudo

O Reservatório de Furnas foi inaugurado em 1963 e está localizado no curso médio do rio Grande em Minas Gerais (Figura 3a), abrange 34 municípios e possui uma área alagada de 1 440 km².

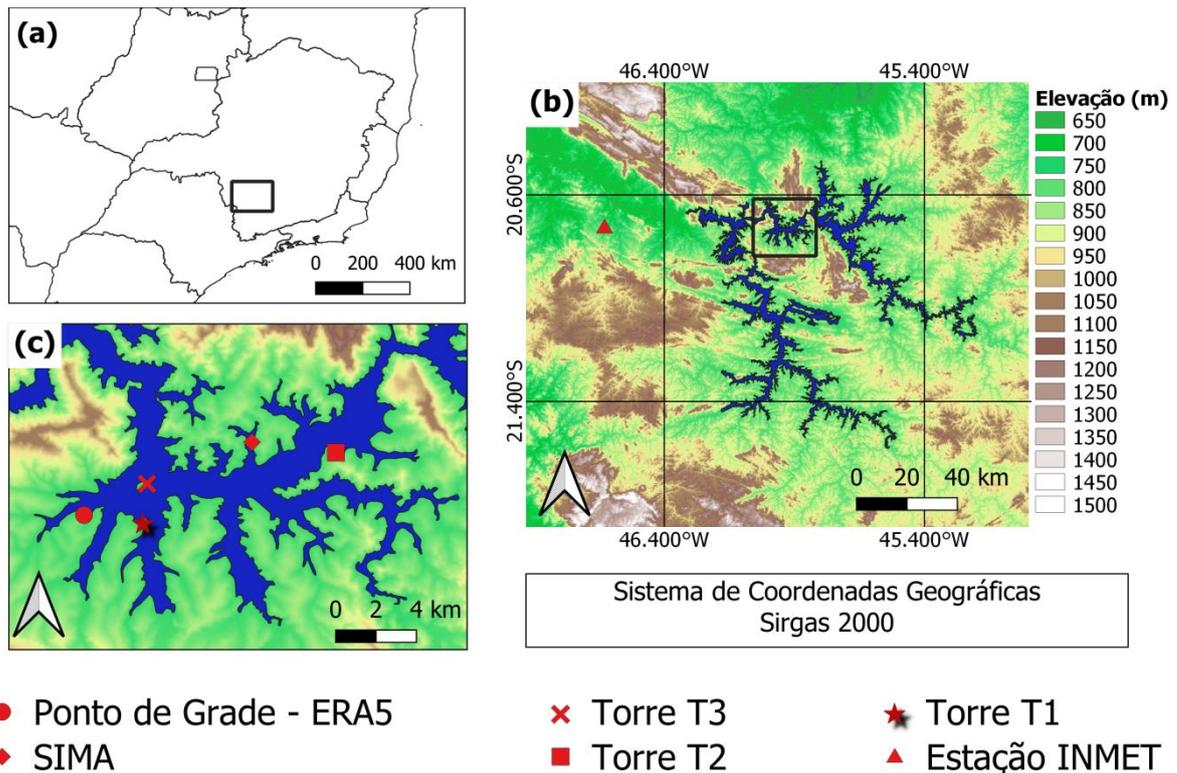


Figura 3 – Características geográficas da área de estudo e localização das fontes de dados. A figura 3a apresenta a localização do reservatório de Furnas na região sudeste (a). A figura 3b apresenta a topografia da região do reservatório com a localização da estação do INMET. A figura 3c apresenta um *zoom* de uma parte do reservatório com a localização dos instrumentos utilizados e do ponto de grade do ERA5.

Conforme o mapa de cobertura de superfície (Figura 4), a região de estudo apresenta a predominância de pastagens, com esparsas áreas de formação florestal, e a presença de núcleos urbanos que se desenvolveram nos arredores do

lago. A região de lâmina d'água apresenta uma grande extensão, ficando evidente o impacto que o lago artificial exerce na paisagem local.

Mapa de cobertura de superfície da região de estudo

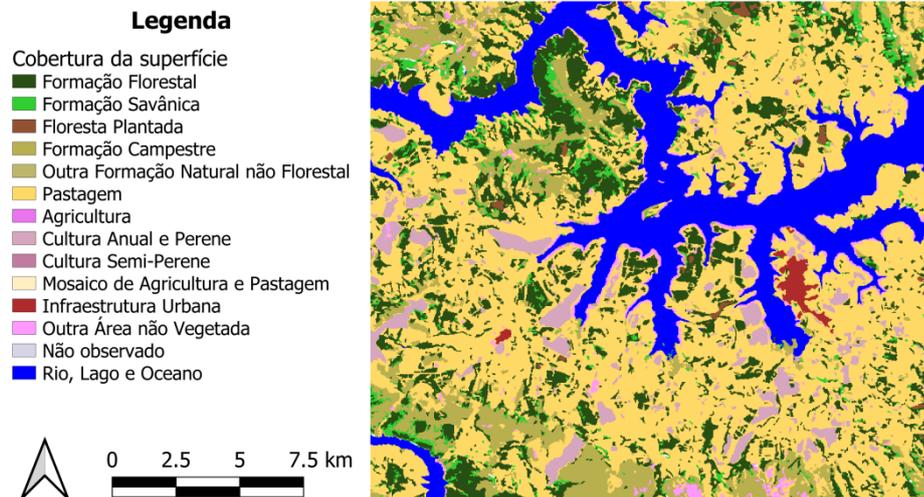


Figura 4 – Mapa de cobertura de superfície para a região de estudo. Fonte: MapBiomias (2017)

O clima na região é caracterizado por estações secas e chuvosas bem definidas. Nos meses de dezembro e janeiro ocorrem os maiores acumulados de precipitação, com acumulados próximos a 300 mm/mês, enquanto que nos meses de inverno ocorrem as menores precipitações pluviométricas (Figura 5a). A intensidade do vento (figura 5a) não apresenta um ciclo anual muito caracterizado, entretanto, percebe-se que entre os meses de julho e dezembro os valores médios são mais elevados se comparados com o restante dos meses. A umidade relativa e a temperatura do ar (Figura 5b) apresentam uma relação quase inversa, os valores de temperatura apresentam uma variação sazonal bem definida, com os valores mais elevados nos meses de verão e primavera e os valores mais baixos nos meses de outono e inverno.

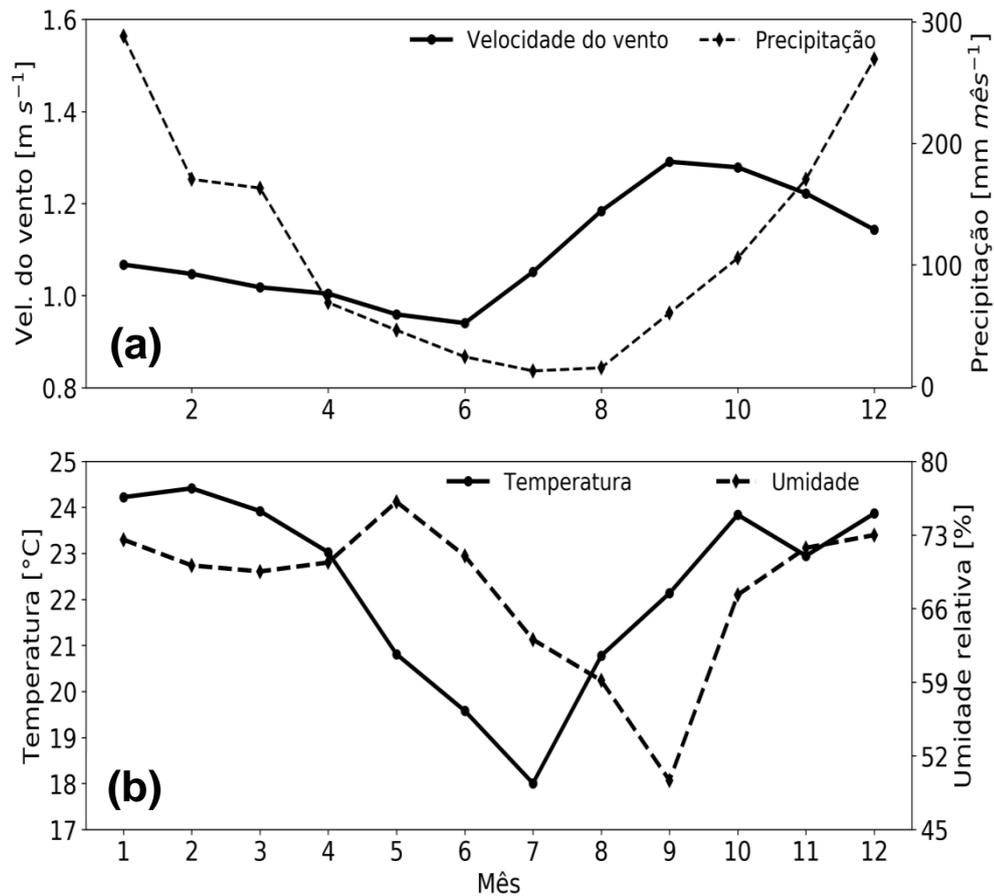


Figura 5 – Média mensal da precipitação e velocidade do vento (a) e média mensal da temperatura do ar e umidade relativa (b). Os dados de precipitação foram obtidos por meio da estação pluviométrica da rede Hidroweb situada no município de Guapé/MG. Os dados de velocidade do vento, umidade e temperatura foram obtidos por meio do SIMA e compreendem os anos de 2004 e 2005.

As variações da temperatura da água (T_w) ao longo do dia são quase desprezíveis, com valor próximo a 22°C durante o decorrer do dia (Figura 6a). A temperatura do ar (T_a) possui seu valor mínimo próximo ao nascer do Sol, e o pico ocorre por volta das 15 h. A partir das 10 h a temperatura do ar passa a ser maior que a temperatura da água, gerando assim condições favoráveis à instabilidade atmosférica.

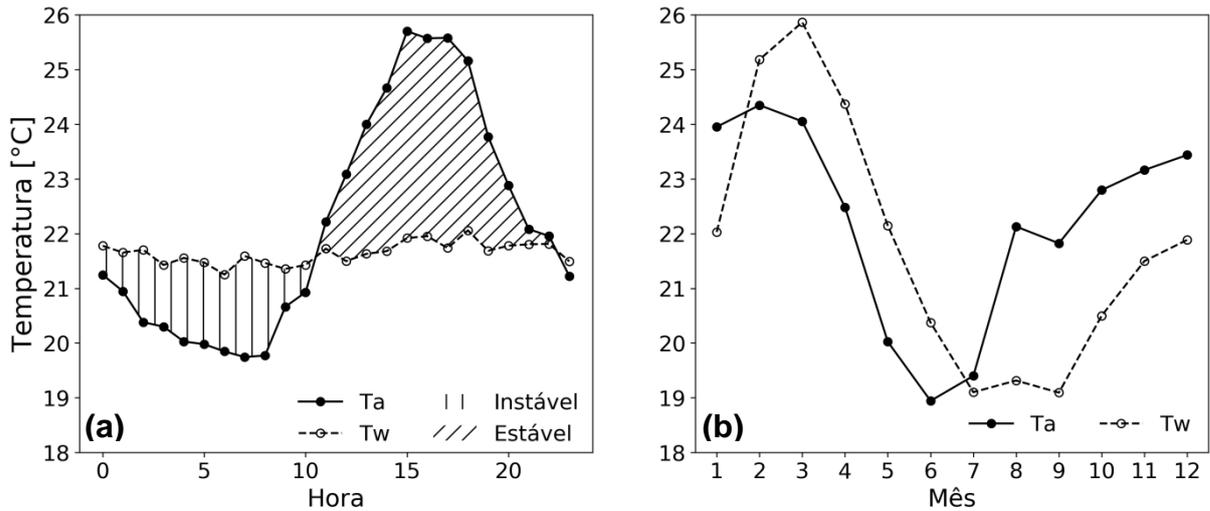


Figura 6 - Ciclo diurno da temperatura da água – Tw e da temperatura do ar – Ta (a) e ciclo anual das mesmas variáveis. Os dados de Ta e Tw foram medidos com o SIMA durante para os anos de 2004 e 2005.

4.2 Conjunto de dados utilizados

4.2.1 Dados medidos *in situ*

Por ocasião do projeto: “Aproveitamento Eólico em Reservatórios Hidrelétricos: Cenário Atual e Futuro”, financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG), foram instaladas no braço do reservatório hidrelétrico de Furnas três torres anemométricas (T1, T2 e T3) que foram utilizadas neste estudo. A localização das torres é apresentada na figura 3.

A torre (T1) possui 42 m e foi instrumentada com anemômetros nos níveis de 3, 10, 20 e 40 m e realizou medições em intervalos de 1 minuto. Os dados provenientes do anemômetro de 10 m foram utilizados para o estudo acerca da ocorrência da brisa lacustre no reservatório.

A torre (T2) foi instalada sobre uma colina nas margens do lago e foi instrumentada com um anemômetro na altura de 10 m. Os dados provenientes dela foram utilizados para verificar a ocorrência de ventos intensos na região do reservatório.

A torre (T3) foi instalada em uma ilha, ao final de um *fetch* (eixo do reservatório livre para o escoamento) de 8 km, e os dados de velocidade do vento foram utilizados no estudo de caso (seção 5.2.1).

Além dos dados provenientes de torres anemométricas foram utilizados dados provenientes de um Sistema Automático de Monitoramento Ambiental (SIMA) que consiste em uma boia instrumentada ancorada no reservatório que coletou dados para durante os anos de 2004 e 2005. Durante uma campanha de campo um LIDAR instalado em um flutuante realizou medições na área de estudo. O flutuante se locomoveu por diversos pontos do reservatório, entretanto, foram utilizados apenas dados de um curto período em que ele ficou estacionado no centro do reservatório, próximo à ilha na qual a torre T3 foi instalada.) O LIDAR realizou medições para as alturas de 10, 20, 38, 39, 59, 79, 99, 139, 159, 179 e 199 m.

Dados de velocidade do vento provenientes de uma estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) instalada no município de Passos/MG também foram utilizados, esses dados foram medidos em intervalos de 1 hora para a altura de 2 m.

A tabela 2 apresenta os detalhes das fontes de dados utilizadas neste trabalho.

Tabela 2 – Detalhamento das fontes de dados utilizadas

Fonte de dados	Variáveis utilizadas	Instrumentos	Período de dados utilizados
Lidar	Vento (10, 20, 38, 39, 59, 79, 99, 139, 159, 179 e 199 m)	LIDAR Zephir ZP300	21/09/2016 18:00 à 22/09/2016 18:00
Torre (T1)	Velocidade do vento (10 m)	Anemômetro ultrassônico 2D da Gill	07/06/2014 à 14/06/2014
Torre (T2)	Velocidade do vento (10 m)	Anemômetro ultrassônico (Young 3D 8100)	Ano de 2017
Torre (T3)	Velocidade do vento (2 m)	Anemômetro de copo (Lambrecht Modelo 14564)	21/09/2016 12:00 à 23/09/2016 07:00
Estação INMET	Velocidade do vento (10 m)	Anemômetro de conchas	Ano de 2017
SIMA	Temperatura da água (2 m)	Termmetro (R.M. Young)	2004 à 2005
	Velocidade do vento (3 m)	(Anemômetro) Yellow Spring	2004 à 2005

Em relação à disponibilidade de dados, a Torre T2 só compreende um ciclo anual completo, o ano de 2017, por isso o período de estudo deste trabalho compreende somente esse ano. A disponibilidade de dados para a Torre T2 e a estação do INMET são apresentados na figura 7, onde as lacunas brancas representam as falhas de medições.



Figura 7 – Disponibilidade dos dados medidos com a torre T2 (a) e com a estação do INMET(b).

4.2.2 Dados de reanálise do ERA5

Além dos dados coletados *in situ* também foram utilizados dados do ERA5 (COPERNICUS CLIMATE CHANGE SERVICE (C3S), 2019), que consiste em um conjunto de dados de reanálise (análise retrospectiva) climática processado pelo *ECMWF'S Earth System model IFS*. Os dados de reanálise representam o que há de mais moderno em alimentar os modelos de tempo com dados históricos coletados por satélite, estações meteorológicas, etc., obtendo-se assim um conjunto de dados que é consistente espacialmente e fisicamente com a evolução temporal da atmosfera (KALVERLA, 2019). Alguns estudos já demonstraram que os dados do ERA5 podem ser amplamente utilizados para estudos de avaliação eólica (OLAUSON, 2018).

Os dados de reanálise utilizados possuem grades de latitude e longitude regulares e resolução de $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ (~ 31 Km). Foi necessário obter os dados de reanálise em níveis de modelo, pois são disponibilizados com uma melhor resolução vertical que os dados em níveis de pressão.

Foram utilizados os primeiros 21 níveis de modelo mais próximos da superfície, a altura geopotencial para cada nível de modelo foi calculada a partir dos campos de temperatura, umidade específica, logaritmo da pressão na superfície e geopotencial da superfície. Para obter a altura geopotencial para cada nível de modelo foi necessário calcular o geopotencial para cada nível e dividi-lo pelo valor da aceleração da gravidade ($9,80665 \text{ ms}^{-2}$). O cálculo do geopotencial foi feito a partir das equações disponibilizadas na documentação do modelo IFS, parte III: *Dynamics and numerical procedures* (ECWMF, 2015)

Tendo sido calculadas as alturas geopotenciais foram obtidos perfis verticais de vento abrangendo alturas entre ~10 m e 1100 m em relação à superfície. Os pontos de grade do ERA5 mais próximos à torre T2 é apresentado na figura 3c.

4.2.3 Dados de satélite

A NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) disponibiliza um conjunto de dados de satélite nomeado Gridsat (*Gridded Satellite*), que consistem num conjunto uniforme de observações feitas por satélites geoestacionários que são remapeados em uma grade uniforme. Para este estudo foram utilizadas informações dos canais infravermelho (IR – aproximadamente $11 \mu\text{m}$) e vapor d'água (WV – aproximadamente $6.7 \mu\text{m}$). Os dados são disponibilizados em um intervalo de 3 horas e possuem resolução espacial de $0,07$ graus (~ 8 km no Equador). Mais informações a respeito desse conjunto de dados podem ser encontradas em Knapp *et al.* (2011). Para este trabalho foram utilizados dados do Gridsat referentes ao ano de 2017.

4.3 Detecção dos jatos de baixos níveis

A detecção de JBNS se baseou em um caso piloto que ocorreu no dia 22 de setembro de 2016 (REIS, 2019). A detecção se prestou, portanto, a encontrar casos de JBNS com assinaturas idênticas àsquelas observadas no perfil de vento do ERA5 deste evento.

Após análise do JBN do dia 22 de setembro de 2016 foram definidos os seguintes critérios para a busca de novos casos de JBN:

Tabela 3 – Critérios e limiares utilizados para detecção dos JBNs

Valor de ΔV	≥ 3 m/s
Vel. do vento no ponto máx. do perfil	≥ 10 m/s

A metodologia utilizada para aplicar esses critérios é a seguinte:

- 1º) Localiza-se o ponto de máxima velocidade no perfil vertical do vento;
- 2º) Localiza-se o valor do mínimo local subsequente (acima) ao ponto de máximo, caso não haja mínimo local é utilizado o limite superior do perfil de vento;
- 3º) Calcula-se a diferença entre o ponto de máxima velocidade do vento e o ponto de mínimo subsequente ($\Delta V = V_{\text{máx}} - V_{\text{mín}}$);
- 4º) Selecionam-se os perfis que apresentaram $\Delta V \geq 3$ m/s e $V_{\text{máx}} \geq 10$ m/s.

Essa “varredura” feita nos dados de reanálise foi realizada utilizando um algoritmo que retorna o horário de ocorrência do JBN com os respectivos valores de intensidade ($V_{\text{máx}}$) e decréscimo da velocidade (ΔV). Com isso, têm-se disponíveis os dados necessários para caracterizar a morfologia dos JBNs e também as frequências diurnas e sazonais de ocorrência.

4.4 Caracterização da brisa lacustre

A análise foi feita utilizando um período de dados coletados pela torre T1 (Figura 3c) instalada nas margens do reservatório. Os dados utilizados compreendem um período que em as condições sinóticas estavam propícias para a ocorrência da brisa, ou seja, havia a atuação de um sistema de alta pressão sobre a região do reservatório inibindo a formação de nuvens. Com isso havia o favorecimento ao aquecimento diferencial da superfície, o que proporciona a atuação das circulações locais.

A partir desses dados foi avaliado se o vento medido nas margens do reservatório apresentou as mesmas características do modelo conceitual de brisa lacustre. Foi avaliado se o vento medido pela torre T1 apresentou uma inversão do período do dia para o período da noite, e também, foram utilizados os dados provenientes do Lidar para verificar os movimentos verticais, verificando assim se durante o dia havia a ocorrência de movimentos descendentes sobre a superfície aquática e de noite a ocorrência de movimentos ascendentes.

4.5 Caracterização das condições sinóticas

Realizou-se uma avaliação das características sinóticas para os períodos de ocorrência dos JBNs. Essa análise buscou classificar os padrões sinóticos no período de ocorrência dos eventos de JBNs e utilizou como referência quatro padrões sinóticos que ocorrem com predominância na região sudeste do Brasil:

- 1) Padrão de altas: Atuação de um sistema de alta pressão no Oceano Atlântico (ASAS ou alta pós-frontal) com uma crista adentrando a região sudeste ou com a borda ocidental ocasionando circulação anticiclônica sobre o continente. Dependendo do posicionamento do sistema de alta pressão no Atlântico ele pode ser favorável à estabilidade atmosférica. Esse cenário está associado a condições de bloqueio atmosférico, inibindo a formação de nuvens, sendo, portanto, um padrão sinótico propício tanto para a ocorrência de JBNs quanto para a ocorrência de brisas lacustres.
- 2) Padrão frontal: Atuação de um sistema frontal sobre a região do reservatório. Nessa condição há a ocorrência de bastante nebulosidade, o que acaba por prejudicar a atuação da brisa, entretanto, pode ser um mecanismo que favorece a formação de JBNs (KARAM, 2002).
- 3) Padrão pré-frontal: Padrão sinótico anterior à passagem de um sistema frontal, nesse caso, há o favorecimento da ocorrência de circulações locais devido ao aumento de temperatura ocasionado pela advecção de ar quente. Esse cenário é favorável para a ocorrência da brisa lacustre e também favorece a ocorrência de JBNs.
- 4) Padrão de baixas pressões: Esse padrão sinótico ocorre quando a região do reservatório está sob a atuação de uma Zona de Convergência de Umidade

(ZCOU) ou Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Pode haver ou não a atuação de um sistema frontal em conjunto com o padrão de escoamento convergente. Esse tipo de padrão sinótico causa bastante nebulosidade, o que acaba por inibir a ocorrência de brisa lacustre.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Identificação da brisa lacustre nos dados observacionais

Para verificar a atuação da circulação de brisa lacustre no Reservatório de Furnas foram utilizados dados provenientes da torre T1, nível de 10 m. Na figura 8 é mostrada a rosa dos ventos para dois períodos distintos, para representar o vento atuando durante o dia foi utilizado o período de 08/06/2014 10:10 HL à 08/06/2014 11:50 HL (Figura 8a) e para o período da noite foi utilizado o período de 07/06/2014 21:50 à 07/06/2014 23:50 (Figura 8b).

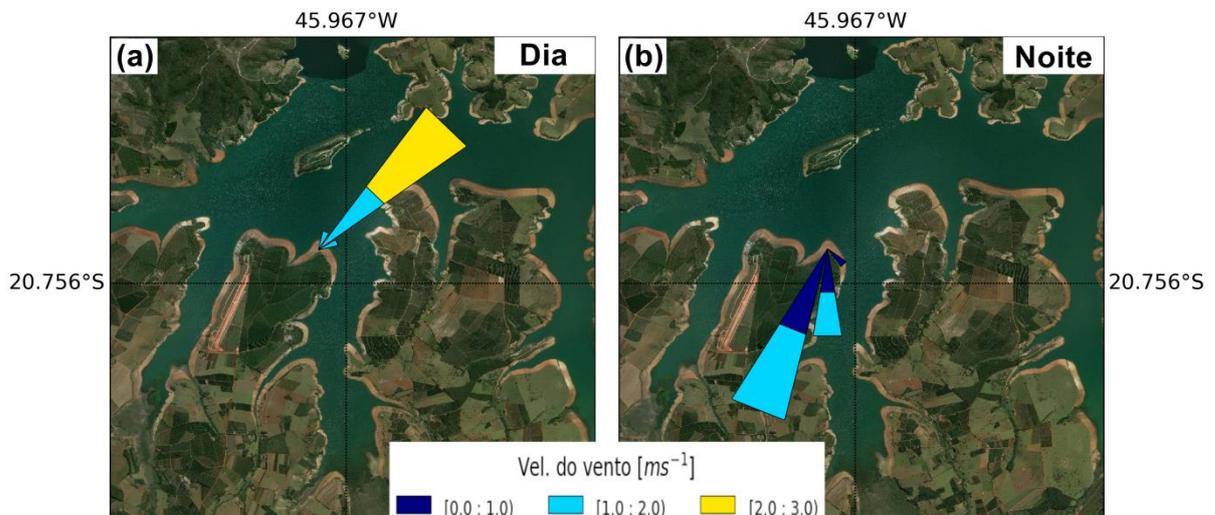


Figura 8 - Rosa dos ventos para o período do dia (a) e para o período da noite (b)

Pode-se verificar que durante o período referente ao dia o vento é predominante de nordeste, e sopra da superfície aquática em direção à superfície terrestre. No período noturno, ocorre uma inversão, o vento passa a soprar da superfície terrestre para a superfície aquática. Essa reversão dos ventos obedece ao modelo conceitual da circulação de brisa lacustre.

Na figura 9 é mostrada a média das velocidades verticais ao longo dos primeiros 200 m da camada limite obtidas num período propício para a atuação da

brisa lacustre. As medidas de velocidade vertical foram obtidas por meio de um Lidar que estava localizado próximo à ilha no centro do reservatório (Figura 3c).

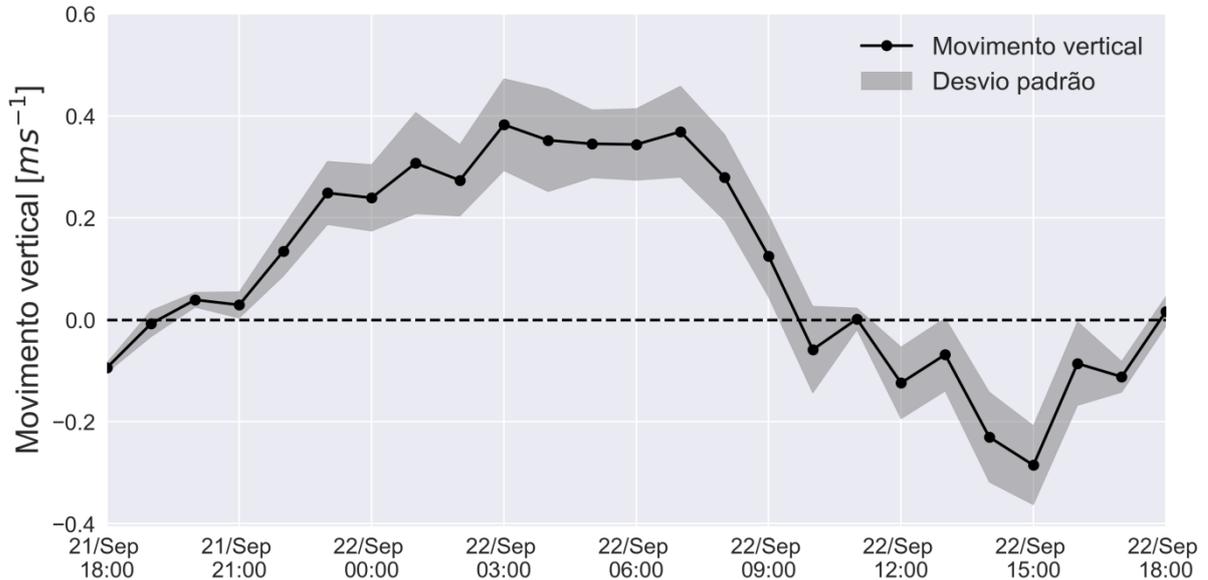


Figura 9 - Média do movimento vertical [ms⁻¹] para os primeiros 200 m da camada limite.

Verifica-se, pela figura 9, que o movimento descendente ocorreu sobre o lago durante o período do dia e o movimento vertical ascendente ocorreu durante a noite. A velocidade vertical ocorreu mais intensamente durante o final da noite do dia 21 de setembro e madrugada do dia 22 de setembro. Durante parte da tarde do dia 22 de setembro houve a predominância de intenso movimento descendente.

5.2 Caracterização dos jatos de baixos níveis sobre o reservatório

5.2.1 Estudo de caso

Durante uma campanha de campo no reservatório de Furnas na madrugada do dia 22 de setembro de 2016, enquanto pesquisadores estavam navegando, ocorreu um evento de vento intenso e persistente que dificultou a permanência deles na água. Na figura 10 é mostrada uma seção vertical do perfil de vento em relação ao tempo que engloba o evento, também é mostrada na figura a velocidade do vento

medida pela torre situada na ilha e pelo Lidar que estava posicionado às suas margens.

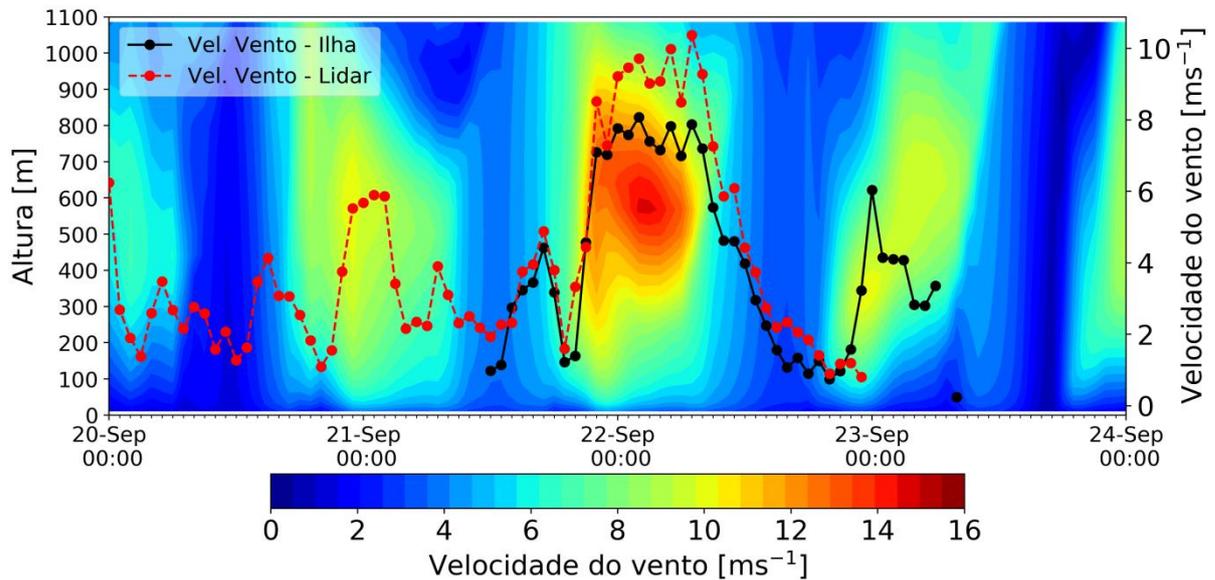


Figura 10 – Secção vertical para um ponto próximo ao reservatório de Furnas para o período de 19/09/2016 a 25/09/2016

Na madrugada do dia 22 de setembro é possível notar um núcleo de velocidade do vento mais intenso localizado próximo à altura de 550 m. Verifica-se que durante a ocorrência desse núcleo os instrumentos mediram ventos persistentes e acima de 6 ms^{-1} próximos à superfície. Também é possível verificar que outros dois núcleos de ventos intensos que ocorreram próximo à altura de 550 m, que apesar de serem menos intensos ocasionaram picos elevados de velocidade do vento próximo à superfície.

Avaliando o evento que ocorreu na transição do dia 21 de setembro para 22 de setembro é possível verificar que se trata de um JBN, pois apresenta máximos relativos de velocidade do vento nos perfis verticais. Na figura 11 são apresentados os perfis verticais de vento durante a ocorrência do JBN que ocasionou ventos intensos em superfície.

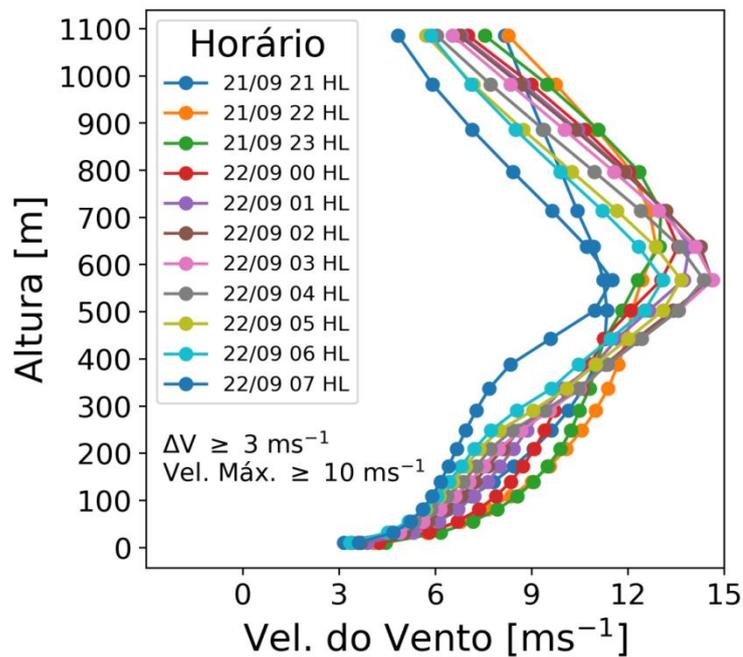


Figura 11 – Perfis verticais dos JBNs detectados entre 21/09/2016 21 HL e 22/09/2016 07 HL.

Verifica-se na figura 11 que todos os perfis de JBN apresentaram valores de ΔV maior que 3 ms^{-1} e velocidade do vento nos pontos de máximo maior que 10 ms^{-1} . O JBN começa a se intensificar no final da noite do dia 21/09/2016, atinge seu máximo por volta das 03 HL do dia 22/09/2016 e no começo da manhã do dia 22/09/2016 ele começa o JBN começa a desintensificar.

Para avaliar as condições de movimento vertical no momento de atuação do JBN foram utilizados dados do LIDAR, que forneceu o valor da velocidade do movimento vertical para cada nível. A figura 12 mostra a média dos valores de velocidade vertical entre os níveis verticais para cada horário, juntamente com a secção vertical de velocidade do vento gerada com os dados do ERA5. Os valores de movimento vertical positivos estão indicando movimentos ascendentes e os valores negativos estão indicando movimentos descendentes.

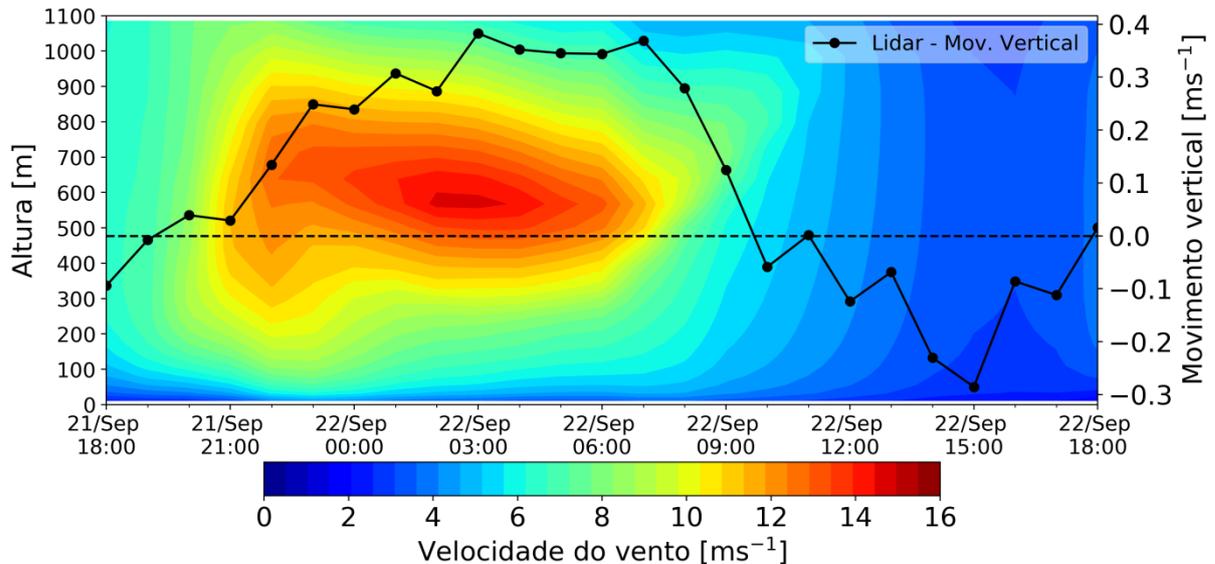


Figura 12 – Seção vertical da velocidade do vento (ERA5) e movimento vertical medido com o Lidar.

O resultado apresentado na figura 12 mostra que durante o período de atuação do JBN a região sobre o reservatório apresentava ocorrência de movimentos ascendentes, característico da brisa lacustre.

. Na figura 13 são apresentadas uma imagem do canal infravermelho (IR) sobreposta com as linhas de pressão ao nível médio do mar (PNMM – ERA5) para as 12:00 HL do dia 21/09/2016 (Figura 13a) e para as 00:00 HL do dia 22/09/2016 (Figura 13b), e também são apresentadas imagens do canal de vapor d'água (WV) sobrepostas com as linhas de fluxo do nível de 850 hPa para as 12:00 HL do dia 21/09/2016 (Figura 13b) e para as 00:00 HL do dia 22/09/2016 (Figura 13d). A região do reservatório de Furnas está destacada nas figuras na forma de um retângulo azul.

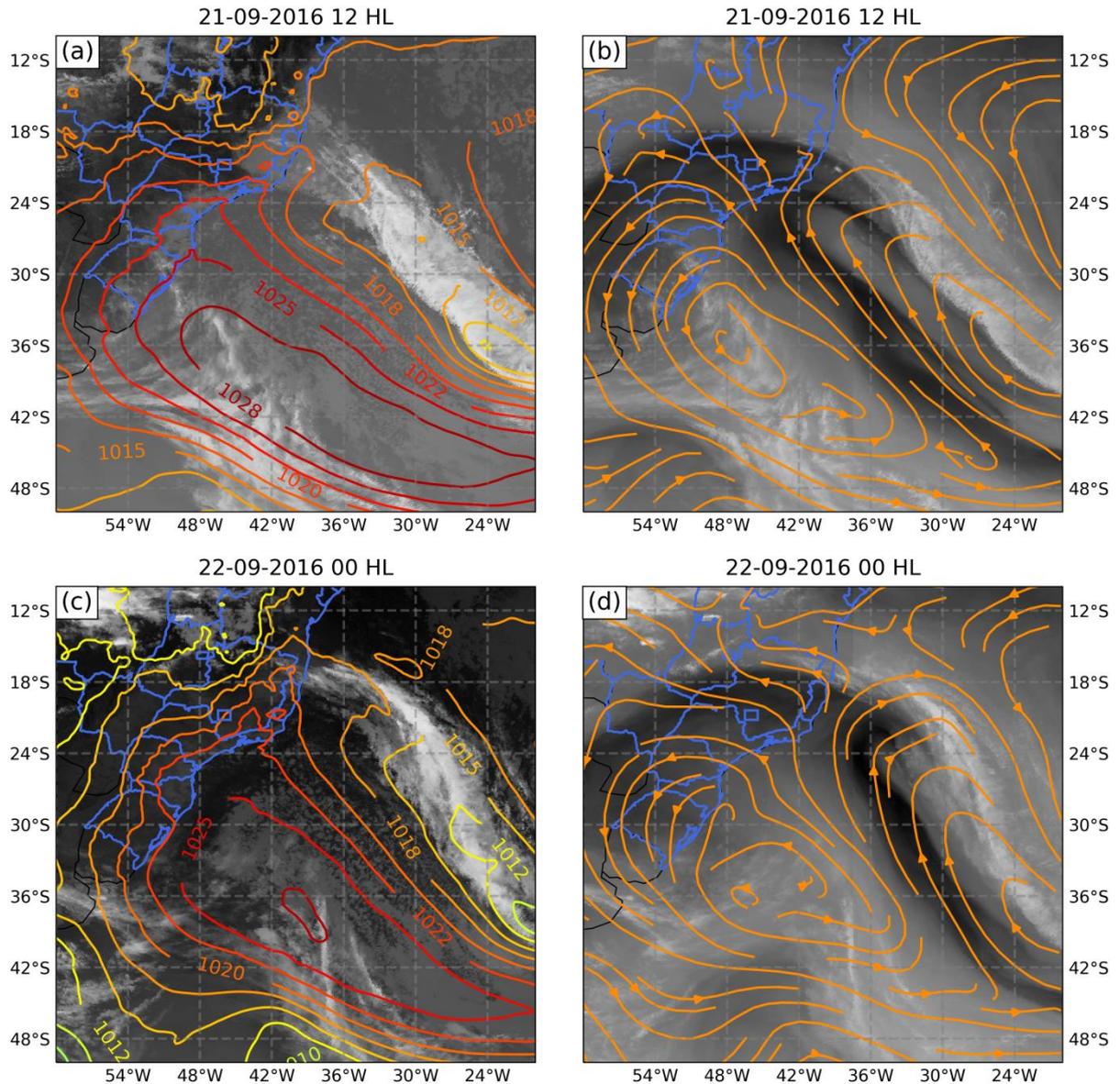


Figura 13 – Mapas de PNMM, Escoamento em 850 hPa, WV e IR para o horário de 21/09/2016 12 HL e 22/09/2016 00 HL.

A partir das imagens apresentadas na figura 13 é possível verificar que, tanto no horário anterior quanto no horário de ocorrência do JBN, havia a atuação de um sistema de alta pós-frontal com núcleo sobre o oceano Atlântico, cuja crista na borda ocidental estava adentrando a região sudeste e influenciando as condições do tempo. A frente fria pode ser identificada atuando sobre a região norte de Minas Gerais na figura 13a e 13b, nas figuras 13c e 13d a frente fria já atua no sul da Bahia, as figuras do canal WV (Figura 13b e Figura 13d) mostram que o jato subtropical estava fornecendo suporte dinâmico à frente fria. As linhas de escoamento no nível de 850 hPa (Figura 13b e Figura 13d) mostram que sobre o

Oceano Atlântico há a ocorrência de circulação ciclônica relacionada com o sistema frontal em superfície e circulação anticiclônica relacionada à alta-pós frontal. Nas imagens do canal WV é possível visualizar que na região do reservatório as cores estão mais escuras, o que indica baixo teor de vapor d'água em médios e altos níveis da atmosfera, isso sugere que há o predomínio de movimentos descendentes sobre a região, ocasionando que o vapor d'água fique mais concentrado próximo à superfície, reflexo da atuação do sistema de alta pressão. As imagens do canal IR mostram cores mais escuras na região do lago, indicando que o céu estava com ausência de nuvens profundas.

A figura a seguir, apresenta o campo de PNMM (contorno preto), os vetores e o *shaded* estão mostrando, respectivamente, a direção e a intensidade do escoamento na altura do máximo do JBN (~ 550 m).

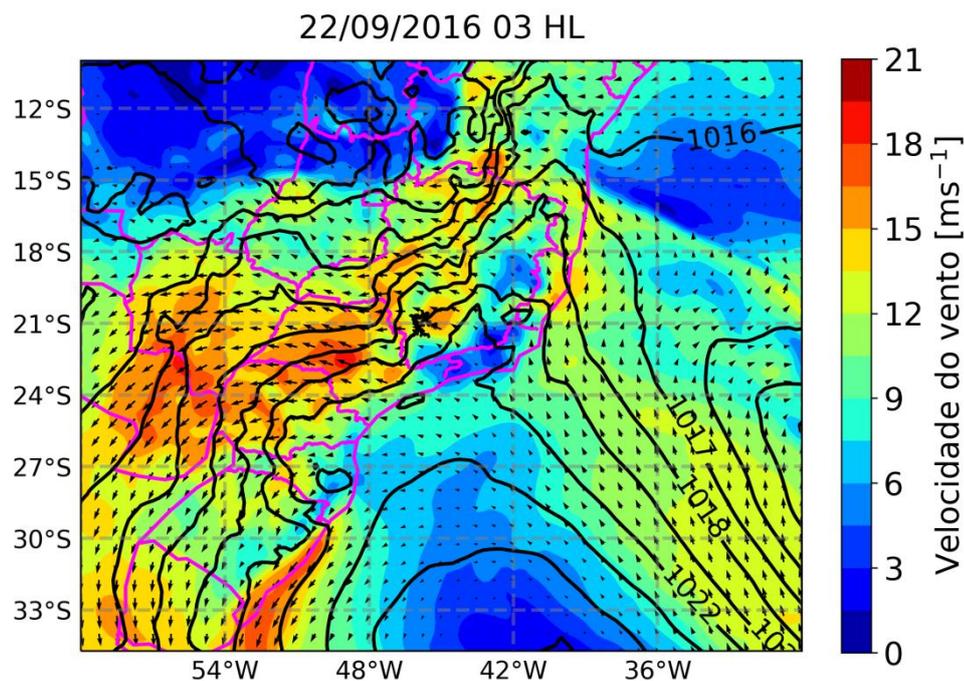


Figura 14 – Condições da PNMM e escoamento na altura de 550 m para as 03 HL do dia 22 de setembro de 2016. As linhas pretas são as isóbaras, os vetores representam o escoamento e o *shaded* representa a velocidade do vento.

Na figura 14 é possível ver o escoamento horizontal médio e a velocidade do vento na altura de 550 m. Percebe-se que os ventos mais intensos estão concentrados na borda ocidental da crista da alta pressão. No centro da crista, os ventos são menos intensos. Karam (2002) explica que a penetração da crista no

sudeste, com circulação anticiclônica cria um cenário de grande escala que é favorável à oscilação inercial dos ventos na parte que desacopla durante a noite. Essa condição de estabilidade induzida pela atuação do sistema de alta pressão é favorável ao resfriamento radiativo o que a contribui para o desacoplamento da CLP e, portanto, influencia na geração de JBNs. Infere-se, portanto, que na região do reservatório de Furnas e no seu entorno havia a influência da crista do sistema de alta pressão na geração de JBNs.

Outro aspecto a ser considerado é a influência da topografia na formação dos JBNs, isso é bem visualizado na figura 15, onde são apresentadas secções verticais (longitude x altura) de intensidade do vento (figura 15a) e de temperatura (figura 15b). O corte vertical foi realizado na latitude de 21 °S, que passa exatamente sobre o reservatório de Furnas no horário de 03 HL do dia 22 de setembro de 2016, horário de máxima intensidade do JBN.

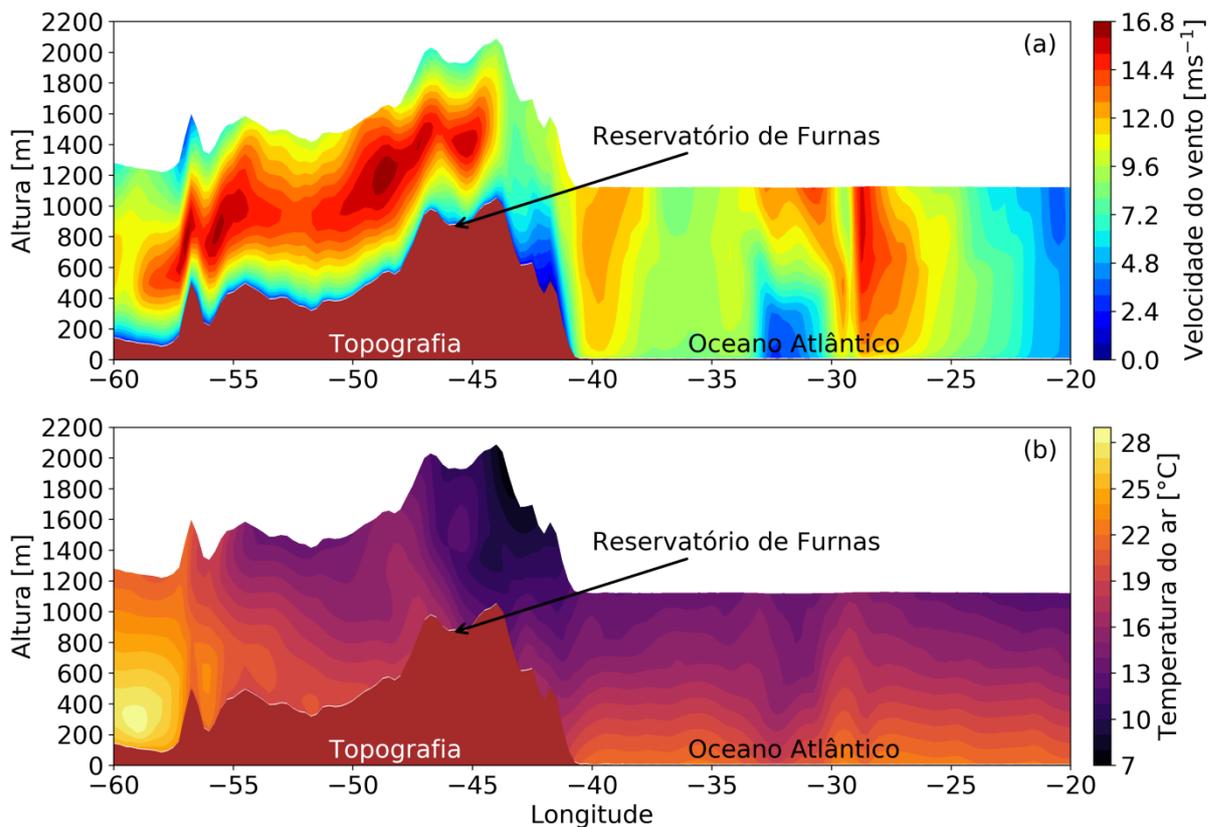


Figura 15 – Secção vertical (longitude x altura) para a velocidade do vento (a) e temperatura do ar (b). Dados provenientes do ERA5.

Análise similar foi feita por Hoecker (1963), que gerou secções verticais do perfil de vento na CLP desde a bacia do Mississipi até as Montanhas Rochosas, ele observou que no período noturno ocorre um máximo no perfil vertical do vento sobre o terreno que se inclina para a direcção leste. No caso apresentado na figura 15 é possível perceber que os núcleos de JBNs ocorreram a oeste do terreno inclinado, seguindo um gradiente de temperatura de leste para oeste.

Neste trabalho não será dado enfoque aos mecanismos de geração dos JBNs, pois demanda estudos mais aprofundados.

Como as condições descritas acima indicam que as condições sinóticas estavam favorecendo a termodinâmica local na região do reservatório teve-se, portanto, uma condição propícia para o aquecimento diferencial entre a superfície terrestre e aquática, ou seja, durante a ocorrência do JBN do dia 22 de setembro de 2016 havia condições oportunas para a ocorrência de brisa lacustre. Esse cenário é similar ao que foi observado por Hall (1954) que estudou a relação entre as condições de escala sinótica e a ocorrência de brisa lacustre tendo mostrado que um sistema de alta pressão com o centro ou a crista da borda sobre a região do Lago Michigan é um padrão favorável para a ocorrência de brisa lacustre.

5.2.2 Ocorrência de casos de JBNs para o ano de 2017

Para caracterizar a ocorrência de JBNs no reservatório de Furnas foi aplicado o algoritmo de detecção nos dados de reanálise do ERA5 no período correspondente ao ano de 2017. Embora este estudo tenha se concentrado apenas no ponto de grade do ERA5 mais próximo à torre anemométrica uma investigação sobre a ocorrência de JBNs para a região sudeste é apresentada na figura 16a. A figura 16b apresenta o perfil médio do vento para todo o ano de 2017 e o perfil médio apenas para os períodos em que foram detectados os JBNs.

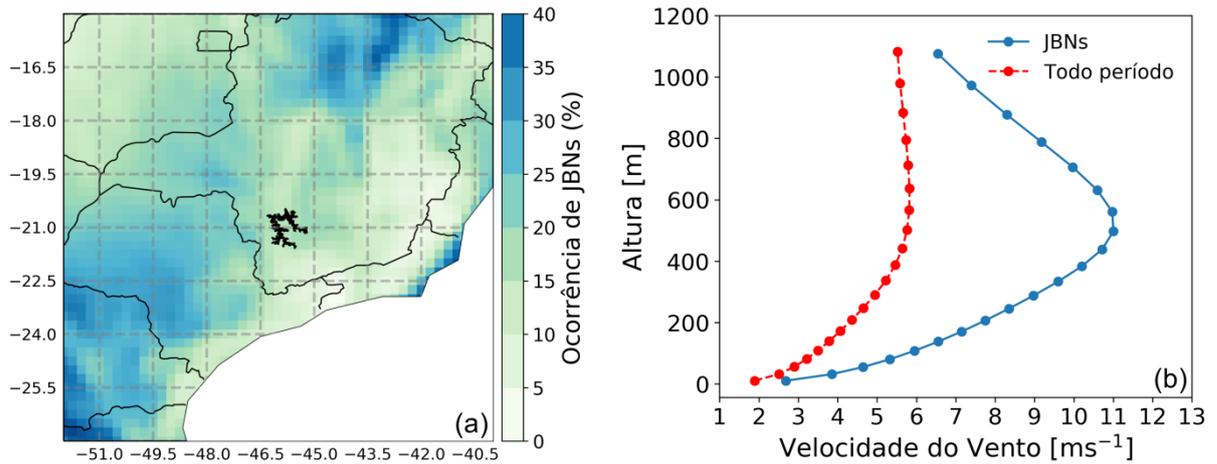


Figura 16 – Distribuição espacial de ocorrência dos JBNs (a) e perfis médios para o ano de 2017 e para os períodos com atuação dos JBNs (b).

A partir da figura 16a é possível verificar que sobre a região do reservatório de Furnas a porcentagem de horas com JBNs está concentrada entre 15% a 20%, outras regiões, como o interior paulista e o norte de Minas apresentam uma frequência de ocorrências de JBNs maior. Na figura 15b verifica-se que o perfil médio para todo o ano de 2017 possui a forma teórica padrão, na qual o vento aumenta com a altura, similar a uma função logarítmica. Por outro lado, o perfil médio dos JBNs apresenta um formato distinto, pois apresenta um máximo relativo, o que lhe confere um formato de “nariz”.

As figuras apresentadas a partir de agora foram feitas a partir de dados extraídos do ponto de grade do ERA5 mais próximo à torre T2 (Figura 3b). A figura 17 apresenta uma visão geral dos perfis de vento que apresentam um ΔV positivo. A linha tracejada representa o limiar de ΔV que foi utilizado como limiar para a detecção de JBNs. A escala de cor representa a intensidade dos JBNs no ponto de máximo do perfil vertical.

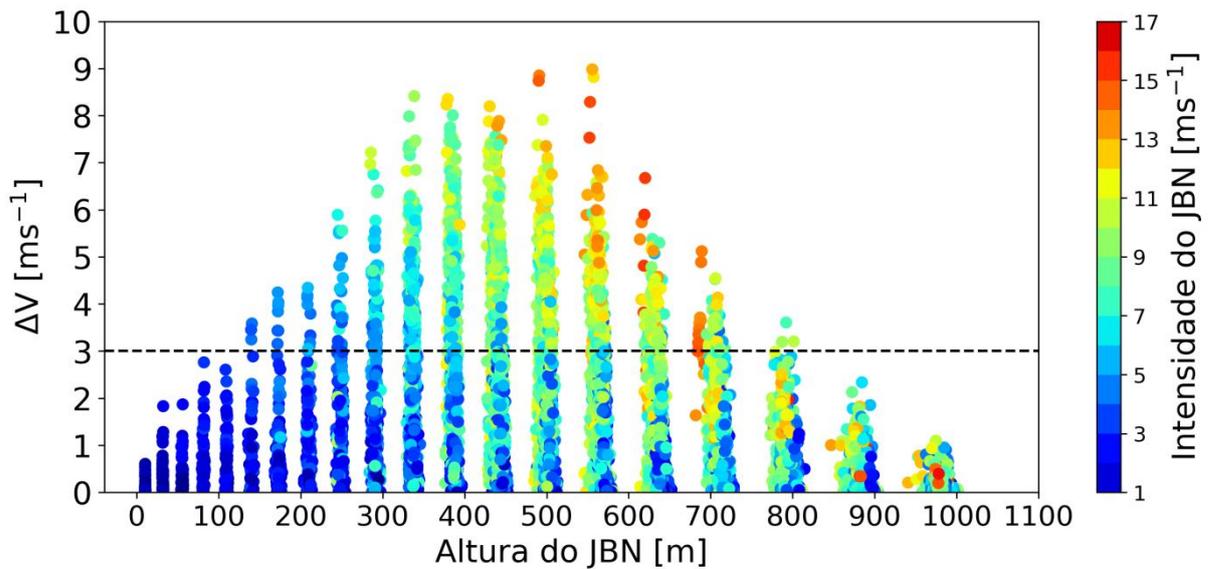


Figura 17 - ΔV , altura e intensidade dos JBNS detectados no reservatório de Furnas.

No total, foram identificados 81 períodos persistentes de ocorrência de JBNS, com uma duração média de 5,5 horas. Os boxplots apresentados na figura 18 mostram a distribuição da altura e intensidade dos JBNS que obedeceram aos critérios adotados.

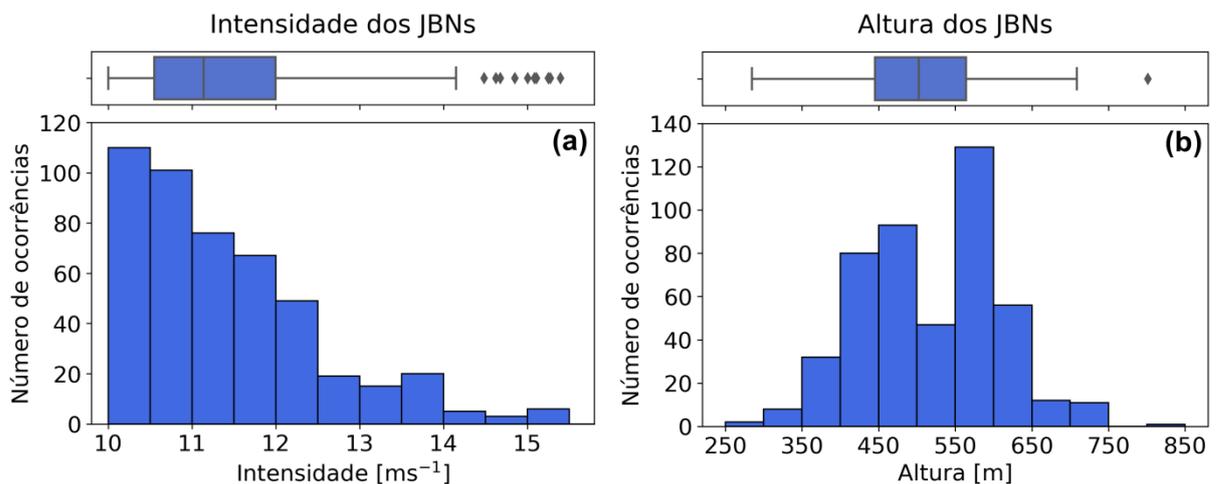


Figura 18 – Histogramas e boxplots da intensidade dos JBNS (a) e Altura dos JBNS (b)

Verifica-se pela figura 18a que a intensidade dos JBNS estão compreendidas, em sua maior parte, entre 10,5 m/s e 12 m/s, intensidades acima de 14,5 m/s são *outliers*, ou seja, representam uma percentual muito pequeno de ocorrência. Quanto

à altura (Fig. 18b), é possível observar dois grupos de alturas com maior predominância, um grupo é mais concentrado por volta de 450 m e o outro por volta de 600 m, alturas abaixo de 350 m e acima de 650 m representam uma pequena porção das ocorrências totais.

A figura 19 permite a visualização da distribuição horária e mensal da ocorrência de JBNs.

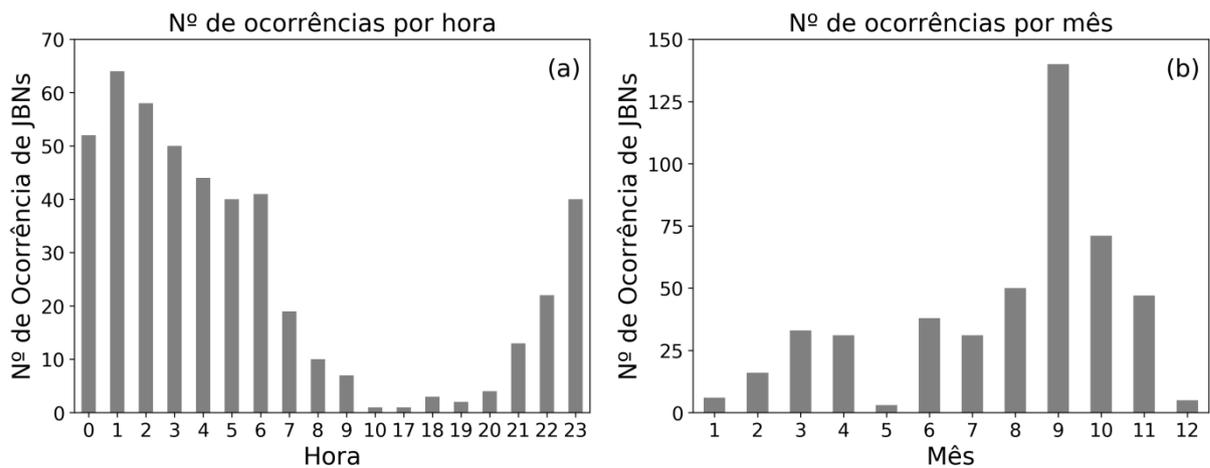


Figura 19 – Frequências diurna (a) e mensal (b) de ocorrências de JBNs em Furnas.

A maioria dos eventos de JBNs ocorreu na estação da primavera, principalmente no mês de setembro. Quanto ao ciclo diurno, verifica-se que os JBNs ocorreram predominantemente entre o final da noite e o começo da manhã, isso é bem visualizado na figura 20 que apresenta a densidade de ocorrência dos JBNs para cada hora em relação à altura.

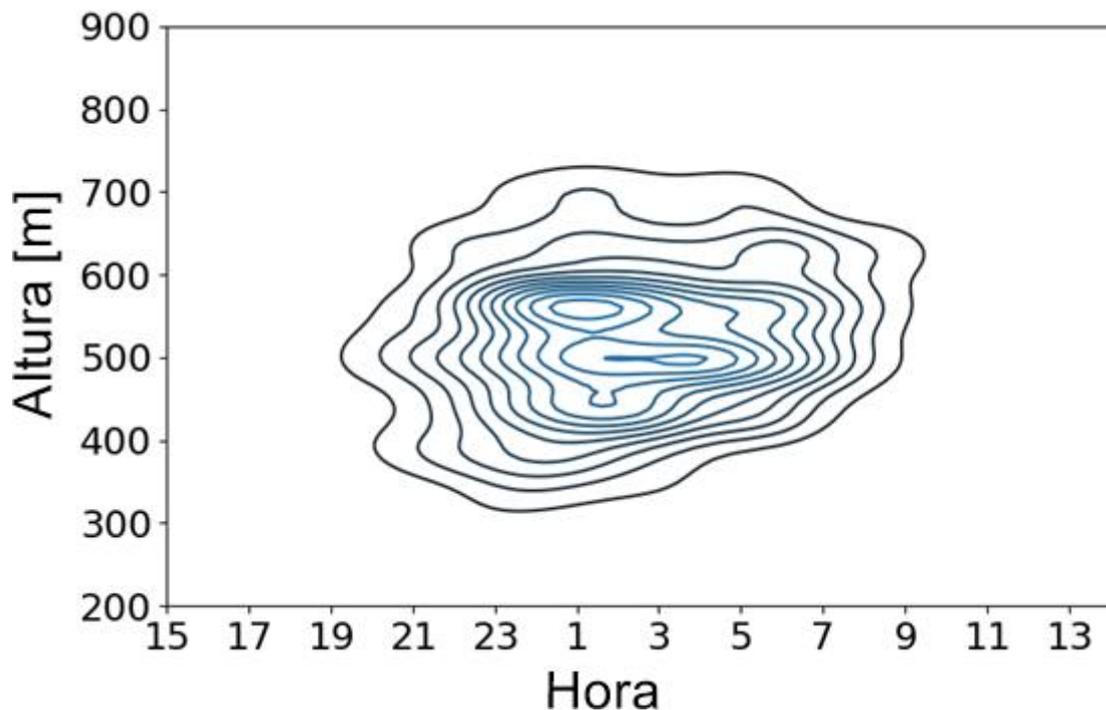


Figura 20 – Gráfico de densidade de probabilidade da altura em relação à hora.

A partir da figura 20 é possível verificar que embora tenham ocorrido JBNS entre 10h e 19h, o número de ocorrências foi tão baixo em relação às demais horas que não foi suficiente para fechar uma isolinha de densidade de probabilidade.

5.3 Resposta dos JBNS em superfície

No estudo de caso apresentado anteriormente foi mostrado que havia uma relação entre os JBNS detectados nos dados de reanálise e os valores de velocidade do vento medidos em superfície. Os valores de vento próximo à superfície apresentaram velocidades intensas com grande persistência durante o período de ocorrência dos JBNS. Entretanto, a questão a ser respondida é se isso também ocorre com os eventos de JBNS que apresentam características similares ao estudo de caso.

Para responder essa questão foi utilizado um ano de dados de reanálise e um ano de dados provenientes de uma torre anemométrica. Os dados da torre que foram utilizados foram rearranjados em intervalos 5 min. A avaliação foi feita de forma visual para cada evento, da mesma forma como foi apresentada na figura 10.

Considerando que a torre T2 está situada sobre uma colina, o vento é considerado intenso quando sua velocidade é maior que 6 m/s.

A figura 21 apresenta quatro exemplos de eventos de JBNs detectados no reservatório de Furnas com as respectivas velocidades do vento em superfície de forma a ilustrar como foi procedida a análise visual.

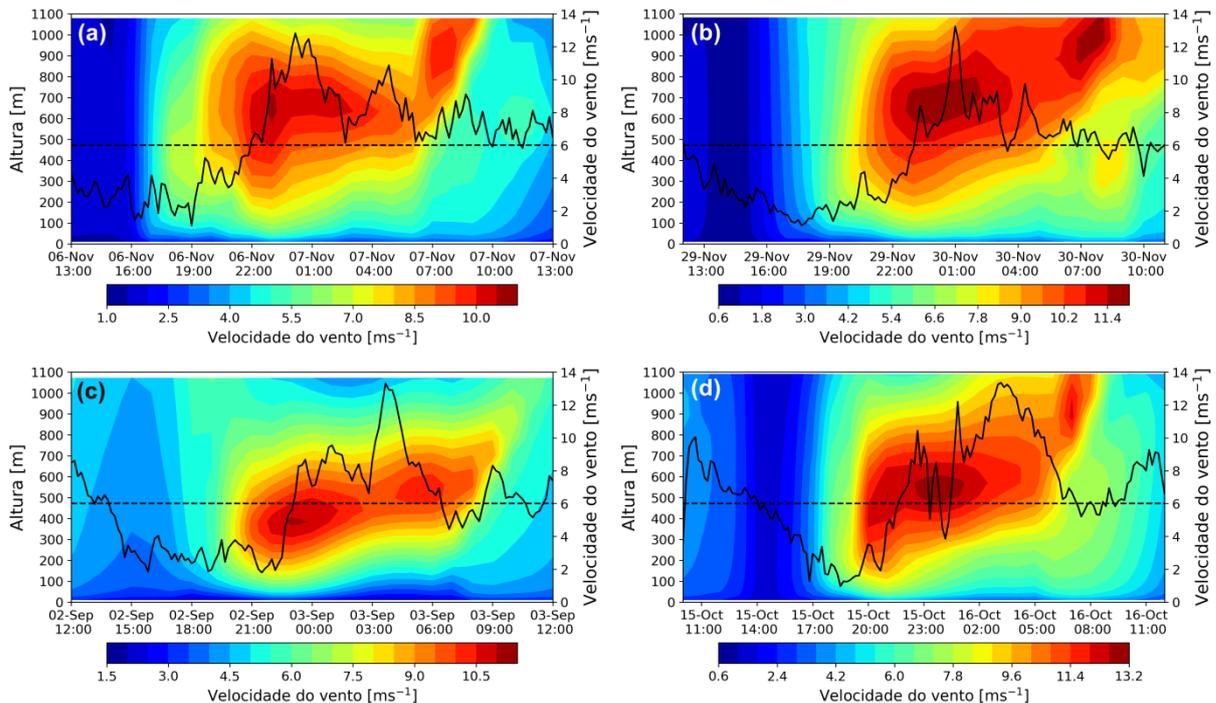


Figura 21 – Quatro exemplos (a, b, c, d) de períodos com JBNs que foram detectados pelo algoritmo e respectivas velocidades medidas pela torre T2.

Os 4 eventos acima exemplificam eventos típicos de JBNs que ocasionaram ventos intensos ($> 6\text{ m/s}$) em superfície que persistiram por bastante tempo. Os ventos em superfície chegaram a atingir valores próximo a 14 ms^{-1} ($\sim 50,4\text{ km/h}$).

Dos 81 períodos com ocorrência contínua de JBNs, 16 não possuíam os respectivos dados de velocidade do vento próximo à superfície devido às falhas de medição do anemômetro instalado na torre T2.

Assim, foram analisados os 65 eventos remanescentes que possuíam dados disponíveis. Analisando esses 65 eventos, verificou-se que todos ocasionaram ventos intensos em superfície. Houve ocorrências de ventos intensos que persistiram por várias horas, entretanto, houve também aqueles que ocasionaram apenas um brusco aumento na velocidade do vento por apenas uma hora. Na seção

seguinte é descrita quais eram as condições sinóticas durante a ocorrência dos JBNs detectados.

5.4 Características sinóticas durante a ocorrência de JBNs

Similarmente ao que foi feito para o estudo de caso (seção 5.2.1), foi realizada uma avaliação das características sinóticas no período próximo à ocorrência dos JBNs detectados. A análise individual para cada evento identificou que o padrão sinótico predominante foi o de alta pressão no Atlântico. Dos 81 períodos de ocorrência contínua de JBNs, 40 estavam relacionados com a atuação da borda da ASAS sobre a região sudeste e 41 estavam relacionados com a penetração da crista de um sistema de alta pós-frontal que influenciava o tempo na região do reservatório. Em 3 ocasiões, além do padrão de altas havia também um cenário pré-frontal. É sabido que em algumas ocasiões a atuação da borda da ASAS sobre o continente pode contribuir para o transporte de umidade do oceano para o continente, devido ao padrão de circulação anticiclônico. Foi verificado, entretanto, que os JBNs ocorreram em condições de céu limpo ou parcialmente nublado, ou seja a ASAS estava contribuindo para a estabilidade sinótica na região do reservatório de Furnas.

Na figura 22 é apresentado um exemplo do padrão sinótico em que a borda da ASAS atuava sobre o sudeste (Figura 22a) e do padrão sinótico em que a crista de uma alta pós frontal atuava sobre a região de estudo (Figura 22b). Nesses dois casos ocorreram eventos intensos de JBNs.

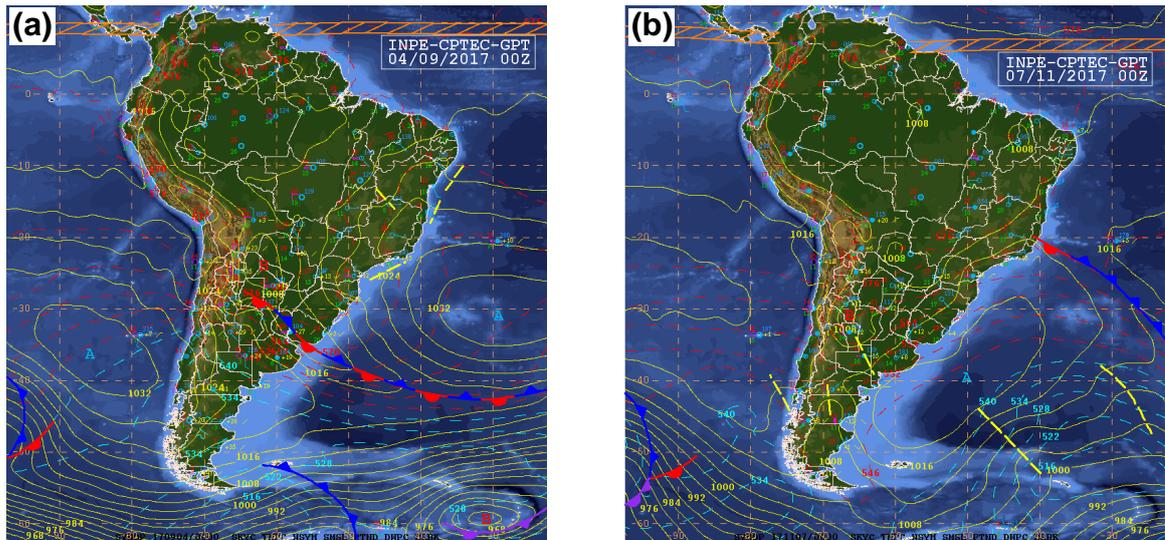


Figura 22 – Cartas sinóticas de superfície mostrando os dois padrões sinóticos predominantes encontrados.

Os padrões que foram identificados nos dias de ocorrência de JBNs acarretam em um cenário sinótico de subsidência pouco intenso, devido à atuação do sistema de alta pressão, e o céu permanece claro ou parcialmente nublado. Isso contribui para o resfriamento radiativo no decorrer da noite favorecendo o desacoplamento da CLP, que passa atuar sem a influência da fricção da superfície terrestre. Além disso, esse padrão de pouca ou ausência de nebulosidade contribui para o fortalecimento das circulações locais, ou seja, os mesmos padrões que favorecem a ocorrência de JBNs também favorecem a ocorrência de brisa lacustre.

Portanto, a partir da análise sinótica foi identificado que o padrão sinótico de alta pressão no oceano é o predominante durante a ocorrência dos JBNs. Estudos indicam que a baroclinicidade sinótica influenciada pela atuação de sistemas de alta ou baixa pressão atuam como um fator de grande influencia na geração dos JBNs (LIU *et al.*, 2014). Uccellini *et al.* (1987) verificou que um ambiente baroclínico é propício para a intensificação dos JBNs sendo que, áreas com gradientes horizontais de pressão que se formam na transição de áreas de alta para baixa pressão favorecem a ocorrência dos eventos. Além disso, vários outros estudos demonstraram que as condições sinóticas constituem um fator de grande relevância para o desenvolvimento de JBNs. No estudo climatológico dos JBNs nas Grandes Planícies, feito por Bonner (1968), foi encontrado que os ambiente sinóticos

favoráveis para a formação de JBNS são aqueles em que há um forte gradiente de pressão de oeste para leste nas Grandes Planícies e um fluxo de ar ininterrupto oriundo do Golfo do México. Baas (2009) estudando eventos de JBNS em Cabauw, na Holanda, encontrou que desacoplamento do topo da CLP durante a transição para a noite com a consequente oscilação inercial e a baroclinicidade devido a atuação de sistemas sinóticos são os principais mecanismos forçantes para a formação dos JBNS.

5.5 Comparação dos JBNS ocorridos no reservatório com os JBNS ocorridos na região vizinha

É interesse deste trabalho entender a influência dos extensos sistemas aquáticos nos JBNS. Tendo em vista isto, é feita uma comparação entre a região próxima ao reservatório (Guapé/MG) e uma região vizinha ao reservatório, mas que se situa longe o suficiente para não sofrer influência da circulação local induzida pelo lago.

A comparação foi feita entre o ponto de grade do ERA5 situado mais próximo à torre T2 (município de Guapé/MG) e o ponto de grade mais próximo à estação meteorológica automática do Instituto Nacional de meteorologia (INMET) (município de Passos/MG).

A mesma análise para detecção de JBNS que foi feita para a região do reservatório de Furnas (Guapé) foi feita para Passos. Em geral, a distribuição diurna e sazonal dos JBNS em Passos foi bem similar à encontrada em Guapé. Foi verificado que os JBNS em Passos são ligeiramente mais intensos que os encontrados em Guapé, por isso, o número de períodos contínuos de JBNS detectados em Passos foi maior que o encontrado em Guapé (81 para Guapé e 92 para Passos).

A figura 23 apresenta secções verticais de altura em relação ao tempo para as duas localidades. Como os dados de velocidade do vento medidos pela estação do INMET estavam disponibilizados em intervalos de 1 hora foi necessário rearranjar os dados da torre anemométrica também para intervalos de 1 hora, a fim de facilitar a comparação e a visualização. Ressalta-se que a torre anemométrica de Furnas, mede naturalmente velocidades mais intensas que a estação do INMET. Isso se deve ao fato da torre estar situada sobre uma colina e o seu anemômetro estar

instalado a uma altura de 10 m. Não se pode fazer, portanto, uma comparação direta entre os dados da torre e os da estação.

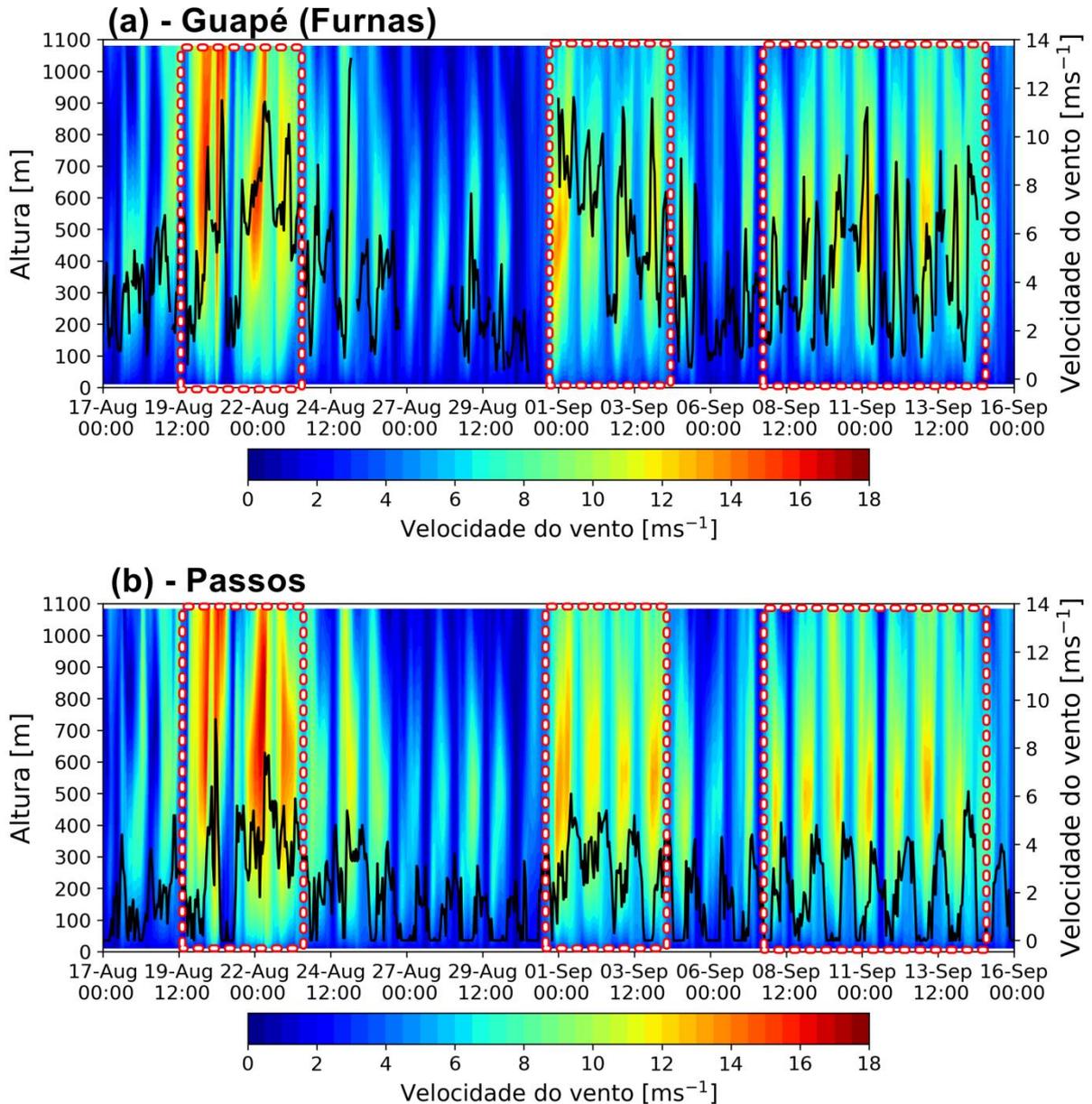


Figura 23 – Secção vertical de velocidade do vento com respectivas velocidades do vento em superfície para Furnas (a) e Passos (b).

Na figura 23 são destacados, por meio de retângulos vermelhos, três períodos distintos em que havia a atuação de JBNs. Verifica-se que, com ligeiras diferenças, as duas regiões distintas apresentaram os mesmos períodos com presença de JBNs. É possível perceber que os JBNs em Passos são um pouco mais intensos do que os de Furnas.

Também é possível verificar, por meio de uma análise visual, que os JBNs que ocorreram nas duas regiões estavam relacionados com ventos mais intensos próximos à superfície. Pode-se inferir isso verificando que nos períodos próximos aos núcleos dos JBNs havia a presença de pequenos picos de ventos mais intensos. Tanto que, no período compreendido entre 27/08/2016 00:00 HL e 01/09/2016 00:00 HL, no qual os núcleos de JBNs eram menos intensos os ventos em superfície não atingiram picos tão altos quanto os períodos com JBNs mais intensos.

A partir dessas análises, infere-se que tanto os JBNs que ocorreram no município de Guapé (reservatório de Furnas), quanto os que ocorrem no município de Passos estavam relacionados com eventos de ventos intensos em superfície.

4. CONCLUSÃO

Os resultados encontrados mostraram que os JBNs ocorreram em sua maior parte na primavera, com pico no mês de setembro, entre o final da noite e o começo da madrugada. As alturas dos JBNs se situaram predominantemente entre 400 e 600 m acima da superfície e as intensidades dos JBNs se concentraram principalmente entre 10 e 12,5 ms⁻¹. Quanto às características sinóticas, verificou-se que os JBNs ocorreram predominantemente em cenários de céu limpo ou parcialmente nublado onde havia uma penetração de uma crista de alta pressão sobre o sudeste ou a atuação da borda da ASAS.

Tem-se, portanto, que a baroclinicidade de grande escala, ocasionada pela atuação de sistemas de alta pressão situados no Atlântico com a penetração de uma crista sobre o continente, pode ter sido um fator que contribuiu para a formação dos eventos dos JBNs detectados. A baroclinicidade induzida pelo terreno inclinado também pode ser um fator que influenciou na formação dos JBNs na região do reservatório.

Foi constatado que a região do reservatório de Furnas possui uma circulação local de brisa lacustre. E também, foi verificado que os eventos de JBNs que ocorreram sobre o reservatório estiveram relacionados com a incidência de ventos intensos próximo à superfície.

Como a avaliação sinótica permitiu constatar que as mesmas condições que favoreciam a ocorrência de JBNs também propiciavam a ocorrência da brisa, não havia como afirmar se os ventos intensos estavam sendo ocasionados pelo

acoplamento entre a circulação local e os JBNs, ou se era apenas uma condição pertinente à ocorrência de JBNs na região. Portanto, teve-se a necessidade de encontrar uma região vizinha ao reservatório de Furnas que, ao mesmo tempo em que estava próxima o suficiente do reservatório para compartilhar as mesmas características sinóticas, estava longe o suficiente para não ser influenciada pela circulação de brisa.

A comparação foi feita entre a região de Furnas e a região do município de Passos. Foi verificado que em Passos, mesmo sem haver a influência da circulação de brisa, os JBNs ocasionaram ventos intensos em superfície. Além disso, alguns aspectos interessantes puderam ser observados: os eventos de ventos intensos que ocorreram em Furnas foram mais intensos e mais persistentes que os que ocorreram em Passos, ou seja, o incremento na velocidade do vento por ocasião dos JBNs foi maior para Furnas do que para Passos. Além disso, no estudo de caso, foi observada a atuação de movimentos ascendentes no momento de ocorrência dos JBNs e movimentos descendentes durante o dia, o que pode ser explicado pela teoria da brisa lacustre. Enquanto todos os JBNs em Furnas estiveram relacionados com ventos intensos em superfície o mesmo não ocorreu para Passos.

A partir das considerações acima, infere-se que outro mecanismo além da brisa lacustre influencia na subsidência dos JBNs e consequente ocorrência de ventos intensos em superfície. Porém, isso não descarta a possibilidade de a circulação de brisa estar se acoplando aos JBNs ocasionando seu “mergulho” para níveis mais baixos. Neste caso, a circulação de brisa estaria favorecendo a ocorrência de ventos mais intensos próximos à superfície.

Verificou-se com esse estudo que os dados de reanálise do ERA5 contêm informações valiosas acerca de JBNs. A combinação dos dados do ERA5 com dados medidos in situ pode ser uma ferramenta muito útil para a análise de fenômenos na CLP. A identificação dos padrões sinóticos predominantes nos dias de ocorrência de JBNs é de grande relevância, pois pode contribuir na criação de uma metodologia para antecipar a ocorrência de tais eventos.

5. REFERÊNCIAS

- ANDREAS, E. L.; CLAFFY, K. J.; MAKSHITAS, A. P. Low-level atmospheric jets and inversions over the western Weddell Sea. **Boundary-layer meteorology**, v. 97, n. 3, p. 459-486, 2000.
- ASSIREU, A.; PIMENTA, F.; SOUZA, V. Assessment of the wind power potential of hydroelectric reservoirs. **Energy resources: development, distribution and exploitation**, p. 1-28, 2011
- BAAS, P.; BOSVELD, F. C, KLEIN BALTIK, H.; HOLTSLAG, A. A. M. A climatology of nocturnal low-level jets at Cabauw. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 48, n. 8, p. 1627-1642, 2009.
- BALMEZ, M.; ŞTEFAN, S. On the formation mechanism of low-level jet over bucharest's airports. **Romanian Journal of Physics**, v. 59, n. 7-8, p. 792-807, 2014.
- BANTA, R. M., NEWSOM, R. K., LUNDQUIST, J. K., PICHUGINA, Y. L., COULTER, R. L., MAHRT, L. Nocturnal low-level jet characteristics over Kansas during CASES-99. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 105, n. 2, p. 221-252, 2002.
- BLACKADAR, A. K. Boundary layer wind maxima and their significance for the growth of nocturnal inversions. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 38, n. 5, p. 283-290, 1957.
- BONNER, W. D. Climatology of the low level jet. **Mon. Wea. Rev.**, v. 96, n. 12, p. 833-850, 1968.
- BUCHHOLZ, M.; FINK, A. H, KNIPPERTZ, P. YORKE, K. Impacts of the land-lake breeze of the Volta reservoir on the diurnal cycle of cloudiness and precipitation. In: EGU General Assembly Conference Abstracts., 2017, Vienna. **Anais...** Vienna, 2017. p. 16073.
- CHRISTAKOS, K.; VARLAS, G.; REUDER, J. KATSAFADOS, P.; PAPADOPOULOS, A. Analysis of a low-level coastal jet off the western coast of Norway. **Energy Procedia**, v. 53, p. 162-172, 2014.
- COPERNICUS CLIMATE CHANGE SERVICE (C3S). ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate, Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS). Disponível em: <<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home>> Acesso em: 04 de novembro de 2019.
- CROSMAN, E. T.; HOREL, J. D. Idealized large-eddy simulations of sea and lake breezes: sensitivity to lake diameter, heat flux and stability. **Boundary-layer meteorology**, v. 144, n. 3, p. 309-328, 2012.
- DROBINSKI, P.; DUBOS, T. Linear breeze scaling: from large-scale land/sea breezes to mesoscale inland breezes. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 135, n. 644, p. 1766-1775, 2009.

GARRATT, J. R. The inland boundary layer at low latitudes. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 32, n. 4, p. 307-327, 1985.

ECMWF: IFS Documentation – Cy41r1, Part. III: Dynamics and Numerical Procedures, ECMWF. Disponível em: <<https://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2015/9210-part-iii-dynamics-and-numerical-procedures.pdf>>. Acesso em: 30 de outubro de 2019.

IAKUNIN, M., SALGADO, R., POTES, M. Breeze effects at a large artificial lake: summer case study. *Hydrol. Earth Syst. Sci*, n. 22, p. 5191–5210, 2018.

KALVERLA, P. C.; DUNCAN JR, J. B.; STEENEVELD, G. J.; HOLTSLANG, A. A. Low-level jets over the North Sea based on ERA5 and observations: together they do better. **Wind Energy Science**, v. 4, n. 2, p. 193-209, 2019.

KALVERLA, P. C.; STEENEVELD, G. J.; RONDA, R. J.; HOLTSLAG, A. A. An observational climatology of anomalous wind events at offshore meteor mast IJmuiden (North Sea). **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 165, p. 86-99, 2017.

Knapp, K. R.; Ansari, S.; Bain, C. L.; Bourassa, M. A.; Dickinson, M. J.; Funk, C.; Helms, C. N.; Hennon, C. H.; Holmes, C. D.; Huffman, G. J.; Kossin, J. P.; Lee, H. - T.; Loew, A.; Magnusdottir, G. 2011: Globally gridded satellite (GridSat) observations for climate studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, n. 92, p. 893-907, 2011.

KRAUS, H.; MALCHER, J.; SCHALLER, E. A nocturnal low level jet during PUKK. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 31, n. 2, p. 187-195, 1985.

LIU, H.; HE, M.; WANG, B.; ZHANG, Q. Advances in low-level jet research and future prospects. **Journal of Meteorological Research**, v. 28, n. 1, p. 57-75, 2014.

HALL, Clifford D. Forecasting the lake breeze and its effects on visibility at Chicago Midway airport. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 35, n. 3, p. 105-111, 1954.

HOECKER, W. H. Three southerly low-level jet systems delineated by the Weather Bureau special pilot network of 1961. **Mon. Wea. Rev.**, v. 91, p. 573-582, 1963.

HOLTON, J. R. The Diurnal Boundary Layer Wind Oscillation above Sloping Terrain, **Tellus**, v. 19, p. 199–205, 1967.

HU, X. M.; KLEIN, P. M.; XUE, M.; LUNDQUIST, J. K.; ZHANG, F.; QI, Y. Impact of low-level jets on the nocturnal urban heat island intensity in Oklahoma City. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 52, n. 8, p. 1779-1802, 2013.

KARAM, H. A. **Estudo do Jato de Baixos Níveis de Iperó e das Implicações no Transporte de Poluentes no Estado de São Paulo**. 2002. 213 f. Tese (Doutor em Ciências Atmosféricas) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

MARENGO, J. A.; SOARES, W. R.; SAULO, C.; NICOLINI, M. Climatology of the Low-Level Jet East of the Andes as Derived from the NCEP/NCAR Reanalyses: Characteristics and Temporal Variability. **Journal of Climate**, v. 17, n. 12, p. 2261–2280, 2004.

MAHRT, L., RICHARDSON, S., SEAMAN, N., & STAUFFER, D. Non-stationary drainage flows and motions in the cold pool. **Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography**, v. 62, n. 5, p. 698-705, 2010.

MEANS, L. L. A study of the mean southerly wind-maximum in low levels associated with a period of summer precipitation in the middle west. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 35, n. 4, p. 166-170, 1954.

MEANS, Lynn L. On thunderstorm forecasting in the central United States. **Mon. Wea. Rev.**, v. 80, n. 10, p. 165-189, 1952.

MOREIRA, R. **Embarcação com 20 pessoas afunda no Lago de Furnas (MG)**. Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/agenciaestado/2017/09/08/embarcacao-com-20-pessoas-afunda-no-lago-de-furnas-mg.html>>. 2017. Acesso em: 18 de dezembro de 2017.

MOURA, M. A. L.; MEIXNER, F. X.; TREBS, I.; LYRA, R. F. D. F.; ANDREAE, M. O.; NASCIMENTO FILHO, M. F. D. Evidência observacional das brisas do lago de Balbina (Amazonas) e seus efeitos sobre a concentração do ozônio. **Acta Amazônica**, v. 34, n. 4, p. 605-611, 2004.

OLAUSON, J.: ERA5: The new champion of wind power modelling? **Renewable Energy**, v. 126, p. 322 - 331, 2018.

PELLEGRINI, C. C.; ARAUJO, C.; REIS, A.; PIMENTA, F. M.; ASSIREU, A. T. Análise do Desempenho do Modelo WRF num Episódio de Vento Intenso e Persistente num Grande Reservatório Tropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 1, p. 121-138, 2019.

POTES, M.; SALGADO, R.; COSTA, M. J.; MORAIS, M.; BORTOLI, D.; KOSTADINOV, I.; MAMMARELLA, I. Lake–atmosphere interactions at Alqueva reservoir: a case study in the summer of 2014. **Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography**, v. 69, n. 1, p. 1272787, 2017.

RANJHA, R.; SVENSSON, G.; TJERNSTRÖM, M; SEMEDO, A. Global distribution and seasonal variability of coastal low-level jets derived from ERA-Interim reanalysis. **Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography**, v. 65, n. 1, p. 20412, 2013.

REIS, A. L. **Jatos de baixos níveis noturnos modulando a qualidade da água em extensos sistemas aquáticos tropicais**. 2019. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2019.

SAMUELSSON, P.; & TJERNSTRÖM, M. Mesoscale flow modification induced by land-lake surface temperature and roughness differences. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 106, n. D12, p. 12419-12435, 2001.

SEDEFIAN, Leon. On the vertical extrapolation of mean wind power density. **Journal of Applied Meteorology**, v. 19, n. 4, p. 488-493, 1980.

SEGAL, M.; LEUTHOLD, M.; ARRITT, R. W.; ANDERSON, C.; SHEN, J. Small lake daytime breezes: Some observational and conceptual evaluations. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, n. 6, p. 1135-1148, 1997.

SILLS, D. M. L.; BROOK, J. R.; LEVY, I.; MAKAR, P. A.; ZHANG, J.; TAYLOR, P. A. Lake breezes in the southern Great Lakes region and their influence during BAQS-Met 2007. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 11, n. 15, p. 7955-7973, 2011.

SILVA, A. L. **Monomotor caiu em MG durante tentativa de pouso em água.** Disponível em: <<http://g1.globo.com/mg/centro-oeste/noticia/2016/04/pai-e-filho-deitauna-morrem-apos-queda-demonomotor-no-sul-de-mg.html>>. 2016. Acesso em: 18 de dezembro de 2017.

SILVA, C. **Corpos de irmãos que desapareceram no Lago de Furnas são encontrados.**

Disponível em: <https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2017/06/30/interna_gerais,880407/corpo-sde-irmaosque-desapareceram-no-lago-de-furnas-sao-encontrados.shtml>. 2016. Acesso em: 18 de dezembro de 2017.

SIMPSON, J. E. **Sea breeze and local winds.** Cambridge University Press, 1994.

SONG, J.; LIAO, K.; COULTER, R. L.; LESHT, B. M. Climatology of the low-level jet at the southern Great Plains atmospheric boundary layer experiments site. **Journal of Applied Meteorology**, v. 44, n. 10, p. 1593-1606, 2005.

STIVARI, S. M.; DE OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J. On the climate impact of the local circulation in the Itaipu Lake area. **Climatic Change**, v. 72, n. (1-2), p. 103-121, 2005.

STULL, R. B. **An Introduction to Boundary Layer Meteorology,** Kluwer Academic Publishers, 1988.

VALE, J. H. **Helicóptero em Capitólio seguem internadas.** Disponível em:<https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2017/01/23/interna_gerais,841777/vitimasde-acidente-com-helicoptero-em-capitolio-seguem-internadas.shtml>. 2017. Acesso em 18 de dezembro de 2017.

VAN DE WIEL, B. J.; MOENE, A. F.; STEENEVELD, G. J.; BAAS, P.; BOSVELD, F. C.; HOLTSLAG, A. A. M. A conceptual view on inertial oscillations and nocturnal low-level jets. **Journal of the atmospheric sciences**, v. 67, n. 8 , p. 2679-2689, 2010.

UCCELLINI, L. W.; KOCH, S. E. The synoptic setting and possible energy sources for mesoscale wave disturbances. **Monthly weather review**, v. 115, n. 3, p. 721-729, 1987.

UCCELLINI, L. W. On the role of upper tropospheric jet streaks and leeside cyclogenesis in the development of low-level jets in the Great Plains. **Monthly Weather Review**, v. 108, n. 10, p. 1689-1696, 1980.

WHITEMAN, C. David; BIAN, Xindi; ZHONG, Shiyuan. Low-level jet climatology from enhanced rawinsonde observations at a site in the southern Great Plains. **Journal of Applied Meteorology**, v. 36, n. 10, p. 1363-1376, 1997.

WIPPERMANN, F. Numerical study on the effects controlling the low-level jet. **Beiträge zur Physik der Atmosphäre**, v. 46, n. 2, p. 137-154, 1973.

WU Y. e RAMAN S. Effect of Land-use Pattern on the Development of Low-Level Jets. **J. Appl. Meteorol.** V. 36, p. 573–590, 1997.