Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

METODOLOGIA PARA A ESTIMAÇÃO DA TEMPERATURA DO AR EM FUNÇÃO DA ALTITUDE A PARTIR DE DADOS DE PERFIL TOPOCLIMÁTICO

Methodology for estimating air temperature as a function of altitude from topoclimatic profile data

Metodología para la estimación de la temperatura del aire en función de la altitud a partir de datos de perfiles topoclimáticos

Jakeline Baratto
Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
jakelinebarattogeo@gmail.com

João Paulo Assis Gobo
Departamento de Geografia, Universidade Federal de Rondônia (UNIR)
joao.gobo@unir.br

Emerson Galvani
Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo (USP)
egalvani@usp.br

Cássio Arthur Wollmann
Departamento de Geociêcias, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)
cassio_geo@yahoo.com.br

Resumo: O objetivo deste artigo foi estabelecer a correlação entre a temperatura do ar e a altitude e estimar a temperatura do ar média, máxima e mínima, a partir do perfil topoclimático, para a bacia hidrográfica do Rio do Boi (RS/SC). Para esta pesquisa foram utilizados dados de temperatura do ar de seis abrigos meteorológicos instalados em diferentes altitudes. O período de coleta dos dados foi de 13/07/2017 à 31/11/2018. A relação entre as três medidas de temperatura com a altimetria foi estabelecida a partir dos coeficientes de correlação e regressão. O gradiente térmico foi calculado por meio da reta de regressão, também para as três medidas. A reta de regressão e a altitude foram utilizadas para espacializar a temperatura do ar para toda a área de estudo. Os resultados mostraram que a altitude tem influência na variação da temperatura do ar. No entanto, essa relação é mais definida para a temperatura máxima do ar (R^2 0,97). Para a temperatura mínima, a relação entre a temperatura do ar e a altitude é menor (R^2 0,87) e isso também reflete no gradiente térmico da temperatura mínima (0,53 ºC/100m). Essa

relação pode ser influenciada pelas inversões térmicas que ocorrem no período noturno na área de estudo. Com isso, observou-se que a altitude influencia significativamente na variação espacial da temperatura do ar para a bacia hidrográfica do Rio do Boi.
Palavras-chave: Gradiente térmico. Estimativa da temperatura. Inversões térmicas

Abstract: This paper concerns to determine the correlation between air temperature and altitude and to estimate the average, maximum and minimum air temperature for the Rio do Boi watershed the state of Rio Grande do Sul and Santa Catarina, Brazil. Hourly air temperatura data were collected between 07/03/2017 and 31/11/2017 from six different altitudes. Correlation and regression coefficients were used to establish the relationship between the three temperature measurements with altimetry. The thermal gradients of the three measurements were calculated by the regression line. Air temperature was spatialized by the regression line and altitude. Result showed that altitude has an influence on temperatura variation. This relationship was better explained for maxinum air temperature (R^2 0.97). The relationship between altitude and minimum temperature was lower and this is reflected in the thermal gradient of the minimum temperature (0.53ºC/100m). Thermal inversions during the minimum temperature may have influenced this lower relationship between altitude and minimum temperature. However, we identified that altitude significantly influences the spatial variation of air temperature for the Rio do Boi watershed.
Keywords: Thermal gradient. Temperature estimation. Thermal inversions.

Resumen: Este trabajo tiene como objetivo establecer la correlación entre la temperatura del aire y la altitud y estimar la temperatura media, máxima y mínima del aire, a partir del perfil topoclimático, para la cuenca del Rio do Boi ubicada entre los estados de Rio Grande do Sul y Santa Catarina, Brasil. Para esta investigación se utilizaron los datos de temperatura del aire de seis refugios meteorológicos instalados a diferentes alturas. El periodo de recogida de datos fue del 13/07/2017 al 31/11/2018. La relación entre las tres mediciones de temperatura con la altimetría se estableció a partir de los coeficientes de correlación y regresión lineal. El gradiente térmico se calculó mediante la línea de regresión, también para las tres mediciones. La espacialización de la temperatura del aire para toda la cuenca se calculó mediante la línea de regresión y la altitud. Los resultados indicaron que la altitud influye en la variación de la temperatura, sin embargo, para la temperatura máxima del aire está más definida (R^2 0,97). Para la temperatura mínima, la relación entre la temperatura y la altitud es menor (R^2 0,87) y esto se refleja también en el gradiente térmico de la temperatura mínima (0,53 ºC/100m), esta relación puede estar influenciada por las inversiones térmicas que se producen por la noche en la zona de estudio. Por lo tanto, la altitud influye significativamente en la variación espacial de la temperatura del aire para la cuenca del Rio do Boi.
Palabras clave: Gradiente térmico. Estimación de la temperatura. Inversiones térmicas.

Submetido em: 02/06/2021
Aceito para publicação em: 20/01/2022
Publicado em: 16/02/2022

1. INTRODUÇÃO

Os atributos climáticos, na escala topoclimática, são diretamente influenciados por diversos fatores geográficos, mas principalmente pela variação da altitude. De acordo com Jardim (2017), as interações da circulação do ar são moduladas pelos fatores da superfície terrestre, uma vez que se estruturam em diferentes níveis escalares. Nessa perspectiva, na escala topoclimática, esses atributos correspondem a derivação do clima local, devido à rugosidade do terreno e a diferente energização dele, em período diurno e para as diversas faces de exposição solar (RIBEIRO, 1993).

Entre os atributos climáticos, a temperatura do ar é uma das variáveis mais influenciada pela altitude (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002; GALVANI; LIMA, 2006; PAIVA; SILVEIRA; BALDO, 2012; BARRY; CHORLEY, 2013; FRITZSONS; WREGE; MANTOVANI, 2015). Em vista disso, Fritzons, Mantovani e Aguiar (2008) ressaltam que a temperatura do ar de um local tem o seu gradiente térmico influenciado pela variação altimétrica.

Além disso, outras particularidades do uso do solo são apontados por Galvani e Lima (2006) e Galvani et al. (2008) como responsáveis pela variação do perfil vertical da temperatura do ar, sendo eles: cobertura vegetal, cor, declividade e orientação das vertentes. A topografia, declividade e orientação da vertente também foram apontados por Pepin et al. (2015) como fatores que influenciam na variabilidade da temperatura do ar. Diante disso, esses fatores também podem influenciar significativamente o perfil vertical de temperatura do ar.

Assim, alguns autores buscaram investigar como ocorre a influência da topografia na variabilidade da temperatura do ar em regiões montanhosas (MASHALL et al., 2007; LIMA, GALVANI; FALCÃO, 2010; CÓRDOVA et al., 2016; WANG et al., 2017; XUE et al., 2019). Geralmente, esses estudos buscam entender a dinâmica do gradiente térmico, ou taxa de resfriamento do ar, no clima local. Para regiões de climas frios, o estudo da variabilidade da temperatura do ar com a altitude, o gradiente térmico, se torna mais importante. Nessas regiões o gradiente térmico é uma medida preventiva para o derretimento da neve e evitar inundações (HOGAN; FERRICK, 1997). A região do Ártico, por exemplo, foi estudada por Ambrožová e Láska (2017). Ainda em regiões frias, Mashall et al. (2007) estudaram o gradiente térmico na região da Ilha Ellesmere (Canadá).

As montanhas da China, como a Qinling (WANG et al., 2017), Luya (XUE et al., 2019) e

Monte Taibai (TANG; FANG, 2006) foram estudadas buscando entender a variabilidade térmica em altitude e o gradiente térmico local. Na América do Sul, os Andes também se destacam como área de estudo da topoclimatologia, como na pesquisa de Córdova et al. (2016) para a Cordilheira dos Andes, no sul do Equador.

No contexto nacional, a variabilidade da temperatura do ar juntamente com o gradiente térmico foram estudados por Galvani et al. (2008) no Parque Nacional de Intervales (SP), entre as altitudes de 150 a 950 m. O Parque Nacional do Caparaó (MG/ES) mereceu o estudo sobre a variabilidade da temperatura no perfil topoclimático na pesquisa de Galvani e Falcão (2010). Na Serra do Mar, litoral de São Paulo, Santos, Moraes e Galvani (2015) avaliaram a variabilidade altimétrica da temperatura do ar entre as cotas altimétricas de 80 a 732m. No interior do Rio Grande do Sul, dois locais isolados foram escolhidos como pesquisa para a análise da temperatura do ar, sob a influência da altitude. Um deles por Hoppe et al. (2012) e outro por Silva et al. (2017). Ambos os estudos avaliaram além da temperatura do ar, a relação da umidade relativa do ar com a altitude.

Para Barry e Chorley (2013), a redução vertical geral da temperatura do ar também é variável e depende das mudanças de estação do ano e localização. Nesse contexto, Rolland (2002) reconhece que as estações do ano podem mudar o gradiente térmico da atmosfera. A diminuição do gradiente térmico ocorre durante o inverno, principalmente no período noturno, em decorrência das inversões térmicas. Além disso, Mashall et al. (2007) apontam que o gradiente térmico se diferencia em cada local e ainda pode ser influenciado pelo balanço de energia, cobertura superficial, altitude e latitude.

Assim, outros estudos também apontaram a variação diurna, noturna, mensal e sazonal do gradiente térmico. A variação entre a temperatura máxima e mínima do gradiente térmico foi sinalizada por Wang et al. (2017). Os autores pesquisaram a vertente norte da serra ocidental da montanha de Qinling (China), entre as altitudes de 1710 a 2500 m. As taxas de resfriamento do ar para as temperaturas médias, máximas e mínimas foram de 0,45 °C/100m, 0,44 °C/100m e 0,40 °C/100m, respectivamente. Phan, Kappas e Tran (2018) também mencionaram a diferença entre as taxas diurnas e noturnas do gradiente térmico para a região noroeste do Vietnã. Os autores calcularam oscilações entre 0,38 °C/100m até 0,61 °C/100m durante o dia. Durante à noite, a variação ocorreu de 0,15 °C/100m até 0,58 °C/100m. Diante disso, observa-se que o gradiente térmico da atmosfera é

menor no período noturno em relação ao período diurno.

Para Tang e Fang (2006), a variação mensal do gradiente térmico para o Monte Taibai, na China, foi de 0,34 °C/100m a 0,04 °C/100 na vertente sul e 0,50 °C/100m a 0,02 °C/100m na vertente norte. Ambas calculadas a partir de regressão linear. Nesse mesmo contexto e também na China, mas para a montanha Luya, Xue et al. (2019) encontraram variações mensais na taxa de resfriamento entre 0,57 °C/100m até 0,79 °C/100m, oscilações bem menos expressivas.

A variação sazonal também foi apontada por Chiu, Lin e Tsai (2014). Os referidos investigaram a taxa de resfriamento da temperatura média do ar para a Ilha subtropical de Taiwan. Os autores encontraram diferenças na taxa de resfriamento conforme as épocas do ano e obtiveram valores de 0,54 °C/100m a 0,56 °C/100m no período de verão e valores de 0,48 °C/100m a 0,46 °C/100m para o inverno. Dessa forma, reforça o apontado por Rolland (2002) que no período de inverno o gradiente é menor em relação ao verão.

Esses estudos que visam uma análise local de regiões montanhosas buscam a melhor modelagem climática. Além de toda a análise de variabilidade da temperatura do ar, os estudos sobre a variação vertical da temperatura também se detêm a estimar e interpolar a temperatura do ar para uma dada região. Nesse sentido, Gheyret, Mohammat e Tang (2020) afirmam que a taxa de resfriamento é usada para extrapolar a temperatura do ar a partir de medições pontuais para locais de diferentes elevações onde não ocorreram medições.

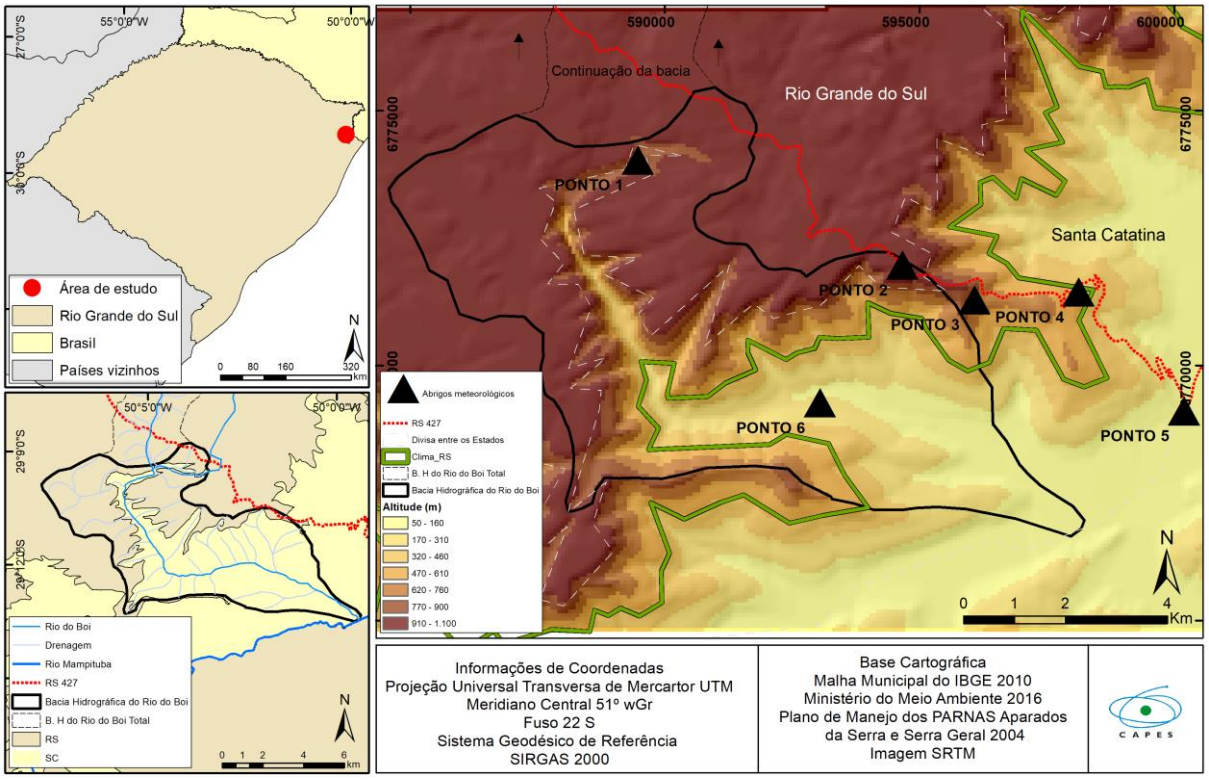
A interpolação da temperatura do ar em regiões montanhosas pode ser realizada por alguns tipos de métodos de estimativa como regressão linear múltipla (PEZZOPANE et al., 2004; PAIVA; SILVEIRA; BALDO, 2011) e cokrigagem (AHMED; SHAHID; HARUN, 2014; AL-QUINNA, 2018). Além disso, muitos outros autores buscam entender a variação da temperatura do ar pela regressão linear simples, onde a altitude é considerada como a única variável independente (GALVANI et al., 2012; SANTOS; MORAES; GALVANI, 2015).

Diante disso, entende-se que o gradiente térmico é singular de cada local e pode variar conforme o período do dia, meses e estação do ano. Nessa perspectiva, o presente estudo tem por objetivo estabelecer a relação entre a temperatura do ar e a altitude e estimar a temperatura do ar média, máxima e mínima, a partir do perfil topoclimático, para a bacia hidrográfica do Rio do Boi (RS/SC).

2. METODOLOGIA

O setor da bacia hidrográfica do Rio do Boi, que abrange o cânion Itaimbezinho e que também é a área correspondente ao Parque Nacional de Aparados da Serra (PNAS), foi a escolhida para o desenvolvimento desta pesquisa. Essa área de estudo foi escolhida pois é uma das regiões mais elevadas do Rio Grande do Sul e com o gradiente altimétrico elevado. Assim, o gradiente altimétrico de 900m em aproximadamente 7,0 km é o grande diferencial da área. As altitudes mais elevadas, que variam de 890m até 1030m, encontram-se no setor norte e corresponde a 43% (24,8 km²) da bacia hidrográfica. No setor sudeste encontram-se as menores altitudes, cuja variação é de 41 m à 177 m, correspondentes a 10% da área de estudo. Na região central, as maiores variações altimétricas são identificadas e se estendem ao longo do cânion Itaimbezinho. As maiores altitudes se localizam nas bordas do cânion e as menores ao longo do Rio do Boi (Figura 1).

Figura 1- Localização e variação altimétrica da área de estudo, no contexto do Parque Nacional de Aparados da Serra (RS/SC).



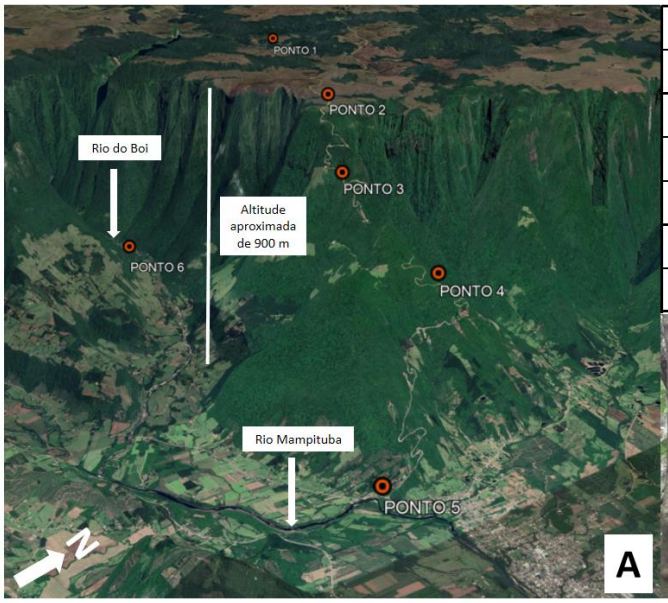
Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

A área de estudo encontra-se entre os tipos climáticos subtropicias Cfa e Cfb, conforme a classificação de Köppen (ÁLVARES et al., 2013; BECK et al., 2018). O tipo Cfa (clima subtropical úmido) é caracterizado por não apresentar estação seca e com verão quente e está presente na área de menor altitude. No entanto, na área de maior altitude encontra-se o tipo climático Cfb, que se caracteriza como um clima subtropical úmido, sem estação seca, mas com temperaturas amenas no verão (ÁLVARES et al., 2013).

No desenvolvimento desta pesquisa foram utilizados abrigos meteorológicos de baixo custo (ARMANI; GALVANI, 2005; HOPPE et al., 2015; BARATTO et al., 2020). Os abrigos meteorológicos continham um termo-higrômetro eletrônico de marca Instrutherm (modelo HT500) para o registro dos dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar. Entretanto, para esta análise utilizou-se apenas os valores de temperatura do ar. A precisão do datalogger HT500, com relação a temperatura é de mais ou menos 1,0 °C, e a escala de funcionamento de -40,0 °C a 70,0 °C (MILANESI, 2016).

Os abrigos meteorológicos foram instalados em seis pontos ao longo da RS-427, na divisa entre os Estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Os locais, nos quais ocorreram as instalações, possuíam características semelhantes como o dossel vegetativo e altura em relação ao solo. Entretanto, as altitudes dos pontos eram diferentes. A figura 2 apresenta os locais de instalação dos equipamentos, bem como as altitudes de cada ponto.

Figura 2 - Distribuição dos pontos de coleta de dados (A) a suas respectivas altitudes e modelo do abrigo meteorológico de baixo custo utilizado (B).



Pontos	Alitudes (m)
P1	923
P2	1006
P3	772
P4	495
P5	55
P6	196

Fonte: Google Earth (2021) e Trabalho de campo (2017).

Para esta pesquisa foram utilizados apenas os dados horários de temperatura do ar registrados nos abrigos meteorológicos durante o período de 13/07/2017 à 31/11/2018. Os registros totalizaram 12072 dados horários em cada ponto de medição de temperatura do ar. Os registros tiveram falhas nos pontos P2 (76%), P4 (39%) e P5 (22%). O P2 obteve o menor número de dados aproveitáveis, devido ao furto do equipamento.

Após a coleta das informações de campo, os dados foram organizados em planilhas eletrônicas (Microsoft Excel® 2016) e foi realizada a calibração dos abrigos meteorológicos (BARATTO et al., 2020). Para a análise topoclimática, utilizou-se a variação altimétrica como controle principal no estudo do topoclima. Desse modo, correlacionou-se a temperatura do ar (variável dependente) com a variação da altimetria (variável independente), utilizando o coeficiente de correlação (GERARDI; SILVA, 1981; ANDRIOTTI, 2013). Assim, para essa análise os dados de temperatura média, média da máxima e média da mínima foram utilizados do período analisado.

Os dados médios, de temperatura média, máxima e mínima, com suas respectivas altitudes, foram plotados em gráficos de dispersão para visualizar a relação entre elas e a altitude. Ogliari e Andrade (2005) ressaltam que o gráfico de dispersão é a representação gráfica dos pares de pontos no sistema cartesiano, enquanto, Bussab e Morettin (2010) afirmam que com o gráfico de dispersão é possível estabelecer qual o tipo de relação existente entre as duas variáveis.

O gradiente térmico foi calculado pela regressão linear simples (ROLLAND, 2002; MASHALL et al., 2007; KATTEL et al., 2012, 2019; WANG et al., 2017) para a temperatura média, máxima e mínima. Utilizou-se a altitude como única variável independente, pois conforme Fritzsons et al. (2015), quando os pontos de coleta dos dados de temperaturas forem próximos, o desnível altimétrico será o que exercerá maior influência na diferenciação das temperaturas. Outros elementos físicos como a orientação da vertente, declividade e proximidade com o mar não foram considerados para esta pesquisa. Pois, buscou-se identificar apenas a influência da altitude na variabilidade da temperatura do ar, como variável da escala topoclimática.

A estimativa da temperatura média, máxima e mínima do ar, para o período, foi realizada por meio da equação da reta do modelo de regressão linear simples (PAIVA et al., 2011, ROLLAND, 2002; KATTEL et al., 2012 e WANG et al., 2017), que descreve a relação

entre as duas variáveis (OGLIARI; ANDRADE, 2005). Essa metodologia foi descrita por Galvani et al. (2012) e utilizada por Santos et al. (2015).

Os dados de altitude considerados neste trabalho foram originados a partir do modelo digital de elevação (MDE), gerado pelas curvas de nível da bacia hidrográfica do Rio do Boi. Portanto, optou-se por esse método em decorrência da escala espacial das curvas, o que oferece maior fidelidade à realidade e ajuda a alcançar o objetivo da pesquisa. As curvas foram disponibilizadas pelo plano de manejo dos Parques Nacionais de Aparados da Serra e Serra Geral na escala de 1:50.000 na Projeção UTM, Fuso 22, DATUM SAD 69 e foram convertidas para o DATUM SIRGAS 2000.

Por meio da altitude de cada pixel, juntamente com a reta de regressão correspondente a cada temperatura do ar (média, máxima e mínima), foi possível se ter uma estimativa das temperaturas do ar média, máxima e mínima. A estimativa foi realizada através da técnica de regressão linear aplicada utilizando o programa ArcGIS® 10.1. Para tanto, recorreu-se ao método de Sturges para a identificação do número de classes e o intervalo entre elas. Diante disso, totalizou-se 16 classes de isotermas com intervalos iguais a 0,8 °C. A escala de cores das isotermas foi utilizada para diferenciar a temperatura do ar. Todos esses procedimentos foram realizados no ArcGIS® 10.1 desenvolvido pela ERSI (Licença de uso Departamento de Geociências- UFSM).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Gradiente térmico da temperatura média, máxima e mínima

O gradiente térmico médio do ar, para a bacia hidrográfica do Rio do Boi, foi de 0,53 °C/100m. Em algumas pesquisas, que também buscaram analisar o gradiente térmico a partir do perfil topoclimático, encontraram o gradiente térmico mais reduzido, como no Pico da Bandeira, localizado no Parque Nacional do Alto Caparaó (MG/ES), Galvani e Lima (2006) encontraram o gradiente térmico de 0,40 °C/100m. Corroborando com os autores supracitados, Silva, Wollmann e Hoppe (2017) encontraram o gradiente térmico de 0,40 °C/100m para o Cerro do Botucaraí, localizado na região central do estado do Rio Grande do Sul. Esse valor foi próximo do encontrado por Wang et al. (2017), que ao analisarem o

gradiente de elevação de temperatura do ar na vertente norte da serra ocidental de Qinling Mountai (China) encontraram a taxa de resfriamento de 0,45 °C/100m.

Esse gradiente atmosférico observado na área de estudo diverge, numericamente, daquele registrado em outras pesquisas - em uma hipótese que carece confirmação - dos efeitos de maritimidade e continentalidade. Ou seja, há uma tendência de gradientes mais reduzidos em regiões sob efeito da continentalidade e, mais elevados quando na condição de influência da maritimidade. Hipótese que necessita de confirmação em estudos que tratem especificamente da umidade absoluta do ar.

Para áreas de climas mais frios ou áreas com elevado gradiente altimétrico o gradiente térmico foi maior, como para a Cordilheira dos Andes (400 m a 2600 m), no sul do Equador, onde Córdova et al. (2016) encontraram a taxa de resfriamento foi de 0,69 °C/100m. No Ártico, para a região de Petuniabukta, Ambrozová e Laska (2017) também identificaram o gradiente térmico elevado, sendo de 0,65 °C/100m. Da mesma forma, Xue et al. (2019) estudaram a montanha Luya (China) e encontraram a taxa de resfriamento mais elevada, sendo de 0,67 °C/100m. Assim, esses estudos tiveram o gradiente térmico mais próximo do apontado por Barry e Chorley (2013) como sendo o gradiente térmico médio da atmosfera (0,60 °C/100m).

Na escala de abordagem topoclimática leva-se em consideração, quando analisamos os gradientes térmicos, que cada local tem um gradiente térmico específico conforme consolidado e apontado por Barry e Chorley (2013). Além disso, outro importante fator que influencia na variação do gradiente térmico é o período sazonal, conforme afirma Rolland (2002) e reforçado por Barry e Chorley (op. cit.). Para Rolland (2002), as estações do ano podem mudar o gradiente térmico da atmosfera. No seu estudo, o autor identificou que durante o inverno ocorre a diminuição do gradiente térmico, principalmente no período noturno, em decorrência das inversões térmicas. Kattel et al. (2012) estudaram o gradiente térmico na encosta sul do Himalaia central e concluíram que as condições atmosféricas sazonais influenciam na variação do gradiente térmico, sendo que no inverno e verão os gradientes são menores e nos períodos de pré-monções e pós-monções os gradientes são maiores no estudo dos autores.

Para a temperatura máxima e mínima diária, a taxa de resfriamento foi de 0,56 °C/100m e 0,53 °C/100m, respectivamente. Essa variação está em conformidade com o apresentado

pela literatura, que reconhecem que durante o dia a taxa de resfriamento da temperatura do ar com a altitude é mais elevada em relação à noite (ROLLAND, 2002; PHAN; KAPPAS; TRAN, 2018). No entanto, observa-se que a taxa de resfriamento da temperatura mínima é igual da temperatura média do ar para a bacia hidrográfica no período analisado.

Nesse contexto, Kattel et al. (2012) reforçam que o céu nublado e em condições úmidas podem reduzir o valor do gradiente térmico durante o dia e aumentar à noite. Dessa forma, minimizando a diferença entre os gradientes das temperaturas máximas e mínimas. Os autores também mencionam que para os meses de verão, principalmente durante o dia, a topografia pode desempenhar um papel na redução da temperatura do ar na superfície e auxiliar na diminuição dessa diferença. Além disso, nos meses de inverno, a ocorrência de inversões térmicas, principalmente próximo do horário do registro da temperatura mínima do ar, podem corroborar para a diminuição do gradiente térmico na temperatura mínima do ar (ROLLAND, 2002; WANG et al., 2017; PHAN; KAPPAS; TRAN, 2018).

3.2. Relação temperatura média, máxima e mínima do ar com a altitude

Os valores médios das temperaturas mínima, máxima e média para os pontos no perfil topoclimático apresentaram forte correlação (ANDRIOTTI, 2003; SHIMAKURA, 2006) com as altitudes. A correlação entre as temperaturas mínimas foi de -0,93. Para as temperaturas médias a correlação foi de -0,97 e para as temperaturas máximas de -0,99. De tal modo, o valor negativo expressa a relação inversa, tendo em vista que a temperatura diminui com o aumento da altitude em condições normais de gradiente atmosférico (Tabela 1).

Tabela 1 - Análise estatística a partir do modelo de regressão para a média da temperatura média, máxima e mínima do perfil topoclimático.

Médias das temperaturas (ºC)	Reta de regressão	Coeficiente de correlação (r)	Coeficiente de determinação (R^2)	Erro Padrão (ºC)
Temperatura média	Y=-0,0053*A+19,11	-0,97	0,94	0,57
Temperatura máxima	Y=-0,0056*A+23,48	-0,99	0,97	0,43
Temperatura mínima	Y=-0,0053*A+15,50	-0,93	0,87	0,91

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Esses valores de correlação foram bem próximos ao encontrado por Kattel et al. (2012), que ao analisarem a relação entre a temperatura do ar e a altitude para a encosta sul do Himalaia Central, identificaram forte correlação entre a altitude e a temperatura do ar. Na análise mensal os autores encontraram valores da correlação que oscilam entre -0,96 até -0,98 para a temperatura média do ar, de -0,86 até 0,87 para a temperatura mínima do ar e de -0,94 até -0,98 para a temperatura máxima do ar.

O coeficiente de determinação (R^2) também foi mais elevado para a temperatura máxima e média em relação à temperatura mínima. Assim, observa-se que o R^2 foi de 0,95 para a temperatura média, 0,97 para a temperatura máxima e 0,87 para a temperatura mínima. Córdoba et al. (2016) estudaram a regressão linear entre a temperatura e a altitude para a Cordilheira dos Andes, na região sul do Equador. Os autores encontraram valores do coeficiente de determinação de 0,98 para a temperatura média, 0,95 para a temperatura mínima do ar e 0,94 para a temperatura máxima do ar. Observa-se que o maior coeficiente para os autores foi em relação à temperatura média, contrariando o encontrado na bacia hidrográfica do Rio do Boi.

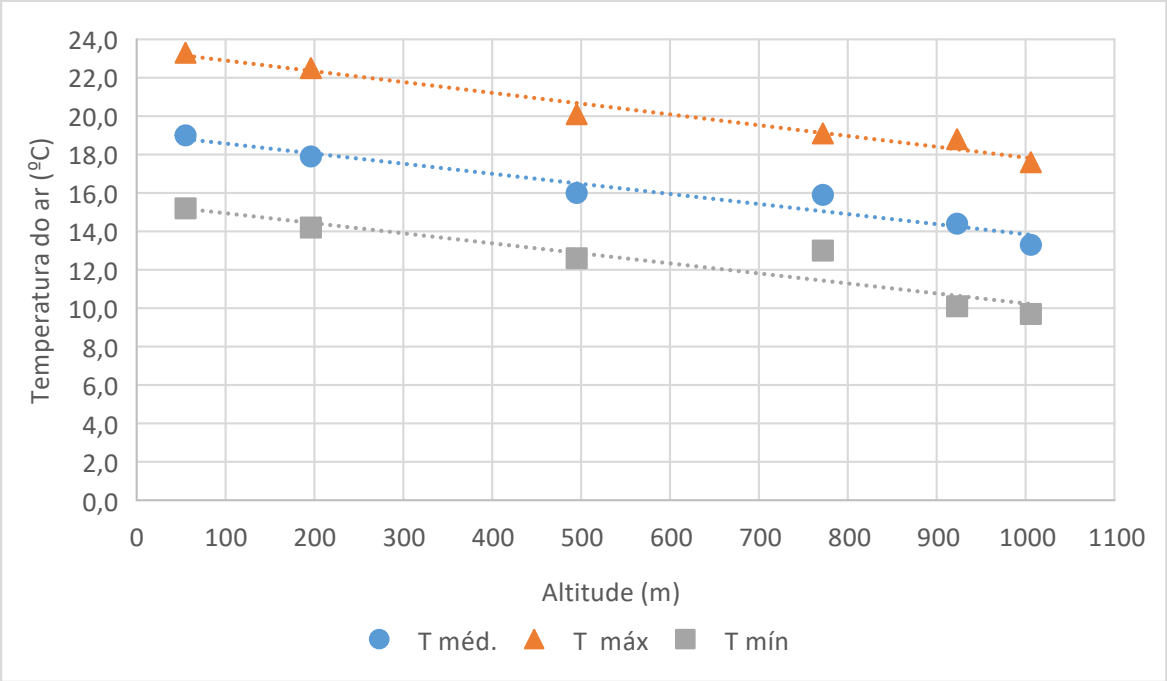
Os valores do r e R^2 para a média da temperatura mínima foram inferiores às demais temperaturas, mostrando que a altitude tem menor influência da variação altimétrica da temperatura mínima. Essa variação vertical da temperatura do ar pode ser controlada pela orientação de vertente (FRITZONS; WREGE; MONTOVANI, 2015), cobertura e uso da terra (GALVANI; LIMA, 2006; GALVANI et al., 2008) e as inversões térmicas (ROLLAND, 2002; PHAN; KAPPAS; TRAN, 2018).

Desse modo, para Kattel et al. (2019), o coeficiente de determinação indica o quanto as respostas são explicadas pelo modelo, contudo, quanto mais alto o valor de R^2 melhor o modelo se ajusta aos dados. Mashall et al. (2007) afirmam que, de maneira geral, quando ocorre uma forte relação entre a altitude e a temperatura do ar, a taxa de resfriamento do ar é elevada. Caso contrário, quando a relação é fraca entre a altitude e a temperatura do ar, a taxa de resfriamento é baixa. No entanto, para a área de estudo, observa-se que a temperatura média e mínima, apesar de ter correlações diferentes, mas próximas, têm os mesmos valores de gradiente térmico.

Essa influência também é verificada no gráfico de dispersão das médias de cada temperatura média, máxima e mínima (Figura 4). Dessa forma, observa-se que as médias de

cada ponto para a temperatura máxima e média são mais próximas da linha de tendência. No entanto, a maior distorção em relação à reta ocorreu para as temperaturas média e mínima. Essa maior distorção explica no erro padrão associado a cada temperatura, que para a mínima é mais elevada em relação às demais temperaturas.

Figura 4 - Gráfico de dispersão da média da temperatura média, máxima e mínima do ar em cada ponto do perfil topoclimático da temperatura do ar na bacia hidrográfica do Rio do Boi.

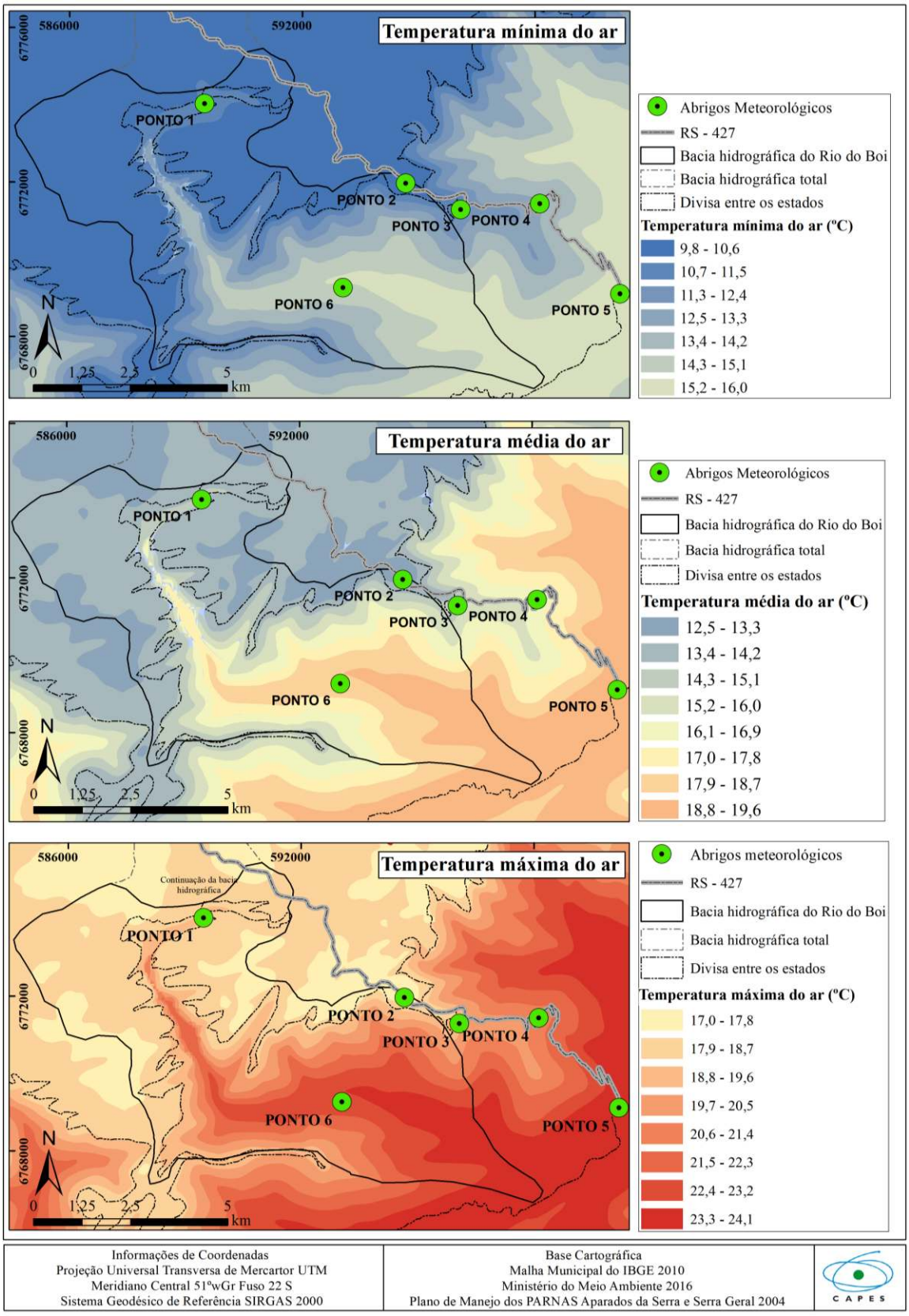


Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Com os resultados observou-se que a variação dos dados de temperatura do ar média e máxima apresentaram melhores correlações com a altitude em comparação aos da temperatura mínima. Em especial, o P3 apresenta outros fatores que influenciam na variação da temperatura mínima do ar, como vegetação e orientação da vertente (ARMANI, 2004).

A partir da reta de regressão da temperatura do ar média, máxima e mínima pode-se estimar a respectiva temperatura do ar para toda a bacia hidrográfica do Rio do Boi (Figura 5). Para a temperatura mínima do ar, os valores estimados oscilaram de 9,9 °C até 16,1 °C. As menores temperaturas se localizam no setor norte da bacia hidrográfica, com variação entre 9,9 °C até 10,7 °C. Essas temperaturas têm a maior abrangência na área de estudo. À medida que a altitude diminui ocorre o aumento da temperatura do ar chegando até 16,1 °C no setor sudeste da bacia hidrográfica.

Figura 5 - Estimativa da temperatura média, máxima e mínima do ar para a bacia hidrográfica do Rio do Boi (RS/SC).



Fonte: Trabalhos de campos (2017 e 2018).

De maneira geral, as três medidas tiveram a mesma variação. Os valores mais elevados de temperatura do ar nas menores altitudes (sul e sudeste) e os valores menos elevados nas maiores altitudes (norte). No entanto, a variabilidade da temperatura mínima (6,2 °C) foi a menor entre as três medidas de temperatura do ar. Rolland (2002) enfatiza que no período de temperaturas mínimas (noite) a taxa de resfriamento é menor, devido às inversões de temperatura nos fundos de vales. O que implica na variabilidade da temperatura no ar nesse período. Assim, a temperatura do ar diminui menos com o aumento da altitude, pois como já mencionado ocorrem inversões térmicas na área de estudo.

A temperatura média do ar registrou maior variabilidade em relação a temperatura mínima. No setor norte, a temperatura média variou entre 12,5 °C até 13,3 °C. No setor sul e sudeste da bacia hidrográfica do Rio do Boi, que correspondem às menores altitudes, a temperatura média do ar variou entre 18,8 °C até 20,5 °C . Para a temperatura máxima do ar, verificou-se que a variabilidade da temperatura ocorre de maneira similar às temperaturas média e mínima, sendo que nas áreas mais baixas concentram-se as temperaturas mais elevadas (23,3 °C até 24,1 °C). Entretanto, a temperatura máxima do ar é inferior nas áreas mais elevadas, variando de 17,0 °C até 18,7 °C.

Diferentemente da temperatura mínima, mas corroborando com a temperatura média, a temperatura máxima do ar foi mais variável nas áreas elevadas da área de estudo. Ou seja, teve a maior variabilidade. Essa maior variabilidade pode estar relacionada pela altitude ter a maior influência na temperatura máxima, assim também gerando um menor erro padrão na análise estatística.

Corroborando com esta pesquisa, Córdova et al. (2006) estimaram a temperatura do ar na cordilheira dos Andes e também encontraram a maior variabilidade para a temperatura máxima do ar. Os referidos autores analisaram a espacialização em dois dias distintos, um para o período seco e outro para o período chuvoso, e identificaram que no período seco a variabilidade dos três parâmetros de temperatura do ar (média, máxima e mínima) é maior em relação ao período chuvoso, devido ao céu limpo facilitar as saídas da radiação de ondas longas.

Observou-se que todas as medidas de temperaturas do ar (média, máxima e mínima) têm os seus menores valores no setor norte e os maiores valores no setor sul/sudeste da

bacia hidrográfica. Os menores valores de temperatura estão associados às maiores altitudes e os maiores valores as menores altitudes, reforçando o apresentado por Córdova et al. (2006). Assim, os referidos afirmam que nos fundos de vales ocorrem os maiores valores de temperatura do ar e nas áreas mais elevadas são registrados os menores valores, tanto para a temperatura do ar média, máxima e mínima.

Santos, Moraes e Galvani (2015) também ressaltaram que ocorre a relação inversamente proporcional entre a temperatura do ar e a altitude, sendo que onde estão as maiores altitudes concentram as menores temperaturas e onde estão localizadas as menores altitudes os valores da temperatura do ar são maiores. Observou-se que essa variação ocorreu para os três parâmetros de temperaturas analisados. Essa relação também foi encontrada nos trabalhos de Pezzopane et al. (2004), Galvani et al. (2012), Paiva, Silveira e Baldo (2011) e Lyra et al. (2011).

A espacialização da temperatura média do ar na bacia hidrográfica do Rio do Boi (RS/SC) corrobora com as classificações climáticas da área de estudo de Alvares et al. (2013) e Beck et al. (2018). No setor da bacia hidrográfica com as maiores altitudes ocorrem as menores temperaturas e no setor com as menores altitudes encontram-se as maiores temperaturas do ar. Além disso, observando-se que a área estudo é menor, e os pontos de amostragem se localizam próximos. Assim, corrobora com o ressaltado por Fritzons, Wrege e Montovani (2015), que o desnível altimétrico é o que exerce a maior influência na diferenciação das temperaturas e verifica-se essa influência na área de estudo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A variação da temperatura do ar mostrou que para a temperatura máxima a altitude tem maior influência, com valor de correlação mais elevado. Essa influência também foi verificada na taxa de resfriamento da temperatura mínima do ar, durante o período diurno. Assim, a variação altimétrica influencia diretamente no gradiente térmico da temperatura máxima do ar, fazendo com que o gradiente seja mais elevado. No entanto, na variação da temperatura mínima do ar e na taxa de resfriamento, a altitude registrou a menor influência em relação às demais medidas de temperatura do ar. Essa menor influência ocorreu devido às inversões térmicas. Pois, elas ocorrem no período de resfriamento do ar, principalmente quando se marca a menor temperatura.

Além disso, a variação da temperatura que não é explicada pela altitude pode estar relacionada com outros elementos físicos da área de estudo. Assim, orientação da vertente, declividade e proximidades com corpos d'água podem apresentar correlações com a variação da temperatura. Porém, nesta pesquisa buscou-se correlacionar apenas a altitude, mas deixa-se encaminhamentos para futuras investigações sobre o papel do oceano (temperatura da superfície do mar) pode explicar a variação da temperatura do ar.

Devido a boa relação entre as duas variáveis foi possível estimar os valores da temperatura do ar (média, máxima e mínima) para as demais altitudes. Assim, verificou-se que as três medições de temperatura oscilaram similarmente para a bacia hidrográfica. As maiores variabilidades das três medidas de temperatura do ar ocorreram entre as cotas de 850 metros a 300 metros. Nas maiores e menores altitudes, as temperaturas do ar foram mais homogêneas para os três parâmetros. No entanto, em elevadas altitudes, a temperatura máxima e média apresentaram uma maior variabilidade.

Diante disso, como o objetivo de estabelecer a relação entre a temperatura e a altitude, conclui-se que a temperatura média, máxima e mínima têm a altitude como o principal influenciador na sua variação na bacia hidrográfica do Rio do Boi. No entanto, outros fatores também podem ter influenciado na variação vertical da temperatura do ar, principalmente para a temperatura mínima do ar, como a orientação da vertente, declividade e maritmidade. Diante disso, futuras abordagens sobre esses fatores poderão ser seguidas partindo dos resultados apresentados.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Programa Nacional de Cooperação Acadêmica da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES/Brasil – Nº Processo: 88881.068465/2014/01 nº 071/2013 CAPES/PROCAD. A primeira autora agradece ao apoio do programa de bolsa de Demanda Social (DS-CAPES). O terceiro autor agradece o apoio do CNPq por meio da concessão da bolsa de pesquisa e produtividade (PQ1D).

REFERÊNCIAS

AHMED, Kamal; SHAHID, Shamsuddin; HARUN, Sobri Bin. Spatial interpolation of climatic variables in a predominantly arid region with complex topography. **Environment Systems And Decisions**, [*s.l.*], v. 34, n. 4, p. 555-563, 4 nov. 2014. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/s10669-014-9519-0

AL-QINNA, Mohammed. Analyses of Climate Variability in Jordan using Topographic Auxiliary Variables by the Cokriging Technique. **Jordan Journal of Earth and Environmental Sciences** . v.9, n.1, p. 67-74, Apr. 2018.

ÁLVARES, C. Alcarde et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AMBROŽOVÁ, Klára; LÁSKA, Kamil. Air temperature variability in the vertical profile over the coastal area of Petuniabukta, central Spitsbergen. **Polish Polar Research**, [*s.l.*], v. 38, n. 1, p. 41-60, mar. 2017. DOI: http://dx.doi.org/10.1515/popore-2017-0004

ANDRIOTTI, José Leonardo Silva. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. 2.ed. São Leopoldo: Editora Unisinos, 2013.

ARMANI, Gustavo. **Interações entre a atmosfera e a superfície terrestre:** variações da temperatura e umidade na bacia B do Núcleo Cunha (IF) – SP. 2004. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: https://teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-11122013-112544/pt-br.php. Acesso em: 11 fev. 2021

ARMANI, Gustavo; GALVANI, Emerson. Avaliação do desempenho de um abrigo meteorológico de baixo custo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia,** Santa Maria, v. 14 n.1, p.116-129, 2006.

BARATTO, Jakeline; GALVANI, Emerson; WOLLMANN, Cássio Arthur. Calibração e desempenho do abrigo meteorológico de baixo custo em condições de campo. **Revista Brasileira de Climatologia**. [S.*l.*], v. 26, p.441-456, Jan./Jun. 2020. DOI: http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v26i0.69834

BARRY, Roger G.; CHORLEY, Richard J. **Atmosphere, weather, and climate**. 8. ed, Routledge, 2003.

BECK, Hylke E et al. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific Data**, [*s.l.*], v. 5, n. 1, p. 1-12, out. 2018. DOI:https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214

BUSSAB, Wilton de O.; MORETTIN, Pedro A. **Estatística Básica**. 6. ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

CHIU, Ching-An; LIN, Po-Hsiung; TSAI, Chih-Yung. Spatio-Temporal Variation and Monsoon Effect on the Temperature Lapse Rate of a Subtropical Island. **Terrestrial, Atmospheric And Oceanic Sciences**, [*s.l.*], v. 25, n. 2, p. 203, 2014. DOI:http://dx.doi.org/10.3319/TAO.2013.11.08.01(A)

CÓRDOVA, Mario et al. Near-Surface Air Temperature Lapse Rate Over Complex Terrain in the Southern Ecuadorian Andes: implications for temperature mapping. **Arctic, Antarctic, And Alpine Research**, [*s.l.*.], v. 48, n. 4, p. 673-684, nov. 2016. DOI:http://dx.doi.org/10.1657/AAAR0015-077

DODSON, Rusty ; MARKS, Danny. Daily air temperature interpolated at high spatial resolution over a large mountainous region. **Climate Research**, [*s.l.*], v. 8, p. 1-20, 1997. DOI:http://dx.doi.org/10.3354/cr008001

FRITZSONS, Elenice; MANTOVANI, Luiz Eduardo.; AGUIAR, Amanda Virginia de. Relação entre altitude e temperatura: uma contribuição ao zoneamento climático no Estado do Paraná. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 10, n. 1, p. 49-64, 2008.

FRITZSONS, Elenice; WREGE, Marcos Silveira; MANTOVANI, Luiz Eduardo. Altitude e temperatura: estudo do gradiente térmico no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 16, p. 108-119, Jan./Jun. 2015.

GALVANI, Emerson et al. Metodologia para espacialização de temperatura do ar baseado em levantamento de perfil topoclimático e imagens SRTM: estudo de caso do Parque Estadual Intervales (PEI), SP. In: GALVANI, E; LIMA, N. G. B. de (ORG.). **Climatologia Aplicada:** Resgate aos estudos de casos. 1.ed., v.1.Curitiba: Editora CRV, 2012.

GALVANI, Emerson et al. Avaliação da temperatura do ar no perfil topoclimático do Parque Estadual Intervales – SP, entre as altitudes de 150 a 950 metros. *In:* **SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA**, 2008. Santa Maria. **Anais**[...].Santa Maria: UNIFRA e UFRS.

GALVANI, Emerson.; LIMA, Nádia Gilma Beserra de. A ocorrência de inversão térmica no perfil topoclimático do Pico das Agulhas Negras – RJ. *In:* VII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2006.Rondonópolis. **Anais**[...].Rondonópolis, 2006.

GERARDI, Lúcia Helena de Oliveira; SILVA, Bárbara-Christine Nentwig. **Quantificação em Geografia**. São Paulo: DIFEL, 1981.

GHEYRET, Gheyur; MOHAMMAT, Anwar; TANG, Zhi-yao. Elevational patterns of temperature and humidity in the middle Tianshan Mountain area in Central Asia. **Journal Of Mountain Science**, [*s.l.*.], v. 17, n. 2, p. 397-409, fev. 2020. DOI:http://dx.doi.org/10.1007/s11629-019-5481-0

HOPPE Ismael Luiz et al. Comparação Entre Um Abrigo Meteorológico De Baixo Custo e a Estação Meteorológica Oficial Do Inmet em Santa Maria (RS). **Ciência e Natura,** Santa Maria, [*s.l.*], v. 37, p. 132-137, 7 mar. 2015. DOI:http://dx.doi.org/10.5902/2179460X16228

HOPPE, Ismael Luiz; BARATTO. Jakeline; WOLLMANN, Cássio Artur. Perfil Topoclimático do Cerro Comprido no Município de Faxinal do Soturno/RS – Uma Análise Termo-Higrométrica. **Revista Geonorte**. Edição Especial 2, Manaus, v.1, n.5, p. 706-718, 2012.

HOGAN, A. AND FERRICK, M. Winter Morning Air Temperature. **Journal of Applied Meteorology.** v. 36, n. 1, p. 52-69, 1997.

KATTEL, Dambaru Ballab et al. Temperature lapse rate in complex mountain terrain on the southern slope of the central Himalayas. **Theoretical And Applied Climatology**, [*s.l.*], v. 113, n. 3-4, p. 671-682, 12 dez. 2012. DOI:http://dx.doi.org/10.1007/s00704-012-0816-6

KATTEL, Dambaru Ballab; YAO, Tandong; ULLAH, Kalim; RANA, Adnan Shafiq. Seasonal near-surface air temperature dependence on elevation and geographical coordinates for Pakistan. **Theoretical And Applied Climatology**, [*s.l.*], v. 138, n. 3-4, p. 1591-1613, 19 jun. 2019. DOI:http://dx.doi.org/10.1007/s00704-019-02899-5

LIMA, Nádia Gilma Beserra de; GALVANI, E.; FALCÃO, R.M. Análise da temperatura do ar no perfil topoclimático do pico da Bandeira, Parque Nacional Alto Caparaó, Brasil, entre as altitudes de 1106 m a 2892 m. In: VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física, 2010, Coimbra. **Anais** [...].Coimbra: Universidade de Coimbra, 2010.

LYRA, Gustavo Bastos et al. Espacialização da temperatura do ar anual no estado de Alagoas com diferentes modelos digitais de elevação e resoluções espaciais. **Ciência Florestal,** Santa Maria, v. 21, n. 2, p. 275-287, abr.-jun. 2011.

MARSHALL, Shawn et al. Near-surface-temperature lapse rates on the Prince of Wales Icefield, Ellesmere Island, Canada: implications for regional downscaling of temperature. **International Journal Of Climatology**, [*s.l.*], v. 27, n. 3, p. 385-398, 2007. DOI:https://doi.org/10.1002/joc.1396

MONTEIRO, O clima da região Sul. In: CATALDO, D. M. (Org.). **Geografia do Brasil, Grande Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE, p. 117-169, 1963.

OGLIARI, Paulo José; ANDRADE, Dalton Francisco de. **Estatística Básicas para as ciências Agronómicas e Biológicas**: Noções de Experimentação. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2005.

PAIVA, Raniere Garcia; SILVEIRA, Hélio; BALDO, Maria Cleide. Variação espacial da temperatura média na escala topoclimática nos municípios de São Carlos do Ivaí e Floraí-PR. **Boletim de Geografia**, [*s.l.*], v. 29, n. 1, p. 147-161, 24 fev. 2012. Universidade Estadual de Maringa. DOI: http://dx.doi.org/10.4025/bolgeogr.v29i1.8482PEREIRA, Antonio Roberto;

ANGELOCCI, Luiz Roberto; SENTELHAS, Paulo Cesar. **Agrometeorologia: Fundamentos e aplicações práticas.** Guaíba: Agropecuária, 2002.

PEPIN, Nicholas et al. Elevation-dependent warming in mountain regions of the world. **Nature Climate Change** 5(5) p.424-430, 2015.DOI: ttps://doi.org/10.1038/nclimate2563

PEZZOPANE, José Eduardo Macedo et al. Espacialização da temperatura do ar no Estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 151-158, 2004.

PHAN, Thanh; KAPPAS, Martin; TRAN, Trong. Land Surface Temperature Variation Due to Changes in Elevation in Northwest Vietnam. **Climate**, [*s.l.*], v. 6, n. 2, p. 28, 13 abr. 2018. DOI:http://dx.doi.org/10.3390/cli6020028

ROSSATO, Maíra Suertegaray. **Os Climas do Rio Grande do Sul: tendências e tipologia**. In: Francisco Mendonça. (Org.). Os Climas do Sul: Em Tempos de Mudanças Climáticas Globais. 1ed.Jundiaí: Paco Editorial, p. 217-271, 2014.

ROSSATO, Maíra Suertegaray. Os climas do Rio Grande do Sul: uma proposta de classificação climática. **Entrelugar**, v.11, n.22, p.57-85, 2020. DOI: 10.302/el.v11i22.1278161

RIBEIRO, Antonio Giacomini. As escalas do Clima. **Boletim de Geografia Teorética**. v.23, p.45-46,1993.

ROLLAND, Christian. Spatial and Seasonal Variations of Air Temperature Lapse Rates in Alpine Regions. **American Meteorological Society**, v.15 p.130-144. 2002.

SANTOS, Denise Dias dos; MORAES, Sara Lopes de; GALVANI, Emerson. Variação da temperatura do ar média, mínima e máxima no perfil topoclimático da Trilha Caminhos do Mar (SP). **Revista Equador**: Teresina, PI. v.5, n. 5, p. 01 – 19,2015.

SARTORI, M.G.B. A dinâmica do clima no Rio Grande do Sul: indução empírica e conhecimentos científicos. **Terra Livre**, São Paulo, v.1, n.20, p.27-49, 2003.

SHIMAKURA, Silva Emiko. **Coeficiente de determinação**. 2006. Disponível em: http://leg.ufpr.br/~silvia/. Acesso em: 27 out. 2020.

SILVA, Aline Nunes da; WOLLMANN, Cassio Arthur; HOPPE, Ismael Luiz. Perfil topoclimático do Cerro do Botucaraí, em Candelária/RS, durante o mês de maio de 2016. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, [*s.l.*], p. 1886-1896, 2017. INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - UNICAMP.DOI: http://dx.doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2399

TANG, Zhiyao; FANG, Jingyun. Temperature variation along the northern and southern slopes of Mt. Taibai, China. **Agricultural And Forest Meteorology**, [*s.l.*], v. 139, n. 3-4, p. 200-207, out. 2006. DOI:http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.07.001

XUE, Feng et al. Temperature and thermal growing season variations along elevational gradients on a sub-alpine, temperate China. **Theoretical And Applied Climatology**, [*s.l.*], v. 140, n. 1-2, p. 15-24, 18 dez. 2019. DOI:https://doi.org/10.1007/s00704-019-03067-5

WANG, Guo-Yi et al. Diurnal and seasonal variation of the elevation gradient of air temperature in the northern flank of the western Qinling Mountain range, China. **Journal Of Mountain Science**, [*s.l.*], v. 14, n. 1, p. 94-105, jan. 2017. DOI:http://dx.doi.org/10.1007/s11629-016-4107-z