

RELAÇÃO ENTRE ALTITUDE E TEMPERATURA: UMA CONTRIBUIÇÃO AO ZONEAMENTO CLIMÁTICO NO ESTADO DO PARANÁ

Elenice Fritzsos¹, Luiz Eduardo Mantovani², Ananda Virgínia de Aguiar¹

Resumo: A relação da altitude com a temperatura é especialmente importante para as regiões tropicais e subtropicais onde uma diferença altitudinal de algumas centenas de metros provoca mudanças sensíveis no ambiente e adaptação da biota. A temperatura do ar sofre alterações com a altitude, latitude e longitude e cada local apresenta um gradiente térmico específico. Neste trabalho, o Estado do Paraná foi delimitado em grupos climáticos homogêneos e foram feitas análises de correlação entre a temperatura média de janeiro, de julho e média anual, com as respectivas altitudes das estações pertencentes aos grupos formados. A correlação da altitude com a temperatura média anual de janeiro foi, em geral, mais forte do que para a temperatura média de julho. Para os coeficientes de correlação mais elevados foram obtidas retas de regressão linear simples e os respectivos coeficientes de determinação das retas. O gradiente térmico médio obtido para o conjunto de todas as estações do Estado, excluindo as do litoral, foi de 126 metros, sendo variável entre 124 a 141 m, para o sudoeste e norte, respectivamente. Foram obtidos gradientes térmicos médios em função da latitude e longitude. A altitude, latitude e longitude, nesta ordem, influenciam a temperatura média do ar.

Palavras-chave: Gradiente térmico altitudinal. Zoneamento agroclimático. Temperatura do Paraná. Regressão linear. Clima do Paraná.

1 Introdução

O Estado do Paraná apresenta paisagens bastante diversificadas em termos climáticos, pedológicos e de cobertura vegetal. Sua posição, situando-se na transição entre as zonas climáticas tropicais e subtropicais, sendo cortado, ao norte, pelo Trópico de Capricórnio, também contribui para uma diversidade maior de circunstâncias ambientais. Em termos climáticos, sofre influência de diversas formas de circulação atmosférica, com orografia pronunciada no sul e leste, maior influência oceânica no leste e maior efeito da continentalidade no oeste. A continentalidade resulta da distância relativa de um determinado ponto na terra em relação aos grandes corpos hídricos representados pelos mares e oceanos, podendo ser acentuada por barreiras orográficas que isolem mais as terras interiores das correntes aéreas de origem marinha. A água influencia a temperatura do ar, uma vez que a superfície continental se aquece e se resfria mais rapidamente do que a superfície dos corpos de água. Os ventos predominantes e as correntes oceânicas também interferem na temperatura do ar, pois transportam ou transmitem, por advecção, ar mais aquecido ou mais frio de uma área para outra, dependendo das características dos gradientes de pressão

envolvidos.

A temperatura do ar é, dentre os elementos climáticos, aquele que promove maiores efeitos diretos e significativos sobre muitos processos fisiológicos que ocorrem em plantas e animais. Portanto, seu conhecimento se torna fundamental em estudos de planejamento agrícola e em análises de adaptação de culturas a determinadas regiões com características distintas (MEDEIROS et al., 2005). A temperatura do ar é influenciada também pela altitude, latitude e longitude e, normalmente, decresce com a elevação da altitude numa proporção de aproximadamente 1 °C/100m (gradiente adiabático do ar seco). Esta taxa de arrefecimento ocorre, pois uma massa de ar seco em ascensão está sujeita a pressão cada vez menor, aumentando seu volume e diminuindo a temperatura. Como este gradiente térmico depende da saturação do ar, o decréscimo da temperatura média com a altitude se situa em torno de 1 °C a cada 180 metros (DURY, 1972). No Paraná, Maack (1981) cita a alteração de 0,5 °C para cada 100 metros e, como um dado mais geral, Ometto (1981) cita a alteração de 0,6 °C para cada 100 m de altitude.

Assim, nos trópicos, as grandes diferenças de temperatura em pequenas distâncias são principalmente decorrentes dos

¹ Dra.; pesquisadora da Embrapa Florestas na área de zoneamento ecológico-econômico; E-mail: elenice@cnpf.embrapa.br. Embrapa Florestas, Estrada da Ribeira, km 111. Caixa Postal 319, CEP 83411-000, Colombo, PR.

², Prof. Dr. do Depto de Geologia, da Universidade Federal do Paraná; E-mail: lem@cnpf.ufpr.br.

³, Dra. ; pesquisadora da Embrapa Florestas em Melhoramento Genético Florestal; E-mail: ananda@cnpf.embrapa.br.

efeitos da variação da altitude e nebulosidade e não da latitude, podendo haver também grandes diferenças nas condições de temperatura entre os locais a barlavento e os situados a sotavento de uma montanha (OMETTO, 1981). Mesmo em zonas subtropicais, considerando a altitude e a latitude influenciando a temperatura média decidual do ar, Cargnelutti et al. (2006) concluíram que a altitude exerce maior influência que a latitude para o Estado do Rio Grande do Sul. Entretanto, outros fatores climáticos, tais como variações de nebulosidade ao longo de encostas expostas a correntes de ar úmidas, podem influir tanto acentuando quanto atenuando os gradientes de variação da temperatura em relação à altitude (LINACRE, 1982).

A relação direta da altitude com a temperatura é especialmente importante para as regiões tropicais e subtropicais, onde uma diferença altitudinal de algumas centenas de metros provoca mudanças sensíveis no clima, no solo, na vegetação natural e, conseqüentemente, na adaptação das espécies animais e vegetais e na aptidão para vários sistemas de uso da terra.

Como a rede de estações meteorológicas ainda permanece incipiente no Brasil, com exceção do Estado de São Paulo, há vários estudos que analisam as relações existentes entre latitude, longitude, altitude e temperatura, procurando assim determinar, através de equações de regressão múltiplas, a temperatura de regiões onde não há monitoramento climático ou onde ele é escasso (OLIVEIRA NETO et al., 2002; MEDEIROS et al., 2005; CARGNELUTTI et al., 2006; DIEDRICH et al., 2007). Entretanto, para grandes regiões, a divisão da área em compartimentos menores de clima mais homogêneo é favorável para melhor ajuste das retas (OLIVEIRA NETO et al., 2002).

Neste contexto, o objetivo principal deste trabalho se volta ao estudo da relação entre altitude e temperatura, a fim de definir um coeficiente vertical de temperatura médio para o Estado do Paraná e também setorial, no âmbito das regiões de clima semelhantes no Estado, utilizando para isto o método da regressão linear. Como objetivo secundário, busca-se avaliar a importância relativa da altitude, latitude e longitude na temperatura média anual, com a obtenção de um intervalo de gradiente de alteração da temperatura com a latitude e longitude para o Estado.

2 Materiais e métodos

Para embasar este trabalho, inicialmente foi construído um banco de dados climáticos para contar com o maior número de informações monitoradas pelas estações meteorológicas disponíveis no Estado. Foram utilizadas as séries de dados coletados nas estações do IAPAR

(Instituto Agrônomo do Paraná), do Instituto Tecnológico SIMEPAR (Sistema Meteorológico do Paraná) e do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

A localização das estações meteorológicas em coordenadas geográficas (latitude e longitude), bem como a altitude, pode ser observada nas Tabela 1, onde constam também o período de coleta dos dados (período de monitoramento) e o número de anos de coleta (número de anos inteiros observados). A fonte de dados refere-se às entidades que forneceram os seus respectivos dados. No caso de haver duas estações no mesmo local ou com igual nome de referência, significa que foram utilizados os dados de duas entidades mantenedoras, e também que estes dados se mostraram complementares, pois foram provenientes de diferentes períodos de monitoramento. Exemplos dessa situação ocorreram nas estações de: Antonina, Apucarana, Cascavel, Campo Mourão, Cândido de Abreu, Cerro Azul, Curitiba, Guaíra, Guarapuava, Jaguaíva, Palmas, Pinhais, Ponta Grossa e Quedas do Iguaçu. Há municípios onde há mais de uma estação de monitoramento, assinaladas pelas letras A e B, caso dos municípios de Ponta Grossa, Foz do Iguaçu, Guarapuava e São Miguel do Iguaçu. Observando estes locais pelo *Google Earth 4.2* da Google e *Earth Wind 1.4* da NASA, verificou-se que as estações, apesar de estarem no mesmo município, correspondem a condições geográficas bastante distintas, daí a necessidade de separá-las.

Os valores médios das variáveis térmicas e hídricas, coletados individualmente para cada estação, foram submetidos à Análise de Cluster pelo software *Statgraphics*, a fim de formar grupos de estações semelhantes no Estado. Depois de formados os grupos, eles foram analisados separadamente quanto à correlação entre a altitude das estações e as temperaturas de cada estação pela planilha de cálculo do *Excel* e assim foi obtido um coeficiente de correlação médio (r) (correlação linear de Pearson) para os grupos e também um geral, para o conjunto formado por todas as estações do Estado. Para os coeficientes de correlação de maiores magnitudes, foram obtidas retas de regressão e os respectivos coeficientes de determinação das retas (r^2). Assim, obteve-se o gradiente térmico médio para todo o Estado e também o setorial, para regiões do Estado, ou seja, para os grupos formados pela Análise de Cluster. A análise de regressão foi realizada com base no programa estatístico SAS. A verificação da significância dos valores do coeficiente de regressão linear foi baseada no teste F obtido a partir da ANOVA.

A fim de obter o gradiente térmico latitudinal e longitudinal e de posse do banco de dados, foram compostas duas tabelas relacionando a alteração da temperatura média anual, média anual de janeiro e média anual de

julho em função da latitude e longitude. A média anual de janeiro foi escolhida por se referir, em média, ao mês mais quente do ano e a de julho, ao mais frio.

Assim, para obter o gradiente térmico latitudinal, procuraram-se, inicialmente, locais de longitudes próximas, mas com latitudes distantes umas das outras e com uma diferença altimétrica, não muito superior a 50 metros. Para estes locais

selecionados, a diferença entre as temperaturas médias anuais, as de julho e janeiro, foram divididas pela distância latitudinal medida em graus e décimos de grau.

Para obter o grau térmico longitudinal, procedeu-se de forma semelhante com locais situados em latitudes diferentes, mas com altitude e longitude próximas.

Tabela 1 - Localização das estações meteorológicas e período de coleta de dados. (Continua).

Localidades	Período de observação	Número de anos Observados*	Fonte	Latitude S	Longitude W	Altitude (metros)
Antonina	1978-1999 e 2000-2007	26	IAPAR/SIMEPAR	25°14'	48°45'	60
Apucarana	1962-2002 e 2003-2007	43	IAPAR/SIMEPAR	23°30'	51°32'	746
Assis Chateaubriand	1999-2007	7	SIMEPAR	24°23'	53°32'	450
Bandeirantes	1976-2006	30	IAPAR	23°06'	50°21'	440
Bela Vista do Paraíso	1972-2006	34	IAPAR	22°57'	51°12'	600
Cambará	1957-2006	49	IAPAR	23°00'	52°02'	450
Cândido de Abreu	1989-98 e 1999-2007	16	IAPAR/SIMEPAR	24°38'	51°15'	645
Cascavel	1973-1998 e 1999-2007	31	IAPAR/SIMEPAR	24°53'	53°33'	719
Castro	1931-1989 (2 amostras)	48,0	IMNET	24°47'	50°00'	1.009
Clevelândia	1973-2006	33	IAPAR	26°25'	52°21'	930
Curitiba	1930-1990 e 1997-2007	mais de 60	SIMEPAR/INMET	25°26'	49°16'	935
Entre Rios	2001-2007	6	SIMEPAR	25°33'	51°29'	1.050
Francisco Beltrão	1974-2006	32	IAPAR	26°05'	53°04'	650
Fernandes Pinheiro	1963-2006	43	IAPAR	25°27'	50°35'	893
Foz do Iguaçu B	1998-2006	8	SIMEPAR	25°24'	54°37'	232
Guaíra	1963-1990 e 1998-2007	35	SIMEPAR/INMET	24°04'	54°15'	227
Guarapuava A	1930-1960	29	INMET	25°24'	51°28'	1.116
Guarapuava B	1976-2006	38	IAPAR/SIMEPAR	25°21'	51°30'	1.058

Tabela 1 - Localização das estações meteorológicas e período de coleta de dados. (Continuação).

Localidades	Período de observação	Número de anos Observados*	Fonte	Latitude S	Longitude W	Altitude (metros)
Guaraqueçaba	1978-2006	28	IAPAR	25°16'	48°32'	40
Guaratuba	1997-2007	9	SIMEPAR	24°52'	48°34'	4
Ibiporã	1973-06	33	IAPAR	23°16'	51°01'	484
Jacarezinho	1961-1990	29	INMET	23 ° 09'	49°58'	471
Jaguariaíva	1931-1960 e 2000-2007	34	SIMEPAR/INMET	24°15'	49°42'	891
Joaquim Távora	1972-2006	34	IAPAR	23°30'	49°57'	512
Lapa	1989-2006	17	IAPAR	25°47'	49°46'	910
Laranjeiras do sul	1974-2006	32	IAPAR	25°25'	52°25'	880
Londrina	1976-2006	30	IAPAR	23°22'	51°10'	585
Maringá	2000-2006	6	SIMEPAR	23°27'	51°59'	570
Mauá da Serra	1979-1991	12	IAPAR	23°54'	51°13'	1.020
Morretes	1966-2006	40	IAPAR	25°30'	48°49'	59
Nova Cantu	1976-2006	30	IAPAR	24°40'	52°34'	540
Nova Prata do Iguaçu	1997-2007	9	SIMEPAR	25°33'	53°30'	546
Palmas	1931-1960 e 1979-2006	56	INMET/IAPAR	26°29'	51°59'	1.100
Palmital - Paraná	1997-2007	9	SIMEPAR	24°52'	52°12'	783
Palotina	1973-2006	33	IAPAR	24°18'	53°55'	310
Paranaguá (30-90)	1930-1990	29	INMET	25°31'	48°31'	4,5
Paranavaí	1975-2006	31	IAPAR	23°05'	52°26'	480
Pato Branco	1979-2006	27	IAPAR	26°07'	52°41'	700
Pinhais	1970-1997 e 1998-2007	36	IAPAR/SIMEPAR	25°25'	49°08'	930
Planalto	1975-2006	31	IAPAR	25°42'	53°47'	400
Ponta Grossa A	1931-1960	29	INMET	25°06'	50°10'	868
Ponta Grossa B	1954-2001 e 2002-2007	47	IAPAR/SIMEPAR	25°13'	50°09'	885
Porto União (SC)	1961-1990	29	INMET	26°14'	51°04'	778
Quedas Iguaçu / Salto Osório	1973-1998 / 1999-2007	32	IAPAR/SIMEPAR	25°31'	53°01'	514
Salto Caxias	1997-2007	7	SIMEPAR	25°30'	53°28'	440

Tabela 1 - Localização das estações meteorológicas e período de coleta de dados. (Conclusão).

Localidades	Período de observação	Número de anos Observados*	Fonte	Latitude S	Longitude W	Altitude (metros)
Santa Helena	1997-2007	9	SIMEPAR	24°55'	54°18'	271
São Miguel do Iguaçu A	1974-2006	32	IAPAR	25°26'	54°22'	260
São Miguel do Iguaçu B	1998-2006	8	SIMEPAR	25°21'	54°15'	298
Toledo	1997-2007	9	SIMEPAR	24°46'	53°43'	516
Umuarama	1972-1906	34	IAPAR	23°44'	53°17'	480
União da Vitória	1997-2007	9	SIMEPAR	26°13'	51°03'	756

- valor aproximado, dependendo do monitoramento da variável amostrada.

3 Resultados e discussão

Como resultado da aplicação da análise de Cluster para a matriz formada pelas estações meteorológicas e as variáveis de dados médios térmicos e pluviométricos, o Paraná foi dividido inicialmente em dois grupos: estações do grupo 1 (áreas mais frias) e do grupo 2 (áreas mais quentes). As áreas mais frias foram subdivididas em duas: áreas frias e de alta precipitação do Planalto de Palmas e Guarapuava e áreas frias e relativamente mais secas comparativamente às anteriores e pertencentes ao Segundo e Terceiro planaltos. Quanto às áreas quentes, há as estações da parte norte do Estado, acima e próximas ao Trópico de Capricórnio (23°27'09' de latitude sul) e as estações abaixo e ao sul do Trópico de Capricórnio. As estações de Apucarana, Bandeirantes, Londrina, Ibiporã, Bela

Vista do Paraíso, Cianorte, Paranavaí, Umuarama, Cambará, Joaquim Távora e Jacarezinho são as representantes da parte norte. Dentre as estações quentes, abaixo do paralelo 23°44'S, as estações da área litorânea (Guaratuba, Guaraqueçaba, Morretes, Paranaguá, Antonina) se separam das estações do sudoeste (Foz do Iguaçu B, Guaíra, São Miguel do Iguaçu A e B, Santa Helena, Palotina, Planalto, Salto Caxias, Assis Chateaubriand, Quedas do Iguaçu, Toledo, Nova Prata do Iguaçu, Francisco Beltrão, Pato Branco, Cascavel, Laranjeiras do Sul).

A Tabela 2 ilustra o resultado da análise de correlação entre as temperaturas (média anual, média de janeiro e média de julho) e a altitude para as estações pertencentes aos grupos e subgrupos de estações formadas pela Análise de Cluster.

Tabela 2 - Correlação entre altitude e temperaturas (média anual, de janeiro, de julho) das estações meteorológicas pertencentes aos grupos e subgrupos. (Continua).

Grupos / subgrupos	r (Temp. média anual)	r (Temp. média de julho)	r (Temp. média de Janeiro)	Amplitude de Altitude (m)	Altitude média (m)	Estações representativas
1	Áreas mais frias do Estado					
1 a	- 0,62	- 0,45	- 0,72	930 -1.116	1.081	Palmas, Guarapuava A e B, Clevelândia, Entre Rios.
1 b	- 0,87	- 0,88	- 0,65	868 -1.009	915	Castro, Curitiba, Pinhais, Lapa, Jaguariaíva, Ponta Grossa A e B, Fernandes Pinheiro.
1a +	- 0,68	- 0,72	- 0,62	868 - 1.116	967	Palmas, Guarapuava A e B, Clevelândia, Entre Rios, Castro, Curitiba, Pinhais, Lapa, Jaguariaíva, Ponta Grossa A e B.
1b						

Tabela 2 - Correlação entre altitude e temperaturas (média anual, de janeiro, de julho) das estações meteorológicas pertencentes aos grupos e subgrupos. (Conclusão).

Grupos / subgrupos	r (Temp. média anual)	r (Temp. média de julho)	r (Temp. média de Janeiro)	Amplitude de Altitude (m)	Altitud e média (m)	Estações representantes
2	Áreas mais quentes do Estado					
2 a Norte	- 0,83	- 0,72	- 0,95	440 - 600	580	Bandeirantes, Camará, Paranaíba, Ibiporã, Joaquim Távora, Cianorte, Maringá, Londrina, Bela Vista do Paraíso, Umuarama, Cândido de Abreu, Apucarana, Mauá da Serra.
2 c Sudoeste	-0,86	-0,78	-0,86	227 - 880	463	Foz do Iguaçu B, Guairá, São Miguel do Iguaçu A e B, Santa Helena, Palotina, Planalto, Salto Caxias, Assis Chateaubriand, Quedas do Iguaçu, Toledo, Nova Prata do Iguaçu, Francisco Beltrão, Pato Branco, Cascavel, Laranjeiras do Sul.
2 d Áreas litorâneas	- 0,70	- 0,72	- 0,52	4,5 - 59	32,5	Guaratuba, Guaraqueçaba, Morretes, Paranaguá, Antonina.
Todas as estações	- 0,78	- 0,72	- 0,86	1 – 1.160	652	Todas as estações do Paraná
Todas as estações do Paraná, menos Litoral.	- 0,85	- 0,75	- 0,92	155 -1.116	600	Todas as estações do Paraná, menos Guaratuba, Guaraqueçaba, Morretes, Paranaguá, Antonina.

Observando-se a Tabela 2, pode-se constatar com relação à altitude:

1. há uma correlação negativa forte com a temperatura média do mês de janeiro (-0,86), quando considerado o conjunto de todas as estações do Paraná;
2. quando, na análise anterior, foram excluídas as estações do litoral (Antonina, Morretes, Paranaguá, Guaraqueçaba e Guaratuba), a correlação com a temperatura média do mês de janeiro é muito forte (-0,92); o grupo 1b apresenta uma correlação negativa forte com a temperatura média do mês de julho (-0,88);
3. as estações do norte do Paraná apresentaram correlação negativa muito forte com a temperatura média do mês de janeiro (0,95);
4. para as estações do sudoeste (2c), a correlação com o mês de janeiro é também forte (-0,86) e igual à da temperatura média anual.

A correlação mais forte da altitude com a temperatura média do mês de janeiro, quando comparada ao mês de julho, apresentada na análise que reúne o conjunto de todas as estações meteorológicas do Estado, pode ser explicada pela relevância de situações

microclimáticas durante o inverno (julho), realçadas devido à maior inclinação média dos raios solares e às inversões de temperatura. Assim, situações tais como fundos de vale, exposição diferencial de encostas (face norte ou sul), áreas descampadas sujeitas a maior incidência de vento e outras tornam-se mais marcantes. A influência do microclima, além de dificultar a análise, ainda pode invalidá-la quando, no grupo estudado, há um reduzido número de estações, ou, ainda, estações em cotas altimétricas muito próximas, o que não fornece variação suficiente para compor equações de correlação em face da influência dos demais fatores de sítio.

Os fundos de vale, incluindo as margens de rios e proximidades das escarpas são áreas climaticamente distintas, pois é onde ocorrem as maiores amplitudes térmicas diárias. Durante a noite há um esfriamento provocado pelo escoamento do ar frio noturno proveniente das vertentes e durante o dia há o aquecimento diurno decorrente da ausência de ventos que possam levar este ar mais quente para fora das zonas de baixada. Assim, no inverno, as temperaturas mínimas noturnas são muito baixas e, no verão, as máximas diurnas são muito altas, extrapolando o que seria de se esperar para

áreas de mesma altitude. MAACK (1981, p.94) observa esta condição em Rio Negro:

Pelo estreito vale fluvial dá-se a drenagem do ar frio que é represado pelas elevações do vale ou sobre as suas extensas várzeas. O ar frio (mais denso) é proveniente das elevações graníticas da Serra do Mar, com elevações de 1.200 a 1.400 metros s.n.m. e da Serra Doce Grande, tais como os conjuntos expostos de Palmas, se estendem de 1.300 a 1.399 m. s.n.m. e, em conjunto, representam as zonas mais frias do Estado do Paraná.

Assim como a estação de Rio Negro, as estações de Rio Negrinho, União da Vitória e Porto União representam estas situações de fundo de vale e correspondem a microclimas locais que se diferenciam dos padrões termométricos regionais, apresentando uma alta umidade relativa (acima de 80%) e a ocorrência freqüente de inversões térmicas.

A correlação mais forte da altitude com a temperatura do mês de julho (-0,88) foi obtida quando foram consideradas as áreas frias do Estado (1b e 1a+1b). Estas áreas, além de estarem situadas no sul do Estado (maiores latitudes), estão também em locais de maiores altitudes e sujeitas aos constantes impactos das frentes frias de inverno. As partes altas do sudeste representadas pelas estações de Curitiba e Pinhais, além dos efeitos das frentes frias, sofrem influência da proximidade do oceano, o que reflete na nebulosidade e redução da insolação, dificultando o aquecimento diurno no inverno.

Quanto ao resultado da análise de regressão entre as temperaturas e altitude para todo o conjunto de estações do Paraná (Figura 1), obteve-se uma reta de regressão linear com um coeficiente de determinação (r^2 de 0,74) para a temperatura média de janeiro, o que significa que 74% da variação de temperatura pode ser explicada pela diferença de altitude. Interpretando esta equação, verifica-se que a temperatura de zero grau pode ser atingida, em média, ao redor de 3.850 metros de altitude. Entretanto, deve-se levar em consideração que estes valores apresentados na equação não são reais quando são extrapolados para níveis mais elevados de altitude, pois os perfis de sondagens atmosféricas mostram que, na verdade, a isoterma 0°C se encontra normalmente mais elevada devido à predominância de correntes mais aquecidas de noroeste (MARENGO et al., 2004; STRECKER et al., 2008). Para a temperatura média anual (Figura 2), o coeficiente fica intermediário entre a temperatura média de janeiro e a do mês de julho (Figura 3), sendo que a equação de regressão apresenta um coeficiente de determinação muito fraco (0,52).

Quando se analisa o conjunto de estações do Estado, excetuando as da zona

litorânea (Figuras 4, 5 e 6), o coeficiente de determinação da reta de regressão linear é forte para a temperatura de janeiro (r^2 de 0,86) (Figura 4). Interpretando esta equação, verifica-se que a temperatura de zero grau seria atingida ao redor de 3.543 metros de altitude, com as ressalvas do comentário anterior. Quando se analisa a temperatura média do mês de julho (Figura 5), a equação de regressão apresenta um coeficiente de determinação fraco. Para a temperatura média anual, obteve-se um coeficiente intermediário entre as duas primeiras situações (Figura 6). Nestes gráficos fica nítida a separação de Foz do Iguaçu, que deveria estar, em julho, mais quente, devido à sua baixa altitude. Entretanto, sabe-se que esta localidade sofre o efeito da continentalidade, situando-se geograficamente numa posição favorável à ocorrência de mudanças bruscas e quedas de temperatura no inverno.

Nestes gráficos, observa-se que as estações da zona litorânea apresentam um comportamento diferenciado: são mais tamponadas termicamente, não sendo tão quentes como seria de se esperar durante o verão, mas são mais frias do que seria de se esperar no inverno, para aquelas altitudes. Isto ocorre, possivelmente, devido à influência de correntes de ar originadas no Mar de Weddel e pelos aliseos de sudeste. Diversos trabalhos relatam que as equações de regressão não são adequadas para ser utilizadas nesta zona, em função da influência marítima (PINTO & AFONSI, 1974, PEDRO JUNIOR et al., 1991, BURIOL et al., 1974, ESTEFANEL et al., 1973, citados por OLIVEIRA NETO et al., 2002).

Para o sudoeste do Paraná (2 c, Tabela 2), pode-se definir uma reta de regressão linear com um coeficiente de determinação médio para janeiro e para a temperatura média anual (r^2 de 0,73 e 0,74, respectivamente, observados nas Figuras 7 e 8). Partindo da temperatura média geral de janeiro, zero grau seria atingido por volta de 3.500 metros e da temperatura média, ao redor de 3.300 metros. Para julho, o coeficiente de determinação da reta de regressão é atenuado (Figura 9). Nesta análise, optou-se por excluir a estação de Foz do Iguaçu, pois esta se apresenta de forma diferenciada das demais, como se pôde observar na Figura 1.

Para o norte do Paraná, analisado como um todo (2a), a reta de regressão para a temperatura de janeiro (Figura 10) apresenta um coeficiente de determinação muito forte (r^2 de 0,90), atingindo, pela equação da reta, a temperatura de zero grau a quase 4.000 metros de altitude. As retas de regressão da temperatura média de julho e temperatura média anual apresentam um coeficiente de determinação médio e muito fraco, respectivamente (Figuras 11 e 12).

Deve ser salientado que todos os

coeficientes de correlação obtidos foram significativos ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F. Os coeficientes de correlação linear

variaram entre 0,72 a 0,95, como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 - Coeficientes de correlação linear (r) entre a temperatura média anual, média de janeiro e média de julho e altitude referentes aos grupos de estações

Grupos de estações	Anual		Janeiro		Julho	
	r	R ²	r	R ²	r	R ²
ET	0,78**	0,61	0,86**	0,74	0,72**	0,51
ESL	0,86**	0,74	0,92**	0,92	0,76**	0,57
ES	0,89**	0,78	0,88**	0,78	0,81**	0,65
EN	0,83**	0,51	0,95**	0,90	0,72**	0,69

Nota: ** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F. ET- Todas as estações do estado do Paraná; ESL- Todas as estações exceto as litorâneas do estado do Paraná; ES- Estações do sudoeste do estado do Paraná; EN- Estações do norte do estado do Paraná.

Assim, tomando como base os resultados das equações de regressão para janeiro (Figuras 1, 4, 7, 10), verifica-se que na análise, considerando o conjunto das estações, a temperatura de 1°C seria atingida na altitude de 3.710 metros, para a região sudoeste a 3.400 metros, enquanto para o norte do Paraná a quase 3800 metros de altitude. Isto mostra a diferença entre as áreas do Estado decorrentes das distintas latitudes, longitudes e altitudes (Tabela 4). Deve ser observado que nas análises

efetuadas foram encontrados maiores valores do coeficiente de determinação para os meses mais quentes (janeiro) em relação aos meses mais frios (julho). Este fato também foi observado por Pedro Júnior et al. (1991), citados por Oliveira Neto (2002), que justificam que a existência de massas polares no inverno faz com que os efeitos climáticos sejam sentidos de forma mais acentuada, destacando o efeito do relevo na criação de condições topo-climáticas acentuadas.

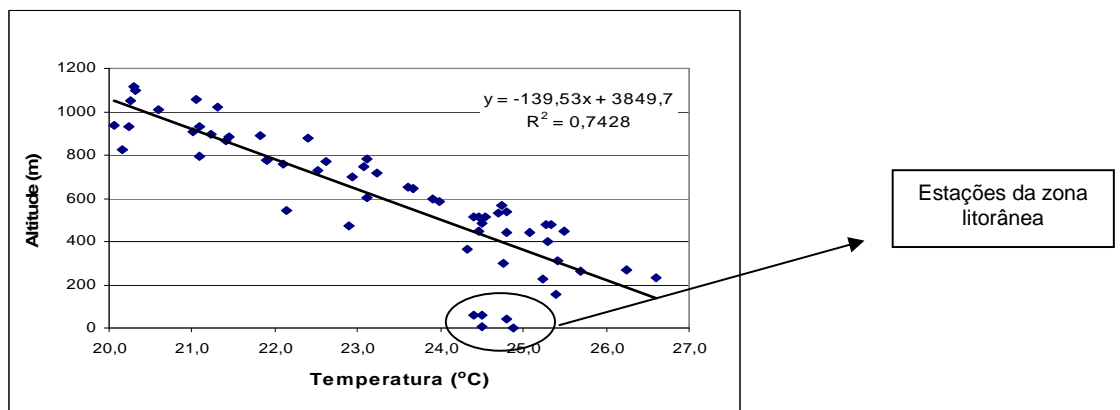


Figura 1 - Relação entre altitude e temperatura média do mês de janeiro considerando todas as estações.

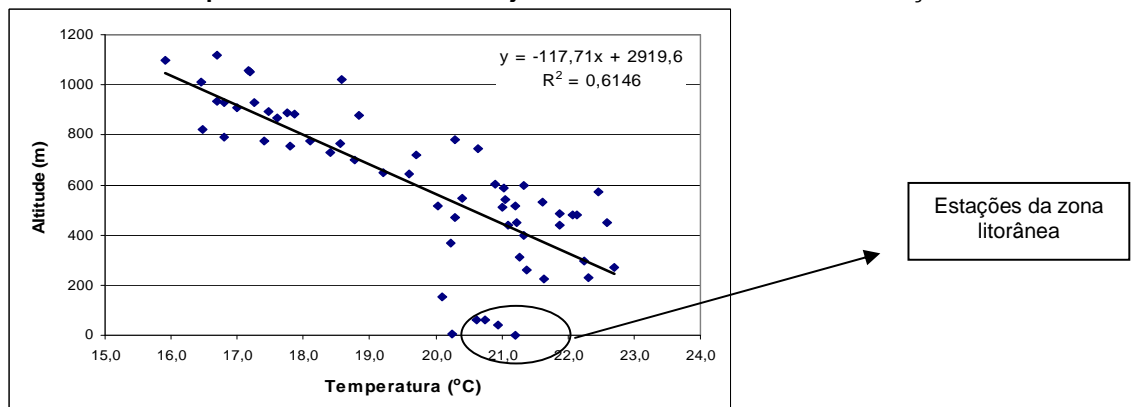


Figura 2 - Relação entre altitude e temperatura média anual, considerando todas as estações.

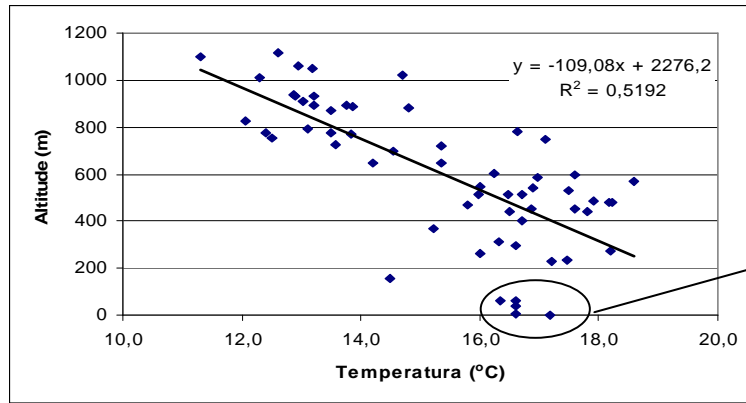


Figura 3 - Relação entre altitude e temperatura média anual do mês de julho, considerando todas as estações.

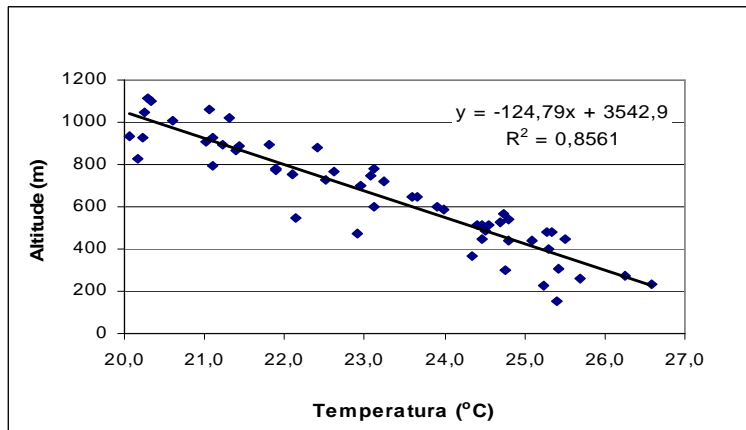


Figura 4 - Relação entre altitude e temperatura média anual do mês de janeiro para todas as estações, exceto as litorâneas.

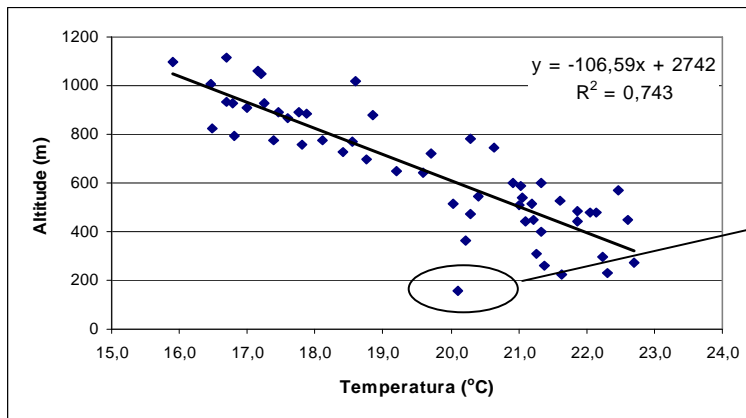


Figura 5 - Relação entre altitude e temperatura média anual para todas as estações, exceto as litorâneas.

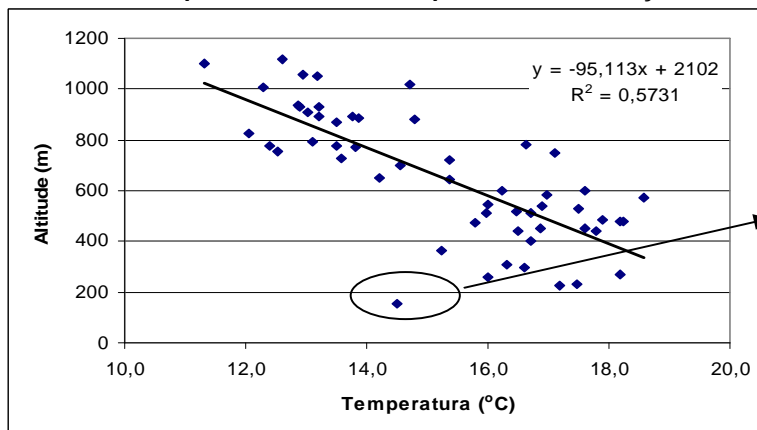


Figura 6 - Relação entre altitude e temperatura média anual do mês de julho para todas as estações, exceto as litorâneas.

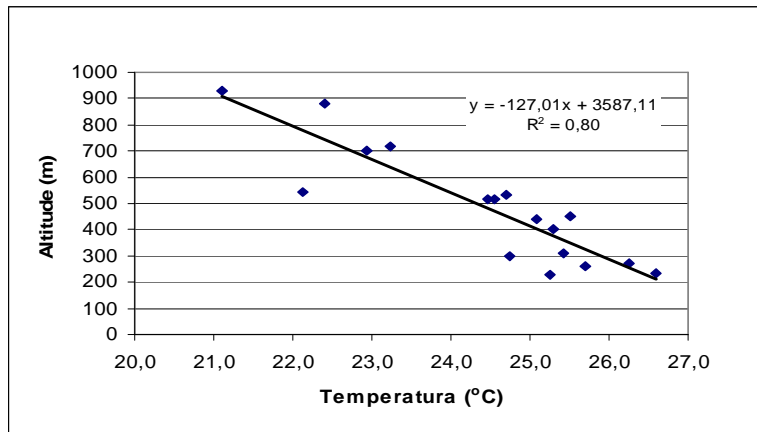


Figura 7 - Relação entre altitude e temperatura média anual do mês de janeiro para todas as estações do sudoeste do Paraná (sem Foz do Iguaçu A).

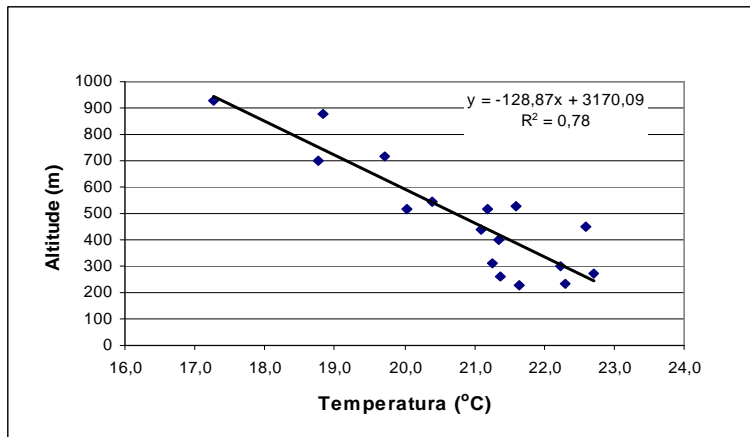


Figura 8 - Relação entre altitude e temperatura média anual para todas as estações do sudoeste do Paraná (sem Foz do Iguaçu A).

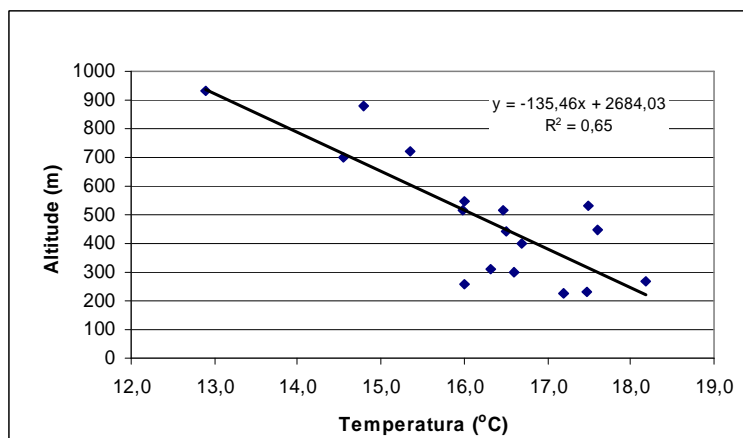


Figura 9 - Relação entre altitude e temperatura média anual do mês de julho para todas as estações do sudoeste do Paraná (sem Foz do Iguaçu A).

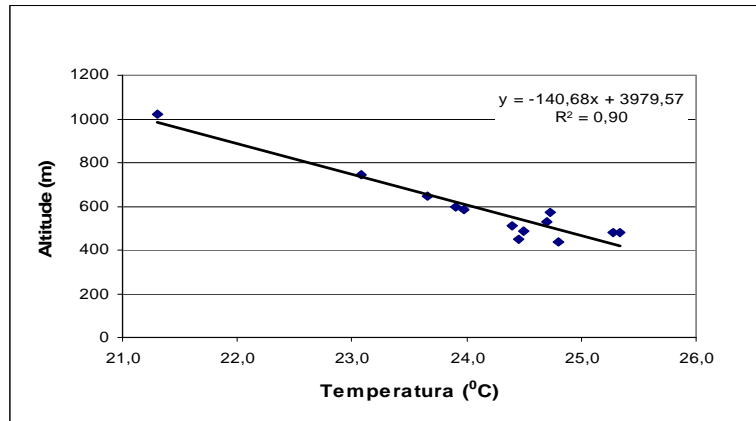


Figura 10 - Relação entre altitude e temperatura média anual do mês de janeiro para todas as estações do norte do Paraná (unidades 2.1.1, 2.1.2 e 2.1.3).

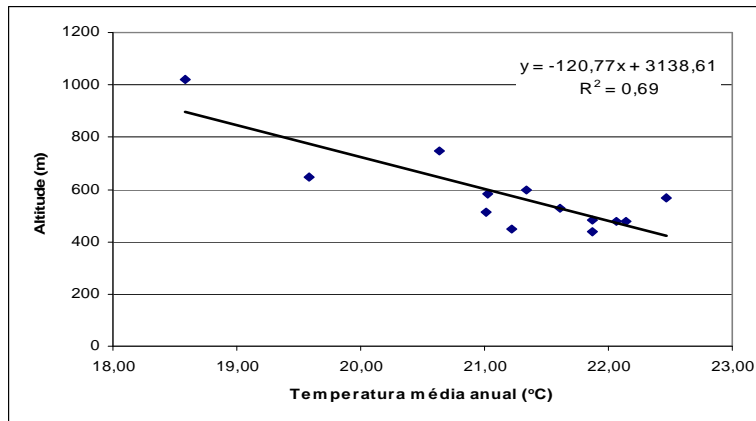


Figura 11 - Relação entre altitude e temperatura média anual para todas as estações do norte do Paraná (unidades 2.1.1, 2.1.2 e 2.1.3).

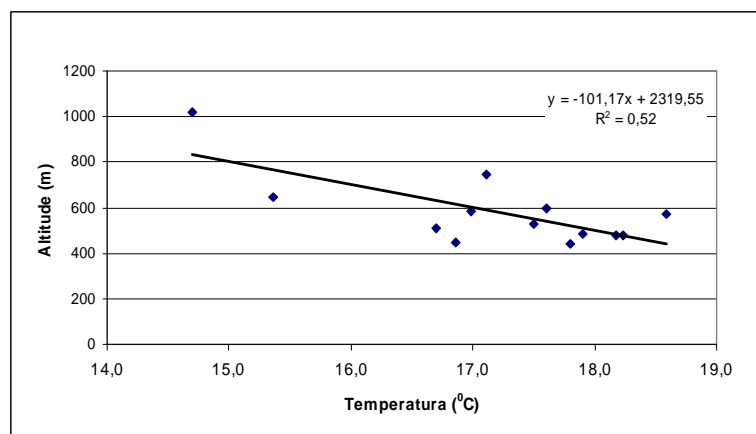


Figura 12 - Relação entre altitude e temperatura média anual do mês de julho para todas as estações do norte do Paraná (unidades 2.1.1, 2.1.2 e 2.1.3).

Tabela 4 - Equações resultantes do estudo de correlação da temperatura média anual de janeiro e altitude para alguns grupos de unidades homoclimáticas, simulando a temperatura de 1 °C e de 2 ° C.

Conjunto de estações	Equação	Com x = 1	Com x = 2	gradiente (m)	Alteração em °C para cada 100 metros de altitude	Número de estações	Coefficiente de determinação (r ²)
ET	$y = -139,53x + 3.849,7$	3.710,2	3.570,9	139	0,72	60	0,74
ESL	$y = -124,79x + 3.542,9$	3.418,1	3.292,3	126	0,79	54	0,86
ES	$y = -127,01x + 3.587,11$	3.460,1	3.333,1	127	0,79	17	0,80
EN	$y = -140,68x + 3.979,6$	3.838,9	3.698,2	141	0,71	13	0,90

Nota: y representa a altitude e x a temperatura do mês de janeiro; ET- Todas as estações do estado do Paraná; ESL- Todas as estações excetos as litorâneas do estado do Paraná; ES- Estações do sudoeste do estado Paraná; EN- Estações do norte do estado do Paraná.

Nesta tabela deve-se considerar que os resultados que melhor representam a realidade são aqueles com um maior número de estações, devido ao motivo já exposto. Assim, o gradiente térmico resultante para todas as estações do Paraná, sem as do litoral, é de 1°C / 126 m, valor próximo ao do sudoeste (1° C / 124 m). O norte do Estado apresenta um gradiente menor, possivelmente devido à baixa umidade relativa do ar, e próximo ao gradiente térmico médio encontrado em literatura de 0,6 a cada 100 m (1°C a cada 166 m). Em trabalho realizado por Alfonsi et al. (1974), foi encontrado para o Estado de Goiás um gradiente de 0,5 a cada 100 metros (1°C a cada 200 m) de deslocamento vertical. Para o Rio Grande do Sul, Cargnelutti et al. (2002) encontraram um gradiente entre 0,3 a 0,5, ou seja, num intervalo situado entre 200 e 333 metros há uma diminuição de 1°C.

Quanto à alteração da temperatura em relação à alteração da latitude (Tabela 5) e longitude (Tabela 6), observa-se que a razão da T média / grau de latitude situa-se num intervalo entre 0,54 a 1,17 °C, enquanto para a longitude variou entre 0,22 a 0,72 °C. Alfonsi et al. (1974) encontraram um gradiente de 0,1 °C para variação de cada grau de latitude em Goiás e Cargnelutti et al. (2002) encontraram uma diminuição de 0,2 a 0,6 °C da temperatura média a cada aumento no grau de latitude no Rio Grande do Sul. Assim sendo, os valores

encontrados no Paraná são superiores aos encontrados nestes dois estados com relação à latitude.

Com os valores obtidos neste trabalho fica claro que a altitude apresenta uma influência muito maior sobre a temperatura média anual, média anual de julho e média anual de janeiro, comparado à longitude e latitude, conforme afirmaram Omoto (1981) e Cargnelutti et al. (2006), pois um grau de latitude representa 111 km de distância, enquanto no setor latitudinal de interesse um grau de longitude representa um pouco menos do que o valor acima. No caso do Estado do Paraná, verifica-se que as menores temperaturas ocorrem na porção centro sul e na porção sudeste, anteriormente à Serra do Mar. Isto ocorre não somente devido às latitudes maiores ao Sul, mas também pelo fato de que nestas regiões ocorrem as altitudes mais elevadas do Estado, a exemplo da estação de Guarapuava, localizada a 1.116 metros de altitude.

Quanto à longitude, há uma tendência de elevação das temperaturas conforme o aumento da longitude, ou seja, para oeste. Entretanto, deve ser ressaltado que no oeste do Paraná ocorrem também menores altitudes comparadas ao leste do Paraná. Observando-se a Tabela 6, todas as estações a oeste apresentaram as temperaturas (média, de janeiro e de julho) mais elevadas que as das estações do leste.

REA – Revista de *estudos ambientais*
v.10, n. 1, p. 49-64, jan./jun. 2008

Tabela 5 - Relação das temperaturas médias, de janeiro e de julho, por grau de latitude das estações meteorológicas consideradas no Estado do Paraná.

Localidades	Latitude S	Longitude W	Altitude (m)	Localidades	Latitude S	Longitude W	Altitude (m)	Dif. entre Temp. média °C	Dif. entre Temp. Julho °C	Dif. entre Temp. janeiro °C	Temp. média/grau de latitude ° C /100m	Temp. julho / grau de latitude ° C /100m	Temp. jan / grau de latitude °C /100m
Jaguariaíva	24° 15'	49°42'	891	Curitiba	25°26'	49° 16'	935	1,08	0,9	1,76	0,92	0,76	1,49
Castro	24°47'	50°00'	1.009	Curitiba	25°26'	49° 16'	935	0,23	0,57	0,54	0,35	0,88	0,83
Apucarana	23° 30'	51°32'	746	Porto União	26°14'	51° 04'	778	3,2	4,7	1,2	1,17	1,72	0,44
Apucarana	23° 30'	51°32'	746	União da Vitória	26°13'	51° 03'	756	2,8	4,6	1	1,03	1,69	0,37
Apucarana	23° 30'	51°32'	746	Foz do Areia	26°05'	51° 39'	728	2,2	3,5	0,6	0,85	1,35	0,23
Mauá da Serra	23° 54'	51°13'	1.020	Entre Rios	25°33'	51° 29'	1.050	1,4	1,5	0,1	0,85	0,91	0,91
Campo Mourão	24° 03'	52°22'	601	Pato Branco	26°07'	52° 41'	700	2,1	1,7	0,2	1,04	0,85	0,1
Paranavaí	23° 05'	52°26'	480	Quedas do Iguaçu	25°31'	53° 01'	514	2,1	2,3	0,83	0,82	0,89	0,32
Cianorte	23° 40'	52°35'	530	Nova Cantu	24°40'	52° 34'	540	0,5	0,6	0,1	0,54	0,6	0,1
Umuarama	23° 44'	53°17'	480	Quedas Iguaçu	25°31'	53° 01'	514	2,03	2,2	0,74	1,13	1,22	0,41
Umuarama	23°44'	53° 17'	480	Nova Prata do Iguaçu	25° 33'	53° 30'	546	1,66	2,2	3,14	0,9	1,18	1,7

Tabela 6 - Relação das temperaturas médias, de janeiro e de julho por grau de longitude das estações meteorológicas consideradas no Estado do Paraná.

Localidades	Latitude S	Longitude W	Altitude (m)	Localidades	Latitude S	Longitude W	Altitude (m)	Dif. entre Temp. Média °C	Dif. entre Temp. Julho °C	Dif. entre Temp. Janeiro °C	Temp. média / grau de longitude ° C /100m	Temp. julho/grau de longitude ° C /100m	Temp. jan. / grau de longitude ° C /100m
Paranavaí	23°05'	52° 26'	480	Ibiporã	23 °16'	51° 01'	484	0,28	0,33	0,83	0,24	0,24	0,24
Paranavaí	23° 08'	52° 43'	480	Cambará	23°00'	50° 03'	450	0,92	1,37	0,87	0,38	0,60	0,36
Maringá	23° 27'	51° 59'	570	Joaquim Távora	23°30'	49° 57'	512	1,46	1,89	0,33	0,72	0,92	0,16
Cianorte	23° 05'	52° 35'	530	Joaquim Távora	23°30'	49°57'	512	0,59	0,8	0,3	0,22	0,30	0,11
Cascavel	24° 54'	51°15'	719	Ivaí	24°24'	50° 50'	776	1,6	1,86	1,33	0,59	0,69	0,49
Fco Beltrão	26° 05'	53°04'	650	Pato Branco	26° 07'	52° 41'	700	0,44	0,34	0,66	0,24	0,18	0,36
Laranjeiras do Sul	25° 25'	52°25'	880	Ponta Grossa	25°13'	50°02'	885	0,97	0,93	0,96	0,40	0,39	0,39
Laranjeiras do Sul	25° 25'	52°25'	880	Pinhais	25° 25'	49° 08'	930	2	1,6	2,2	0,61	0,49	0,67

Assim, em termos gerais, no Paraná, as temperaturas mais elevadas ocorrem no norte / oeste e extremo leste, decrescendo em relação ao centro-sul do Estado. De acordo com Ichiba (2006), as estações que registram as mais elevadas temperaturas máximas absolutas do Estado são as de Paranaíba (41,5^oC), localizada no noroeste do Paraná e Antonina (42,4^oC), na zona litorânea.

4 Conclusões

A correlação entre a altitude e a temperatura média de janeiro é mais forte do que para a temperatura média de julho, provavelmente devido aos efeitos dos microclimas locais e de condições estacionais que podem tamponar as tendências relativas a altitude e coordenadas geográficas das temperaturas no inverno.

O gradiente térmico médio para o mês de janeiro obtido para o conjunto de todas as estações do Estado, excluindo as do litoral, foi de 126 metros, ou seja, há uma diminuição média de 1^oC a cada 126 metros de ascensão vertical.

Este gradiente varia entre 124 a 141 m / ^oC para o sudoeste e norte, respectivamente.

Como algumas estações diferem das demais, há a necessidade de isolar algumas áreas na análise do conjunto. A estação meteorológica de Foz do Iguaçu "A" é a de mais baixa altitude no Estado, com exceção das estações da área litorânea, porém está submetida

às constantes entradas de frentes frias e conseqüentes quedas bruscas de temperatura no inverno.

O método utilizado para desenvolver este trabalho, envolvendo primeiramente a separação, pela análise de Cluster, das estações do Estado em grupos climáticos semelhantes, anteriormente à análise de correlação e a composição das equações de regressão, mostrou-se eficiente para atingir os objetivos propostos.

São necessários maiores estudos para compreender o comportamento das áreas litorâneas no mês de julho, pois era esperado um maior tamponamento térmico no inverno, o que não ocorreu. Sendo assim, torna-se mais difícil inserir esta área num modelo geral para o Estado.

A altitude é o fator que mostrou maior influência sobre a temperatura, seguido respectivamente da latitude e longitude. A temperatura média anual apresentou uma variação entre 0,54 a 1,17 ^oC para cada grau de latitude e entre 0,22 a 0,72 ^oC para cada grau de longitude, aumentando para oeste.

A altitude é um fator importante para zoneamentos, bem como as situações topográficas, particularmente os fundos de vale, uma vez que estes apresentam comportamento diferenciado face aos fatores climáticos. Assim, evidencia-se a necessidade de considerar estes fatores em zoneamentos, pois dependem de modelos que expressem as tendências, em função das variáveis regionalizadas de latitude, longitude e altitude.

5 Relationships between altitude and temperature: a contribution to agroclimatic zoning in Paraná state

Abstract: *Altitude and temperature relationships are especially important for the tropical and subtropical regions, where an altitudinal increase of some hundred meters changes the environmental conditions and leads to sensitive adaptation of the biota. Average air temperature changes with altitude, latitude and longitude, as well as each location, all have specific thermal gradients related to these parameters. In this work, the State of Paraná was delimited into homogeneous climate sub-regions and analyses were made of correlations between average temperature in January, July and the annual average, along with the altitudes of their respective groups. The correlation between altitude and average January temperature was, in general, stronger than that for July. Straight lines were obtained or the higher correlation coefficients their coefficients of determination with simple linear regression. The average thermal gradient obtained for the set of all stations of the state, excluding the coastline, was 1°C / 126 m, with this gradient ranging from 124 to 141 m to the southwest and north, respectively. Average thermal gradients were obtained as a function of latitude and longitude. The altitude, latitude and longitude, in that order, almost completely determine the average temperature of the air.*

Key-words: Altitudinal thermal gradient. Agroclimatic zoning. Climate. Paraná temperature. Linear regression. Parana climate.

6 Referências

- ALFONSI, R.R.; PINTO, H.S.; PEDRO JÚNIOR, M.J. Estimativas das normais de temperaturas média mensal e anual do Estado de Goiás (BR) em função de altitude e latitude. **Caderno de Ciências da Terra**, v.45, p.1-6, 1974.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; MALUF, J. R. T; MATZENAUER, R.; STOLZ, Á. P. Altitude e coordenadas geográficas na estimativa da temperatura mínima média decidual do ar no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 893-901, 2006.
- DIEDRICH, V. L., FERREIRA, E. R, ECKHARD, R.R. Espacialização das estimativas das temperaturas mínimas, médias e máximas anuais para o Vale do Taquari – RS – Brasil, pelo método de regressão linear. **Anais. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26, INPE, p. 153-159. 2007.
- DURY, G. H. High temperature extremes in Austrália. **Annals of the Association of American Geographers**. 62 (3), 388–400. 1972.
- ICHIBA, S. H. K. **Estudo das Temperaturas no Estado do Paraná**. 2006. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, 2006.
- LINACRE, E. The effect of altitude on the daily range of temperature. In: **International Journey of Climatology**, v.2, Issue 4, p. 375-382. 1982.
- MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio Ed., 1981. 442 p.
- MARENGO, JOSE A.; SOARES, WAGNER R.; SAULO, CELESTE; NICOLINI, MATILDE. 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, Issue 12, p.2261-2280. 2004. Disponível em: <http://vnweb.hwwilsonweb.com/hww/saveFiles/1YKRMAJWGKD2LQA3DIMCFF4ADUNGIIVO_577_1.html>. Acesso em: 4 ago. 2008.
- MEDEIROS, S.S.; CECILIO, R.A.; MELO JÚNIOR, J.C.F.; SILVA JUNIOR, J.L.C. Estimativa e espacialização das temperaturas do ar mínimas e máximas na região nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 247 – 255. 2005.
- OLIVEIRA NETO, S.N. de; REIS, G.G. dos; REIS, M. das G.F.; LEITE, H.G.; COSTA, J.M.N. da. Estimativa de temperaturas mínima, média e máxima do território brasileiro situado entre 16 e 24° latitude sul e 48 e 60° longitude oeste. **Engenharia na Agricultura**, v.10, p.8-17, 2002.
- OMETTO. J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres. 1981. 129-132 p.
- STRECKER, M.R.; BOOKHAGEN, B., CHAMBERLAIN, P.;MULCH, A; SCHMITT, A.; UBA, C. Tectonics, surface processes and the South American Low-Level Andean Jet: insights from stable isotopes and sedimentary environments. **Geophysical Research Abstracts**, Vol. 10, EGU2008-A-12421, 2008, SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU2008-A-12421 EGU General Assembly 2008. Disponível em :<<http://www.cosis.net/abstracts/EGU2008/12421/EGU2008-A-12421.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2008.

7 Agradecimentos

Os autores agradecem ao SIMEPAR pelos dados enviados que foram utilizados para compor parte dos dados climáticos utilizados neste trabalho.