

## ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA/ALTITUDE E PRECIPITAÇÃO/ALTITUDE APLICANDO-SE OS MÉTODOS DE CORRELAÇÃO E REGRESSÃO

Bruna Laryssa Soares Pacheco  
Universidade Federal de Uberlândia  
brunasoarys@hotmail.com

Lanzoerques Gomes da Silva Júnior  
Universidade Federal de Uberlândia  
lanzoerques@yahoo.com.br

Luiz Antônio de Oliveira  
Universidade Federal de Uberlândia  
luizantonio@ig.ufu.br

### CLIMATOLOGIA: APORTES TEÓRICOS, METODOLÓGICOS E TÉCNICOS.

#### Resumo:

A análise das variáveis climáticas de precipitação e temperatura é complexa, sobretudo incorporando-se à pesquisa as condicionantes altitude e topografia. Este trabalho se justifica pela inexistência de estudos com essa escala de abordagem nesta região. O estudo analisa a correlação entre precipitação e temperatura com a altitude das estações meteorológicas convencionais das Mesorregiões de Campo das Vertentes e Zona da Mata - MG. Os dados são provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) das estações de Barbacena, Caparaó, Juiz de Fora, Lavras e Viçosa, do período de 1980 a 2011. O tratamento matemático dos dados foi feito no software Microsoft Excel 2010, enquanto que a análise estatística no SPSS Statistics 17.0. Para análise de correlação das variáveis foi utilizada a correlação linear de Pearson. O resultado mostrou que a média anual de chuva para essa região é de 1377,71 mm, e que a temperatura média é de 20,77°C. As variáveis apresentaram fraca correlação, sendo que entre altitude e precipitação foi de  $R^2 = 0,2783$ , entre altitude e temperatura de  $R^2 = 0,4593$ . As condições de circulação local tem maior influência no comportamento das variáveis climáticas quando comparada com a influência do relevo.

#### Abstract:

The analysis of climatic variables of precipitation and temperature is complex, especially incorporating the constraints altitude and topography to the research. This article is justified by the lack of studies using this approach scale in this region. The study examines the correlation between precipitation and temperature with the altitude of the conventional meteorological stations of Mesoregions Campo das Vertentes and Zona da Mata - MG. Data are from the National Institute of Meteorology's (INMET) stations of Barbacena, Caparaó, Juiz de Fora, Lavras and Viçosa, in the period from 1980 to 2011. The mathematical treatment of the data was made in Microsoft Excel 2010 software, while the statistical analysis in SPSS Statistics 17.0. For correlation analysis of the variables it was used Pearson linear correlation. The result showed that the annual average rainfall for this location is 1377.71 mm and the annual average temperature is 20.77° C. The variables showed a weak correlation, and between altitude and precipitation it was  $R^2 = 0.2783$ ; between altitude and temperature  $R^2 = 0.4593$ ; and between precipitation with the variation of altitude of 454.2 mm. The conditions of local circulation has greater influence on the behavior of climatic variables when compared with the influence of relief.

## INTRODUÇÃO:

A relação da altitude com a temperatura é especialmente importante para as regiões tropicais e subtropicais onde uma diferença 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. Segundo Medeiros e outros (2005),

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.

Ainda, segundo Dury (1972),

A temperatura do ar 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.

Assim, nos trópicos, as grandes diferenças de temperatura em pequenas distâncias são principalmente decorrentes dos efeitos da variação da altitude e nebulosidade e não da latitude. De acordo com Ometto (1981) pode ocorrer também grandes diferenças nas condições de temperatura entre locais a barlavento e a sotavento de uma montanha.

A complexidade climática da região Sudeste do Brasil, é devido a sua topografia, sua posição geográfica e, principalmente, aos aspectos dinâmicos da atmosfera, que incluem os sistemas meteorológicos de micro, meso e grande escalas, que atuam direta ou indiretamente no regime pluvial, como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e as Frentes Frias, principais responsáveis pela precipitação pluvial, o Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul e o Vórtice Ciclônico de Ar Superior.

Dentre os trabalhos que incorporaram dados topográficos para estudar a distribuição das chuvas pode ser citado o de Goovaerts (2000). Este autor obteve coeficientes de correlação ( $r$ ) variando de 0,33 a 0,83 entre a precipitação para cada mês do ano e a elevação (obtida a partir de um Modelo Digital do Terreno) para 36 estações meteorológicas na região do Algarve, em Portugal. Seus resultados permitiram concluir que a regressão linear não é o melhor método para a interpolação espacial da precipitação, mas sim, outras técnicas de geoestatística, tal como a *cokrigagem*. No entanto, o autor coloca que a inserção de outros dados no modelo, ainda pouco explorados, tais como a distância da costa e a orientação das vertentes, pode levar ao encontro de resultados mais expressivos, assim como a incorporação da análise dos padrões de contiguidade espacial.

Conforme Valeriano e Picini (2003), a variação da precipitação anual acompanha os desníveis altimétricos, sendo, portanto, a altitude influente na distribuição da precipitação. Entretanto, os valores absolutos não são correlacionados na totalidade dos dados, acompanhando apenas grandes feições orográficas. Outra informação de interesse apresentada por Valeriano e Picini (op. cit.) é o aumento do

nível pluviométrico apresentado na zona costeira, sendo a proximidade da costa, portanto, outro fator influente.

No trabalho de Soares et al. (2005) foi observado que a disposição do relevo influencia marcadamente a distribuição das chuvas, sendo os locais a barlavento (voltados para a costa) e próximos ao litoral aqueles que apresentam os maiores índices, cuja diminuição ocorre a sotavento e conforme aumenta a distância do litoral.

A realização deste trabalho é devido a não existência de um estudo climático nesta escala para essa localidade. O trabalho realiza a análise de correlação entre as diferentes altitudes das estações meteorológicas convencionais situadas nas Mesorregiões de Campo das Vertentes e da Zona da Mata no Estado de Minas Gerais e suas variáveis climáticas de temperatura e precipitação.

#### Área de estudos

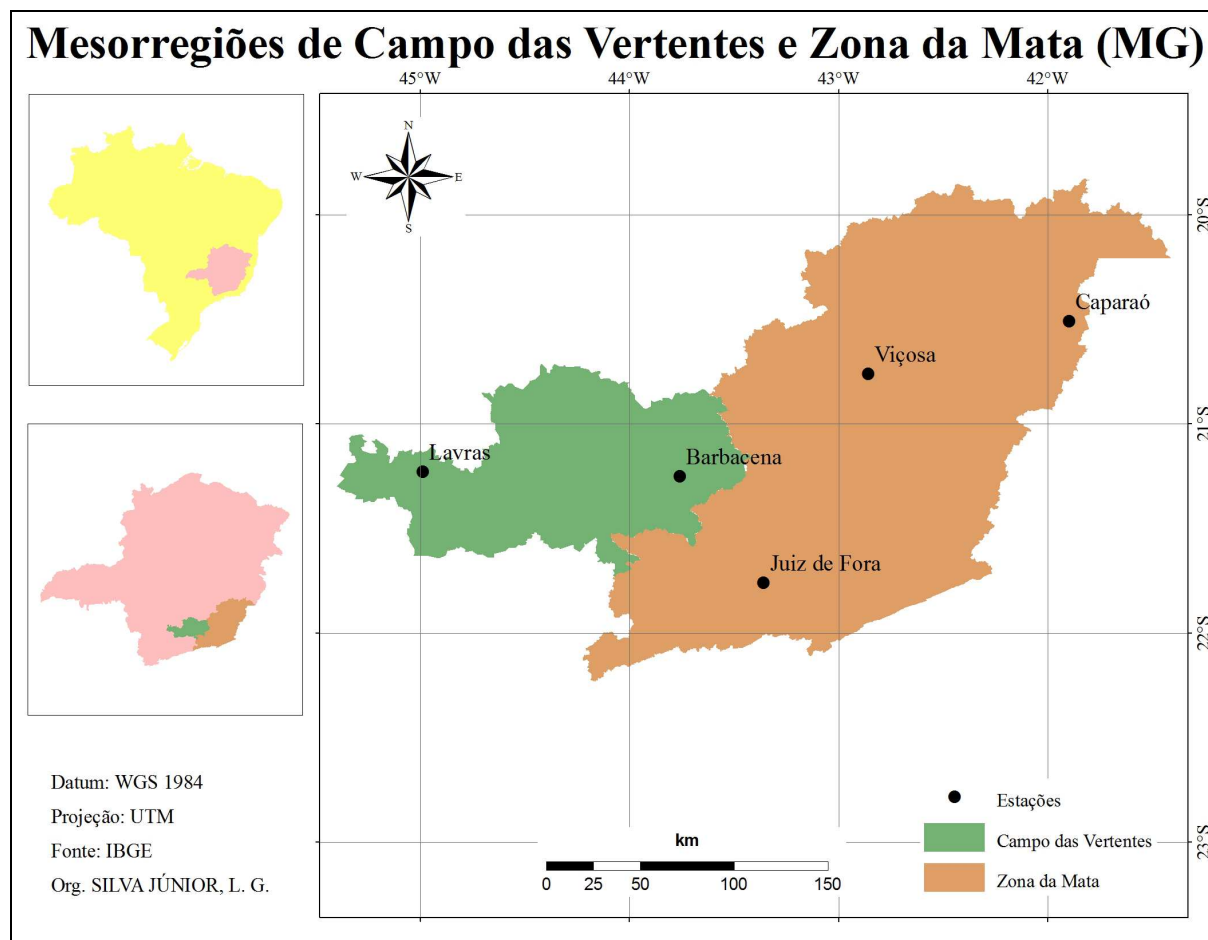
Diante da baixa densidade de estações na região estudada, onde o pouco volume de dados poderia tendenciar a resultados não confiáveis, como solução para este problema, optou-se por fazer uma análise multiregional englobando as mesorregiões do Campo das Vertentes, estações de Barbacena e Lavras, e a da Zona da Mata, estações de Caparaó, Juiz de Fora e Viçosa.

Sobre o conceito de mesorregião, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), define-a “com base nas seguintes dimensões: o processo social como determinante, o quadro natural como condicionante e a rede de comunicação e de lugares como elemento da articulação espacial”.

Nota-se, que as mesorregiões, apesar de próximas e de não demarcarem grande extensão territorial, possuem distinção no comportamento climático segundo a Classificação de Köppen, que para a mesorregião de Campo das Vertentes é: Cwb – clima temperado úmido com inverno seco e verão temperado; e Cwa – clima temperado úmido com inverno seco e verão quente. Para a mesorregião da Zona da Mata o autor classifica-as como: Cwa – clima temperado úmido com inverno seco e verão quente; Cfa – clima temperado úmido com verão quente; Am – clima de monção.

A localização das mesorregiões está entre as coordenadas geográficas de 45°24'W e 41°24'W e as latitudes de 22°13'S e 19°49'S conforme ilustra o Mapa 1.

Mapa 1: Localização das estações nas mesorregiões de Campo das Vertentes e Zona da Mata (MG)



#### Objetivo

O objetivo do trabalho é analisar a relação das variáveis de precipitação e temperatura com as diferentes altitudes das estações meteorológicas convencionais utilizando-se o coeficiente de correlação de Pearson.

#### Métodos

Para a realização deste trabalho utilizou-se dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), comparando-se os diferentes valores de altitude, precipitação e temperatura das estações meteorológicas convencionais de Barbacena (OMM: 83689) e Lavras (OMM: 83687), pertencentes à mesorregião do Campo das Vertentes, e das estações de Caparaó (OMM: 83639), Juiz de Fora (OMM: 83692) e Viçosa (OMM: 83642) da mesorregião da Zona da Mata. A série histórica analisada corresponde ao período de 01/01/1980 a 31/12/2011.

A organização da base de dados contempla dados de temperatura de bulbo seco, precipitação, altitude e localização geográfica das referidas estações, provenientes do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Posteriormente, os dados foram organizados e tratados em planilha eletrônica do Microsoft Excel

Starter 2010 de onde foram exportados para o software SPSS Statistics 17.0 para análise estatística. No ambiente do Microsoft Excel Starter 2010 ainda foram elaborados os climogramas de cada uma das mesorregiões e ainda os gráficos de dispersão das variáveis precipitação e altitude e de temperatura e altitude. O mapa de localização foi elaborado no software ArcMap 9.3.

O método de correlação e regressão, que se baseia na análise de dados amostrais, para se determinar a relação entre variáveis. As variáveis estudadas são: X, denominada de variável independente, nesse caso, altitude, e Y, denominada de variável dependente, nesse caso, temperatura e precipitação.

O modelo de regressão linear simples define uma relação linear entre a variável dependente e uma variável independente. Então, da formula de regressão linear:

$$Y = ax + b$$

Onde x é a variável independente e y é a variável dependente, uma vez que y depende de x. Já x, não depende de y.

Uma das maneiras de se conhecer a relação entre as variáveis estudadas é por meio do diagrama de dispersão. Estes diagramas são apresentados na forma de gráficos, os quais, cada ponto plotado representa um par observado de valores para as variáveis estudadas (X e Y), num sistema de eixos cartesianos.

O coeficiente de correlação de Pearson, também chamado de "coeficiente de correlação produto-momento" ou simplesmente de " $\rho$  de Pearson" mede o grau da correlação entre duas variáveis.

Este coeficiente, normalmente representado por  $\rho$ , assume apenas valores entre -1 e 1, onde o resultado de  $\rho = 1$  significa uma correlação positiva perfeita entre as duas variáveis, ou seja, se uma aumenta a outra também aumenta;  $\rho = -1$  uma correlação negativa perfeita entre as duas variáveis, isto é, se uma aumenta a outra sempre diminui; e  $\rho = 0$  onde as duas variáveis não dependem linearmente uma da outra. Na análise correlacional os sinais de positivo e negativo indicam a direção e o tamanho da variável indica a força da correlação. No entanto, pode existir uma dependência não linear. Assim, o resultado  $\rho = 0$  deve ser investigado por outros meios.

Portanto, utilizou-se para a medida de correlação entre altitude e precipitação e entre altitude e temperatura, o coeficiente de correlação linear de Pearson, a fim de obter-se o grau de intensidade que mantém unidos os dois conjuntos de valores.

O coeficiente de correlação de Pearson é calculado segundo a seguinte fórmula:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sqrt{\text{var}(X) \cdot \text{var}(Y)}}$$

Onde:  $x_1, x_2, \dots, x_n$  e  $y_1, y_2, \dots, y_n$  são os valores medidos de ambas as variáveis.

## Resultados

Os resultados apresentados na Tabela 1 são referentes às médias históricas mensais de precipitação das estações meteorológicas convencionais das duas mesorregiões pesquisadas.

Tabela 1 – Médias mensais históricas de precipitação das estações meteorológicas convencionais das mesorregiões de Campo das Vertentes e Zona da Mata, 1980 / 2011

Meses	Barbacena	Caparaó	Juiz de Fora	Lavras	Viçosa	Média
Janeiro	279,67	189,53	312,87	284,00	238,60	260,93
Fevereiro	147,29	116,43	167,34	205,09	126,75	152,58
Março	171,03	165,26	220,69	170,63	162,24	177,97
Abril	70,30	64,48	82,73	59,14	54,51	66,23
Mai	37,27	23,25	41,97	42,84	29,91	35,05
Junho	20,20	12,24	21,08	21,12	14,78	17,88
Julho	10,81	8,05	13,20	10,25	7,18	9,90
Agosto	17,37	21,00	17,84	12,84	12,74	16,36
Setembro	69,76	35,45	62,38	67,10	47,19	56,38
Outubro	118,50	88,24	125,47	112,46	103,87	109,71
Novembro	207,65	169,10	213,05	188,75	208,66	197,44
Dezembro	271,60	252,45	321,05	295,95	245,37	277,29
Total	1421,45	1145,47	1599,67	1470,16	1251,81	1377,71

Valores de precipitação em milímetros (mm).

Fonte: BDMEP – INMET.

Nota-se que os meses de janeiro e de dezembro são os que possuem os maiores índices pluviométricos, com média de 277,29 mm e 260,93 mm respectivamente, enquanto que, o que registrou o menor índice foi o mês de julho com 9,90 mm. Fazendo-se o somatório de todos os meses, pôde-se obter a média da quantidade de chuva para o ano inteiro, sendo que a estação meteorológica de Juiz de Fora foi a que registrou a maior quantidade, 1599,67 mm, já a de Caparaó ficou com o menor volume, 1145,47 mm.

A Tabela 2 mostra os resultados das médias históricas mensais de temperatura das duas mesorregiões.

Tabela 2 – Médias mensais históricas de temperatura das estações meteorológicas convencionais das mesorregiões de Campo das Vertentes e Zona da Mata, 1980 / 2011

Meses	Barbacena	Caparaó	Juiz de Fora	Lavras	Viçosa	Média
Janeiro	21,90	23,02	22,23	23,25	23,73	22,83
Fevereiro	22,26	23,72	22,89	24,14	24,18	23,44
Março	21,50	22,88	21,88	23,47	23,52	22,65
Abril	20,37	21,66	20,57	22,32	22,08	21,40
Maiο	18,23	19,39	18,34	19,77	19,68	19,08
Junho	17,26	18,00	17,38	18,53	18,17	17,87
Julho	17,11	17,44	17,30	18,66	18,04	17,71
Agosto	18,27	18,81	18,24	20,37	19,45	19,03
Setembro	19,04	19,70	18,67	21,80	20,65	19,97
Outubro	20,29	21,33	20,11	22,83	22,10	21,33
Novembro	20,67	21,52	20,68	22,89	22,37	21,63
Dezembro	21,39	22,65	21,49	23,08	23,15	22,35
Média	19,86	20,84	19,98	21,76	21,43	20,77

Valores de temperatura em graus celsius (°C).

Fonte: BDMEP – INMET.

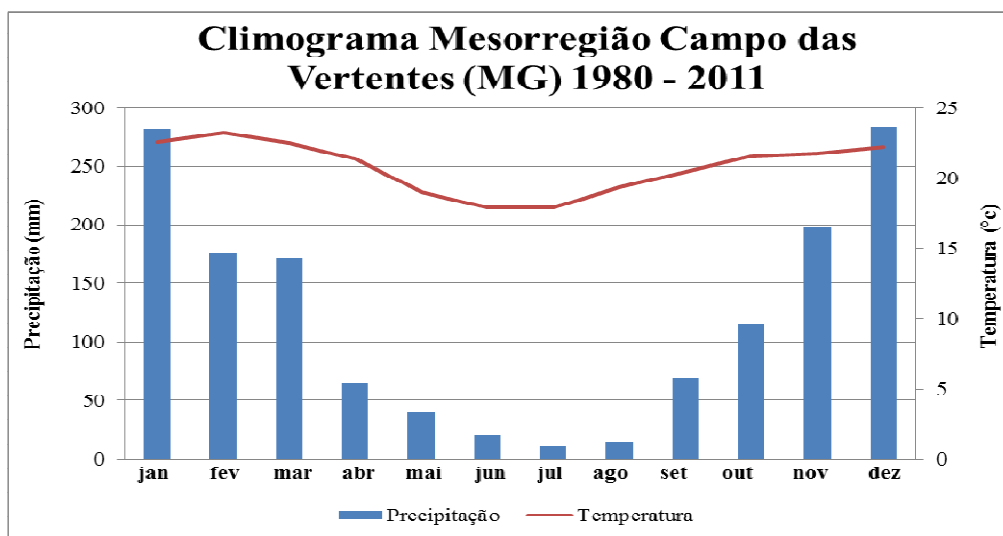
Com relação às médias históricas mensais de temperatura, o mês de fevereiro ficou com a média das temperaturas mais elevadas, 23,84 °C, ao contrário do mês de julho que obteve a média de temperaturas mais baixas, 17,71 °C.

A estação meteorológica convencional que registrou média anual de temperatura mais baixa foi a estação de Barbacena com 19,86 °C, enquanto que a estação de Lavras com média de 21,76 °C, atingiu a média de temperatura mais elevada.

Para melhor se analisar o comportamento de precipitação e temperatura de cada mesorregião, utilizou-se os resultados das tabelas 1 e 2 para elaboração dos climogramas.

O Gráfico 1 apresenta dados dos últimos 31 anos (1980 a 2011) relacionando a precipitação e a temperatura da mesorregião do Campo das Vertentes.

Gráfico 1 – Climograma da mesorregião do Campo das Vertentes (MG), 1980 / 2011

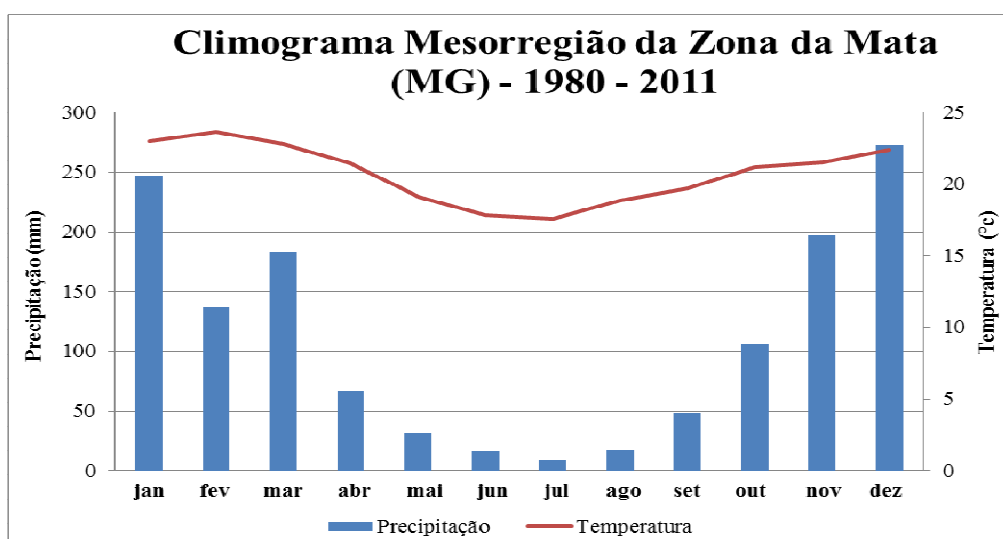


Nota-se que na mesorregião de Campo das Vertentes o período de maior ocorrência de chuvas inicia-se no mês de setembro, cerca de 68,43 mm, e estende-se até ao mês de abril com aproximadamente 64,71 mm, período em que também se encontram as maiores temperaturas, indo de 19,31°C em setembro a 22,48°C em abril. Apesar dos meses de dezembro e janeiro serem os mais chuvosos, o mês de fevereiro foi o que apresentou a média de temperatura mais elevada, 23,19°C.

Os meses de maio a agosto caracterizam o período menos chuvoso e também o período das temperaturas mais baixas, com 40,05 mm e 21,34°C em maio, e 15,10 mm e 17,88°C em agosto.

O climograma da mesorregião da Zona da Mata (Gráfico 2) mostra a relação da temperatura com a quantidade de chuva mensal.

Gráfico 2 – Climograma da Mesorregião da Zona da Mata (MG), 1980 / 2011



Verifica-se que a maior quantidade de chuva é pertencente ao mês de dezembro com 273 mm,



e que o período chuvoso abrange os meses de outubro a abril, com precipitações médias de 106 mm e 67 mm respectivamente, meses em que a temperatura se mantém mais elevada, 21°C em outubro e abril, enquanto que o período de estiagem vai de maio a setembro, 32 mm em maio e 48 mm em setembro, e as temperaturas estão mais baixas, 19°C no início e 20°C no fim do período de estiagem.

Ao se comparar os climogramas percebe-se grande similaridade em relação ao comportamento das variantes neles evidenciadas, principalmente em relação à temperatura, com maior variação para a precipitação, principalmente nos meses janeiro e fevereiro, onde a mesorregião de Campo das Vertentes apresenta maiores índices pluviométricos.

Os dados de altimetria e variáveis climáticas das cinco estações meteorológicas convencionais situadas nas mesorregiões de Campo das Vertentes e Zona da Mata estão relacionados na tabela 3.

Tabela 3 – Relação das médias históricas anuais de precipitação e temperatura com a altitude de suas respectivas estações meteorológicas

Estações	Altitude (m)	Precipitação (mm)	Temperatura (°C)
Barbacena	1126	1421,45	19,86
Juiz de Fora	939,96	1599,67	19,98
Lavras	918,84	1470,16	21,76
Caparaó	843,18	1145,47	20,84
Viçosa	712,20	1251,81	21,43

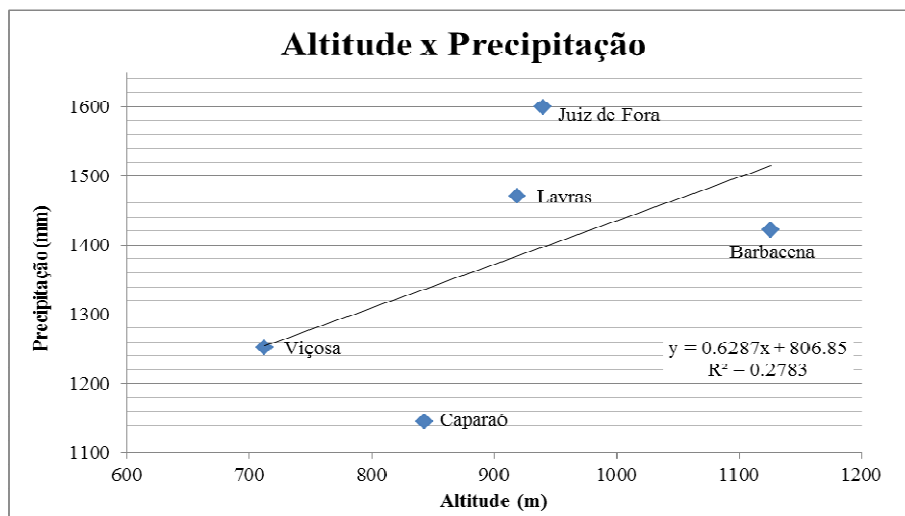
Fonte: BDMEP – INMET.

Analisando-se a Tabela 3 observa-se que há um gradiente de altitude de 413,20 m, com o ponto mais baixo em relação ao nível médio do mar sendo o da estação de Viçosa com 712,20 m, e a de maior altitude o da estação de Barbacena com 1.126,0 m.

Análise dos comportamentos das variáveis indica fraca correlação entre altitude e precipitação. De modo contrário têm-se correlação entre as variáveis temperatura e altitude, onde têm-se, com exceção da estação de Lavras, que quanto mais baixa a altitude da estação meteorológica mais elevada é a sua temperatura. Há de se considerar, que embora exista a correlação, esta não segue a relação de variação do gradiente térmico de 0,6°C/ 100 m.

A partir dos dados supracitados elaborou-se os gráficos de dispersão e respectiva reta de tendência.

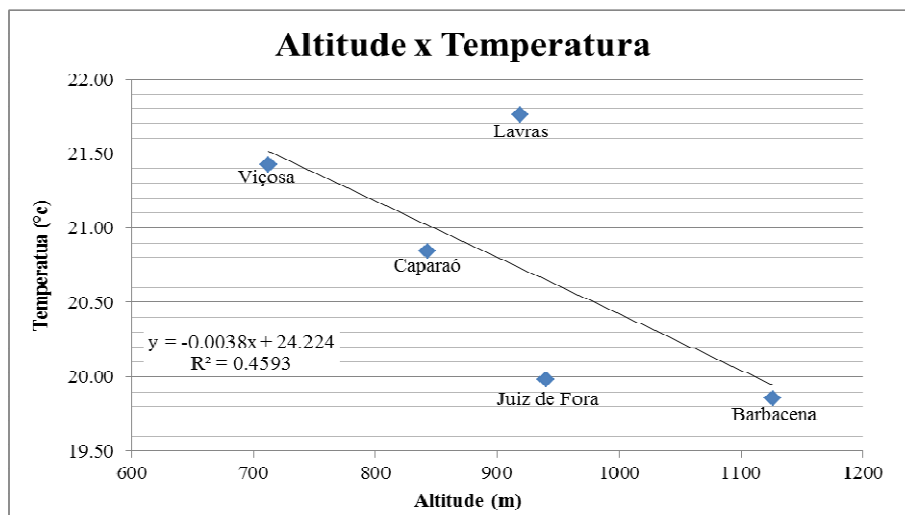
Gráfico 3 - Correlação entre altitude e média histórica anual de precipitação das estações meteorológicas da mesorregião do Campo das Vertentes e Zona da Mata.



A correlação entre altitude e precipitação foi de  $R^2 = 0,2783$ , indicando fraca correlação positiva entre as variáveis. Análise do gráfico demonstra que os dados das estações meteorológicas de Caparaó e Juiz de Fora apresentam uma maior dispersão em relação à reta de tendência, seguidas por um menor desvio das estações de Lavras e Barbacena. A estação de Viçosa está posicionada sobre a reta.

Na correlação entre altitude e temperatura, embora as estações meteorológicas de Barbacena, Caparaó e de Viçosa, apresentarem valores próximos à reta, as estações de Juiz de Fora e de Lavras tiveram valores muito dispersos, resultando em uma fraca correlação positiva, com coeficiente linear de  $R^2 = 0,4593$ , Gráfico 4.

Gráfico 4 - Correlação entre altitude e média histórica anual de temperatura das estações meteorológicas da mesorregião do Campo das Vertentes e Zona da Mata



### Considerações Finais

Diante dos resultados obtidos, percebe-se a necessidade de adensamento da rede de monitoramento para melhorar a qualidade dos dados e permitir uma caracterização climática mais pontual, pois parte dos dados baixados não foi utilizado para a pesquisa devido às falhas contidas, faltando valores de alguns meses ou até mesmo de alguns anos.

Os resultados ainda possibilitam a elaboração de outros estudos, tendo como base a dispersão dos dados, como é o caso das estações de Caparaó e Juiz de Fora na correlação da altitude com a precipitação, e a dispersão dos dados das estações de Juiz de Fora e Lavras na correlação da altitude com a temperatura.

Contudo, a pesquisa mostrou que mesmo em regiões, cuja extensão areal não seja considerável, no caso a região abrangida pelas estações meteorológicas aqui estudadas, podem-se registrar diferenças consideráveis de precipitação e temperatura. Estas diferenças podem ser causadas pelas diferenças de altitude de cada estação, por fatores climáticos locais como a presença de rios e/ou rugosidade do relevo, pela qualidade da infra-estrutura de coleta de dados ou ainda pela precisão do registro e do tratamento dos dados, visto que as estações são convencionais, ou seja, a leitura e arquivamento dos dados são realizados por pessoas.

### Referências

ALVES, L.M.; MARENGO, J.A.; CASTRO, C.A.C. **Início das chuvas na região sudeste do Brasil: análise climatológica.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12, 2002, Foz do Iguaçu.

GOOVAERTS, P. **Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall.** Journal of Hydrology, v. 228, pp. 113-129, 2000.

PICCININI, M.R.D. **Distribuições de probabilidade de precipitação de intensidade máxima para Piracicaba, SP.** 1993. 81f. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agronômica) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.

Valeriano, M. M. **Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e ambiental, v. 7, n. 3, pp. 539-546, 2003.

VEIGA, J.A.P.; ORSINI, J.A.M.; RAO, V.B. **A influência das anomalias de TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico sobre as chuvas de monção da América do Sul.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.17, n.2, p.181-194, 2002.

Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0709.pdf>>. Acesso em: 25/04/2012.

Disponível em: <<http://proxy.furb.br/ojs/index.php/rea/article/view/902>>. Acesso em: 25/04/2012.

Disponível em:  
<<http://www.dpi.ufv.br/~peternelli/inf162.www.16032004/materiais/CAPITULO9.pdf>>. Acesso em: 11/05/2012.

Disponível em:  
<<http://www.estv.ipv.pt/paginaspessoais/nbastos/20052006/semestre2/pdf/estii/Anal%C3%ADse%20de%20Regress%C3%A3o%20e%20Correla%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 12/05/2012.

Disponível em: <[http://www.aurea.uac.pt/pdf\\_MBA/coef\\_correl\\_Pearson.pdf](http://www.aurea.uac.pt/pdf_MBA/coef_correl_Pearson.pdf)>. Acesso em: 22/07/2012.

Disponível em:  
<<http://w3.ufsm.br/adriano/aulas/coreg/Aula%2001%20Correla%20E7ao%20Linear.pdf>>. Acesso em: 14/09/2012.

Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/>>. Acesso em: 30/08/2012.