**ANÁLISE ESTATÍSTICA DA TEMPERATURA MÁXIMA EM FUNÇÃO DA UMIDADE RELATIVA E DA PRECIPITAÇÃO DIÁRIA NO MUNICÍPIO DE BELTERRA (PA)**

Gabriel Villas Boas de Amorim Lima1; Erika Joana Nabiça Borges2; Luiz Eduardo Chaves de Azevedo3; Ivan Roberto Santos de Araújo4;

1 Graduando em Engenharia Civil. Universidade Federal do Pará.

gabrielvbal@yahoo.com.br

2 Graduanda em Engenharia Ambiental. Universidade do Estado do Pará. erikanabica10@gmail.com

3 Prof. Msc. em Engenharia Química. Universidade do Estado do Pará. educhavesazevedo@gmail.com

4 Prof. Msc. em Ciências Ambientais. Universidade da Amazônia. engivanrsa@yahoo.com.br

**RESUMO**

A intensificação do efeito estufa e o aumento da temperatura global tem preocupado cada vez mais a população ao longo dos últimos anos. O presente trabalho tem o objetivo de demonstrar a relação entre as variáveis: temperatura máxima, precipitação e umidade relativa do ar, para o município amazônico de Belterra (PA), através de análises estatísticas de Regressão Linear Múltipla (RLM), bem como a importância dessa correlação para a região do estudo. Os dados utilizados foram retirados do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), disponibilizado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o período de 10 anos (2007-2017). Dessa forma, os resultados mostraram um grau de correlação (R) de 82% entre a temperatura máxima e os índices de precipitação e umidade relativa. Para a relação entre a temperatura máxima e a umidade relativa, a dependência entre as mesmas foi considerada forte, com R² de, aproximadamente, 66%, enquanto que, para a relação entre a temperatura máxima e a precipitação, a dependência entre as variáveis foi considerada média, com R² de, aproximadamente, 14%. Portanto, pôde-se inferir que a RLM mostrou-se efetiva para mostrar a correlação das variáveis estudadas, principalmente quanto à interdependência entre a temperatura máxima e a umidade relativa do ar.

**Palavras-chave:** Climatologia Amazônica. Série Histórica. Regressão Linear Múltipla.

**Área de Interesse do Simpósio**: Estatística Ambiental

**1. INTRODUÇÃO**

O crescimento da concentração dos Gases do Efeito Estufa (GEE) na atmosfera, a partir da revolução industrial, acabou por intensificar o fenômeno do aquecimento global, elevando a temperatura média do planeta (SALVIANO *et al.*, 2016). Nesse contexto, percebe-se o ciclo hidrológico acaba sendo impactado diretamente, afetando diretamente as atividades humanas e o equilíbrio dos recursos naturais (PRADO *et al.*, 2016).

Sob essa perspectiva, Salviano et al (2016) discutem que as alterações de temperatura podem estar associadas, ainda, ao desmatamento de florestas nativas e à urbanização desordenada, impactando também outras variáveis climáticas, como umidade e precipitação. A partir disso, Carvalho et al (2016) sugerem que estudos de análise estatística de séries de dados climatológicos favorecem a identificação de parâmetros dependentes uns dos outros e resultam em uma forma de entender como se relacionam em mudanças climáticas em determinada região.

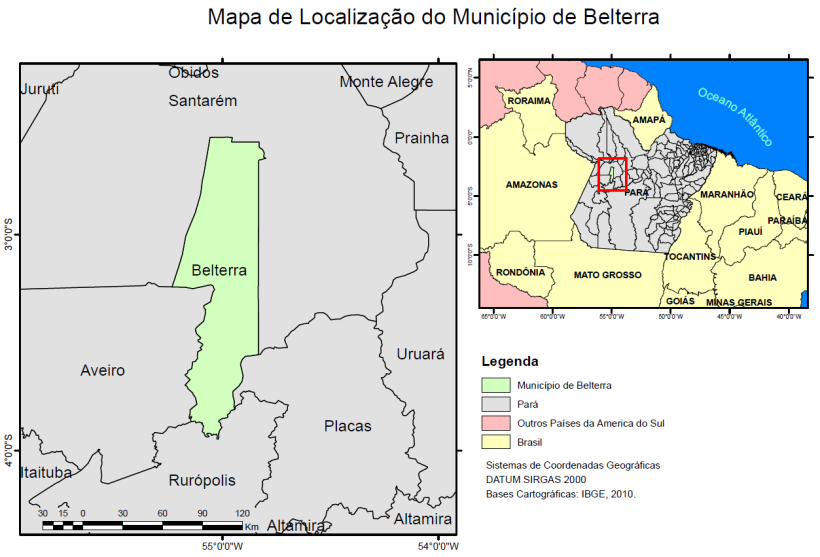
Com isso, este estudo buscou verificar a confiabilidade e o grau de correlação existentes entre as variáveis sugeridas como independentes (precipitação e umidade) no comportamento da temperatura máxima (variável dependente) de um município amazônico, Belterra-PA, em razão do mesmo estar localizado em uma região de expressivo desmatamento da floresta amazônica (FONSECA et al, 2017). Assim, procedeu-se à análise das variáveis por meio do método de Regressão Linear Múltipla (RLM), verificando se a influência da precipitação e da umidade no comportamento da temperatura máxima é consistente. Cabe ressaltar que este estudo é de suma importância na observação das condições climáticas existentes na região do baixo Tapajós.

**2. METODOLOGIA**

2.1 ÁREA DE ESTUDO

Com relação à área de estudo, delimitou-se a região do município de Belterra, localizado no oeste do estado do Pará (figura 01), devido o mesmo estar inserido na bacia hidrográfica do Tapajós, uma zona estratégica de conservação da biodiversidade amazônica.

Figura 01 – Localização do município de Belterra (PA).

****

Fonte: Autores (2018).

Além disso, ressalta-se que na referida região desenvolvem-se atividades econômicas de relativo impacto nos meio ambiente, relacionadas ao uso do solo para fins agrícolas, agropecuários e de exploração vegetal (BELTERRA, 2018). Ademais, cabe ressaltar que se localiza no mesmo a única estação de monitoramento de dados climatológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) da região do Baixo Tapajós.

Em regiões como estas, Fisch (1988) concebe que o clima é caraterizado por altos índices de temperatura e umidade relativa. Além disso, Oliveira et al (2015) afirmam que a pluviosidade na região apresenta dois regimes característicos: um com maior precipitação, e outro menos chuvoso, sem período de seca definido.

2.2 COLETA DE DADOS

Os dados utilizados para este estudo foram obtidos por meio do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), disponibilizado pelo INMET, mediante a estação nº 82246, com coordenadas geográficas 2°37´48"S e 54°57´0"W e altitude de 175,74m. Nesse contexto, efetuou-se o *download* de uma série história diária das seguintes variáveis: Temperatura máxima (Tmáx, em ºC), Umidade relativa média (Ur, em %) e Precipitação diária (P, em mm/dia), para o período de 10 anos, compreendido entre 01/01/2007 e 31/12/2017, inclusive para as demais variáveis (temperatura e umidade), para efeitos de compatibilização na análise estatística.

2.3 ANÁLISE DE DADOS

Uma vez formatados os dados das séries históricas das 3 (três) variáveis supracitadas, procedeu-se à análise estatística conjunta das mesmas, por meio do método de Regressão Linear Múltipla (RLM). Nesse âmbito, utilizou-se a RLM por se desejar prever o comportamento de uma variável (temperatura máxima) em função da ação conjunta de outras duas variáveis (precipitação e umidade). Desse modo, infere-se que a temperatura máxima é uma variável dependente (Y) de duas variáveis independentes, que são umidade (X1) e precipitação (X2).

Com isso, foram gerados gráficos de comportamento para a relação entre as variáveis dependente e independentes, obtendo-se, também, uma solução equacional que contemple a previsão de Y em função de X1 e X2. Ao fim, gerou-se uma Matriz de Correlação com as variáveis aplicáveis, no intuito de verificar o grau de correlação das mesmas.

**3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Utilizando o software Microsoft Excel, gerou-se a RLM da variável dependente (Temperatura Máxima) em função de variáveis independentes (Precipitação e Umidade), cujos resultados estão descritos nos quadros 01, 02 e 03.

Quadro 01 – Coeficientes de Correlação – parte I

|  |  |
| --- | --- |
| **Estatística de regressão** | |
| R múltiplo | 0,82 |
| R-Quadrado | 0,67 |
| R-quadrado ajustado | 0,67 |
| Erro padrão | 1,05 |
| Observações | 4003 |

Fonte: Autores (2018)

Por meio do Quadro 01, nota-se que o coeficiente de correlação (R-múltiplo) estabelece o grau de correlação de 82% entre a temperatura máxima e os índices pluviométricos e de umidade. Isso significa que existem indícios expressivos de que as variáveis analisadas possam ser correlatas. Segundo Devore (2006), essa correlação é considerada forte.

Por essa perspectiva, verificou-se também que o coeficiente de determinação (R-quadrado) determina que 67% das variações da temperatura máxima são explicadas pelas variações dos níveis de precipitação e da umidade relativa. Em complementação a isso, nota-se que o coeficiente de determinação ajustado (R-quadrado ajustado) vale 0,67; o que, segundo Coutinho et al (2012), infere que a correlação é forte entre as variáveis analisadas.

Quadro 02 – Coeficientes de Correlação – parte II

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **ANOVA** | **gl** | **SQ** | **MQ** | **F** | **F de significação** |
| **Regressão** | 2 | 8831,55 | 4415,77 | 3986,92 | 0 |
| **Resíduo** | 4000 | 4430,26 | 1,10757 |  |  |
| **Total** | 4002 | 13261,81 |  |  |  |

Fonte: Autores (2018)

Já no que diz respeito ao Quadro 02, analisou-se o F de significação, onde foi verificado que o mesmo é inferior a 0,05 (no caso, o F de significação obtido é zero). Isso implica, segundo Sell (2005), que a regressão realizada entre as variáveis expostas é significativa, isto é, possui sentido estatístico.

Quadro 03 – Coeficientes de Correlação – parte III

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Coeficientes** | **Erro padrão** | **Stat t** | **valor-P** | **95% inferiores** | **95% superiores** |
| **Interseção** | 54,495 | 0,288 | 189,359 | 0 | 53,93 | 55,06 |
| **Umidade** | -0,263 | 0,003 | -79,028 | 0 | -0,27 | -0,26 |
| **Precipitação** | -0,013 | 0,001 | -9,307 | 2,1E-20 | -0,02 | -0,01 |

Fonte: Autores (2018)

A partir do Quadro 03, pôde-se verificar o modelo algébrico que representa linearmente o fenômeno, além de aferir se o mesmo é viável em previsões de manifestações futuras de eventos climáticos. Quanto ao teste do intervalo de confiança, disposto em 95%, o Quadro 03 evidenciou que o intervalo está entre 53,93 e 55,06, sendo que o coeficiente angular (54,495) está contido nesse intervalo. Desse modo, Sell (2005) afirma que o coeficiente de interseção do modelo possui 95% de confiança de estar no intervalo corrente das variáveis independentes.

Já quanto ao teste Stat-t, verificou-se que os coeficientes angulares dos índices de Umidade e precipitação estão, respectivamente, a 79,03 e 9,31 desvios padrões distantes em relação ao coeficiente da temperatura máxima. Sob essa perspectiva, Sell (2005) afirma que a verificação do Stat t das variáveis analisadas consiste na determinação de que o Stat t de cada variável deva estar contido no intervalo descrito pela Equação 1:

Eq. (1)

Ao manipular a Equação 1 com os dados do Quadro 03, verificou-se que os Stat-t da Umidade e da Precipitação devem estar no intervalos (-11,25/+11,25) e (-80,73/+80,73), respectivamente. Assim sendo, concebe-se que os stat’s-t das referidas variáveis independentes estão contidos em seus intervalos correspondentes, o que permite afirmar que há influência das mesmas no comportamento da Temperatura.

Quanto ao teste do valor-P, nota-se que os resultados encontrados encontram-se abaixo do limite indicado (0,05), possibilitando a inferência de que as variáveis Umidade e Precipitação possuem influência sobre a variável Temperatura Máxima. Diante desse cenário, Sell (2005) assegura que a verificação do F de significação e dos testes do Intervalo de confiança, do Stat-t e do Valor-P já dão suporte suficiente para provar a influência de X1 e X2 sobre Y, caso as correlações passem nas quatro apurações. Com base nisso, concebeu-se a Equação 2, que representa o modelo que descreve o comportamento da Temperatura Máxima em relação à Umidade e Precipitação:

Eq. (2)

Sendo T a temperatura máxima (em ºC), U a umidade relativa média diária (em %) e P a precipitação diária (em mm). Com base nos Quadros 01, 02 e 03, foram gerados os gráficos 01 e 02, que representam o comportamento da temperatura máxima em função da umidade relativa e da precipitação diária, respectivamente.

Gráfico 01 – Temperatura máxima em função da Umidade Relativa

Fonte: Autores (2018).

Nota-se, por meio do Gráfico 01, que a correlação existente entre a Umidade relativa e a Temperatura máxima é negativa. Isto significa que à medida que a Umidade relativa aumenta, a temperatura máxima tende a diminuir, gerando uma menor variação térmica. Isso pode ser observado em regiões de clima tropical, onde os altos índices de umidade são, dentre outros fatores, os responsáveis por manter a temperatura quase que constante durante o ano. É importante atentar-se ao fato de que o fator-temperatura analisado refere-se ao valor crítico (Tmáx), e não à variação térmica diária (T = Tmáx-Tmín).

Com relação aos dados utilizados, cabe mencionar que os dois dados discrepantes do gráfico (com umidade equivalendo a 58% e 56,5%) foram registrados em 04/09/2017 e 15/09/2017, respectivamente. Uma provável explicação para este comportamento incomum reside no fato de ambos os valores terem sido registrados no período de estiagem amazônica, historicamente ocorrentes no período de junho a outubro. Além do mais, o estado do Pará apresentou, em 2017, o maior índice de desmatamento na Amazônia Legal (37% do total), conforme apontam Fonseca et al (2017), pesquisadores do Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON). Entende-se, deste modo, que tal cenário contribui significativamente para diminuição da evapotranspiração da vegetação, o que, consequentemente, afeta a quantidade de vapor d’água presente na atmosfera, reduzindo, assim, a umidade relativa na região.

Em adição a isso, percebe-se que a relação de dependência entre as variáveis é forte (R²=0,6587), conforme pondera Coutinho et al (2012). Dessa forma, permite-se verificar que a variação da umidade relativa explica quase 66% da variação da temperatura crítica experimentada em Belterra (PA). Como a área de estudo situa-se em uma região tropical, a análise supracitada pode ser considerada como condizente.

Gráfico 02 – Temperatura máxima em função da Precipitação

Fonte: Autores(2018)

Analogamente, ao verificar a disposição do Gráfico 02, nota-se que a correlação entre Precipitação diária e Temperatura máxima também é negativa, o que se permite inferir que à medida que a precipitação aumenta, a temperatura crítica é reduzida. Nesse contexto, nota-se racionabilidade em tal resultado, visto que em períodos de pluviosidade mais expressiva a variação de temperatura é reduzida. De acordo com a solução algébrica proposta, em dias sem precipitação na cidade de Belterra (PA), a temperatura máxima não deve passar de 31,8ºC.

Por outro lado, o coeficiente de determinação para a relação proposta é de 0,1443, considerado médio por Coutinho et al (2012). Isso significa que apenas 14,43% da variação da Temperatura máxima pode ser explicada pela variação de precipitação diária. Isso ocorre em razão da precipitação (tratada neste estudo como variável independente) ser também dependente da temperatura máxima (configurando as variáveis como interdependentes).

Então, para avaliar com melhor precisão a relação temperatura crítica-precipitação, era necessário que fosse estruturado um modelo interativo, no qual pudessem ser analisadas variáveis interdependentes, sendo ambas dependentes de uma terceira variável independente (a umidade). Haveria, ainda, a possibilidade de serem realizados estudos de interdependência entre as três variáveis, prevendo como uma influencia a outra, e, ainda, qual delas apresenta o caráter menos dependente das demais. Dessa forma, foi gerada a matriz de correlação, prevista no Quadro 04, no qual se visualizou a interdependência das variáveis analisadas:

Quadro 04 – Matriz de Correlação

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | **Temp. Máxima** | **Umidade Relativa Media** | **Precipitação** |
| **Temp. Máxima** | 1 | -0,81 | -0,38 |
| **Umidade Relativa Media** | -0,81 | 1 | 0,37 |
| **Precipitação** | -0,38 | 0,37 | 1 |

Fonte: Autores (2018).

Diante do Quadro 04, nota-se que a maior correspondência existente compreende a Temperatura máxima e a Umidade relativa, com 81% de correlação negativa. Isso evidencia que a relação entre as variáveis supracitadas é inversamente proporcional e de grau forte, inferindo que a temperatura crítica decai à medida que a umidade tende a aumentar. Segundo Costa et al. (2004) à medida que a temperatura do ar aumenta em função do aumento da disponibilidade energética na superfície do solo (radiação solar global), a umidade relativa do ar diminui em função do aquecimento do ar. Nesse sentido, a mesma radiação solar que intensifica o aumento da temperatura diminui a quantidade de vapor d’água presente na atmosfera, relação esta verificada nos dados apresentados.

Isso pode ser exemplificado em regiões desérticas, onde as temperaturas máximas ultrapassam os 50ºC, porém, apresentando baixos índices de umidade. Já em regiões tropicais, a umidade atinge níveis consideráveis (superior a 80%), estabilizando a temperatura, ou seja, não ocorrendo variações significativas ao longo do ano das temperaturas máximas e mínimas.

Quanto à relação Temperatura máxima-Precipitação, a correlação é considerada média e negativa. Isso implica que apenas 38% do comportamento da precipitação explica o comportamento da temperatura crítica, sendo esta uma relação inversamente proporcional. Já quanto à relação Umidade-Precipitação, a correlação obtida é positiva e vale 37% (a menor correlação obtida). Isso quer dizer que o comportamento da precipitação pode ser explicado pelo comportamento da umidade em apenas 37% dos casos, e que à medida que a umidade aumenta, a tendência é da precipitação também ser mais intensa. Tais resultados mostram-se condizentes, uma vez que em regiões desérticas há temperaturas máximas elevadas, baixa umidade e baixa precipitação. Já em regiões tropicais há temperaturas máximas mais uniformes, alta umidade e alta precipitação.

**4. CONCLUSÃO**

Os resultados da Regressão Linear Múltipla mostraram correlação forte entre as variáveis analisadas, onde mostra que o R-quadrado de 67% das variações da temperatura máxima são explicadas pela precipitação e umidade relativa. Os resultados positivos para os testes de verificação do F de significação, intervalo de confiança, do Stat t e do Valor-P sugerem que as variáveis independentes influenciam a variável temperatura máxima de forma significante.

Dessa forma, as análises mostram que na região de Belterra-PA, a temperatura máxima é mais dependente da umidade, sendo possível inferir que a umidade relativa do ar é um dos parâmetros reguladores das condições térmicas no município.

**REFERÊNCIAS**

BELTERRA, Prefeitura Municipal. **Portal Eletrônico Oficial da Prefeitura Municipal de Belterra**. Disponível em: < http://www.belterra.pa.gov.br/> Acesso em 23 out. 2018.

CARVALHO, R.L.S.; NASCIMENTO, B.I.S.; QUERINO, C.A.S.; SILVA, M.J.G.; DELGADO, A.R.S. **Comportamento das séries temporais de temperatura do ar, umidade e precipitação pluviométrica no município de Ariquemes (RONDÔNIA-BRASIL)**. Revista Brasileira de Climatologia. Vol. 18, jan/jun 2016.

COSTA, E.; LEAL, P.A.M.; JÚNIOR, R.R.C. **Modelo de simulação da temperatura e umidade relativa do ar no interior de estufa plástica.** Revista Eng. Agríc., Jaboticabal, v.24, n.1, p.57-67, jan./abr. 2004.

COUTINHO, L. S. A.; DUARTE, A. A. A. M.; NEVES, R. M.; NETO, B. C.; MANESCHY, C. E. A.; PINHEIRO, A. M. G. S. **Modelagem de Tempo de execução de obras civis: estudo de caso na Universidade Federal do Pará**. Revista Ambiente Construído, v. 2, n. 1. P. 243-256. Porto Alegre, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-86212012000100016> Acesso em 24 out. 2018.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística: para engenharia e ciências**. São Paulo, SP: Thomson Pioneira, 2006. 706 p.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. **Uma Revisão Geral Sobre O Clima da Amazônia.** Acta Amazônica, p. 101-126, 1998.

FONSECA, A., JUSTINO, M., CARDOSO, D., RIBEIRO, J., SALOMÃO, R., SOUZA JR., C., VERÍSSIMO, A. 2017. **Boletim do desmatamento da Amazônia Legal (dezembro de 2017).** Instituto do Homem e do Meio Ambiente na Amazônia (IMAZON),SAD (p. 1). Belém, 2017.

OLIVEIRA, V.G.; COSTA, A.S.; CORRÊA, I.C.P.; SANTOS, N.A.; BRITO, J.I.B. **Estudo da precipitação no município de Belterra-PA ultilizando série de fourier.** II Workshop Internacional Sobre Água do Semiárido Brasileiro. 2015.

PRADO, B.Q.M.; FERNANDES, H.R.; ARAÚJO, T.G.; LAIA, G.A.; BIASE, N.G. **Avaliação de variáveis climatológicas da cidade de Uberlândia (MG) por meio da análise de componentes principais.** Eng Sanit Ambient, v.21 n.2, abr/jun 2016, 407-413p.

SALVIANO, M.F.; GROPPO, J.D.; PELLEGRINO, G.Q. **Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 31, n. 1, 64-73, 2016.

SELL, I. **Utilização da regressão linear como ferramenta de decisão na gestão de custos**. IX Congresso Internacional de Custos – Florianópolis, SC. 2005. Disponível em: <https://www.ime.usp.br/~salles/fatec/estatistica/trabalho/Utiliza%C3%A7%C3%A3o%20da%20regress%C3%A3o%20linear%20como%20ferramenta%20de%20decis%C3%A3o%20na%20gest%C3%A3o%20de%20custos.pdf> Acesso em 24 out. 2018.