

CARACTERIZAÇÃO METEOROLÓGICA EM AMBIENTE PROTEGIDO PARA CULTURA LÚPULO CONSIDERANDO PERÍODOS HORÁRIOS E ESTAÇÕES CLIMÁTICAS

Rodrigo Chaves Jorge¹, Victor Crespo de Oliveira², José Rafael Franco², Alexandre Dal Pai³, Valéria Cristina Rodrigues Sarnighausen³ e Sérgio Augusto Rodrigues³.

¹Graduando, Universidade Estadual Paulista (Unesp), rodrigo.chaves@unesp.br.

²Mestre, Universidade Estadual Paulista (Unesp).

³Doutor, Universidade Estadual Paulista (Unesp).

RESUMO

A compreensão de variáveis que influenciam o crescimento dos vegetais como temperatura do ar, temperatura do solo e umidade relativa do ar é importante para otimizar o cultivo dentro de ambientes protegidos (estufas). O objetivo desse trabalho foi utilizar a análise de componentes principais (ACP) para caracterizar o comportamento e associações de variáveis meteorológicas dentro de uma estufa destinada para produção de lúpulo, ao longo das estações do ano e diferentes períodos do dia. A temperatura do ar, do solo e a umidade relativa do ar foram registradas a cada cinco minutos durante o período de 05/11/2021 até 05/11/2022 dentro da estufa localizada na Fazenda Experimental Lageado em Botucatu. Foram feitas duas análises ACP utilizando as estações do ano e períodos de horários durante um dia como variáveis suplementares. As análises demonstraram que a temperatura na estufa tende a ser maior durante o período diurno e no verão e menor durante a noite e no inverno. Além disso, a umidade relativa do ar tende a ser maior durante a noite e no verão e menor durante o período diurno e no inverno. Com esses resultados, será possível implementar estratégias mais eficientes para garantir condições propícias ao desenvolvimento da cultura.

Palavras-chave: Comportamento; Associação; Componentes Principais; Variáveis meteorológicas; Estufa.

1 INTRODUÇÃO

A taxa de crescimento dos vegetais é altamente dependente das condições climáticas a que estão submetidos, sendo que cada espécie vegetal possui uma temperatura do ambiente e umidade relativa do ar em que o seu crescimento é ótimo (HATFIELD *et al.*, 2015; CHIA *et al.*, 2022). Por isso, há grande interesse por parte dos produtores em controlar variáveis como temperatura e umidade do ar e solo, o que é comumente realizado dentro de estufas, que são estruturas geralmente construídas com material transparente de forma que a luz solar penetre durante o dia, mas não haja perda de calor por convecção ou irradiação infravermelha longa. Assim, as estufas proporcionam um ambiente controlado e protegido do ambiente externo (MAYNAR *et al.*, 2019). Porém, para se otimizar as condições dentro da estufa, é vantajoso se ter uma boa compreensão a longo prazo do comportamento de diversas variáveis meteorológicas,

o que frequentemente requer trabalho com grandes amostras e base de dados de alta dimensão. Portanto, faz-se necessário o uso de técnicas estatísticas que consigam simplificar e extrair informações desses dados de forma eficaz.

A análise de componentes principais (ACP) é uma técnica de análise estatística que se baseia na redução dimensional com máxima preservação de informação, expressando os dados em um novo sistema de coordenadas definido pelos componentes principais, que correspondem as principais direções de variabilidade dos dados. A ACP é amplamente utilizada em base de dados multidimensional para facilitar a visualização e associações entre as variáveis (JOLLIFFE *et al.*, 2016). Nesse processo, variáveis categóricas suplementares são comumente utilizadas para auxiliar na detecção de padrões nos dados (GREENACRE *et al.*, 2022).

Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi utilizar a análise de componentes principais para caracterizar o comportamento e associações de variáveis de temperatura e umidade relativa do ar no interior de uma estufa destinada para produção de lúpulo, ao longo das estações do ano e períodos de dia.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização experimental

A estufa está localizada na Fazenda Experimental Lageado no Departamento de Bioprocessos e Biotecnologia da Universidade Estadual Paulista (UNESP) campus Botucatu, que está situada a 22°54' Sul de latitude, a 48° 27' Oeste de longitude e a 786 m de altitude. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é Cfa, subtropical úmido com inverno seco e verão quente e chuvoso (CUNHA; MARTINS, 2009).

A estufa é construída com base em estrutura metálica do tipo teto em arco e coberta por polietileno de baixa densidade transparente e difusor (PEBD, com 100 µm de espessura). As dimensões são 7 metros de largura, 24 metros de comprimento e pé direito de 2,5 metros. As laterais da estufa são fechadas por tela antiofídica.

2.2 Coleta e organização dos dados

Os dados de temperatura (em C°) e umidade relativa do ar (em %) foram coletados a cada cinco minutos por meio de sensores localizados dentro da estufa, durante o período de 05/11/2021 até 05/11/2022. A temperatura foi registrada no centro da estufa, em diferentes alturas (a 3,8 m, correspondendo o teto da estufa, e a 2,0 metros) e em diferentes

profundidades de solo (superfície, 5 cm, 10 cm, 20 cm, 30 cm, 50 cm e 100 cm). Já a umidade relativa do ar foi registrada também no centro da estufa em duas alturas diferentes, a 3,8m (teto da estufa) e a dois metros de altura.

Esses dados foram armazenados em uma planilha do Microsoft Excel contendo doze colunas denominadas 'Data', 'Temp_2mt_estufa', 'UR_2mt_estufa', 'Temp_Superficie_solo', 'Temp_5cm', 'Temp_10cm', 'Temp_20cm', 'Temp_30cm', 'Temp_50cm', 'Temp_100cm', 'Temp_Teto_Estufa' e 'UR_Teto_Estufa'. Por se tratar de uma grande base de dados de alta dimensão, o arquivo foi convertido para o formato .CSV com os elementos separados por ponto e vírgula.

2.3 Análise de componentes principais

Foram realizadas duas análises de componentes principais (ACP) na plataforma R Studio através dos pacotes *Factominer* (LÊ *et al.*, 2008) e *Factoextra* (KASSAMBARA; MUNDT, 2020). Para a primeira ACP, foram utilizados os valores médios diários para cada variável (média do período das 00:00 até 23:55 horas de cada dia). Cada dia foi classificado de acordo com a estação climática a qual pertencia (verão, outono, inverno ou primavera). Essa nova variável qualitativa foi usada como a variável suplementar, e as elipses de concentração dos dados (95% de concentração) foram calculadas. Foi gerado o gráfico *biplot* contendo os dados transformados (pontos) e os vetores originais, bem como as elipses de concentração.

Já para a segunda ACP, cada dia foi dividido em três períodos horários: das 00:00 até as 06:55 (madrugada); das 7:00 até as 17:55 (diurno), e das 18:00 até as 23:55 (noturno) e os valores médios das variáveis para cada grupo horário foram obtidos. Esses grupos horários foram utilizados como variável suplementar e as elipses de concentração de 95% foram obtidas. Como anteriormente, foi gerado o gráfico *biplot* contendo os dados transformados (pontos) e os vetores originais, além das elipses de concentração.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

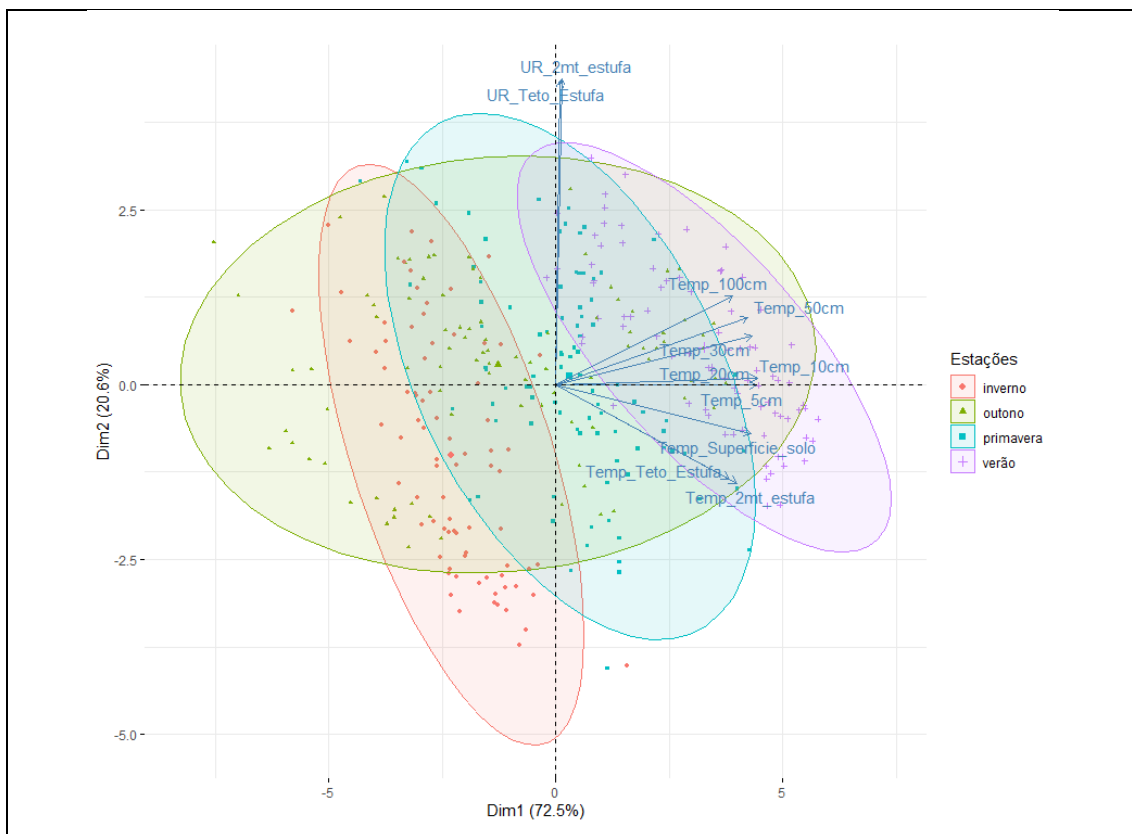
3.1 ACP com estações do ano como variável suplementar

Nota-se na Figura 1 que o primeiro componente principal (Dim1, eixo horizontal) e a segundo (Dim2, eixo vertical) explicam juntos 93,1% da variabilidade total dos dados (cada um explicando 72,5% e 20,6%, respectivamente), o que demonstra uma redução dimensional adequada para duas dimensões. Além disso, observando os vetores das variáveis originais, percebe-se que o primeiro componente está muito mais

correlacionado às diversas variáveis de temperatura do que com a umidade relativa do ar, sendo possível afirmar que em geral, os pontos mais à direita do gráfico representam dias mais quentes, enquanto pontos mais à esquerda representam dias mais frios. Por outro lado, o segundo componente está mais correlacionado às variáveis de umidade relativa do ar, com dias mais úmidos na parte de cima e dias mais secos na parte de baixo do gráfico.

Observando os pontos de acordo com a variável suplementar e as elipses de concentração, percebe-se que os dias de verão tendem a ser mais quentes e úmidos (se concentram no primeiro quadrante) em ambiente protegido (estufa), os dias de inverno tendem a ser mais frios e secos (se concentram no terceiro quadrante), enquanto os dias de primavera e outono possuem valores intermediários, sendo a primavera com uma variação maior na umidade relativa do ar do que em relação as temperaturas. Essas observações são consistentes com o clima característico de Botucatu (CUNHA; MARTINS, 2009), sugerindo que as condições dentro da estufa sofrem variações de acordo com o ambiente externo e, conseqüentemente, as estações climáticas do ano.

Figura 1 – Gráfico tipo *biplot* da ACP com estações do ano como variável suplementar



Fonte: Os autores (2023).

3.2 ACP com grupos horários como variável suplementar

Percebe-se na Figura 2 que o primeiro e o segundo componentes principais explicam juntos 92,1% da variabilidade total dos dados, portanto é possível representar os dados em apenas duas dimensões sem grande perda de informação. Como anteriormente, os vetores das variáveis originais indicam que o primeiro componente (eixo horizontal) está mais correlacionado às variáveis de temperatura do ar. Já o componente principal 2 (eixo vertical) está mais correlacionado com a umidade relativa do ar, porém também sofre influência significativa das variáveis de temperatura do ar. Apesar disso, pode-se afirmar que os pontos mais à direita tendem a representar maiores temperaturas e pontos mais acima maiores umidades relativas do ar, sendo mais acima e a direita, horários com mais umidade do ar, com temperaturas do solo (100 cm, 50, cm e 30 cm) mais elevadas e temperatura no teto, 2m e superfície do solo mais baixa. Já os horários mais acima e a esquerda, caracterizam-se por horários mais úmidos e com menores temperaturas do solo um pouco mais baixa e menores temperaturas do ar.

Figura 2 - Gráfico tipo *biplot* da ACP com grupos horários como variável suplementar



Fonte: Os autores (2023).

Portanto, analisando os grupos horários (Figura 2) percebe-se que o período diurno (7:00-17:55 horas) é em geral mais quente e menos úmido quando comparado ao período noturno (18:00-23:55 horas), pois sua elipse de concentração está deslocada para a direita e para baixo. Além disso, o período que representa a madrugada (00:00-6:55 horas) tende a ser o mais frio e úmido, com sua elipse de concentração deslocada para a esquerda e para cima no gráfico. Isso é esperado, pois o período diurno corresponde ao período de maior irradiação solar, o que tende a aumentar a temperatura do ar e consequentemente diminuir a umidade relativa do ar (considerando outros fatores como precipitação inalterados). Semelhantemente, após o pôr do Sol espera-se uma queda natural e progressiva de temperatura com consequente aumento na umidade relativa durante a noite e madrugada (AHRENS; HENSON, 2019). Assim, evidencia-se que durante o dia a estufa está sujeita à padrões de variação de temperatura e umidade semelhantes aos do ambiente externo, sendo importante levar em conta essa essa diferenciação ao se considerar medidas diárias em estudos agrometeorológicos em ambientes protegidos.

4 CONCLUSÕES

As análises de componentes principais permitiram reduzir a dimensionalidade do banco de dados de onze para duas dimensões com alta preservação de informação, o que ajudou a evidenciar padrões e extrair informações relevantes dos dados de temperatura e umidade relativa do ar dentro da estufa, durante o ano analisado. Neste sentido, os padrões observados sugerem que a estufa está sujeita às variações de temperatura e umidade relativa do ar devido às características das estações do ano e períodos do dia.

Os resultados obtidos são úteis para melhorar a previsibilidade e otimização das condições climáticas dentro da estufa, proporcionando melhores condições para a produção de lúpulo em estufas. Neste sentido, ao compreender o comportamento da temperatura e da umidade relativa do ar em estufas, ao longo do ano e estágios do dia, será possível implementar estratégias mais eficientes para garantir condições propícias ao desenvolvimento da cultura.

5 REFERÊNCIAS

AHRENS, C. Donald; HENSON, Robert. Atmospheric humidity. In: AHRENS, C. Donald; HENSON, Robert. **Meteorology today: an introduction to weather, climate, and the environment**. 12. ed. Boston: Cengage, 2019. p. 98-99.

CHIA, S. Y.; LIM, M. W. A critical review on the influence of humidity for plant growth forecasting. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, [S.L.], v. 1257, n. 1, p. 1-6, 2022.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**. v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009.

GREENACRE, M.; GROENEN, P. J.; HASTIE, T.; D'ENZA, A. I.; MARKOS, A.; TUZHILINA, E. Principal component analysis. **Nature Reviews Methods Primers**, v. 2, n. 1, p. 100, 2022.

HATFIELD, J. L.; PRUEGER, J. H. Temperature extremes: effect on plant growth and development. **Weather And Climate Extremes**, [S.L.], v. 10, p. 4-10, dez. 2015.

JOLLIFFE, I. T.; CADIMA, J. Principal component analysis: a review and recent developments. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, [S. l.], v. 374, n. 2065, p. np, abr. 2016.

KASSAMBARA, A.; MUNDT, F. Factoextra: Extract and Visualize the Results of Multivariate Data Analysis, R package version 1.0.7. (2020) Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=factoextra>.

LÊ, S.; JOSSE, J.; HUSSON, F. FactoMineR: an r package for multivariate analysis. **Journal of Statistical Software**, [S. l.], v. 25, p. 1–18, mar. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.18637/jss.v025.i01>.

MAYNAR, E.; O'DONNELL, M. **Managing the Environment in High Tunnels for Cool Season Vegetable Production**. [S.I]: Purdue University, 2019. 20 p.