

Instrumentação na agricultura vertical urbana indoor para avaliação da ambiência e do efeito da altura de prateleiras nos fatores ambientais e na produção de microverdes

Palavras-Chave: Cultivo controlado, fazenda urbana, temperatura do ar, umidade do ar

Vitor José Duarte, FEAGRI – UNICAMP

Angel Andres Alejo Osuna, FEAGRI – UNICAMP

Davi Alves Feitosa de Souza, FEEC – UNICAMP

Profª Drª Thais Queiroz Zorzeto Cesar, FEAGRI - UNICAMP

INTRODUÇÃO:

As microverdes são espécies cultivadas em poucos dias e colhidas em sua forma jovem e imatura, com alto nível de qualidade evidenciado pela sua capacidade nutricional, textura e sabor (BHATT; SHARMA, 2018). Contudo, a sua capacidade produtiva e a qualidade de suas características estão intrinsecamente ligadas aos fatores ambientais, podendo variar de acordo com mudanças na temperatura, na umidade, intensidade luminosa e circulação do ar. Dessa forma, o controle adequado é imprescindível para gerar uma produção de alto nível de qualidade. Logo, caracterizar o ambiente controlado quanto aos fatores ambientais, monitorar e gerenciar maneiras de reduzir o consumo de energia por meio do uso eficiente de sistemas de iluminação, resfriamento e ventilação com eficiência energética é apontado como um dos desafios significativos para a manutenção desses ambientes de produção. E, para tomar as melhores decisões, o uso de instrumentos de medição calibrados é essencial para garantir seu desempenho e entender a natureza de cada um dos fatores ambientais que compõem esse ambiente (BENKE; TOMKINS, 2017). O projeto teve como objetivo avaliar se os fatores ambientais e os parâmetros das plantas são influenciados pelas diferentes alturas de prateleiras, no cultivo indoor.

A proposta integrou tema interdisciplinar sobre sistemas de cultivo sem solo em câmara fria para a produção de microverdes. O projeto se enquadrou em áreas de pesquisa prioritárias relacionadas a tecnologias de produção para o desenvolvimento sustentável do agronegócio.

METODOLOGIA:

O projeto foi realizado no Laboratório de Controle Ambiental (LCA), na FEAGRI-UNICAMP, em ambiente fechado e isolado da luz solar, com controle de temperatura do ar mantido entre 21 e 23°C. Foram utilizadas três estantes de cultivo, cada nível com dimensões de 0,9 x 0,4 x 0,4 m, totalizando 3,2 m de altura útil. Os tratamentos foram compostos por um fator: altura da prateleira, a 0,4 m (ponto 1), 1,6 m (ponto 3) e 2,8 m (ponto 5), em três repetições (Figura 1a). As lâmpadas LED (*light emitting diode*) utilizadas foram Hortiled warm white, com 60 cm de comprimento e PPFd de 40 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e potência de 18 W (Figura 1b).

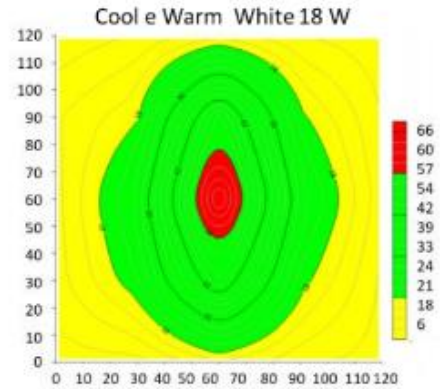


Figura 1: (a) Câmera para experimento de microverdes com estantes identificadas em três alturas de prateleiras e três repetições. Em azul, a movimentação do ar dentro da câmara. Em amarelo, a identificação das estantes. (b) Mapa de distribuição de densidade de fluxo de fótons fotossintéticos (PPFD), medida a 30 cm de distância das lâmpadas.

A produção de microverdes foi feita em bandejas plásticas de cultivo (50 cm x 28 cm x 3 cm), com perfurações na parte inferior para drenagem e irrigação por capilaridade. O substrato utilizado foi turfa (50% Sphagnum e 50% Perlita), hidratado até a capacidade de vaso. A espécie de microverde foi a rúcula, com densidade de semeadura de 100 g m⁻². A semeadura foi a lanço, de forma a atingir uniformemente toda a superfície da bandeja (Figura 2).



Figura 2: Processos de preenchimento da bandeja, semeadura a lanço e o pós-semeadura.

Após o processo de semeadura, o ciclo de cultivo foi separado em duas etapas: fase escura e fase clara. Na fase escura, as bandejas foram dispostas na câmara, com as luzes desligadas, empilhadas uma sobre a outra, para que ocorresse a germinação, o estiolamento do hipocótilo e o enraizamento das plântulas no substrato. Após três dias, as bandejas foram desempilhadas e dispostas nas prateleiras dos tratamentos até completarem o ciclo de produção. A irrigação foi realizada manualmente, apenas com água, na bandeja própria. Após sete dias na fase clara, as plântulas foram colhidas, sendo cortadas rente à superfície do substrato com uma tesoura higienizada. Foram realizadas as análises físicas: altura do hipocótilo (da base até o hipocótilo, com um paquímetro), número de folhas e massa fresca da parte aérea (Figura 3).



Figura 3: Colheita das microverdes e análises físicas das plântulas.

A rede IoT foi composta por três microcontroladores ESP32, configurados para enviar dados e armazená-los na nuvem (software google sheets), cada um com dois canais de comunicação (via I2C), um multiplexador

(TCA9548A) para realizar a conexão simultânea de até oito sensores (SHT-20). Para as três estantes foram instalados cinco sensores SHT-20, cada um posicionado no centro geométrico de cada prateleira, totalizando 15 sensores. A comunicação foi feita através da rede Wi-Fi emitida pelo ESP32 e um computador com função de roteador, recebendo os dados dos sensores e enviando para a nuvem. Para a aquisição e interpretação dos dados binários recebidos, a programação foi em JavaScript. O software foi desenvolvido na IDE do Arduino, utilizando bibliotecas específicas para os sensores, multiplexador, ESP32 e para os protocolos de tempo. A coleta dos dados foi realizada a cada 10 s. Uma fonte de 120 V foi usada e um potenciômetro (LM259) para ajustar a tensão para os ESP32, que necessitam de 3,3 V. O esquema da montagem dos aparelhos está representado na figura 4.

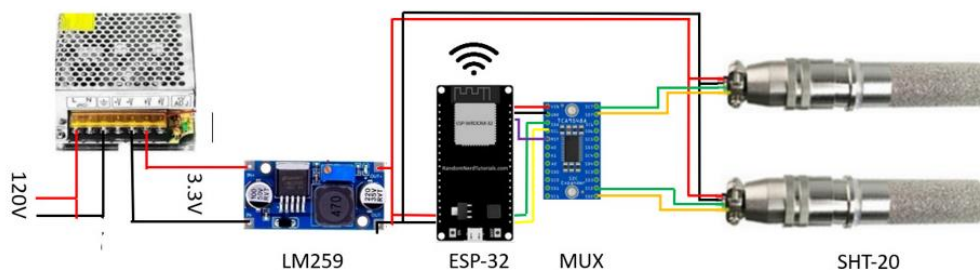


Figura 4: Esquema da montagem do sistema de aquisição de dados

Os resultados foram analisados com o software SISVAR (Furtado et al., 2006), sendo utilizado o teste de Shapiro-Wilk para normalidade. Após, os dados foram submetidos à análise de variância com delineamento inteiramente casualizado (DIC) e teste de Tukey para comparação das médias ($p < 0.05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A temperatura do ar na câmara, antes do início da semeadura, permaneceu em 23°C, com uma variação de $\pm 1,5^\circ\text{C}$ (Figura 5). A circulação do ar dentro da câmara ocorre a partir da unidade evaporativa, com pressão positiva saindo do ventilador localizado acima da terceira estante e pressão negativa ao retornar para a unidade. Na figura 5, as estantes se apresentam numeradas como E3, E2 e E1, da esquerda para direita, com a unidade evaporativa presente no canto superior esquerdo no esquema da figura.

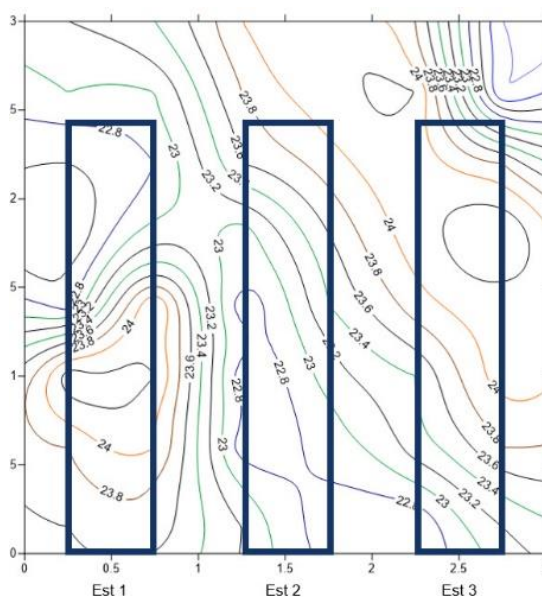


Figura 5: Mapeamento da distribuição vertical de temperatura do ar na câmara fria, com destaque para a posição das estantes 1 a 3, identificadas como E1, E2 e E3, respectivamente.

Durante os 10 dias de ciclo de produção, na estante 1, a temperatura coletada a 2,8 m (ponto 5) apresentou maiores valores, seguida dos pontos a 1,6 m (ponto 3) e a 0,4 m (ponto 1), com médias de 21,88°C, 21,76°C e 21,59°C, respectivamente (Figura 6). Na estante 2, observa-se a diminuição da temperatura no ponto 5, enquanto o 3 permaneceu na mesma faixa e o ponto 1 com os maiores valores, com médias de 21,57°C, 21,70°C e 21,74°C, respectivamente. Na estante 3, os dados apresentaram menor variação entre as alturas, com médias de 21,53°C, 21,57°C e 21,61°C, respectivamente, para os pontos 5, 3 e 1.

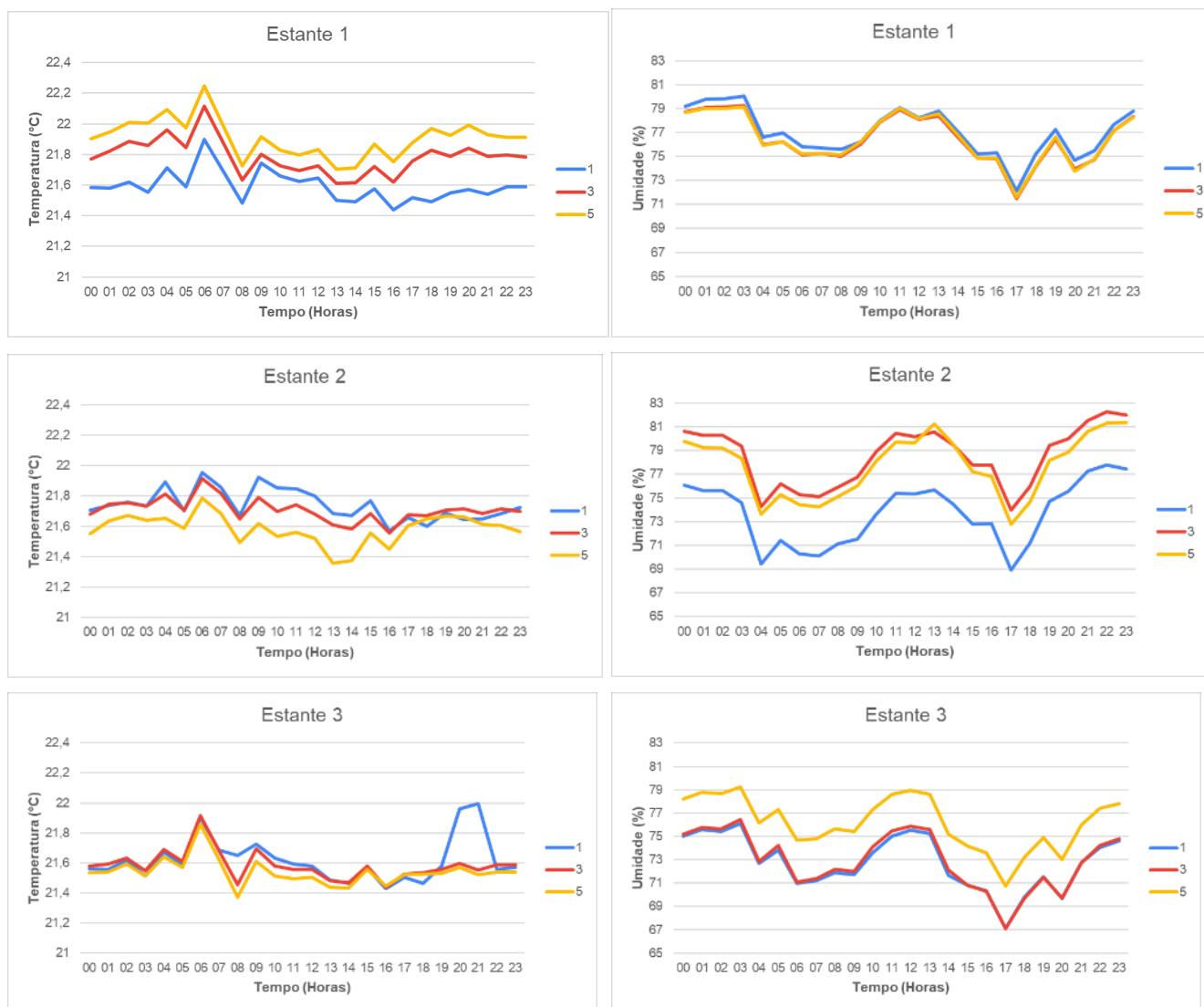


Figura 6: Dados de temperatura e umidade relativa do ar por tempo para as três estantes e as três alturas de medição, a 0,4 m (ponto 1), 1,6 m (ponto 3) e 2,8 m (ponto 5) do piso.

A umidade analisada durante o período de cultivo, na estante 1, registrou pequenas variações entre as alturas, com médias de 76,33%, 76,27% e 76,75%, para os pontos 5, 3 e 1, respectivamente. Na estante 2, percebe-se valores semelhantes nos pontos 5 e 3, com pouca variação, enquanto no ponto 1 é registrado a diminuição da umidade, com médias 77,60%, 78,36% e 73,46%, respectivamente. Em relação a estante 3, observa-se valores maiores no ponto 5, enquanto os pontos 3 e 1 registram valores menores e semelhantes, com pouca variação, com médias de 75,78%, 72,51% e 72,32%, respectivamente.

As plântulas foram avaliadas com relação à altura do hipocótilo, número de folhas e massa fresca da parte aérea e, em magnitude, apresentaram resultados homogêneos entre si, com exceção da massa fresca da parte aérea (Tabela 1). O número de folhas se manteve constante, apresentando 2 folhas por plântula em todos os pontos. A altura do hipocótilo variou, em média, de 2,96 cm (ponto 1) a 3,61 cm (ponto 3). Já a massa fresca da parte aérea variou de 62,23 g (ponto 1) a 102,09 g (ponto 3), em média.

Tabela 1: Resultados das análises físicas das plântulas de microverde de rúcula para as alturas de medição, a 0,4 m (ponto 1), 1,6 m (ponto 3) e 2,8 m (ponto 5) do piso.

Estantes	Altura hipocótilo (cm)			N° de folhas			Massa fresca parte aérea (g)		
	Ponto 1	Ponto 3	Ponto 5	Ponto 1	Ponto 3	Ponto 5	Ponto 1	Ponto 3	Ponto 5
1	3,13	3,69	2,81	2,00	2,00	2,00	61,85	120,12	87,54
2	2,82	3,84	3,11	2,00	2,00	2,00	47,85	103,23	106,09
3	2,95	3,30	3,42	2,00	2,00	2,00	77,00	82,92	84,98
Média	2,96	3,61	3,11	2,00	2,00	2,00	62,23	102,09	92,87
DP	0,16	0,28	0,31	0,00	0,00	0,00	14,58	18,63	11,52
CV (%)	5,26	7,73	9,89	0,00	0,00	0,00	23,43	18,24	12,40

CONCLUSÕES:

As temperaturas do ar e as umidades relativas medidas a diferentes alturas do piso (a 0,4 m, ponto 1; 1,6 m, ponto 3; e 2,8 m, ponto 5) permaneceram em gradientes abaixo de 0,5°C e de 5%, respectivamente, entre os pontos. No entanto, mais pesquisas sobre produção de microverdes no ambiente *indoor* são necessárias para aprofundar o estudo da ambiência.

BIBLIOGRAFIA

- BENKE K, TOMKINS B (2017) Future food-production systems: vertical farming and controlled environment agriculture, *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 13, 13-26. DOI: 10.1080/15487733.2017.1394054.
- BHATT, Pooja; SHARMA, Sonika. Microgreens: A Nutrient Rich Crop that can Diversify Food System. *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 182–186, 2018. DOI: 10.18782/2320-7051.6251
- FERREIRA, D. F. SISVAR: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria*, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 2019. ISSN 1983-0823. DOI: 10.28951/rbb.v37i4.450.
- KOZAI, Toyoki; NIU, Genhua. Role of the Plant Factory With Artificial Lighting (PFAL) in Urban Areas. *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production*, p. 7–33, 2015. DOI: 10.1016/B978-0-12-801775-3.00002-0
- STANGHELLINI, C.; OOSTER, A. V.; HEUVELINK, E. *Greenhouse horticulture: technology for optimal crop production*. Wageningen: Wageningen Academic Publisher, 2019. 300p.
- TENG, Z. et al. Microgreens for Home, Commercial, and Space Farming: A Comprehensive Update of the Most Recent Developments. *Annual Review of Food Science and Technology*, v. 14, n. 1, 16 dez. 2022.