



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Agrícola



Samuel Buglini Casarin

**Adequação do ambiente às condições de conforto da
planta: um estudo de caso sobre a produção comercial
de morango em casa de vegetação**

Campinas

2019



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Agrícola



Samuel Buglini Casarin

**Adequação do ambiente às condições de conforto da
planta: um estudo de caso sobre a produção comercial
de morango em casa de vegetação**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial
para obtenção do título de
Engenheiro Agrícola à Faculdade de
Engenharia Agrícola da Universidade
Estadual de Campinas.

Orientador: Profa. Dra. Thais Queiroz Zorzeto Cesar

Campinas

2019

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Luciana Pietrosanto Milla - CRB 8/8129

C263a Casarin, Samuel Buglini, 1994-
Adequação do ambiente às condições de conforto da planta : um estudo de caso sobre a produção comercial de morango em casa de vegetação / Samuel Buglini Casarin. – Campinas, SP : [s.n.], 2019.

Orientador: Thais Queiroz Zorzeto Cesar.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Nebulização. 2. Vegetação. I. Cesar, Thais Queiroz Zorzeto, 1985-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Informações adicionais, complementares

Título em outro idioma: Environmental suitability to plant comfort conditions: a case study on commercial strawberry production in a greenhouse

Palavras-chave em inglês:

Fogging

Vegetation

Titulação: Engenheiro Agrícola

Banca examinadora:

Thais Queiroz Zorzeto Cesar [Orientador]

Daniella Jorge de Moura

Juliana Aparecida Fracarolli

Data de entrega do trabalho definitivo: 13-12-2019



Universidade Estadual de Campinas
Faculdade de Engenharia Agrícola



Adequação do ambiente às condições de conforto da planta: um estudo de caso sobre a produção comercial de morango em casa de vegetação

Samuel Buglini Casarin

BANCA EXAMINADORA

.....
Profa. Dra. Thais Queiroz Zorzeto Cesar
Orientadora

.....
Profa. Dra. Daniella Jorge de Moura

.....
Profa. Dra. Juliana Aparecida Fracarolli

RESUMO

A adequação do ambiente às condições de conforto da planta permite maior produtividade da cultura, principalmente, em épocas de entressafra. Escolheu-se um produtor de morango para o estudo de caso, que apresenta baixa produtividade da cultura nas épocas mais quentes do ano, como verão e primavera. O produtor necessita que a cultura responda não apenas em termos qualitativos, mas também quantitativos, dada a crescente demanda pelo produto o ano todo. O estudo sobre a viabilidade de adoção dos mecanismos de atuação traz uma resposta importante ao produtor. Aplicou-se o modelo matemático de balanço de energia e massa, desenvolvido por Hellickson e Walker (1983), para encontrar os valores de temperatura e umidade relativa interna da estufa, sendo confrontados com as condições ideais de conforto para o desenvolvimento da cultura (faixa de 12°C a 26°C e de 70 a 80%). Com os resultados de temperatura e umidade relativa calculados para o verão de 26,42°C e 61% e para o inverno de 12,85°C e 43%, adotou-se o sistema de nebulização como medida de controle para aumentar a umidade relativa do ar em ambos os cenários. A adoção desse mecanismo de atuação mostrou-se técnica e economicamente viável, trazendo retorno financeiro ao produtor no primeiro ano.

Palavras-chave: vegetação, nebulização.

ABSTRACT

The adequacy of the environment to the comfort conditions of the plant allows higher crop yield, especially during off-season. A strawberry producer was chosen for the case study, which has low crop yield in the hot test times of the year, such as summer and spring. The producer needs the crop to respond not only in qualitative but also quantitative terms given the growing demand for the product all year round. The study on the feasibility of adopting the mechanisms of action brings an important response to the producer. The mathematical model of energy and mass balance developed by Hellickson and Walker (1983) was applied to find the values of temperature and relative humidity inside the greenhouse, being confronted with the ideal conditions of comfort for the development of the crop (range from 12 ° C to 26 ° C and from 70 to 80%). With the results of temperature and relative humidity calculated for the summer of 26.42 ° C and 61% and for the winter of 12.85 ° C and 43%, the nebulization system was adopted as a control measure to increase the relative humidity in both. The scenarios. The adoption of this mechanism of action proved to be technically and economically viable, bringing financial return to the producer in the first year.

Keywords: .vegetation, fogging.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
1.1 Justificativa	8
1.2 Objetivos	9
1.2.1 Objetivo geral	9
1.2.2 Objetivos específicos	9
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 Morangueiro	10
2.2 Cultivo protegido e os mecanismos de atuação no ambiente	11
3 MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1 Caracterização do estudo de caso	13
3.1.1 Características do local	13
3.1.2 Características da estrutura e da cultura	14
3.2 Método de aplicação do balanço de energia e massa	15
3.2.1 Procedimento para cálculo do balanço de energia	15
3.2.2 Procedimento para cálculo do balanço de massa	18
3.3 Viabilidade econômica	19
4 RESULTADOS	20
4.1 Avaliação das condições na estação verão	20
4.1.1 Balanço de Energia	20
4.1.2 Balanço de Massa	21
4.2 Avaliação das condições na estação inverno	22
4.2.1 Balanço de Energia	22
4.2.2 Balanço de Massa	22
4.3 Análise das condições internas	23
4.4 Proposta de solução	24
4.5 Análise da viabilidade econômica	28
5 CONCLUSÃO	30
6 CONSIDERAÇÃO FINAL	30
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

1 INTRODUÇÃO

O Brasil caracteriza-se por ser um líder comercial do ramo agrícola, destacado em números pelo PIB de 2017 - o setor agrícola foi responsável por 23,5% de todo o PIB, o que o torna um grande influenciador da balança comercial (DCI, 2017). Nesse ramo, a produção mundial de morangos foi liderada pela China (3 bilhões t) e seguida pelos Estados Unidos (1,3 bilhões t) e pelo México (0,4 bilhões de toneladas) (FAO, 2017). No Brasil, o cenário é de uma produção estimada em aproximadamente 155 mil t, em uma área de cerca de 4,3 mil ha (FAO, 2017). Os principais Estados produtores são Minas Gerais, Rio Grande do Sul, São Paulo, Espírito Santo, Paraná, Santa Catarina e Distrito Federal (CEPEA, 2018).

Levando-se em conta a importância econômica e social que a cultura do morango representa ao país e tendo em vista que o cultivo do morango é sensível a variações climáticas e requer manejo adequado (CEPEA, 2018), é necessário o investimento em técnicas de produção mais eficientes, que objetivem maior produtividade, menor perda e maior lucratividade.

Uma das maneiras de alcançar essa maior produtividade é proporcionar a redução da dependência das condições climáticas, garantida a partir do emprego do cultivo protegido, uma técnica baseada em fornecer à cultura condições ideais para otimização da produção. A adoção da técnica de cultivo protegido destaca-se por possibilitar o controle sobre a irrigação, a nutrição, a menor incidência de pragas e doenças na cultura, o aumento da produtividade, de 4 a 15 vezes maior se comparado ao cultivo convencional (RONQUE, 1998), da oferta de produtos agrícolas, principalmente para hortaliças, flores, mudas e frutas, e da renda do produtor (AGUIAR et al., 2004).

Segundo dados do CEPEA (2018), o Brasil é líder na América do Sul com 22 mil hectares de produção protegida de frutas e hortaliças, sendo que o estado de São Paulo compreende metade da área total. Em relação ao mundo, o cultivo protegido aumentou cerca de 400% ao longo de 20 anos (CEPEA, 2018).

Por ter proporções continentais, com ampla variação de condições climáticas, o investimento nesta técnica produtiva no país é voltado para proporcionar temperaturas do ar mais altas no inverno e mais baixas no verão,

principalmente nas regiões Sul e Sudeste (MAKISHIMA,1998).

Para escolha adequada da tecnologia de atuação na casa de vegetação, é necessário compreender quais os parâmetros meteorológicos que interferem no ambiente, como por exemplo radiação solar, temperatura do ar, déficit de pressão de vapor, velocidade e direção do vento (Vanthoor et al., 2011).

Entre as alternativas de atuação para modificação desses parâmetros, destacam-se a ventilação natural e o resfriamento evaporativo. As cortinas laterais, quando fechadas, permitem um aumento da temperatura do ar; quando abertas, equilibram as condições internas com as externas. A nebulização, um tipo de resfriamento evaporativo, consiste na pulverização de água sobre o ambiente interno com objetivo de retirar calor sensível a partir da evaporação da água.

Para escolha da tecnologia de atuação é necessário compreender de que forma os parâmetros se relacionam e modificam as condições climáticas no interior da casa de vegetação. O emprego da metodologia de balanço de energia e massa, proposta por Hellickson e Walker (1983), permite simular as condições internas e assim adotar o mecanismo mais eficiente, no sentido de garantir as condições ideais de temperatura e umidade relativa do ar para a cultura e também que represente uma boa relação custo – benefício ao produtor.

1.1 Justificativa

A adequação do ambiente às condições de conforto da planta permite maior produtividade da cultura, principalmente, em épocas de entressafra. Escolheu-se um produtor de morango para o estudo de caso, que apresenta baixa produtividade da cultura nas épocas mais quentes do ano, como verão e primavera. O produtor necessita que a cultura responda não apenas em termos qualitativos, mas também quantitativos, dada a crescente demanda pelo produto o ano todo. A estrutura na propriedade serve apenas para a proteção contra as chuvas e não possui nenhuma forma de controle de temperatura e umidade relativa do ar. Dessa forma, o estudo sobre a viabilidade de adoção dos mecanismos de atuação traz uma resposta importante ao produtor e essa transferência de conhecimento caracteriza o principal produto deste trabalho.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Avaliar a ambiência de uma casa de vegetação comercial, localizada no município de Jarinú - SP, com produção de morango, e propor solução para adequar o ambiente às condições de conforto da cultura.

1.2.2 Objetivos específicos

- Caracterizar informações primárias para o estudo de caso: local, cultura e estrutura.
- Avaliar as condições internas de temperatura e umidade relativa do ar na casa de vegetação pelo modelo matemático de balanço de energia e massa proposto por Hellickson e Walker (1983).
- Propor solução para adequar o ambiente aos parâmetros de conforto da cultura do morangueiro.
- Avaliar a viabilidade econômica, pelo método de Ponciano et al. (2004).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Morangueiro

Trata-se de um pseudofruto, onde a parte avermelhada representa o receptáculo dos ovários da flor, sendo os frutos do tipo aquênio (fruto seco com uma semente cada um) confundidos como sendo as sementes (REISSER, 2015).

O morango é um produto de ampla aceitação no mercado, com boa escala comercial e produtiva principalmente nas regiões sudeste e sul do Brasil (CEPEA, 2018). A produtividade da cultura apresenta em São Paulo 34 t ha⁻¹; no Rio Grande do Sul, 32 t ha⁻¹; em Minas Gerais, 25 t ha⁻¹ (SEBRAE, 2017).

A cultura do morango é influenciada por diversos fatores ambientais, como fotoperíodo, temperatura e umidade relativa do ar.

Em relação ao fotoperíodo, há cultivares divididas em três classes: dias curtos, em que a diferenciação das gemas acontece em dias com 14 horas de luz em média; dias longos, com mais de 14 horas; e neutras, são indiferentes ao fotoperíodo (RONQUE, 1998).

A maioria das cultivares se desenvolve bem em diversas faixas de temperatura do ar, que em média não deve ultrapassar 22°C (REISSER, 2015). Os climas adequados para o cultivo em campo aberto são: temperado, subtropical e tropical de altitude, cujas noites com temperaturas mais baixas são importantes para a fase de frutificação (REISSER, 2015). A associação entre a temperatura do ar e o fotoperíodo indica que, para condições acima de 10°C e comprimento do dia de 12h ou mais, há formação de estolhos (caules horizontais); para temperaturas em torno de 23°C e 15h de luz, ocorre uma rápida propagação; em temperaturas baixas, o desenvolvimento floral é favorecido; sendo que em temperaturas acima de 25°C, a diferenciação floral é inibida; e, superiores a 32°C, produzem abortos florais (RONQUE, 1998).

A faixa ideal de umidade relativa do ar para as fases de germinação, floração e frutificação do morango compreende o intervalo de 70% a 80% (REISSER, 2015). Em casas de vegetação, pode ocorrer um aumento da umidade, desencadeado pela restrição da circulação de vento e transpiração da cultura, sendo importante seu controle para garantir a produção de frutos saudáveis, evitar

o aparecimento de doenças e garantir a absorção de nutrientes, inibindo a deficiência nutricional (BELTRÃO et al, 2016).

2.2 Cultivo protegido e os mecanismos de atuação no ambiente

O cultivo em ambiente protegido permite o monitoramento e o controle das variáveis temperatura e umidade relativa do ar, a redução da dependência climática e o cultivo na entressafra (RURALNEWS, 2012).

Segundo Albright et al. (1990), a temperatura interna do ar é influenciada pela incidência da radiação solar, pela reirradiação pelo interior do ambiente protegido, pela condução pelas paredes no volume de controle, pela troca de calor com o piso e pela renovação do ar, sendo esta, influenciada pela relação entre a direção preferencial do vento com a posição geográfica da casa de vegetação.

Outro fator de influência relevante na modificação do ambiente é o material ou os materiais que compõem a casa de vegetação, que, além de proteger a cultura das intempéries climáticas como chuvas excessivas e granizo, contribuem também para a manutenção da umidade no interior e o controle sobre plantas invasoras (FARIAS et al., 1993). Um dos principais materiais utilizados como cobertura é o polietileno de baixa densidade, que apresenta em geral boa transmissividade à radiação solar, deixando passar em média 70-80% dessa radiação como luz difusa (FARIAS et al., 1993).

Sobre os mecanismos de atuação podem-se destacar o resfriamento evaporativo, a ventilação natural ou mecânica e o sombreamento (AGUIAR, 2004).

O resfriamento evaporativo atua no sentido de provocar alterações de temperatura e umidade relativa do ar a partir da evaporação da água, em um processo de transformação do calor do ambiente em calor latente, diminuindo a temperatura e aumentando a umidade relativa interna (SETHI e SHARMA, 2007). Como exemplos de resfriamento evaporativo podem ser citados o *pad-fan* (meio poroso – exaustor) e a nebulização.

A nebulização funciona a partir de nebulizadores que lançam água pressurizada no interior da casa de vegetação, com a finalidade de gerar gotículas de tamanho reduzido para facilitar a evaporação e evitar a condensação de água sobre a cultura e os materiais da casa de vegetação (BOODLEY e NEWMAN, 2009).

A ventilação natural age no sentido de equilibrar as condições internas com

as externas, tornando o ar do interior da casa de vegetação mais homogêneo (BOODLEY e NEWMAN, 2009). Não apresenta fluxo de ar constante, funcionando com base nas variações de pressão atmosférica e gradiente de temperatura (SETHI e SHARMA,2007). As aberturas laterais da casa de vegetação provocam a renovação do ar interno a partir da movimentação do ar quente e menos denso, sendo direcionado para cima, enquanto o ar mais frio e denso, direcionado para baixo (BOODLEY e NEWMAN, 2009).

Quando as condições ambientais forem insuficientes para renovação do ar na casa de vegetação de modo natural, faz-se necessário o uso de ventilação mecânica. O ar é direcionado ao interior do ambiente de modo contínuo e de mesma vazão, conforme configuração do mecanismo de exaustão ou ventilação (NGMA, 2010).

Para o controle dos níveis de incidência da radiação solar é usado o sombreamento. No entanto, há a limitação de que seu uso intensivo pode ser prejudicial no que diz respeito à taxa mínima de luz demandada pela cultura para o alcance do ponto de saturação fotossintética (CHEN, 2003).

Entre os motivos que levam à escolha de um mecanismo de atuação, ou até mesmo a associação de mais de um mecanismo, estão o atendimento às necessidades da cultura, a influência das características climáticas e geográficas do local, e a relação custo benefício.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do estudo de caso

3.1.1 Características do local

A propriedade está localizada em Jarinu (SP) (23°06'05" S, 46°43'42" O, 755 m de altitude). O tipo climático predominante na região é o Tropical de Altitude e, segundo Olic et al. (2012), para esse clima a temperatura média do ar situa-se entre 18°C e 26°C, e a amplitude térmica anual entre 7°C e 9°C. Os autores observam que esse tipo climático sofre grande influência da altitude, sendo que a cada 200 m a temperatura varia cerca de 1°C. O município não apresenta estação meteorológica oficial. Portanto, buscaram-se dados de Campinas (SP) (22°48'56"S, 47°03'28"W, 664m de altitude), distante 50 km de Jarinu (SP). Segundo Perez et al. (1997), dados encontrados a menos de 45 km da estação meteorológica até o ponto em estudo tem uma confiabilidade maior do que os dados encontrados em modelos que utilizam imagem de satélites.

No banco de dados do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), encontraram-se os dados de temperatura do ar e precipitação; no Centro de Pesquisas Meteorológicas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI), os dados de umidade relativa, vento e radiação foram (Tabela 1).

	Temperatura do ar (°C)		Prec. (mm)	Umidade (%)	Vento (m.s ⁻¹)	Dir. Vento (graus)	Rad. (W.m ⁻²)
	Mín.	Média Máx					
Janeiro	16,3	26,6	2.074	57	2,7	140	6,4
Fevereiro	16,7	27,0	1.388	54	2,4	142	6,6
Março	16,1	26,4	1.136	50	2,8	143	6,3
Abril	14,8	25,6	761	47	3,0	139	6,3
Mai	13,5	23,8	795	46	2,9	142	6,2
Junho	13,1	24,0	635	43	2,7	145	6,4
Julho	13,2	24,4	757	41	2,6	141	6,2
Agosto	13,4	25,5	701	36	2,5	142	6,3
Setembro	14,4	26,4	859	43	2,2	138	6,3
Outubro	15,5	27,4	1.170	46	2,7	140	6,5
Novembro	15,8	26,5	1.562	49	2,5	133	6,2
Dezembro	16,4	26,9	1.588	54	3,0	134	6,3

Tabela 1. Dados climáticos de Campinas e região para o período de 2008 - 2018.

A partir desses valores foi possível calcular os parâmetros temperatura de bulbo seco máxima, temperatura de bulbo seco mínima, umidade relativa,

velocidade e direção do vento e radiação solar, para dois cenários críticos: verão e inverno, a serem considerados no balanço de energia e de massa.

Primeiramente foi necessário encontrar a temperatura de bulbo seco máxima (Tbs Máx.), calculada pelas médias das temperaturas máximas no período de verão (dezembro, janeiro e fevereiro e de janeiro, fevereiro e março); temperatura de bulbo seco mínima (Tbs Mín.), calculada pelas médias das temperaturas mínimas no período de inverno (maio, junho e julho e de junho, julho e agosto); umidade relativa (UR), calculada pela média dos valores obtidos para o verão e o inverno; velocidade do vento (V.V) e Direção do vento (D.V), calculadas pela média dos valores encontrados para o mesmo período determinado para a Tbs verão e inverno; e radiação solar (Rad), calculada pela média dos valores encontrados para o mesmo período determinado para a Tbs verão e inverno (Tabela 2).

Época	Mês	Tbsmáx (°C)	Tbsmín (°C)	UR (%)	VV (m.s ⁻¹)	DV (°)	Rad (W.m ⁻²)
Verão	D,J,F	26,8	----	55	2,7	138,6	734
	J,F,M	26,6	----	----	----	----	----
Inverno	M,J,J	----	13,3	----	----	----	----
	J,J,A	----	13,2	40	2,6	142,6	621

Tabela 2: Parâmetros considerados para dados externos no projeto.

3.1.2 Características da estrutura e da cultura

A casa de vegetação, orientada na direção norte-sul, possui dimensões de 6,0 m de largura, 15,0 m de comprimento, 3,2 m de altura no pé direito e 4,3 m de altura na cumeeira, área de piso de 90 m², com telhado em arco, coberto com polietileno de baixa densidade de 150 µm e laterais revestidas por tela de sombreamento preta de 50% de transmissividade (Figura 2). O morango é produzido em cinco calhas de 4,2 m² cada, dispostas ao longo do comprimento, resultando em uma área de cultivo de 21 m² (Figura 2).

Em relação às dimensões físicas da estufa consideradas na análise, são necessários os cálculos de áreas e volumes da estrutura para o balanço de energia e massa:

- Área do arco: $A_{arco} = \frac{2}{3} \times C \times H + \frac{H^3}{2 \times C}$ em que C é o diâmetro e H, a altura do arco. $A_{arco} = \frac{2}{3} \times 6,0 \times 1,1 + \frac{1,1^3}{2 \times 6,0} = 4,51 \text{ m}^2$.

- Comprimento do arco: $S = \sqrt{C^2 + \frac{16}{3} \times H^2} = \sqrt{6,0^2 + \frac{16}{3} \times 1,1^2} = 6,52 \text{ m}$.
- Área da cobertura: $A_{cob} = (S \times C) + 2 * A_{arco}$, C é o comprimento da estufa.
 $A_{cob} = (S \times C) + (2 * A_{arco}) = (6,52 \times 15) + (2 * 4,51) = 106,82 \text{ m}^2$.
- Área frontal: $A_f = (L \times P)$, L é a largura e P, o pé direito.
 $A_f = (6,0 \times 3,2) = 19,2 \text{ m}^2$
- Volume total da estufa: $V_{est} = (A_{arco} + A_f) \times C$
 $V_{est} = (4,51 + 19,2) \times 15,0 = 355,65 \text{ m}^3$.



Figura 2: Ambiente interno da casa de vegetação e disposição das linhas de cultivo de morango.

3.2 Método de aplicação do balanço de energia e massa

Para a análise do balanço de energia e de massa da casa de vegetação, adotou-se o modelo desenvolvido por Hellickson e Walker (1983), que considera todas as frações de calor envolvidas no volume de controle e condição de estado constante. No método, aplicou-se o modelo para identificar as condições internas de temperatura e umidade relativa do ar nos cenários críticos de verão e de inverno. Em seguida, confrontaram-se esses resultados com as condições de conforto exigidas pela cultura e propôs-se a adequação do ambiente com a adoção do mecanismo de atuação, de maneira a alcançar essas condições de conforto.

3.2.1 Procedimento para cálculo do balanço de energia

Segundo Hellickson e Walker (1983), para o cálculo do balanço de energia deve-se considerar a transferência de calor decorrente dos fatores: influência do aquecimento por radiação solar; perdas por condução; respiração das plantas; dissipação de calor pelo piso; calor utilizado no processo de fotossíntese; calor

trocado através de vento e infiltrações; calor retirado do ambiente através de reirradiação; e calor adquirido por meio de equipamentos e sistema de aquecimento. (Figura 3). O balanço de energia pode ser descrito pela Equação 1.

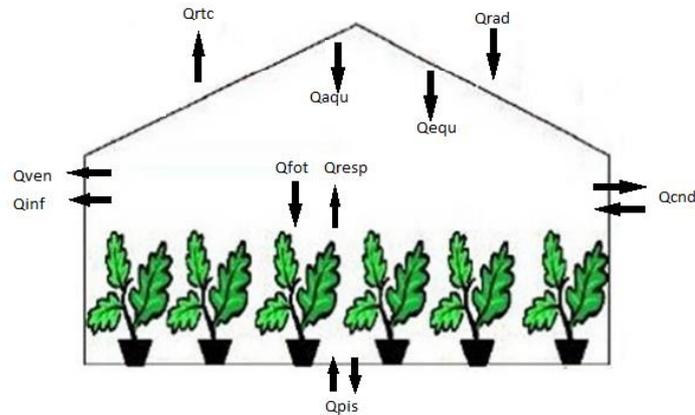


Figura 3: Fluxos de calor envolvidos no volume de controle para o balanço de energia (adaptado de Hellickson e Walker, 1983).

$$q_{rad} + q_{equ} + q_{resp} = \pm(q_{cnd} + q_{pis}) + q_{ven} + q_{inf} + q_{rtc} + q_{fot} \quad [1]$$

O calor sensível proveniente do sol (q_{rad}) é determinado segundo a relação:

$$q_{rad} = \tau \times I \times A_p \quad [W] \quad [2]$$

τ =transmitância da superfície de cobertura para a radiação solar;

I =intensidade solar numa superfície horizontal ($W.m^{-2}$);

A_p =área do piso da casa de vegetação ou estufa (m^2).

O calor proveniente de outras fontes de energia (q_{equ}) e o calor de aquecimento (q_{aqui}) apenas são considerados quando presentes no ambiente ou necessários a ele.

Já o calor proveniente da respiração (q_{resp}) corresponde a 10% do calor gerado pela fotossíntese (q_{fot}), que por sua vez, representa 3% do calor de radiação, conforme equações 3 e 4.

$$q_{fot} = 3\% \times q_{rad} \quad [3]$$

$$q_{resp} = 10\% \times q_{fot} \quad [4]$$

O calor de condução (q_{cnd}) é encontrado por meio da equação 5 e a transferência de calor pelo piso pela equação 6.

$$q_{cnd} = U \times A_{cob} \times \Delta T \quad [5]$$

$$q_{pis} = F \times Per \times \Delta T \quad [6]$$

U =coeficiente global de transferência de calor do plástico [$W.m^{-2}K^{-1}$] - varia conforme o tipo de material que compõe a estrutura (ALBRIGHT, 1990);

A_{cob} =área de cobertura por material transparente [m^2];

ΔT =variação de temperatura interna e externa ($T_i - T_e$) [K];

F =fator perimetral [$W.m^{-1}K^{-1}$];

Per =perímetro [m].

O calor de ventilação (q_{ven}) é a soma do calor sensível (q_{sv}) com o calor latente de ventilação (q_{sl}) (equação 7). O calor sensível é encontrado através do produto entre o fluxo de massa do ar de ventilação, pelo calor específico do ar e pela variação das temperaturas externa e interna (equação 8).

$$q_{ven} = q_{sv} + q_{sl} \quad [7]$$

$$q_{sv} = m \times C_p \times (T_i - T_e) \quad [8]$$

O fluxo mássico do ar (m), para ventilação natural, pode ser encontrado pela equação 9, e a fração latente do calor de ventilação pela equação 10 :

$$m = V \times \rho = \rho \times Es \times V_v \times A_a \quad [9]$$

V = fluxo volumétrico [$m^3.s^{-1}$];

m = fluxo mássico [$kg.s^{-1}$];

ρ = densidade do ar [$kg.m^{-3}$];

E_s = eficiência da abertura = 0,35 (para direção preferencial do vento diagonal);

V_v = velocidade do vento [$m.s^{-1}$];

A_a = área de abertura [m^2].

$$q_{sl} = Et \times F_c \times q_{rad} \quad [10]$$

Et =razão da evapotranspiração e radiação solar [adimensional];

F_c =fator de cultivo (razão entre a área cultivada e a área do piso) [adimensional].

A perda ou o ganho de calor por infiltração (q_{inf}) representa a fração de energia transferida por meio de fissuras, aberturas na estrutura das casas de vegetação, sendo considerado apenas quando a estrutura estiver totalmente fechada e sem sistema de ventilação.

O calor devido à reirradiação térmica (q_{rtc}) é calculado pela equação 11

$$q_{rtc} = e_{sup} \times \tau_t \times \sigma \times A_p \times (T_i^4 - e_{ar} \times T_e^4) \quad [11]$$

e_{sup} =emissividade da superfície do piso ou vegetação, adimensional;

τ_t =transmitância térmica do plástico na reirradiação, adimensional;
 A_p =área do piso [m²];
 σ = constante de Stefan Boltzmann = 5,678. 10⁻⁸ [W.m⁻² K⁻⁴];
 e_{ar} =emissividade aparente do ar, adimensional.

Para o cálculo da emissividade do ar, consideram-se os dados de temperatura do céu (calculada por: $T_{céu} = 0,0552 \times T_e^{1,5}$) e umidade relativa externa, como ponto de estado, para determinar a temperatura de ponto de orvalho e a emissividade aparente do ar (Tabela 4).

Tabela 4: Relação entre temperatura de ponto de orvalho e emissividade aparente do ar (HELLICKSON e WALKER, 1983).

Temperatura de ponto de orvalho (°C)	Emissividade Aparente
-17,8	0,73
-6,7	0,775
4,4	0,818
15,6	0,858
26,7	0,883

3.2.2 Procedimento para cálculo do balanço de massa

O balanço de massa é quantificado com base na taxa de material transportada para dentro do volume de controle (Equação 12) e a taxa de material produzida (HELLICKSON & WALKER, 1983).

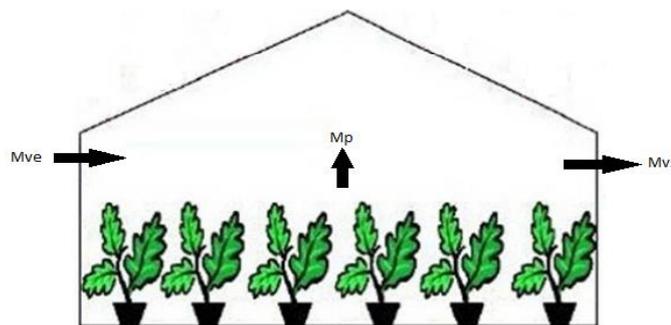


Figura 6: Fluxos de massa envolvidos no volume de controle.

$$M_v = M_a \times (w_i - w_e) \quad [12]$$

M_a = fluxo mássico [kg.s⁻¹];

w_i = umidade absoluta interna [kgv.kg⁻¹];

w_e = umidade absoluta externa [kgv.kg⁻¹];

M_v = fluxo mássico da umidade trocada pelo ar de ventilação (kg.s⁻¹).

O balanço consiste em igualar a umidade trocada pelo ar de ventilação natural ou mecânica (M_v em $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$) com a umidade adicionada ao ambiente da casa de vegetação pelo fluxo mássico de vapor de água produzido pelo morango (M_p em $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$) (equação 13).

$$M_v = M_p \quad [13]$$

$$M_p = Etc \times \rho \times Acult \quad [14]$$

Etc = a taxa de evapotranspiração para o morango [$\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$]

ρ = densidade da água [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

Segundo Garcia (2002), a taxa de evapotranspiração para o morango encontra-se em uma faixa de 3,0 a 4,9 mm/dia.

3.3 Viabilidade econômica

Com base no método proposto por PONCIANO et al. (2004), foram utilizados como indicadores de resultado econômico o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa de Retorno Incremental (TIR), que possuem a vantagem de considerar o efeito do tempo nos valores monetários. O VPL transfere para valores atuais todas as variações de caixa esperadas, a uma determinada taxa de juros.

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \left(\frac{FC_t}{(1+K)^t} \right) \quad [15]$$

I = investimento de capital na data zero;

FC_t = retorno na data t do fluxo de caixa;

n = prazo de análise do projeto;

K = taxa mínima para realizar o investimento.

A TIR, por sua vez, é a taxa que retorna nulo o VPL do fluxo de caixa do investimento, ou seja, torna o valor presente dos lucros futuros equivalentes aos dos gastos realizados com o projeto, caracterizando, assim, a taxa de remuneração do capital investido (PONCIANO, 2004) (Equação 16).

$$0 = -I + \sum_{t=1}^n \left(\frac{FC_t}{(1+K)^t} \right) \quad [16]$$

4 RESULTADOS

4.1 Avaliação das condições na estação verão

4.1.1 Balanço de Energia

Para o cálculo do balanço de energia térmica da estrutura, como não há presença de equipamentos e aquecedores, $q_{equ} = q_{aqui} = 0$. Logo, o balanço de energia é dado pela equação 17, e os cálculos pertinentes estão demonstrados a seguir:

$$q_{rad} + q_{resp} = q_{cnd} + q_{pis} + q_{sv} + q_{sl} + q_{fot} + q_{rtc} \quad [17]$$

$$q_{rad} = \tau \times I \times A_p = 0,40 \times 734 \times 90 = 26.424,00 \text{ W}$$

$$q_{fot} = 3\% \times q_{rad} = 0,03 \times 26.424 = 792,72 \text{ W}$$

$$q_{resp} = 10\% \times q_{fot} = 0,1 \times 792,72 = 79,27 \text{ W}$$

Para o cálculo de q_{cnd} utilizou-se o maior valor médio da temperatura de bulbo seco máxima para a condição de verão (299,95 K). Deve-se considerar no cálculo de q_{cnd} o material de cobertura polietileno de baixa densidade, cujo coeficiente global de transferência de calor é de 8,0 W.m⁻² K⁻¹ (COUTINHO, 2003).

$$q_{cnd} = U \times A_{cob} \times \Delta T = 8,0 \times 106,82 \times (T_i - 299,95)$$

Para o cálculo de q_{sl} é necessário considerar: o valor da razão entre a evapotranspiração e a radiação solar (entre 0,5 e 1,0, por HELLICKSON & WALKER, 1983) e o fator de cultivo (F_c) por meio da razão entre a área cultivada (21 m²) e a área de piso (90 m²).

$$q_{sl} = Et \times F_c \times q_{rad} = 0,57 \times 0,23 \times 26.424,00 = 3.464,19 \text{ W}$$

Para o cálculo da fração de calor sensível (Equação 8), consideraram-se: para a densidade do ar o valor de 1,08 kg.m⁻³(Psicro®), para a área de abertura (A_a) a área de entrada da ventilação natural relacionada com a direção preferencial do vento (SE), logo consideraram-se as áreas das faces sul (19,2 m²) e leste (48,0 m²), reduzidas pelo fechamento de 50% de malha da tela de sombreamento.

$$A_a = (19,2 + 48,0) \times 0,5 = 33,6 \text{ m}^2$$
$$m = V \times \rho = \rho \times Es \times V_v \times A_a = 1,08 \times 0,35 \times 2,7 \times 33,6 = 34,29 \text{ kg.s}^{-1}$$
$$q_{sv} = m \times C_p \times (T_i - T_e) = 34,29 \times 1003 \times (T_i - 299,95)$$

Para calcular a fração de calor de reirradiação térmica para o céu (q_{rtc}),

obtem-se o valor de emissividade aparente do ar pela tabela 4, função da temperatura de ponto de orvalho, propriedade encontrada a partir dos parâmetros $T_{céu}$ e UR_e (55%) no software Psicro®.

$$T_{céu} = 0,0552 \times T_e^{1,5} = 0,0552 \times 299,95^{1,5} = 286,76 K = 13,61 °C$$

$$T_{céu} = 13,61°C \text{ e } UR = 55\% \rightarrow T_{po} = 4,3°C$$

Assim, a emissividade do ar foi obtida por meio de interpolação numérica entre os valores da tabela 4 e apresentou valor de $e_{ar} = 0,820$.

Tabela 4: Temperatura de ponto de orvalho e emissividade aparente do ar.

Temperatura de ponto de orvalho (°C)	Emissividade Aparente
-17,8	0,73
-6,7	0,775
4,4	0,818
15,6	0,858
26,7	0,883

$$q_{rtc} = \varepsilon_{sup} \times \gamma_t \times \sigma \times A_{pis} \times (T_i^4 - \varepsilon_{ar} \times T_e^4)$$

$$q_{rtc} = 0,95 \times 0,8 \times 5,68 \times 10^{-8} \times 90 \times (T_i^4 - 0,820 \times 299,95^4)$$

Por fim, a fração de calor correspondente à condução pelo piso da estufa é encontrada a partir da relação:

$$q_{pis} = F \times Per \times \Delta T = 1,15 \times 42 \times (T_i - 299,95).$$

Aplicando os valores encontrados na equação 17 do balanço de energia, a temperatura interna encontrada foi de 299,57 K ou **26,42°C**.

4.1.2 Balanço de Massa

Para o balanço de massa, considerou-se a Equação 13 e a umidade absoluta externa encontrada pelos parâmetros temperatura de bulbo seco externa ($T_{bs} = 26,8°C$) e umidade relativa externa ($UR_e = 55\%$):

$$Mv = m \times (w_i - w_e) = 34,29 \times (w_i - 0,0131)$$

$$Mp = Etc \times \rho \times Acult = \frac{(4,9 \times 10^{-3} \times 1,0 \times 21)}{86400} = 1,19 \times 10^{-6} kg \cdot s^{-1}$$

Substituindo os valores na equação 13 tem-se:

$$w_i = 1,31 \times 10^{-2} kg \cdot kg^{-1}$$

Pelo Psicro®, considerando a w_i e a T_i calculadas, obtém-se a UR igual a **61%**.

4.2 Avaliação das condições na estação inverno

4.2.1 Balanço de Energia

Para o balanço de energia térmica da estrutura, como não há presença de equipamentos e aquecedores, $q_{equ} = q_{aqui} = 0$. Além disso, admite-se que as frações de calor devido à radiação e à fotossíntese para a condição inverno podem ser nulas $q_{rad} = q_{fot} = 0$, pois considera-se o período crítico para esse cenário entre 4:30h e 5:30h. Sendo assim, o resultado final do balanço de energia é dado pela equação 18, a seguir:

$$q_{resp} = q_{cnd} + q_{pis} + q_{rtc} + q_{sv} \quad [18]$$

Para a condição de inverno, o cálculo das frações de calor admite a temperatura de bulbo seco mínima no inverno ($T_e = 286,35$ K), e densidade do ar ($\rho = 1,14$)

$$\begin{aligned} q_{cnd} &= U \times A_{cob} \times \Delta T = 8,0 \times 106,82 \times (T_i - 286,35) \\ q_{pis} &= F \times Per \times \Delta T = 1,15 \times 42 \times (T_i - 286,35) \\ m &= V \times \rho = \rho \times Es \times V_v \times A_a = 1,14 \times 0,35 \times 2,6 \times 33,6 = 34,85 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \\ q_{sv} &= m \times C_p \times (T_i - T_e) = 34,85 \times 1003 \times (T_i - 286,35) \end{aligned}$$

Para o calor de reirradiação térmica é necessário encontrar a temperatura de ponto de orvalho e assim a emissividade do ar (ε_{ar}).

$$T_{ceu} = 0,0552 \times T_e^{1,5} = 0,0552 \times 286,35^{1,5} = 266,51 \text{ K}$$

Assim, pelo software Psicro[®], considerando $T_{ceu} = 266,51$ K e UR =40% encontra-se a T_{po} igual a: -16°C e a emissividade do ar de 0,738.

$$\begin{aligned} q_{rtc} &= \varepsilon_{sup} \times \gamma_t \times \sigma \times A_{pis} \times (T_i^4 - \varepsilon_{ar} \times T_e^4) \\ q_{rtc} &= 0,95 \times 0,8 \times 5,68 \times 10^{-8} \times 90 \times (T_i^4 - 0,738 \times 286,35^4) \end{aligned}$$

Portanto, substituindo os valores na equação do balanço de energia (equação 18), obtém-se o valor de temperatura interna igual a 286,0K ou **12,86°C**.

4.2.2 Balanço de Massa

Para o balanço de massa, considerou-se a Equação 13 e a umidade absoluta externa encontrada pelos parâmetros temperatura de bulbo seco externa ($T_{bs} = 13,2$ °C) e umidade relativa externa ($UR_e = 40\%$):

$$Mv = m \times (w_i - w_e) = 34,85 \times (w_i - 0,004)$$

$$Mp = Etc \times \rho \times Acult = \frac{(4,9 \times 10^{-3} \times 1,0 \times 21)}{86400} = 1,19 \times 10^{-6} \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Assim, substituindo os valores na equação 13 tem-se uma umidade absoluta interna igual a

$$w_i = 3,99 \times 10^{-3} \text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Pelo Psicro[®], considerando a w_i e a T_i calculadas, obtém-se a UR igual a **43%**.

4.3 Análise das condições internas

A partir dos valores calculados de temperatura e umidade relativa do ar para as condições de verão e inverno, é possível verificar se a ambiência favorece o bom desenvolvimento da cultura do morango, sendo considerada a variedade ‘San Andreas’.

Estação	T_i (°C)	URi(%)
Verão	26,42	61
Inverno	12,86	43

Tabela 5: Temperatura (T_i) e umidade relativa do ar (URi) para o ambiente interno.

A propriedade conta com uma produção contínua de morango da variedade ‘San Andreas’. Apesar da cultura ser perene, a emissão de novos brotos, a partir da muda cultivada, ocorre geralmente ao longo do fim do verão ao fim do outono. A colheita mais expressiva se dá geralmente de agosto ao fim de dezembro. Segundo Reisser (2005), o morango tem seu início de desenvolvimento vegetativo em uma temperatura aproximadamente igual a 9°C. Para a fase de frutificação e floração a faixa de temperatura considerada ideal gira em torno de 12°C a 26°C. Acima de 30°C ocorre a inibição da floração e estimulação da produção de estolhos. Ainda segundo Reisser (2005), a faixa de umidade relativa do ar ideal para as fases de germinação, floração e frutificação do morango compreende o intervalo de 70% a 80%.

Observa-se que, tanto para o verão quanto para o inverno, a temperatura do ar pode ser adequada para o conforto térmico da cultura, mas a umidade relativa deverá ser elevada a um valor dentro da faixa ideal (70% a 80%).

4.4 Proposta de solução

Adotou-se o sistema de nebulização, tipo de resfriamento evaporativo, como meio de aumentar a umidade relativa do ar, para alcançar as condições de conforto da cultura.

A temperatura de resfriamento (T_{re}) foi calculada pela eficiência da nebulização (considerada 0,9, para nebulização) e pelas temperaturas de bulbo seco (T_{bse}) e bulbo úmido (T_{bue}) externas, conforme equação 19.

$$\eta = \left(\frac{T_{bse} - T_{re}}{T_{bse} - T_{bue}} \right) \times 100 \quad [19]$$

Para a condição de verão, considerando a $T_{bse} = 299,95K$ e $UR_e = 55\%$, obteve-se a $T_{bue} = 20,2^\circ C$. Para a condição de inverno, considerando a $T_{bse} = 286,35K$ e $UR_e = 40\%$, obteve-se a $T_{bue} = 7,1^\circ C$. Assim, para a condição verão, $T_{re} = 294,01K$ e para a condição inverno, $T_{re} = 280,86K$.

Considerando esses valores de temperatura de bulbo seco encontrados com base na eficiência da nebulização como sendo os valores de temperatura de bulbo seco externa na equação de balanço de energia, tem-se um valor de temperatura interna igual a **20,8°C** na condição verão, e igual a **7,7°C** na condição inverno.

Para o cenário de verão, os parâmetros considerados no balanço de massa são: $w_e = 1,51 \times 10^{-2} kg.kg^{-1}$ ($T_{re} = 294,01 K$ e $UR = 100\%$). Dessa forma, a umidade absoluta interna será:

$$Mv = m \times (w_i - w_e) = 34,29 \times (w_i - 0,0151)$$

$$Mp = Etc \times \rho \times Acult = \frac{(4,9 \times 10^{-3} \times 1,0 \times 21)}{86400} = 1,19 \times 10^{-6} kg.s^{-1}$$

$$\text{Portanto } w_i = 1,51 \times 10^{-2} kg.kg^{-1}$$

Por meio do Psicro[®], relacionando a temperatura de bulbo seco interna, encontrada no balanço de energia, com a umidade absoluta interna no balanço de massa, tem-se o valor de **95%** de umidade relativa interna. Como a umidade relativa do ar ultrapassa a faixa considerada ideal (70 – 80%) é necessário o uso de programação de controle para que o sistema seja desativado ao se atingir o limite considerado, no caso, adotou-se o limite de 75% ($w_i = 1,16 \times 10^{-2} kg.kg^{-1}$)

O produto entre o fluxo volumétrico da estufa (V) pela diferença de umidade

absoluta externa e interna fornece a quantidade de água a ser adicionada pela nebulização (m_a)

$$m_a = V \times \rho_{ar} \times (w_i - w_e)$$

$$m_a = 31,75 \times 1,08 \times (1,51 \times 10^{-2} - 1,16 \times 10^{-2}) = 1,2 \times 10^{-1} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Para o cenário do inverno, os parâmetros considerados no balanço de massa são: $w_e = 6,52 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($T_{re} = 280,86 \text{ K}$ e $UR = 100\%$). Dessa forma, a umidade absoluta interna será:

$$Mv = m \times (w_i - w_e) = 34,85 \times (w_i - 0,0065)$$

$$Mp = Etc \times \rho \times Acult = \frac{(4,9 \times 10^{-3} \times 1,0 \times 21)}{86400} = 1,19 \times 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\text{Portanto } w_i = 6,52 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Por meio do Psicro[®], relacionando a temperatura de bulbo seco interna, encontrada no balanço de energia, com a umidade absoluta interna no balanço de massa, tem-se o valor de **97%** de umidade relativa interna. Como a umidade relativa do ar ultrapassa a faixa considerada ideal (70 – 80%) é necessário o uso de programação de controle para que o sistema seja desativado ao se atingir o limite considerado, no caso, adotou-se também o limite de 75% ($w_i = 1,16 \times 10^{-2} \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)

O produto entre o fluxo volumétrico da estufa (V) pela diferença de umidade absoluta externa e interna fornece a quantidade de água a ser adicionada pela nebulização (m_a)

$$m_a = V \times \rho_{ar} \times (w_i - w_e)$$

$$m_a = 30,57 \times 1,08 \times (1,51 \times 10^{-2} - 1,16 \times 10^{-2}) = 1,1 \times 10^{-1} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Para que a eficiência do sistema não seja comprometida, a variação de pressão entre o início da linha lateral até o final da linha lateral não deve exceder 20%. Para a adequada escolha do nebulizador, adotou-se a pressão de 30 mca. O cálculo da perda de carga ao longo de todo o trajeto da água desde a saída da torneira até o fim da linha lateral é obtido através da equação de Darcy-Weisbach (Equação 20).

$$h_f = f \times 0,0826 \times \left(\frac{L \times Q^2}{D^5} \right) \quad [20]$$

f =fator de atrito de Darcy

L =comprimento total da linha lateral

Q =vazão da linha lateral

D =diâmetro da linha lateral

O fator de atrito de Darcy depende do regime de escoamento que a linha lateral está submetida, pelo número de Reynolds:

$$Re = \frac{D \times V}{\nu} \quad [21]$$

D =diâmetro da linha lateral

V =velocidade da água ao longo da linha lateral

ν =viscosidade cinemática da água ($1,003 \times 10^{-6} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

A velocidade da água é encontrada através da razão entre a vazão pela área transversal da linha lateral. O diâmetro da linha lateral é igual a 19 mm, portanto a área será $2,87 \times 10^{-4} \text{ m}^2$. O sistema de nebulização será composto por duas linhas laterais. Como a vazão total equivale a $1,2 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, a vazão para cada linha lateral será $0,6 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, portanto, a velocidade será $0,21 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Assim, o número de Reynolds é igual a: $3.978 > 2000$ (Regime Transição)
O fator de atrito é encontrado pela equação de Blasius:

$$f = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} = 0,04 \quad [30]$$

Cada linha lateral do sistema de nebulização terá um comprimento igual a 14 m. O nebulizador será o fogger da linha NaanDanJain, com uma vazão de $24 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ e pressão de serviço de 30 mca. Dessa forma, cada linha lateral contará com 6 nebulizadores, totalizando 12 em relação a todo o sistema.

Para o cálculo do comprimento total da linha lateral é necessário encontrar o comprimento equivalente que cada componente do sistema possui (Anexo 1). Nesse caso o sistema contou com 6 Tês de saída bilateral (emissores), 2 cotovelos de 90° de raio longo e mais um Tê de saída bilateral que une as duas linhas laterais. Assim, o comprimento equivalente para cada linha lateral será de 8,4 m e, como cada linha apresenta 14 m de comprimento, o comprimento total será de 22,4 m.

Substituindo os valores na equação de perda de carga, encontra-se o valor de 0,43mca de perda para a linha lateral, ou 0,86mca para as duas linhas. Esse valor atende à condição de que a variação de pressão entre o início e o fim da linha seja inferior a 20%.

Como o sistema será instalado a uma altura de 3,1 m, para a escolha do pressurizador é necessário somar a perda de carga encontrada em cada linha com a perda de carga referente à altura de instalação dos nebulizadores. Assim:

$$P_t = 0,43 + 3,10 = 3,53 \text{ mca}$$

Como a pressão de serviço adotada foi de 30 mca, o pressurizador deverá atender a 33,53mca.

A figura 4 demonstra como será a instalação do sistema de nebulização.

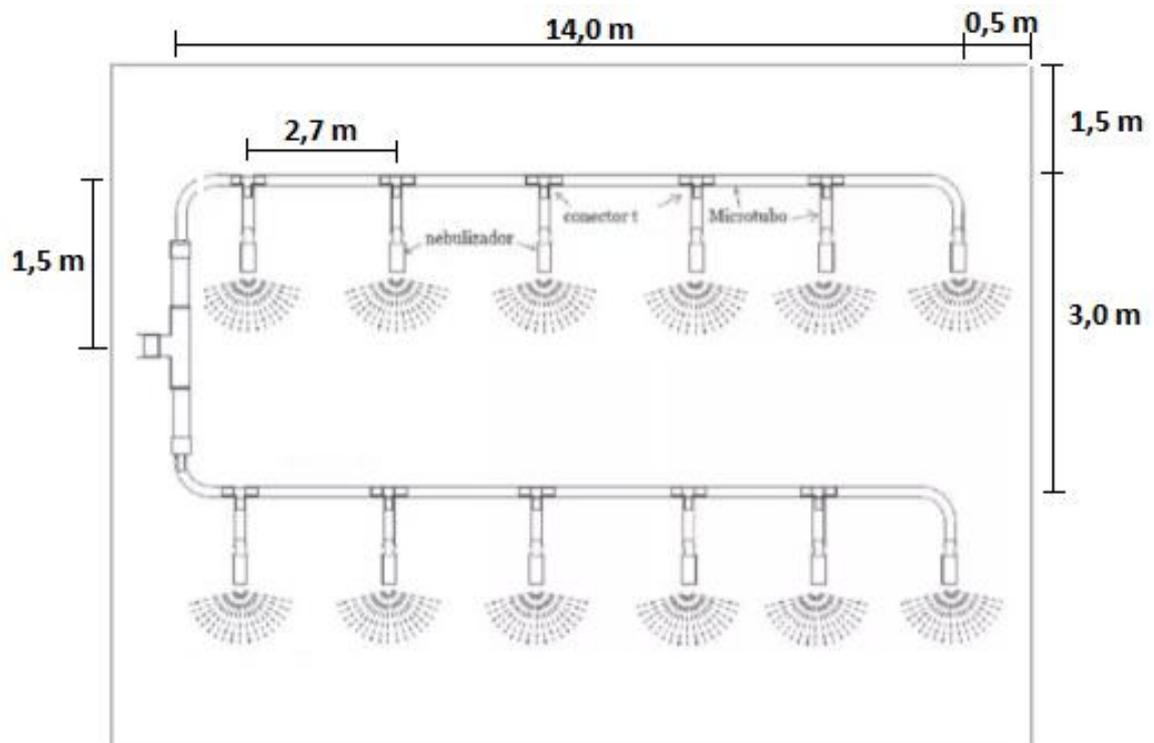


Figura 4: Esquemática do sistema de nebulização.

4.5 Análise da viabilidade econômica

Consideraram-se todos os gastos com materiais e serviços para a instalação do sistema de nebulização. A tabela 7 descreve quais materiais foram empregados, suas quantidades e custos.

Tabela 7. Valores dos materiais utilizados (referência novembro 2019).

Materiais Utilizados	Quantidade	Valor/Quantidade
Pressurizador de 34 m.c.a.	1 peça	852,00 R\$/peça
Nebulizador Fogger 3 bar	12 unidades	28,00 R\$/unidade
Tubulação de PVC	34,85 metros	2,69 R\$/metro
Conector Tê de PVC 20mm	11 peças	0,65 R\$/peça
Conector Joelho 90° PVC 20 mm	2 peças	0,35 R\$/peça

Em relação ao gasto com energia, supõe-se que ao longo do verão e do inverno o sistema de nebulização fique ativo por 6 h diárias. Para o verão o valor do kWh considerado foi igual a R\$0,17 (bandeira verde) e para o inverno de R\$0,19 (bandeira vermelha). O pressurizador apresenta potência média de 370W. Assim, para o verão, considerando que o sistema irá operar nos três meses mais críticos (dezembro, janeiro e fevereiro), o gasto com energia para esse período corresponde a R\$91,80. Para o período do inverno, considerando os três meses mais críticos (junho, julho e agosto), o gasto total para esse período foi de R\$102,60.

Para o uso da água, considerou-se uma taxa cobrada para o município de Jarinu correspondente a R\$11,80.m⁻³. A quantidade de água requerida pelo sistema é de $1,2 \times 10^{-4} m^3 \cdot s^{-1}$. Assim, para o uso do sistema por 6 h diárias ao longo dos 6 meses de uso (verão e inverno), o gasto total com água será de: R\$ 5.505,41.

Como o sistema de nebulização não requer mão-de-obra especializada, poderá ser instalado pelo próprio produtor. Portanto o gasto referente a esse serviço foi desconsiderado.

Adequando o ambiente às condições ideais de cultivo, a produtividade de morango esperada é de 30-35 t.ha⁻¹. A cotação média do morango para a região de Jundiá e Campinas corresponde a R\$10,00 por quilo. Em relação à produção atual da estufa, o pico de colheita do morango ocorre na primavera (novembro). A produção estimada é de 73,5 kg para o pico de colheita, resultando em uma receita em torno de R\$735,00.

O fluxo de caixa levou em consideração a receita obtida ao longo do ano,

considerando a produtividade máxima do morango, bem como o valor do quilo atualizado pelo CEAGESP igual a R\$ 10,00 para o levantamento de outubro de 2019. Além disso, contou com o custo total do sistema de nebulização (nebulizadores, pressurizador e materiais componentes da tubulação), com a depreciação e o consumo de água e de energia. Adotou-se um aumento tanto da receita quanto dos gastos igual a 10% ao ano. Para a depreciação considerou-se o valor de 10% do total de custo do sistema de nebulização com um desconto também de 10% ao ano.

A tabela abaixo demonstra a evolução do fluxo de caixa ao longo dos primeiros cinco anos após o investimento inicial.

Tabela 8. Fluxo de Caixa.

	TOTAL AO LONGO DOS ANOS EM R\$					
	0	1	2	3	4	5
RECEITA PRODUTOS	0	8.820	9.702	10.672	11.739	12.913
CUSTO COM ATUADOR	1.290	-	-	-	-	-
CUSTO COM ENERGIA	194	214	235	259	285	313
CUSTO COM ÁGUA	5.505	6.056	6.661	7.327	8.060	8.866
DEPRECIÇÃO	0	129	116	104	94	85
(=) RESULTADO	-6.989	2.422	2.690	2.982	3.301	3.650

Para o cálculo do valor presente líquido a taxa mínima de atratividade considerada é igual a 5% (taxa Selic de fevereiro 2019). Assim, o cálculo do valor presente líquido encontrado é de R\$ 5.909, com uma TIR de 30%, muito maior que a TMA imposta de 5%, ou seja, o projeto torna-se economicamente viável.

5 CONCLUSÃO

A avaliação da ambiência de uma casa de vegetação comercial, localizada no município de Jarinú - SP, retornou condições favoráveis de temperatura do ar, tanto para a condição de verão, quanto para a condição do inverno, para o cultivo de morango; e a necessidade de atuação para aumentar a umidade relativa em ambos os cenários, afim de adequar o ambiente às condições de conforto da cultura. O sistema de nebulização projetado para o ambiente foi identificado como uma alternativa viável técnica e economicamente ao produtor.

6 CONSIDERAÇÃO FINAL

Pelo cálculo do balanço de energia e massa, obtêm-se dados de temperatura e umidade relativa do ar no ambiente interno da casa de vegetação e, com isso, pode-se inferir sobre a necessidade de mecanismos de atuação para alcançar as condições de conforto da cultura. Entretanto, torna-se necessário o uso de sensores atuadores para monitorar os elementos meteorológicos e controlar os mecanismos de atuação, visando à manutenção dessas condições adequadas ao desenvolvimento da cultura.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBRIGHT, L. D. **EnvironmentControl for animalsandplants**. American SocietyofAgriculturalEngineers – ASAE. St. Joseph, MI, USA. 473 p. 1990.

AGUIAR, R.L.; DAREZZO, R.J.; ROZANE, D.E.; AGUILERA, G.A.H.; SILVA, D.J.H. **Cultivo em ambiente protegido: histórico, tecnologia e perspectivas**. p.2-4, 2004 .UFV.

ANDRIOLO, J.L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria, Editora UFSM, 1999. 141p.

BELTRÃO, N.E. de M., et al.**Uso adequado de casa-de-vegetação e de telados na experimentação agrícola**.Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2016.Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/240972312_Uso_adequado_de_casa-de-vegetacao_e_de_telados_na_experimentacao_agricola>. Acessado em: 5 dez. 2019.

BOODLEY, J.W.; NEWMAN, S.E. **The comercial greenhouse**. EUA: DelmarCengage Learning, 3ªed., 799p.2009.

BURIOL, G.A.; SCHNEIDER, F.M.; ESTEFANEL, V.; ANDRIOLO, J.L.; MEDEIROS S.L.P. **Modificação na temperatura mínima do ar causada por estufas de polietileno transparente de baixa densidade**. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.1, p.43-49, 1993.Disponível em: <<https://www.ourinhos.unesp.br/Home/Pesquisa/GruposdeEstudo/Clima/058.pdf>>. Acessado em: 12set. 2019.

CAMARGO FILHO, W.P.; CAMARGO, F.P. **PIB da produção de hortaliças no Estado de São Paulo, 2017**. Revista Attalea Agronegócios. Disponível em: <<https://revistadeagronegocios.com.br/iea-instituto-de-economia-agricola-pib-da-producao-de-hortalicas-no-estado-de-sao-paulo-2017/>>. Acessado em: 7dez. 2018.

CEPEA. **Principais características do morango no BR**. 2018. Disponível em: <<https://www.hfbrasil.org.br/br/hortifruti-cepea-principais-caracteristicas-do-morango-no-br.aspx>>. Acessado em set. 2019.

CHEN, C. Prediction of longitudinal variations in temperature and relative humidity for evaporative cooling greenhouses. **Agricultural Engineering Journal**, v.12, n.3-4, p.143-164, 2003.

COBAPLA, Comitê Brasileiro de Desenvolvimento e Aplicação de Plásticos na Agricultura. **Cultivo Protegido no País**. Dezembro, 2017.

COUTINHO, Fernanda M.B., et. al. **Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações**. p.8-9. Scielo. 2003.

DCI – Diário Comércio Indústria & Serviços. **(2017). Agronegócio contribui com 23,5% do PIB do Brasil em 2017**. Disponível em: <<https://www.dci.com.br/impreso/agronegocio-contribui-com-23-5-do-pib-em-2017-estima-cna-1.541217>>. Acessado em: 10 out. 2018.

FAOSTAT, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Base de dados, disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/>>. Acessado em: 10 set. 2018.

FARIAS, J. R. B.; BERGAMASCHI, H.; MARTINS, S. R.; BERLATO, M. A. **Efeito da cobertura plástica de estufa sobre a radiação solar**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.1, n.1, p.31-6, 1993.

GARCIA, M. G.; ONTIVERO, M.; RICCI, J. C. D.; CASTAGNARO, A. **Morphological traits and high resolution RAPD markers for the identification of the main strawberry varieties cultivated in Argentina**. Plant Breeding, v. 121, n. 1, p. 76-80, 2002.

HELLICKSON, M.A.; WALKER, J.N. **Ventilation of agricultural structures**. Michigan: American agricultural structures Society of Agricultural Engineers (ASAE), 370 p. 1983.

IAC, **Boletim Centro de Frutas**. Morango. 1998. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/areasdepesquisa/frutas/frutiferas_cont.php?nome=Morango>. Acessado em: 11 out. 2018.

LEAL, P.A.M.; COSTA, E. **Engenharia de conforto em ambiente protegido**. Faculdade de Engenharia Agrícola – Unicamp. 2006.

MAKISHIMA, N. **Cultivo protegido do tomateiro**. Brasília: EMBRAPA-CNPQ, 1998. (EMBRAPA-CNPQ. Circular Técnica da Embrapa Hortaliças, 13).

MARTINS, G. **Uso de casa de vegetação com cobertura plástica na tomaticultura de verão**. 1992. 65 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal.

NGMA – National Greenhouse Manufacturers Association. **Ventilation & Cooling**. Pensilvânia, USA > NGMA. 2010. 14 p.

OLIC, Nelson B., SILVA, Angela C. da, LAZONO, Ruy. **Vereda digital geografia**. 1.ed. São Paulo: Moderna, 2012. 22 p

PEREZ, R.; SEALS, R.; ZELENKA, A. **Comparing satellite remote sensing and ground**. Energy, Amsterdam, v.60, n. 2, p. 89-96, 1997.

PONCIANO, N. J., SOUZA, P. M., MATA, H. T. C., VIEIRA, J. R., MORGADO, I. F. **Análise de Viabilidade Econômica e de Risco da Fruticultura na Região Norte Fluminense**. RER, Rio de Janeiro, vol. 42, no 04, p. 615-635.

REISSER JR et al., 2015 **Caracterização da produção de morangos no Brasil**. Disponível em <<https://docplayer.com.br/10056569-Caracterizacao-da-producao-de-morangos-no-brasil-luis-eduardo-correa-antunes-1-carlos-reisser-junior-1.html>> Acessado em -02 de out. 2019

RONQUE, E. R. V. **A cultura do morangueiro: revisão e prática**. Paraná: EMATER, 1998, 206p.

RURALNEWS (2012). Estufas - produção agrícola em ambientes controlados. Disponível em <<http://www.ruralnews.com.br/visualiza.php?id=202>>. Acessado em - 27 de out. 2019

SEBRAE. Estudo de Mercado. **Agronegócios: Produção de Morango**. Disponível em: <<https://m.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/BA/Anexos/Produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20morango%20na%20Bahia.pdf>>. Acessado em: 10 out. 2019.

SETHI, V.P.; SHARPA, S.K. Survey of cooling Technologies for Worldwide Agricultural Greenhouse Applications. **Solar Energy**, v.81, p.1447-1459, 2007.

SIQUEIRA, C. E. M. **A importância dos materiais plásticos na agricultura do Brasil e do mundo**. Programa de plasticultura para o Estado de São Paulo. São Paulo: Associação dos Engenheiros Agrônomos do Estado de São Paulo, 1995, p.108-109. Apostila.

VANTHOOR, B.H.E.; STANGHELLINI, C.; VAN HENTEN, E.J.; DE VISSER, P.H.B. A methodology for model-based greenhouse design: Part 1, a greenhouse climate model for a broad range of designs and climates. **Biosystems Engineering**, v. 110, 2011.

Anexo 1. Comprimento Equivalente de Peças.

Comprimentos equivalentes a perdas localizadas. (Expressos em metros de canalização retilínea)*

DIÂMETRO D mm pol	COTOVELO 90° LONGO	COTOVELO 90° MÉDIO	COTOVELO 90° CURTO	COTOVELO 45°	CURVA 90° R/D - 1/2	CURVA 90° R/D - 1	CURVA 45°	ENTRADA NORMAL	ENTRADA DE BORDA	REGISTRO DE GAVETA ABERTO	REGISTRO DE GLOBO ABERTO	REGISTRO DE ÂNGULO ABERTO	TE PASSAGEM DIRETA	TE SAÍDA DE LADO	TE SAÍDA BILATERAL	VALVULA DE PÉ DE CRIVO	SAÍDA DA CANALIZ.	VALVULA DE RETEÇÃO TIPO LEVE	VALVULA DE RETEÇÃO TIPO FIXADO
13	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,1	4,9	2,6	0,3	1,0	1,0	3,6	0,4	3,1	1,6
19	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,5	0,1	6,7	3,6	0,4	1,4	1,4	5,6	0,5	1,6	2,4
25	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3	0,5	0,2	0,3	0,7	0,2	8,2	4,6	0,5	1,7	1,7	7,3	0,7	2,1	3,2
32	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4	0,6	0,3	0,4	0,9	0,2	11,3	5,6	0,7	2,3	2,3	10,0	0,9	2,7	4,0
38	0,9	1,1	1,3	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5	1,0	0,3	13,4	6,7	0,9	2,8	2,8	11,6	1,0	3,2	4,8
50	1,1	1,4	1,7	0,8	0,6	0,9	0,4	0,7	1,5	0,4	17,4	8,5	1,1	3,5	3,5	14,0	1,5	4,2	6,4
63	1,3	1,7	2,0	0,9	0,8	1,0	0,5	0,9	1,9	0,4	21,0	10,0	1,3	4,3	4,3	17,0	1,9	5,2	8,1
75	1,6	2,1	2,5	1,2	1,0	1,3	0,6	1,1	2,2	0,5	26,0	13,0	1,6	5,2	5,2	20,0	2,2	6,3	9,7
100	2,1	2,8	3,4	1,5	1,3	1,6	0,7	1,6	3,2	0,7	34,0	17,0	2,1	6,7	6,7	23,0	3,2	6,4	12,9
125	2,7	3,7	4,2	1,9	1,6	2,1	0,9	2,0	4,0	0,9	43,0	21,0	2,7	8,4	8,4	30,0	4,0	10,4	16,1
150	3,4	4,3	4,9	2,3	1,9	2,5	1,1	2,5	5,0	1,1	51,0	26,0	3,4	10,0	10,0	39,0	5,0	12,5	19,3
200	4,3	5,5	6,4	3,0	2,4	3,3	1,5	3,5	6,0	1,4	67,0	34,0	4,3	13,0	13,0	52,0	6,0	16,0	25,0
250	5,5	6,7	7,9	3,8	3,0	4,1	1,8	4,5	7,5	1,7	85,0	43,0	5,5	16,0	16,0	65,0	7,5	20,0	32,0
300	6,1	7,9	9,5	4,6	3,6	4,8	2,2	5,5	9,0	2,1	102,0	51,0	6,1	19,0	19,0	78,0	9,0	24,0	38,0
350	7,3	9,5	10,5	5,3	4,4	5,4	2,5	6,2	11,0	2,4	120,0	60,0	7,3	22,0	22,0	90,0	11,0	28,0	45,0

*Os valores indicados para registros de globo aplicam-se também às torneiras, válvulas para chuveiros e válvulas de descarga