

CÉSAR CLARO TREVELIN

**ANÁLISE EMERGÉTICA DA PRODUÇÃO DE MUDAS DE HORTALIÇAS EM
ESTUFAS DE BAMBU**

Botucatu

2022

CÉSAR CLARO TREVELIN

**ANÁLISE EMERGÉTICA DA PRODUÇÃO DE MUDAS DE HORTALIÇAS EM
ESTUFAS DE BAMBU**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu, para
obtenção do título de Mestre em Agronomia –
Energia na Agricultura.

Orientador: Leonardo de Barros Pinto

Botucatu

2022

T812a	Trevelin, César Claro Análise emergética da produção de mudas de hortaliças em estufas de bambu / César Claro Trevelin. -- Botucatu, 2022 105 p. : il., tabs., fotos Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu Orientador: Leonardo de Barros Pinto 1. Emergia. 2. Agricultura sustentável. 3. Composto orgânico. 4. Irrigação. 5. Agricultura familiar. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ANÁLISE EMERGÉTICA DA PRODUÇÃO DE MUDAS DE HORTALIÇAS EM ESTUFAS DE BAMBU

AUTOR: CÉSAR CLARO TREVELIN

ORIENTADOR: LEONARDO DE BARROS PINTO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. LEONARDO DE BARROS PINTO (Participação Virtual)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu UNESP

p) 
Prof. Dr. LUIZ CESAR RIBAS (Participação Virtual)
Engenharia Rural e Socioeconomia / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu UNESP

rp) 
Prof. Dr. VINÍCIUS RAFAEL BIANCHI (Participação Virtual)
Coordenação de Cursos Tecnológicos / Faculdade Estácio de Santo André

Botucatu, 18 de janeiro de 2022

A minha companheira Vivian
e meu filho Eduardo,
dedico

AGRADECIMENTOS

A minha companheira de vida, Vivian Tiemi Hamamoto Cypriano e meu filho, Eduardo Akira Cypriano Trevelin, pelo amor, companheirismo e carinho insubstituíveis e inigualáveis.

Aos meus pais, Sergio Trevelin e Sonia Maria Claro Trevelin e irmã Thaís Claro Trevelin, pela imensa contribuição na minha formação como pessoa e pelo apoio incondicional em todas as esferas da vida. Sou feliz e privilegiado por ter sido criado nessa família.

A Marina, Karina, João, Fernanda e Luiz Cypriano pela ajuda com o Eduardo enquanto escrevia este trabalho.

Ao Prof. Leonardo de Barros Pinto, pela orientação, dedicação, paciência, incentivo e disponibilidade em me ouvir sempre que preciso.

Ao Prof. José Raimundo de Souza Passos, por suas contribuições na definição da estrutura dos blocos e análise estatística do experimento de produção de mudas de alface em diferentes substratos.

Ao artesão Carlos Lira por compartilhar seu conhecimento sobre a construção da estufa de bambu.

Aos membros da comissão examinadora da qualificação e dissertação, Luiz César Ribas e Vinícius Rafael Bianchi, pelas reflexões e contribuições.

Aos funcionários que trabalham no Viveiro de Pesquisa em Produção de Mudas Florestais, pertencente ao Departamento de Ciência Florestal da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), Chico que me ensinou os macetes da semeadura de hortaliças, Sandro e Claudinho por me receberem bem no viveiro, me darem o suporte necessário para o uso da estrutura do viveiro no experimento.

A Horta Comunitária da Seriema, por disponibilizar canteiros para o plantio da crotalária e Napier.

Ao André Martins pela companhia no transporte dos bambus.

Agradeço à UNESP, por toda a infraestrutura e apoio, não apenas no desenvolvimento da minha pesquisa de mestrado, mas em toda a minha trajetória acadêmica.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura - Energia na Agricultura (PPGA-Energia) da Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA/UNESP, por ter permitido que eu fizesse parte dos seus 39 anos de história.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos concedida durante o mestrado.

“Vivemos tempos dramáticos e, ao mesmo tempo, esperançadores. Dramáticos porque nossa Casa Comum, a Terra, parece estar ardendo em chamas. Temos que nos organizar para salvá-la”. Esperançadores porque mais e mais pessoas estão despertando para suas responsabilidades para com o futuro comum, da vida, da humanidade e da Terra. Este futuro só será garantido se colocarmos a sustentabilidade como um denominador comum de todas as formas de vida e de novas práticas”.

BOFF, L. **Sustentabilidade**: o que é: o que não é. Petrópolis/RJ: Vozes, 2012.

RESUMO

As hortaliças possuem especial importância nutritiva, estando associadas à prevenção de doenças como câncer, diabetes tipo II e obesidade. No Brasil, o seu consumo está abaixo do recomendado. Faz-se necessário buscar formas de estimular o seu consumo e, para isto, é necessário criar mecanismos que garantam acesso e oferta suficiente, diversificada e permanente para toda a população. O modelo produtivo que se destaca na produção desse tipo de alimento é a agricultura familiar, por produzir mais de 50% dos alimentos contidos na cesta básica brasileira e ser formada por cerca de 70% dos trabalhadores rurais brasileiros. Já no meio urbano, as hortas comunitárias têm relevância, aproximando agricultores de consumidores, praticando preços mais acessíveis e dando uso a espaços ociosos. No processo de produção de hortaliças, a produção de mudas é uma das etapas mais importantes, pois a qualidade das mudas é determinante para o desempenho produtivo das plantas. Formas de agricultura sustentáveis são vitais para produção de alimento saudáveis, sem uso abusivo de recursos naturais ou produtos que ocasionam agressão ao meio ambiente. A emergia é uma ferramenta biofísica de avaliação de sustentabilidade, que mensura, em uma única métrica, o trabalho da natureza e do ser humano na geração de seus produtos e serviços. O presente estudo tratou da análise emergética da produção de mudas de hortaliças em estufa artesanal de bambu no município de Botucatu - SP, tendo como objetivos gerais analisar a produção diversificada de mudas em pequena escala com variações na forma de irrigação e a produção de compostos orgânicos oriundos de matérias primas diferentes a partir da análise emergética; por meio da mensuração da quantidade de recursos renováveis (R), não renováveis (N), provenientes da economia (F) e o fluxo emergético nos sistemas de produção, que possibilitaram o cálculo dos seguintes Índices Emergéticos: Rendimento emergético (EYR), Investimento emergético (EIR), Carga ambiental/Impacto ambiental (ELR), Índice de sustentabilidade (ESI) e Renovabilidade (%R). A estufa de bambu se mostrou sustentável a médio prazo ($ESI=1,34$), mesmo tendo em sua composição dois materiais classificados como não sustentáveis, o bambu tratado e o eucalipto tratado. O item que tem maior contribuição para a emergia da estufa ($8,68E+12 \text{ seJ m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$) é a mão de obra (45,14%) por se tratar de um processo construtivo artesanal. Comparou-se a produção de mudas de hortaliças utilizando o mesmo substrato comercial e diferentes sistemas de irrigação; a emergia total da produção com o sistema de irrigação com microaspersores foi de $1,26E+15 \text{ seJ ano}^{-1}$ enquanto o sistema com pulverização costal foi de $1,88E+15 \text{ seJ ano}^{-1}$, as UEV foram de $6,77E+10 \text{ seJ muda}^{-1}$ e $1,01E+11 \text{ seJ muda}^{-1}$, respectivamente; ambos os sistemas se mostraram sustentáveis a médio prazo, e na comparação, o sistema de pulverização costal teve um melhor desempenho em todos os índices emergéticos por utilizar menos água e mais trabalho humano. Já os compostos orgânicos estudados apresentaram UEVs de $3,32E+12 \text{ seJ L}^{-1}$ e $1,45E+12 \text{ seJ L}^{-1}$, elevados teores de macro e micronutrientes, mas não tiveram um bom desempenho como substrato para a produção de mudas.

Palavras-chave: emergia; agricultura sustentável; composto orgânico; substrato; agricultura familiar; agricultura urbana; irrigação.

ABSTRACT

Vegetables have special nutritional importance, specially when the prevention of diseases such as cancer, type II diabetes and obesity. In Brazil, its consumption is below the recommended. It is necessary to look for ways to stimulate its consumption and, for this, it is necessary to create mechanisms that guarantee access and sufficient, diversified and permanent supply for the entire population. The productive model that stands out in the production of this type of food is family farming, as it produces more than 50% of the food contained in the Brazilian basic food basket and is formed by about 70% of Brazilian rural workers. In urban areas, community gardens are relevant, bringing farmers closer to consumers, offering more affordable prices and making use of idle spaces. In the vegetable production process, the production of seedlings is one of the most important steps, since the quality of the seedlings is crucial for the productive performance of the plants. Sustainable forms of agriculture are vital for the production of healthy food, without abusive use of natural resources or products that cause strong aggression to the environment. Emergy is a biophysical tool for sustainability assessment, which measures, in a single metric, the work of nature and human beings in the generation of their products and services. The present study dealt with the emergy analysis of the production of vegetable seedlings in an artisanal bamboo greenhouse in the city of Botucatu - SP, with the general objective of analyzing the diversified production of seedlings on a small scale with variations in the form of irrigation and the production of organic compounds. from different raw materials from the emergy analysis; by measuring the amount of renewable resources (R), non-renewable (N), from the economy (F) and the emergy flow in production systems, which enabled the calculation of the following Emergetic Indices: Emergetic yield (EYR), Emerging Investment (EIR), Environmental Load / Environmental Impact (ELR), Sustainability Index (ESI) and Renewability (%R). The bamboo greenhouse proved to be sustainable in the medium term ($ESI=1.34$), even having in its composition two materials classified as unsustainable, treated bamboo and treated eucalyptus. The item that has the greatest contribution to the emergy of the greenhouse ($8.68E+12 \text{ seJ m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$) is labor (45.14%), as it is a handcrafted construction process. The production of vegetable seedlings using the same commercial substrate and different irrigation systems was compared; the total production emergy with the micro-sprinkler irrigation system was $1.26E+15 \text{ seJ yr}^{-1}$ while the costal spray system was $1.88E+15 \text{ seJ yr}^{-1}$, the UEV were $6.77E+10 \text{ seJ seedling}^{-1}$ and $1.01E+11 \text{ seJ seedling}^{-1}$, respectively; both systems proved to be sustainable in the medium term, and in comparison, the costal spray system performed better on all emergy indices as it used less water and more human labor. The organic compounds studied presented UEVs of $3.32E+12 \text{ seJ L}^{-1}$ and $1.45E+12 \text{ seJ L}^{-1}$, high levels of macro and micronutrients, but they did not perform well as a substrate for the production of seedlings.

Keywords: emergy; sustainable agriculture; organic compost; substrate; family farming; urban agriculture; irrigation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa da localização das Hortas Comunitárias de Botucatu.....	34
Figura 2 – Hierarquia da transformação de energia.....	43
Figura 3 – Diagrama de Fluxos Agregados de um sistema rural.....	44
Figura 4 – Mapa com os locais relacionados com a pesquisa em Botucatu-SP.....	49
Figura 5 – Organograma da sequência de análises energéticas feitas ao longo desse trabalho.....	50
Figura 6 – Construção da estufa de bambu.....	57
Figura 7 – Produção diversificada de mudas de hortaliças.....	61
Figura 8 – Tipos de rega utilizados.....	62
Figura 9 – Processo de compostagem.....	63
Figura 10 – Exemplo da estrutura de um Bloco do experimento.....	66
Figura 11 – Avaliação das mudas de alface (<i>Lactuca sativa</i>).....	68
Figura 12 – Diagrama de fluxo energético para construção e manutenção da estufa de bambu.....	76
Figura 13 – Diagrama de fluxo energético para produção diversificadas de mudas de hortaliças.....	79
Figura 14 – Temperatura ao longo do processo de compostagem (CCT).....	87
Figura 15 – Temperatura ao longo do processo de compostagem (BT).....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Algumas das plantas hortícolas produzidas em propriedades rurais de Botucatu e região.....	32
Tabela 2 – Símbolos da linguagem de fluxos de energia.....	45
Tabela 3 – Estrutura da tabela para cálculo dos fluxos emergéticos.....	52
Tabela 4 – Indicadores emergéticos e suas fórmulas.....	55
Tabela 5 – Ciclo produtivo e quantidade de mudas cultivadas por planta.....	59
Tabela 6 – Produção das mudas ao longo das semanas.....	60
Tabela 7 – Fluxos e índices emergéticos envolvidos no tratamento do bambu (fluxos em 6 anos).....	71
Tabela 8 – Fluxos e índices emergéticos envolvidos no tratamento do eucalipto (fluxos em 12 anos).....	74
Tabela 9 – Fluxos e índices emergéticos na construção e manutenção da estufa de bambu (fluxos em 12 anos).....	77
Tabela 10 – Fluxos e índices emergéticos da irrigação com pulverizador costal (PUL) (fluxos em 12 anos).....	80
Tabela 11 – Fluxos e índices emergéticos da irrigação com conjunto de microaspersores (MIC) (fluxos em 12 anos).....	82
Tabela 12 – Fluxos e índices emergéticos da produção diversificada de mudas de hortaliças como irrigação PUL (fluxos em 1 ano).....	84
Tabela 13 – Fluxos e índices emergéticos da produção diversificada de mudas de hortaliças como irrigação MIC (fluxos em 1 ano).....	85
Tabela 14 – Fluxos e índices emergéticos da produção do composto orgânico (CCT).....	88

Tabela 15 – Fluxos e índices energéticos da produção do composto orgânico (BT).....	90
Tabela 16 – Caracterização química dos substratos.....	91
Tabela 17 – Taxa de germinação (%E) por tratamento, avaliada 11 dias após a semeadura.....	92
Tabela 18 – Valores médios das variáveis NF, CPA, CR, MFPA, MFR e MSR, obtidos ao analisar as mudas 32 dias após a semeadura	93

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CDRS	Coordenadoria de Desenvolvimento Rural Sustentável
CONSEA	Conselho Nacional de Segurança Nutricional e Alimentar
CPA	Comprimento da parte aérea
CR	Comprimento de raiz
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
EIR	Investimento Emergético
EIS ou SI	Índice de Sustentabilidade
ELR	Índice de Carga Ambiental ou Impacto Ambiental
E	Energia útil produzida
E+	Número 10 elevado a potência expressa após o sinal de +
EMATER	Instituto Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural
ETA	Estação de Tratamento de Água
EYR	Rendimento Emergético
F	Recursos da economia
F _R	Recursos da economia renováveis
F _N	Recursos da economia não renováveis
FCA	Faculdade de Ciências Agrônomicas
I	Recursos da natureza
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MEC	Ministério da Educação
MFPA	Massa da matéria fresca da parte aérea
MFR	Massa da matéria fresca de raiz
MSPA	Massa da matéria seca da parte aérea
MSR	Massa da matéria seca de raiz
N	Recurso Não Renovável
NASA	National Aeronautic and Space Administration

NF	Número de folhas por planta
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PANCs	Plantas Alimentícias não Convencionais
PEAD	Polietileno de alta densidade
PIB	Produto Interno Bruto
R	Recurso Renovável
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SAS	Statistical Analysis Software
seJ	Joules de energia solar
SP	São Paulo
Tr	Transformidade (seJ J ⁻¹)
UNESP	Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
Y	Energia Total
%R	Porcentual de recursos renováveis (Renovabilidade)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	Objetivo geral	25
1.2	Objetivos específicos	25
2	REVISÃO DE LITERATURA	27
2.1	Desenvolvimento sustentável	27
2.2	Agricultura sustentável	29
2.3	Agricultura familiar	31
2.4	Hortas comunitárias	33
2.5	Produção de mudas de hortaliças	35
2.5.1	Semente	35
2.5.2	Estufa	36
2.5.3	Substrato	36
2.5.4	Água	38
2.5.5	Qualidade da muda	39
2.6	Energia	39
2.6.1	Hierarquia e transformidade nos sistemas	41
2.6.2	Diagrama Sistêmico	44
2.6.3	Indicadores Emergéticos	46
2.6.4	Análise Emergética	46
3	MATERIAL E MÉTODOS	48
3.1	Local e época	48
3.2	Estruturação das análises emergéticas	49
3.3	Etapas da Análise Emergética	51
3.3.1	1ª Etapa: Construção dos Diagramas Sistêmicos	51
3.3.2	2ª Etapa: Elaboração das Tabelas de Cálculo Emergético	52
3.3.3	3ª Etapa: Cálculo dos Índices Emergéticos	55
3.4	Estufa de bambu	56
3.5	Sistema de produção de mudas estudado	58
3.5.1	Variações no sistema produtivo comparadas	61
3.6	Produção dos compostos orgânicos	62
3.6.1	Crotalária + Capim-elefante + Torta de mamona comercial	63

3.6.2	Braquiária + Torta de mamona caseira	64
3.7	Teste do uso dos compostos como substratos alternativos	65
3.7.1	Metodologia Estatística	68
3.7.1.1	<i>Efeito dos tratamentos na produção de mudas</i>	68
3.7.1.2	<i>Efeito dos tratamentos na germinação das mudas.....</i>	69
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
4.1	Análise emergética do tratamento do bambu	70
4.2	Análise emergética do tratamento do eucalipto	73
4.3	Análise emergética da estufa de bambu	75
4.4	Análise emergética da produção diversificada de mudas	78
4.4.1	Irrigação com pulverizador costal (PUL)	80
4.4.2	Irrigação com conjunto de microaspersores (MIC)	81
4.4.3	Análise emergética da produção diversificadas de mudas	83
4.5	Produção de compostos orgânicos	86
4.5.1	Crotalária + Capim-elefante + Torta de mamona comercial (CCT)	86
4.5.1.1	<i>Análise emergética do composto orgânico (CCT)</i>	87
4.5.2	Braquiária + Torta de mamona caseira (BT)	88
4.5.2.1	<i>Análise emergética do composto orgânico (BT)</i>	90
4.6	Caracterização química dos substratos	91
4.7	Desempenho dos compostos na produção de mudas de alface	92
4.7.1	Efeito dos tratamentos na germinação das mudas de alface	92
4.7.2	Efeito dos tratamentos na formação das mudas de alface	92
5	CONCLUSÕES	95
	REFERÊNCIAS	97

1 INTRODUÇÃO

As hortaliças possuem especial importância nutritiva ao lado das frutas, estando associadas à prevenção de doenças como câncer, diabetes tipo II e obesidade (SILVEIRA et al., 2015). A Organização Mundial da Saúde (OMS, 2003) recomenda um consumo diário de aproximadamente 400g de frutas, legumes e verduras. No Brasil, de acordo com a pesquisa realizada pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2013), por meio da Vigilância de fatores de risco e proteção para doenças crônicas por inquérito telefônico (Vigitel), o seu consumo está abaixo do recomendado. Dentro do contexto de uma alimentação melhor e mais saudável, é possível introduzir, de forma especial, as hortaliças. Assim, a participação econômica da olericultura (cultura de hortaliças) demonstra a necessidade de valoração desta atividade, na medida em que esta é capaz de produzir de forma eficiente e de se apropriar das inovações tecnológicas para atender a demanda urbana por alimentos baratos (SILVA, 2012).

As hortaliças possuem importância nutritiva relevante para a população brasileira, porém, seu consumo está abaixo do recomendado. Sendo assim, é necessário criar mecanismos que garantam acesso de forma suficiente, diversificada e permanente. No Brasil, historicamente, houve estabilidade e diminuição dos níveis de aquisição de hortaliças e frutas, inclusive com pequena retração no consumo de hortaliças. Em 2008, a combinação de frutas e hortaliças representou 2,9% do total de calorias, sendo 2,2% e 0,9% respectivamente (CANELLA et al., 2018).

É necessário que o produtor tenha acesso à tecnologias e processos que possibilitem maior independência, ou seja, que ele não necessite tanto do auxílio do poder público local ou do comércio, que não tenha que recorrer com frequência a empréstimos para adquirir insumos ou para construir ou manter suas instalações. Por muitas hortaliças serem alimentos que perecem em um curto espaço de tempo, o produtor precisa adotar ações que possam minimizar os riscos, como planejamento correto da produção e estudar o mercado, para prever a saída dos itens (SEDIYAMA, SANTOS e LIMA, 2014).

Assim, ao produzir sua própria muda, o produtor tem mais autonomia, uma vez que consegue obter mudas saudáveis no tempo adequado ao plantio.

Pelo consumo desses vegetais ser comumente feito *in natura*, é preciso garantir que haja segurança sanitária no material que será adicionado ao solo. Para isso, pode-se produzir o próprio composto orgânico por meio de processo de compostagem, que poderá ser usado na adubação ou até mesmo como substrato alternativo para produção de mudas nas bandejas de semeadura. O substrato faz o papel de solo e fornece oxigênio, nutrientes, água e sustentação para a planta. Os substratos podem ter origem animal, tais como esterco e húmus; vegetal, como pó de serra e de coco, bagaços, tortas e xaxim; mineral (vermiculita, perlita, areia) ou artificial (espuma fenólica, isopor). É importante que os substratos possuam algumas características: uniformidade, boa formação do torrão (boa agregação das raízes), retenção de umidade, custo atraente, disponibilidade, teor de nutrientes satisfatório, esterilidade biológica, aeração (GONÇALVES, 1995).

Entretanto, geralmente, para verificação do impacto causado ao meio ambiente e para tomadas de decisões da forma de produção são utilizadas somente as análises financeiras tradicionais, que não contemplam custos e benefícios intangíveis; são necessárias, então, outras formas de avaliação e análise, como por exemplo, a análise emergética (DIAS, 2019).

Um sistema produtivo é analisado economicamente baseando-se inicialmente nos custos fixos, custos variados, observação do mercado para, posteriormente, aplicar uma margem de lucro que se queira, com a intenção de se obter competitividade, por meio do preço final. Geralmente, a contribuição dos recursos naturais e dos ecossistemas não é medido na produção de determinado produto ou serviço (ORTEGA, 2002).

Já a análise de sistemas baseada em energia, proposta por Odum (1996), é uma ferramenta de análise que consegue medir essas contribuições ambientais que convencionalmente não são consideradas. Tal metodologia reúne em uma única métrica o trabalho da natureza e do ser humano na geração dos serviços e dos produtos. Além de permitir, por meio de escolhas mais conscientes, potencializar o uso e a produção de energia pelos sistemas, ajudando da elaboração de políticas que auxiliem no uso de recursos naturais e no crescimento econômico em prol da

sociedade (GIANNETTI et al., 2013). Logo, a teoria emergética, por meio do estudo a energia incorporada, designa a quantidade de energia empregada para se obter outro tipo de energia, utilizando-se de análise ecossistêmica - energética (VARGAS e MARTINS, 2015).

O desenvolvimento da agricultura e do abastecimento nacional depende diretamente de informação e conhecimento, sendo que, essas duas variáveis são condições essenciais para o aprimoramento das políticas públicas, em sua formulação, execução e avaliação; com isso, amplia-se a criação de oportunidades de investimentos produtivos e o estudo de pesquisadores, fortalecendo a democracia (CONAB, 2010).

O desenvolvimento da estrutura produtiva de hortaliças e, conseqüentemente, da sua sustentabilidade precisa ser aferida a fim de avaliar a efetividade de melhorias ao respectivo sistema.

Neste contexto, o presente estudo apresenta duas hipóteses: a produção, em estufa de bambu, de mudas de hortaliças e de compostos orgânicos são práticas emergeticamente sustentáveis para agricultores familiares e hortas comunitárias do município de Botucatu; os compostos orgânicos produzidos e estufa de bambu tem potencial uso como substrato para a produção de mudas de hortaliças.

1.1 Objetivo geral

O presente estudo tem como objetivo geral analisar a produção, em estufa bambu, de mudas de hortaliças e de dois compostos orgânicos feitos com matérias primas de origem vegetal diferentes, sob a perspectiva da análise emergética. Além de testar o uso potencial desses compostos como substratos alternativos para a produção de mudas de hortaliças, utilizando a alface como modelo experimental.

1.2 Objetivos específicos

- Mensurar a quantidade de recursos R (renováveis) nos sistemas de produção analisados;

- Mensurar a quantidade de recursos N (não renováveis) nos sistemas de produção analisados;
- Mensurar a quantidade de recursos F (da economia) nos sistemas de produção analisados;
- Analisar o fluxo emergético dos sistemas produtivos estudados;
- Analisar as diferenças do fluxo emergético no sistema de produção de mudas com a utilização de duas formas de irrigação (pulverizador costal e conjunto de microaspersores);
- Verificar se os sistemas produtivos abordados na pesquisa são sustentáveis sob o ponto de vista da análise emergética.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Desenvolvimento sustentável

O termo desenvolvimento é utilizado para expressar ideias diferentes ao longo do tempo. O conceito, para muitos autores, é tido como sinônimo de crescimento econômico, sendo medido por indicadores como o PIB e o PIB per capita, dando enfoque na economia, aposta na indústria e no crescimento dos padrões de consumo para ferramentas para o desenvolvimento. Porém, essa visão é limitada, não dá o devido valor às pessoas, não há a percepção nos indivíduos como seres inseridos em um determinado contexto cultural, social, repleto de valores, no qual estabelecem seus objetivos, suas expectativas e suas preocupações, ou seja, a qualidade de vida da população não é priorizada (THE WHOQOL GROUP, 1995). Outro fator negligenciado nessa visão é o meio ambiente que não suporta um constante crescimento econômico, pois os recursos do planeta são finitos e, quando renováveis, necessitam de tempo e condições adequadas para que seus “estoques” sejam repostos (OLIVEIRA, 2002). O conceito de Desenvolvimento sustentável tem uma abrangência maior, contemplando as questões sociais e ambientais, além das econômicas.

Segundo Menêzes e Martins (2021), foi em 1983 que o termo desenvolvimento sustentável foi discutido pela primeira vez, na Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, criada pela ONU. Nesta ocasião, foi proposto que os desenvolvimentos econômico e ambiental fossem integrados. Porém, foi somente a partir da década de 1990 que o conceito obteve destaque, devido à crise ambiental cada vez mais evidente e à reflexão sistemática sobre a influência da sociedade neste processo; assim, tornou-se um dos termos mais relevantes para um novo modelo de desenvolvimento (VAN BELLEN, 2004).

No ano de 2000, foram criados os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio, que foram compostos por oito grandes objetivos globais com o objetivo de eliminar a pobreza extrema e a fome no planeta, juntamente com ações de implantação de políticas de saúde, saneamento, educação, habitação, promoção de igualdade de gênero e meio ambiente. Tais objetivos deveriam ter como meta o ano de 2015. Em

junho de 2012, foi realizado na cidade do Rio de Janeiro-RJ a conferência que ficou conhecida como Rio +20, local onde lançou-se as bases para que fossem construídas coletivamente novas metas e objetivos voltados para o desenvolvimento sustentável, que entrariam em vigor a partir de 2015 (ROMA, 2019).

Assim, baseando-se nos vários problemas sociais e ambientais causados pela devastação do mundo, a ONU elaborou os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável no ano de 2015, com o objetivo de contrabalancear a existência digna do ser humano sem colocar em risco a qualidade do meio ambiente (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2015). Foram criados ao todo 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que representam um plano de ação global com a finalidade de eliminar a pobreza extrema e a fome, oferecer educação de qualidade ao longo da vida para todos, proteger o planeta e promover sociedades pacíficas e inclusivas até 2030. São eles: 01 - Erradicação da pobreza; 02 - Fome zero e agricultura sustentável; 03 - Saúde e bem-estar; 04 - Educação de qualidade; 05 - Igualdade de gênero; 06 - Água potável e saneamento; 07 - Energia limpa e acessível; 08 - Trabalho decente e crescimento econômico; 09 - Indústria, inovação e infraestrutura; 10 - Redução das desigualdades; 11 - Cidades e comunidades sustentáveis; 12 - Consumo e Produção responsáveis; 13 - Ação contra a mudança global do clima; 14 - Vida na água; 15 - Vida terrestre; 16 - Paz, justiça e instituições eficazes; 17 - Parcerias e meios de implementação.

Dentro desses objetivos, de forma local, pode-se enquadrar as ações realizadas pelos agricultores familiares e pelas hortas comunitárias em alguns ODS, tais como ODS1 – erradicação da pobreza, por meio do oferecimento de trabalho para a população em vulnerabilidade econômica; ODS2 – Fome zero e agricultura sustentável, ao colocar em prática alternativas na agricultura que respeitem o meio ambiente e seus recursos e ao oferecer à população alimento a preços justos; além dos ODS 03, ODS 08, ODS 12, por motivos já descritos anteriormente.

Tais objetivos envolvem temáticas diversificadas, como segurança alimentar e agricultura, padrões sustentáveis de produção e de consumo, cidades sustentáveis, proteção e uso sustentável dos oceanos e dos ecossistemas terrestres; com a finalidade de propagar o avanço ético, ambiental social, econômico e jurídico-político

da humanidade, por meio da mudança coletiva de paradigma que coloca em evidência a relação humana com o ambiente em que habita (GOMES e FERREIRA, 2018).

Segurança alimentar é entendida como a garantia do direito de todos ao acesso a alimentos de qualidade, em quantidade suficiente e de modo permanente, com base em práticas alimentares saudáveis e sem comprometer o acesso a outras necessidades essenciais, e nem o sistema alimentar futuro, devendo se realizar em bases sustentáveis (BRASIL, 2010). Apesar da relevância dessa temática, por meio da Medida Provisória nº 870 (MP 870) em 2019 (BRASIL, 2019), editada pelo presidente Jair Bolsonaro em seu primeiro dia de governo, o Conselho Nacional de Segurança Nutricional e Alimentar (CONSEA) foi extinto, o que dificulta os processos de garantia do Direito Humano à Alimentação Adequada em todas as esferas.

2.2 Agricultura Sustentável

O setor agrícola tem grande importância para a economia de muitos países. Um dos principais fatores é a produção de alimentos em busca da segurança alimentar da população mundial (BIANCHI, 2015).

Após a Segunda Guerra Mundial, ocorreram algumas mudanças implantadas na agricultura e a este processo deu-se o nome de Revolução Verde. Segundo Matos (2011), um objetivo consciente do processo era produzir variedades que pudessem ser cultivadas num amplo leque de condições em todo o mundo em desenvolvimento. De acordo com Almeida e Lamounier (2005), a Revolução Verde modernizou a agricultura brasileira, possibilitou o melhoramento de formas de produção na maioria dos grãos agrícolas, principalmente o milho e a soja, proporcionando uma queda no preço médio dos alimentos.

Apesar desse melhoramento, é possível tecer muitas críticas a Revolução Verde. Segundo muito autores, tais como Caporal e Costabeber (2003); Andrades e Ganimi (2007), o uso abusivo de recursos naturais e de agroquímicos sintéticos que permitiu o aumento da produção e da produtividade de cultivos em algumas regiões do país, se caracterizou pela agressão ao meio ambiente, o que torna esse modelo agrícola convencional insustentável a longo prazo, pois há concentração de terras,

latifúndios produzindo em monoculturas, baixa riqueza de espécies e de diversidade genética, baixa necessidade de mão de obra devido à alta mecanização, utilização crescente de biotecnologia (com uso de organismos geneticamente modificados), uso de herbicidas, pesticidas, apropriação privada do uso de sementes (com as patentes), empobrecimento e falência de pequenos produtores. Sendo assim, é necessário buscar um modelo de agricultura que garanta a segurança alimentar, sem degradar o meio ambiente, de forma sustentável.

Para Leonardo Boff (2012), uma sociedade ou um processo de desenvolvimento possui sustentabilidade quando por ele se consegue a satisfação das necessidades, sem comprometer o capital natural e sem lesar o direito das gerações futuras de atenderem também as suas necessidades e de poderem herdar um planeta sadio em seus ecossistemas preservados. Seguindo essa lógica, surgem, na segunda metade do século 20, movimentos ao redor do mundo que propõe formas de agricultura alternativas ao modelo convencional, com os valores de sustentabilidade, como a Agricultura Natural, Agroecologia, Agricultura Orgânica, Agricultura Biodinâmica, Agricultura Biológica e Permacultura (RIBEIRO *et al.*, 2017).

O Capítulo 14 da Agenda 21 Brasileira (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2000) intitulado “Promoção do Desenvolvimento Rural e Agrícola Sustentável” tem como direcionamento a promoção de maior sensibilização do público quanto ao papel da participação popular e das organizações populares no desenvolvimento rural e agrícola sustentável, a melhoria da produção agrícola de forma sustentável e a melhoria do direito das pessoas de terem acesso a uma alimentação adequada e gêneros alimentares culturalmente apropriados.

Segundo Caporal (2009), a sociedade tem buscado a consolidação de formas de agricultura menos destrutivas em relação ao meio ambiente e que sejam capazes de proteger os recursos naturais; assim, também pretendem assegurar maior longevidade ao fugir do estilo convencional de agricultura hegemônico, a partir do século XIX, com os novos descobrimentos da mecânica agrícola, biologia e química.

Entretanto, produzir de forma orgânica tem se mostrado cada vez mais um desafio. Segundo o Censo Agropecuário 2017, o número de estabelecimentos que admitiram usar agrotóxicos aumentou 20,4% entre 2006 e 2017 (IBGE, 2017).

2.3 Agricultura familiar

No Brasil, pela diversidade de biomas existentes, mas também por características intrínsecas à história da ocupação do território nacional, há diversos tipos de agricultores e, do mesmo modo inúmeros sistemas produtivos utilizados. Portanto, estes variam em razão daqueles que a praticam em determinada situação e local característicos, em que pese a disponibilidade da mão de obra (familiar ou não) e da área (que normalmente é restrita quando tratar-se de agricultor familiar). Para o caso dos sistemas de produção hortalícolas, produtores são majoritariamente familiares (CLEMENTE, 2015).

A consolidação do atual conceito de agricultura familiar se deu pela Lei nº 11.326 de 2006, também conhecida como “Lei da Agricultura Familiar” (BRASIL, 2006). Sendo definida da seguinte forma:

“Art. 3º. Para os efeitos desta Lei, considera-se agricultor familiar e empreendedor familiar rural aquele que pratica atividades no meio rural, atendendo, simultaneamente, aos seguintes requisitos:

I - não detenha, a qualquer título, área maior do que 4 (quatro) módulos fiscais;

II – utilize, predominantemente, mão de obra da própria família nas atividades econômicas do estabelecimento ou do empreendimento;

III - tenha renda familiar predominantemente originada de atividades econômicas vinculadas ao próprio estabelecimento ou empreendimento;

IV - dirija seu estabelecimento ou empreendimento com sua família.”

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia Estatística (IBGE), no Censo Agropecuário parcial de 2017, o Brasil possui um total de 5.073.324 estabelecimentos agropecuários, que ocupam uma área total de aproximadamente 351 milhões de hectares, cerca de 41% do total do território. Desse total, 77% foram classificados como agricultura familiar, essa porcentagem corresponde a cerca de 3,9 milhões de estabelecimentos e apenas 23% da área (80,9 milhões de hectares). Esse modelo de agricultura produz mais de 50% dos alimentos contidos na cesta básica brasileira e é formada por 70% dos trabalhadores rurais brasileiros (BRASIL, 2017). Já a agricultura não familiar, apesar de possuir somente 23% do total de estabelecimentos, corresponde a 77% da área total, evidenciando a discrepante distribuição entre os tipos de agricultura no país e, inclusive, a concentração de terras no país.

No município de Botucatu-SP, o trabalho de Campos (2018) aponta para um cenário municipal semelhante ao nacional, entre os 89 agricultores entrevistados por ele, os sistemas de produção envolvidos na produção de hortaliças, frutas, plantas medicinais, PANCs e cogumelos comestíveis são predominantemente realizados por agricultores familiares. Sendo desenvolvidos, na maioria das vezes, em pequena propriedade rural com menos de 0,5 hectare, 1 hectare e até 2 hectares. Segundo o método de classes econômicas (A, B, C, D, E) do Instituto Brasileiro Geografia e Estatística e com base na análise da faixa de renda hortícola, a situação econômica desses agricultores está distribuída da seguinte forma: 63% na Classe E (recebe até 2 salários mínimos), 24% na D (2 a 4 salários mínimos), 11% na C (de 4 a 10 salários mínimos) e 2% na A/B (com mais de 10 salários mínimos).

A Tabela 1 mostra 10 hortaliças que são cultivadas em propriedades em Botucatu-SP. Os dados “porcentagem de produtores que as cultivam” e o “volume de produção anual” foram extraídos do trabalho que Silva (2019) desenvolveu, no qual, por meio do método bola de neve (BAILEY, 1994), dez agricultores familiares foram entrevistados. Todas as propriedades trabalham com policultivo, produzindo mais de quatro culturas, totalizando 55 plantas hortícolas nessas propriedades.

Tabela 1 – Algumas das plantas hortícolas produzidas em propriedades rurais de Botucatu e região

Espécies	Porcentagem de produtores que as cultivam	Volume de produção anual
Alface americana	90%	135032 pés
Alface crespa	100%	313352 pés
Berinjela	20%	16400 kg
Beterraba	50%	20560 kg
Cebolinha	100%	135140 maços
Couve-folha	80%	87984 maços
Quiabo	20%	9000 kg
Repolho-roxo	20%	17880 cabeças
Rúcula	70%	67112 maços
Salsinha	100%	137140 maços

Fonte: Adaptado pelo autor a partir de Silva (2019)

Apesar do tomate não compor esta lista local, ele é um dos principais produtos brasileiros, sendo produzidas cerca de 1.973,920t dele ao ano no Brasil (IBGE, 2017),

por esse motivo, também compõe as cultivares escolhidas para a produção de mudas no estudo, além das 10 hortaliças apresentadas anteriormente na Tabela 1.

2.4 Hortas comunitárias

Nos espaços urbanos e periurbanos, as hortas comunitárias são desenvolvidas em praças, áreas de escola, de centros sociais, de unidades de saúde ou de outros espaços públicos, que favorecem a interação entre as pessoas e fortalecem a comunidade e o comércio local; nas quais é possível exercer a cidadania, por meio da participação na organização da produção de alimentos orgânicos (BRASIL, 2014).

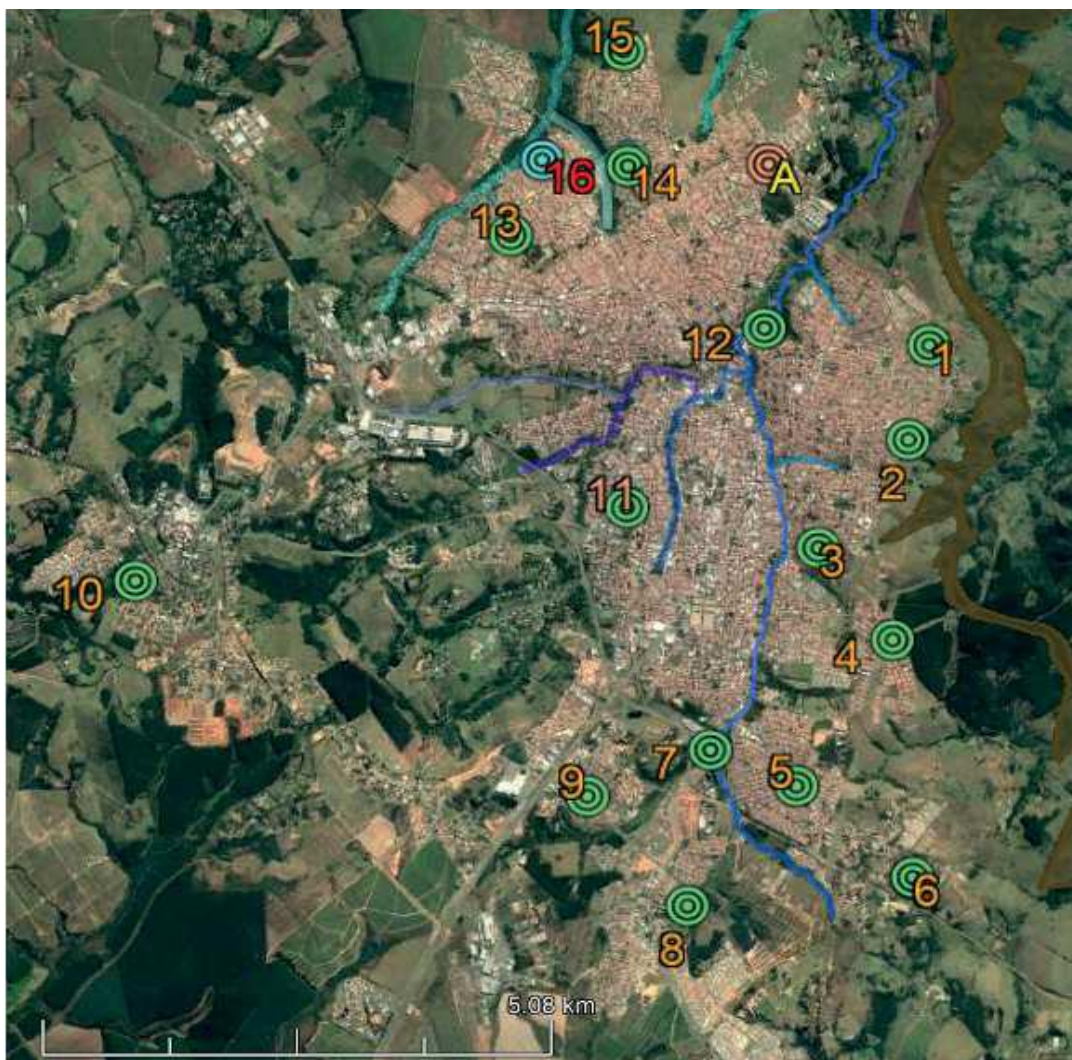
Estes espaços são muito importantes para a população em geral, pois garante a produção e comercialização de uma grande variedade de alimentos *in natura*, minimamente processados, sem uso de agrotóxicos, além de permitir o uso de espaços ociosos, contribuir para o aumento de empregos ao dar uma oportunidade para os produtores e oferecer alimentação adequada e com preço justo para os moradores locais (BRASIL, 2014).

Segundo Ferrari (2020) existem 16 hortas comunitárias em atividade no município de Botucatu (Figura 1). O projeto do Programa Agricultura Urbana já existe na cidade há 18 anos, criado em 2004. Atualmente é desenvolvido em parceria entre Secretaria Municipal do Verde, Secretaria de Assistência Social e FCA-UNESP/Botucatu. Os munícipes que trabalham nessas hortas são pessoas que têm o interesse em ser agricultores, havendo preferência para aqueles que se encontram em situação de vulnerabilidade social. A implantação das hortas é planejada, partindo-se da identificação e seleção de uma área adequada para a atividade, que tenha proximidade à moradia do agricultor e que atenda a demanda dos bairros nos arredores. Todas as hortas possuem uma produção diversificada e parte das mudas e insumos são financiadas pelo referido projeto, a outra parte é custeada pelos próprios responsáveis pela gestão do espaço. Ademais, a prefeitura municipal se responsabiliza pelos gastos referentes ao consumo de água, junto à SABESP por estar em área urbana. Neste projeto, há quase 50 cidadãos, que se comprometem a cultivar sem agrotóxicos, a comercializar por um preço inferior ao praticado nos

supermercados próximos. Os recursos financeiros obtidos pela venda dos produtos são designados integralmente a estes agricultores (CARINO, 2019).

A população do entorno da horta, mais de 1000 famílias, se beneficia socioeconomicamente com a compra dessas verduras e legumes, pois os preços aplicados são mais acessíveis e os produtos têm aderência com o tema da sustentabilidade, já que são produzidos pautados pela prática da agricultura sustentável. Todos os itens que sobram da produção devem ser entregues ao Programa Banco de Alimentos, onde é feita a redistribuição desses mantimentos às instituições de caridade (CONSEA, 2018).

Figura 1 – Mapa da localização das Hortas Comunitárias de Botucatu



1. Jardim Ciranda; 2. Cohab IV; 3. Asilo Padre Euclides; 4. Comerciantes; 5. Cohab I; 6. Convívio; 7. Funcionários Prefeitura; 8. 24 de Maio; 9. Marajoára; 10. Rubião Júnior; 11. Ceagesp; 12. Vila Ema; 13. Itamaraty; 14. Seriema; 15. Monte Mor; 16. São Caetano; A. Jardim Comestível Paraíso.

Fonte: Ferrari (2020)

2.5 Produção de mudas de hortaliças

Como reiterado anteriormente, a produção diversificada de mudas de hortaliças pode ser uma boa alternativa à aquisição no comércio para agricultores familiares e hortas comunitárias do município de Botucatu-SP, pois ambos os grupos frequentemente trabalham com várias cultivares simultaneamente, além de possuírem áreas relativamente pequenas, também apresentam demanda frequente de mudas para conseguir manter a regularidade da produção hortícola.

Os deslocamentos recorrentes para a compra de mudas tendem a ser um problema, devido aos altos custos do combustível, valores altos de manutenção dos veículos e das distâncias percorridas dos agricultores familiares, que geralmente se encontram em zona rural. Já os agricultores das hortas comunitárias costumam entrar no programa por estarem em uma situação de vulnerabilidade social e econômica e, apesar de estarem próximos do comércio, geralmente eles possuem baixo poder aquisitivo e qualquer valor despendido na compra de mudas afeta a renda familiar.

Para se obter uma produção bem-sucedida, há a necessidade de manejo e instalações adequadas, em que se considere a lógica do processo produtivo, bem como o entendimento e o manejo dos elementos envolvidos (GONÇALVES,1995). Estas informações estão contempladas a seguir.

2.5.1 Semente

A maioria das espécies de hortaliças é plantada por sementes pela semeadura direta, tais como abóbora, agrião, alho, batata, cenoura, coentro, pepino, quiabo, rabanete ou salsa; outras espécies, como alface, berinjela, cebola, couve, couve-flor, brócolis, pimenta, pimentão e tomate, são plantadas por semeadura indireta, que consiste na produção da muda em sementeira, para posterior transplântio (AMARO *et al.*, 2007).

A maior parte das hortaliças possui semente bem pequena, que apresenta muita sensibilidade a fatores externos, como chuva, vento, incidência solar; por isso, a semeadura em bandejas dentro de estufas é uma opção viável para que a muda tenha condições favoráveis para se desenvolver de forma satisfatória. Mas, para que

isso ocorra, é importante ter um substrato adequado para este crescimento. A semeadura indireta, por meio da utilização de bandejas, para a produção de mudas e posterior transplante para a lavoura definitiva é o método de propagação mais empregado para a maioria das espécies de hortaliças (FILGUEIRA, 2000).

2.5.2 Estufa

As estufas são estruturas que tem por objetivo o acúmulo, a contenção e o controle do calor em seu interior, o que permite uma temperatura maior, se comparado ao ambiente externo. Estes ambientes apresentam alguns benefícios, tais como a proteção da planta da ação de pragas agrícolas, proteção contra intempéries climáticas, como o vento, chuva e radiação solar, e de outros fatores que possam prejudicar o desenvolvimento das plantas (OLIVEIRA, 2007).

As estruturas das estufas podem ser construídas com diferentes materiais: alumínio, aço, madeira ou bambu. O alumínio possui maior durabilidade devido a sua alta resistência a corrosão, por outro lado é a material mais caro, sendo mais indicado para estufas com cobertura de vidro ou plástico rígido. Já o aço é indicado tanto para coberturas rígidas, quanto para coberturas com filme plástico, tem alta longevidade (décadas), alto custo para aquisição e um custo médio de manutenção relacionados a proteção anticorrosiva. Já as de madeira e bambu tem a matéria prima mais acessível, são adequados para cobertura com filme plástico e tem a menor vida útil comparando-se com as metálicas (BUCKLIN, 2013).

O uso do bambu na construção da estrutura das estufas ou cultivos e em bioconstruções é muito interessante sob o ponto de vista econômico, porque os insumos utilizados nas estufas convencionais podem atingir um valor inacessível para a maioria dos agricultores familiares (SILVA, LIMA e OLIVEIRA, 2011).

2.5.3 Substrato

Novas tecnologias vêm sendo desenvolvidas para o cultivo de hortaliças. Dentre elas estão inseridas aquelas que, a partir do aproveitamento de diferentes resíduos, utilizando a processo de compostagem, possibilitam o preparo de substratos

para a produção de mudas e cultivo de hortaliças sem o uso do solo (LIZ e CARRIJO, 2008).

Segundo Lima (2014), a compostagem é uma alternativa de adequação de resíduos e subprodutos de natureza orgânica, que podem ser usados com fins agrícolas. O processo de compostagem é uma técnica que visa acelerar e direcionar a decomposição de materiais orgânicos; os procedimentos utilizados reproduzem condições ideais para aumentar a eficiência da atividade, produzindo substrato rico em nutrientes. Esses compostos orgânicos podem fornecer os nutrientes necessários para a produção das mudas, substituindo o composto comercial.

O processo de compostagem aeróbica, fechada e estática é realizado em três fases: fermentação, bioestabilização e humidificação. A decomposição se dá pelo desprendimento da energia sob a forma de calor, em decorrência da quebra da cadeia carbônica da glicose, aumentando a temperatura até 70°C, isto acaba diminuindo a porcentagem de umidade do material e de seu volume, pois retira água em forma de vapor de acordo com Noguera (2011). Há também o desprendimento de gases, especialmente o CO e CO₂.

Uma medida adequada para diminuir os gastos e aumentar a facilidade de produção de substratos é a utilização de materiais existentes na propriedade ou na região. Tal material deverá ser de boa qualidade, adequar-se à produção orgânica, estar isento de mineiras ou outras substâncias fitotóxicas, bem como de fitopatógenos, de pragas ou de estruturas de plantas não desejáveis. (SEDIYAMA, SANTOS e LIMA, 2014).

A compostagem necessita de uma mistura de matérias com altas relações de carbono nitrogênio (C:N), como palhadas e serragem, com materiais ricos em nitrogênio, como esterco, tortas e leguminosas (LEAL *et al.*, 2013). Segundo Schaub e Leonard (1996), ao iniciar o processo de compostagem os materiais utilizados devem que misturados em proporções que resultem em uma leira com relação C:N entre 25:1 e 35:1, pois se esta relação for mais baixa (< 25:1), o excesso de N será perdido como amônia; caso a quantidade de C seja elevada (>35:1), a compostagem será lenta e a maior parte do C será perdida como CO₂.

Segundo a Secretaria de Agricultura e Abastecimento, por meio da Coordenadoria de Desenvolvimento Rural Sustentável – CDRS (SÃO PAULO, 2019) a área cultivada no município de Botucatu de capim-elefante é de 176,6 hectares e de 25649,1 hectares de braquiária (2016/17), sendo assim, no município de Botucatu é fácil encontrar essas fontes de carbono abundantes para produzir de forma local o composto a ser usado como substrato.

Uma opção de material rico em N é a torta de mamona, apesar de conter compostos químicos potencialmente tóxicos, como a ricina e ricinina, quando misturada a outras matérias primas para a produção de adubo orgânico, não suprime a atividade dos organismos promotores da compostagem como Acari, Entomobryomorpha, Coleoptera, Diplura e Formicidae (SCORIZA *et al.*, 2016). O composto resultante da decomposição de capim-elefante com torta de mamona apresentou um elevado teor de N, com a obtenção de material orgânico estabilizado sem a utilização de qualquer inoculante ou aditivo (LEAL *et al.*, 2013).

Antes do uso do composto, se o processo de compostagem não atingir temperaturas altas em sua fase inicial, o substrato deverá ser submetido ao processo de solarização, que consiste em deixar o substrato ser aquecido pela radiação solar, para que ocorra desinfecção e inativação de estruturas e sementes de plantas espontâneas (SEDIYAMA, SANTOS e LIMA, 2014).

2.5.4 Água

Na agricultura irrigada, a qualidade da água é tão importante quanto sua quantidade; porém a importância da qualidade só começou a ser reconhecida a partir do século XX. Anteriormente, a disponibilidade de água de boa qualidade era maior e a demanda agrícola menor. Como o cenário atual se inverteu, o uso de águas de qualidade inferior vem crescendo (AYERS e WESTCOT, 1991). É necessário avaliar as características que determinam a qualidade da água para a irrigação como, por exemplo, a concentração de sais solúveis ou salinidade, por ser um fator limitante ao desenvolvimento de algumas culturas (BERNARDO, 1987). O entupimento de emissores também é um problema relacionado a qualidade da água, pode ser resultado da precipitação de sais, crescimento de algas e até mesmo sedimentos em

suspensão na tubulação, gerando despesas de manutenção e comprometendo a eficiência do sistema de irrigação.

Segundo a ANA (2015), 72% do volume de água disponível para o consumo no Brasil é destinado à irrigação na agricultura, são cerca de 792 m³ por segundo. Atualmente, um dos grandes desafios da agricultura é produzir alimentos com menor quantidade de água, por meio de sistemas de irrigação mais eficientes.

2.5.5 Qualidade da muda

A qualidade das mudas é determinante para o desempenho produtivo das plantas, portanto a produção de mudas é uma das etapas mais relevantes no processo de produção de hortaliças. Tal etapa é altamente dependente de insumos, como sementes e substrato para a germinação, para o enraizamento e para o crescimento das mudas (SEDIYAMA, SANTOS e LIMA, 2014).

Adquirir mudas de hortaliças com qualidade é um grande desafio para o agricultor, pois elas podem ter um alto valor monetário, contribuindo com uma alta porcentagem do custo total da produção, sendo assim, é necessário que haja diminuição da entrada de insumos externos na propriedade, utilização de recursos disponíveis localmente para reduzir os custos do sistema de produção (GUEDES *et al.*, 2017).

2.6 Emergia

Tendo em vista a importância das mudas para a horticultura e a busca por sistemas produtivos menos impactantes ao meio ambiente, uma opção que deve ser levada em conta pelo agricultor é a produção própria de mudas de qualidade e de forma sustentável. Para avaliar as formas de produção de mudas e para direcionar os produtores para tomadas de decisões conscientes quanto ao modelo produtivo a ser implantado ou em relação a ajustes no sistema em vigência devem utilizadas ferramentas apropriadas. Neste trabalho a ferramenta utilizada foi a análise emergética.

Criada pelo cientista e ecologista Howard Thomas Odum (1924[☆] - 2002[†]), em 1967, a emergia, do inglês “emergy”, foi originada a partir da contração da expressão “embodied energy” (energia incorporada), também pode ser entendida como memória energética (VARGAS e MARTINS, 2015). Odum (1996) define a emergia como a energia disponível de um tipo que foi previamente utilizada direta e indiretamente para tornar disponível um produto ou serviço, em um determinado processo, ou seja, mede o consumo total de recursos para produzir tal produto ou serviço, que é a soma do trabalho da natureza e do ser humano.

Posteriormente, o conceito foi sintetizado como “o trabalho total despendido para produzir um recurso” (ODUM, 2000). Se trata de uma ferramenta biofísica de avaliação de sustentabilidade. Essa categoria, que engloba outras ferramentas com a análise de exergética e a pegada ecológica, contabiliza a quantidade de recursos, no sentido mais amplo, que foram investidos para a produção de um bem ou serviço. Para isso, utiliza-se um único parâmetro, julgado o mais importante, na avaliação de projetos. Parte de uma perspectiva de avaliação “ecocêntrica” que é diferente daquela da análise econômica padrão, para uma perspectiva antropocêntrica (GASPARATOS e SCOLOBIG, 2012).

Para Ortega (2010a), a utilização da emergia pode permitir que os recursos da natureza (renováveis/gratuitos) tenham o seu valor medido e reconhecido. Desta forma, toda a contribuição à produção que não se calcula somente para fins econômicos é definida como emergia, pois, a emergia leva em consideração todos os recursos, ou seja, recursos renováveis (R), recursos não renováveis (N) e recursos da economia (F) utilizados para se produzir algo.

Enquanto pelo método econômico tradicional são analisados somente os custos fixos, custos variáveis e o mercado, portanto, para a comercialização deste produto, não são consideradas as contribuições da natureza e dos ecossistemas que estão envolvidos diretamente em sua produção.

Para ser possível comparar recursos com naturezas e características diversas é preciso padronizar a unidade de medida utilizada. A energia de radiação solar foi escolhida por ser a maior e a mais dispersa entrada de energia disponível para a Terra, por isso, a unidade padrão adotada para os cálculos emergéticos é o seJ (Joules de energia solar), em vez de ser mensurado em moeda.

2.6.1 Hierarquia e transformidade nos sistemas

De acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica, qualquer transformação de energia usa muitas calorias de energia disponível de um tipo para gerar algumas calorias de energia disponível de outro tipo, pois no processo sempre existe “perda” de energia (entropia da transformação). Assim, as transformações formam uma hierarquia de energia (BROWN, ODUM e JORGENSEN, 2004; MARCÍLIO, 2017). Seguindo essa lógica, todas as transformações de energia da geobiosfera podem ser organizados uma série ordenada formando uma hierarquia de energia. Por exemplo, são necessários muitos joules de luz do sol para fazer um joule de cana-de-açúcar, muitos joules de cana-de-açúcar para fazer um joule de etanol (combustível), vários joules de etanol são necessários para produzir um joule de energia elétrica e assim por diante.

O desenvolvimento do conceito de energia, juntamente com sua base teórica, não pode estar dissociado do desenvolvimento do conceito de qualidade de energia. Diferentes formas de energia possuem qualidades distintas, o que significa que não possuem a mesma capacidade de realizar trabalho. Para que se possa realizar comparação de diferentes formas de energia é preciso encontrar uma equivalência para compará-las. Ou seja, quando diferentes formas de energia são adicionadas a um sistema, é necessário convertê-las em uma medida comum, considerando tanto sua quantidade quanto sua qualidade (BROWN e ULGIATI, 2004; MARCÍLIO, 2017). Para conseguir isso, a energia disponível de diferentes formas de energia é avaliada por meio da energia de um tipo previamente necessário para produzi-lo (BROWN e ULGIATI, 2004). O reconhecimento das diferenças em qualidade foi essencial para o desenvolvimento da metodologia em energia.

Segundo Odum (1996), a posição na hierarquia de energia é medida com transformidade, cujo nome foi dado para definir o fator de transformação de energia. Em outras palavras, a transformidade apresenta quanta energia solar é necessária para gerar uma unidade de qualquer produto. A transformidade da luz solar foi definida como $1,0 \text{ seJ J}^{-1}$ por definição. A quantidade de um determinado tipo de energia é contabilizada em emergia por meio da sua transformidade. Pode se definir transformidade como a quantidade, em joules, de energia disponível de um tipo necessária para produzir um joule de outro tipo de energia (ODUM, 1996). É uma

medida da quantidade de recursos necessários para produzir um joule de alguma coisa, o inverso de uma eficiência (SCIUBBA, 2010). Logo, a transformidade tem como função equiparar todos os valores em uma única base, a energia solar, permitindo a comparação de sistemas.

A transformidade é definida pela seguinte equação:

$$Tr (seJ/J) = \frac{Y (seJ)}{E (J)}$$

Onde:

Tr = transformidade

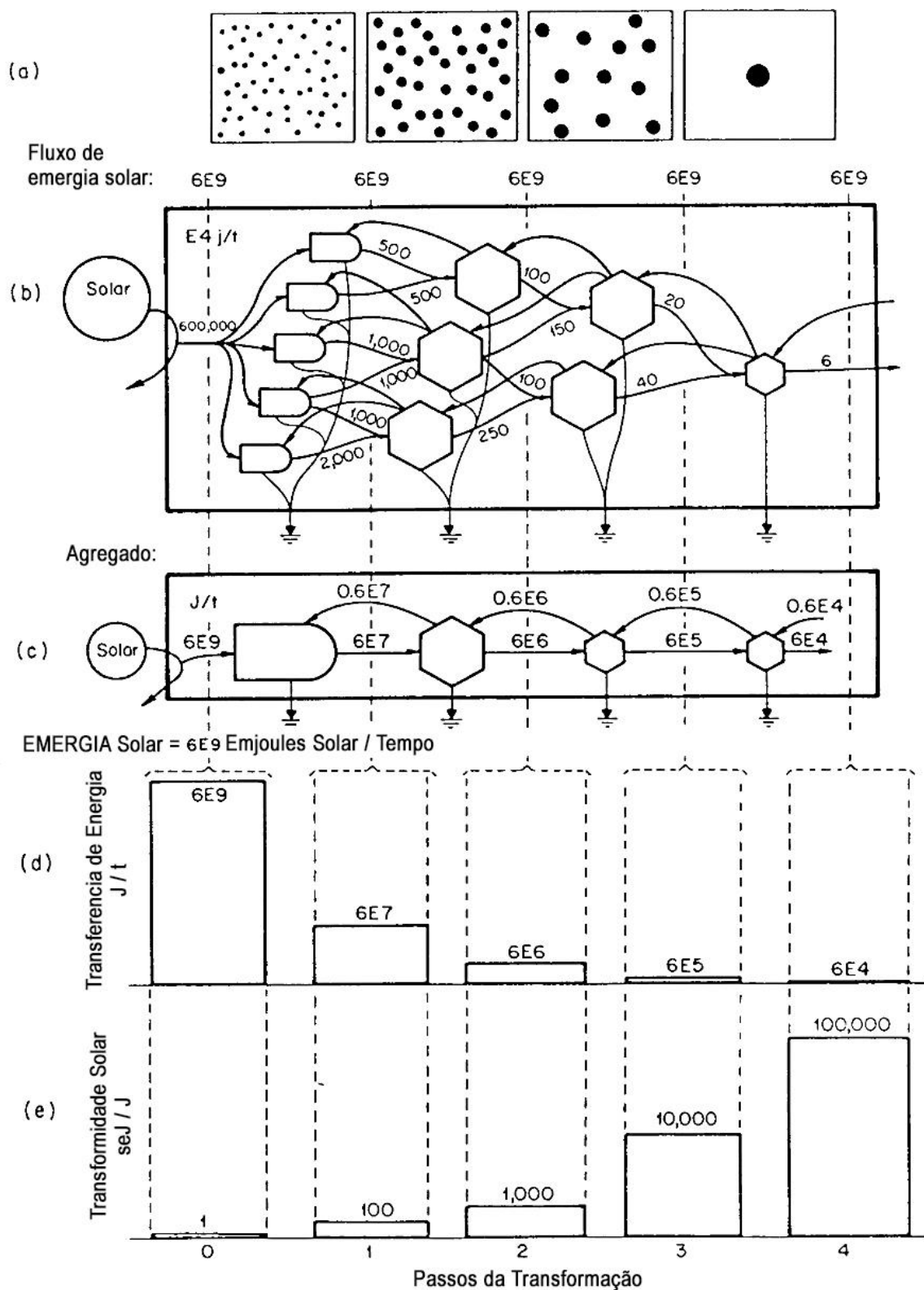
Y = energia total

E = energia útil produzida

A Figura 2 é um resumo gráfico dos conceitos descritos acima. Mostra a hierarquia da transformação de energia sobre diferentes aspectos:

- Ocupação do território pelas unidades da rede de energia. Apesar do fluxo de energia diminuir devido as transformações, o que é transmitido é concentrado no próximo nível (menos bolinhas, porém maiores);
- Rede de energia, com suas transformações e retroalimentação (por exemplo, o corpo decomposto de um herbívoro é convertido em matéria orgânica que fornece nutrientes para plantas que compõe o nível trófico anterior);
- Representação das unidades agregadas de mesmo nível trófico formando não mais uma rede, mas sim, uma cadeia emergética;
- Gráfico de barras dos fluxos de energia diminuindo ao longo dos níveis tróficos devido a entropia existente nas transformações energéticas;
- Gráfico dos valores da transformidade aumentando ao longo dos níveis tróficos devido ao crescimento do investimento emergético.

Figura 2 – Hierarquia da transformação de energia

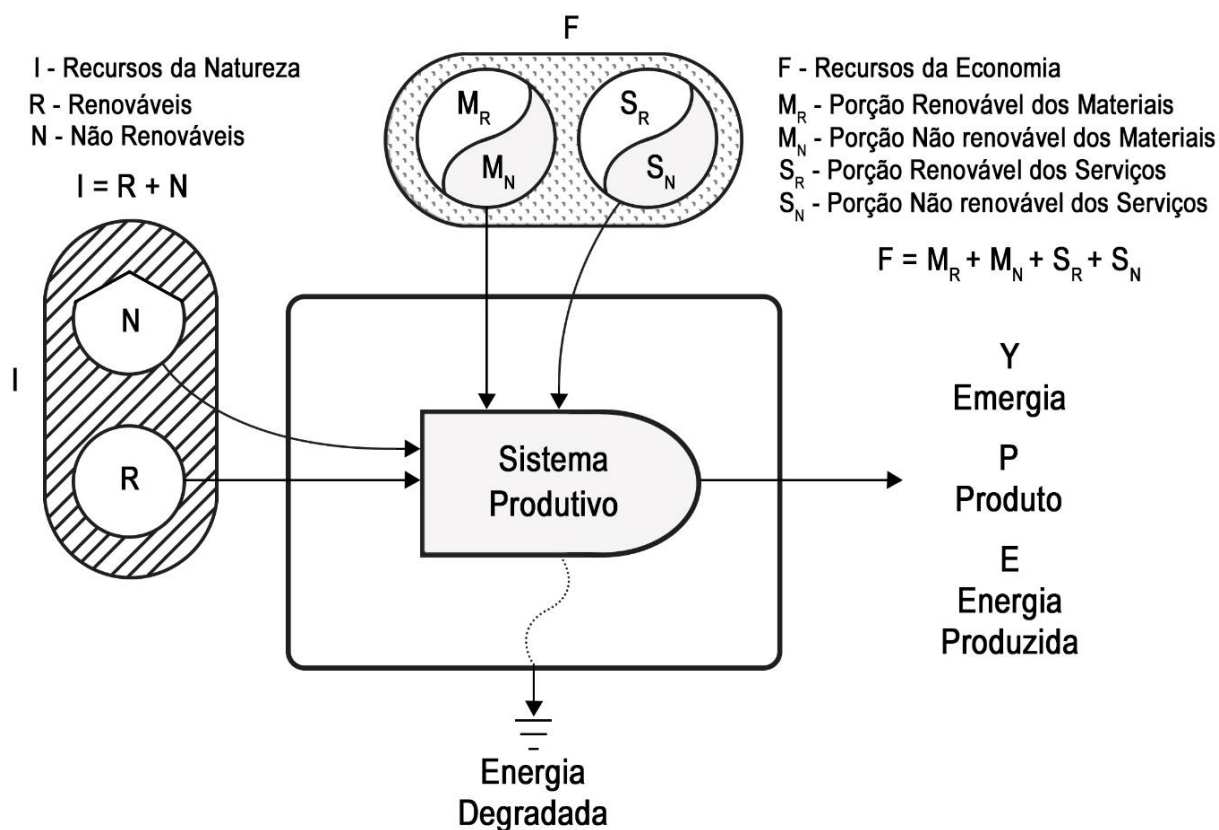


Fonte: Adaptado pelo autor de Odum (1996)

2.6.2 Diagrama Sistêmico

A metodologia emergética exige um trabalho importante de observação do ecossistema para mostrar em um diagrama como interagem as forças naturais e as forças mobilizadas pelo homem. É uma abordagem que parte da visão do todo, que avalia as interações entre os componentes do ecossistema, representados em fluxos agregados de energia (ORTEGA, 2011). A Figura 3 exemplifica a forma de um diagrama em um sistema produtivo rural.

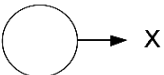
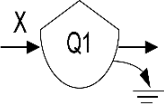
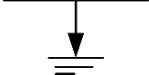
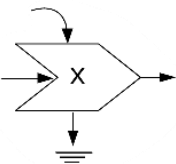
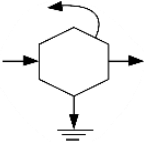
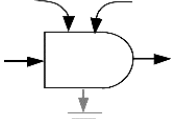
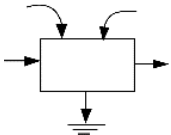
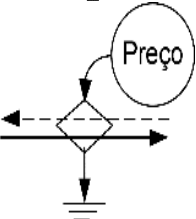
Figura 3 – Diagrama de Fluxos Agregados de um sistema rural



Fonte: Adaptado pelo autor de Ortega (2010b)

Para construção do diagrama são utilizados símbolos da linguagem de fluxos de energia, os mais comuns estão representados na Tabela 2.

Tabela 2 – Símbolos da linguagem de fluxos de energia

Símbolo	Descrição
	Caminho de energia: O caminho de uma força cujo fluxo é proporcional à quantidade de energia potencial existente no estoque de onde provém.
	Fonte: Fonte externa de energia que fornece força de acordo com um programa controlado externamente: uma função forçante.
	Estoque: É um depósito de energia dentro do sistema que acumula uma quantidade de acordo com o balanço de entradas e saídas desse volume de controle.
	Sumidouro de calor: Dispersão da energia potencial em forma de calor de baixa intensidade que acompanha todos os processos de transformação e de armazenagem de energia.
	Interação: Interseção de fluxos em um processo que produz um recurso em proporção às energias das entradas.
	Consumidor: Unidade que transforma e armazena energia de qualidade, ao mesmo tempo que oferece um laço autocatalítico para aumentar e melhorar as entradas e dissipa calor de baixa intensidade.
	Produtor: Uma unidade que aproveita e transforma energia de baixa qualidade sob controle de fluxos de alta qualidade.
	Caixa: Um símbolo usado para mostrar que existe um subsistema ou processo que não se deseja detalhar.
	Transação: Unidade que indica a venda de bens ou serviços (linha sólida) em troca do pagamento de dinheiro (linha tracejada). O preço é representado como uma força externa.

Fonte: Adaptado pelo autor de Ortega (2011)

2.6.3 Indicadores Emergéticos

Após os cálculos emergéticos para todos os recursos R, N e F utilizados em um sistema, esses dados podem ser submetidos a diferentes indicadores emergéticos que possuem finalidades diferentes, permitindo a análise e a comparação dos sistemas, além de apontar os esforços que devem ser feitos para aprimorá-los. O Rendimento emergético (EYR) apresenta a capacidade de o sistema utilizar recursos locais, porém, não diferencia os recursos renováveis dos não renováveis (ULGIATI e BROWN, 1998). O Investimento emergético (EIR) indica o investimento da sociedade para produzir determinado bem em relação à contribuição da Natureza, valores reduzidos desse índice indicam pouco uso de recursos da economia. A Carga ambiental ou Impacto ambiental (ELR), para esse índice quando menor for o valor obtido menor o uso de recursos da economia e de recursos não renováveis, acompanhados de um consumo alto de recursos renováveis. O Índice de sustentabilidade (ESI), valores altos indicam maior sustentabilidade de um sistema produtivo. A Renovabilidade emergética (%R), quanto maior for esse índice, maior será a utilização de recursos renováveis e, conseqüentemente, uma utilização muito baixa de recursos não renováveis e econômicos (DIAS, 2019).

2.6.4 Análise Emergética

O diagnóstico de sistemas que utiliza a metodologia emergética como ferramenta de trabalho recebe o nome de análise emergética (BROWN e ULGIATI, 2004). A partir da visão de um sistema completo são identificados e mensurados seus fluxos e estoques que convertem valores significativos de energia para a existência dos sistemas em questão (ORTEGA, 2011).

A metodologia emergética se inicia com a construção do diagrama do processo estudado. A partir do diagrama, se faz o levantamento de dados dos fluxos de entrada e saída e dos estoques internos do sistema estudado. Essas informações são tabeladas e classificadas com R, N ou F. Para que seja possível a comparação entre energias com naturezas e qualidades diferentes é feita a conversão para a energia por meio da transformidade das diferentes energias. Esses dados, então, podem ser

analisados por meio dos índices emergéticos, obtendo assim o diagnóstico do sistema estudado (ODUM, 1996).

O uso da métrica da Análise Emergética vem crescendo. Em uma busca por assunto feita em junho de 2021 no Portal de Periódicos da CAPES/MEC com a palavra “emergy” foram encontrados 3005 resultados, sendo que 37,9% (1139) correspondem a publicações feitas nos últimos cinco anos (CAPES, 2021). A natureza da métrica permite que ela seja utilizada em diferentes contextos. Dentre essas pesquisas, há uma grande diversidade de assuntos trabalhados, tais como sistemas de cultivo (ASGHARIPOUR, AMIRI e CAMPBELL, 2020), produção animal (ALLEGRETTI *et al.*, 2018), gestão de resíduos (AGOSTINHO *et al.*, 2013), comércio entre nações (GIANNETTI *et al.*, 2013) e fluxos de informação (ABEL, 2013).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local e época

O presente estudo foi desenvolvido no município de Botucatu, situado na região centro-oeste do Estado de São Paulo, distante 224,8 km da capital paulista, com acesso facilitado pelas rodovias Marechal Rondon e Castelo Branco. Pelo método de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa, caracterizado como clima temperado quente (mesotérmico) úmido (CUNHA e MARTINS, 2009). A altitude do município varia de 756m a 920m. A média anual de chuvas é de 1.501,4 mm, sendo o primeiro trimestre o mais chuvoso, com cerca de 652,6 mm, o que corresponde a 43,5% do total; o trimestre menos chuvoso é o que compreende os meses entre julho e setembro, com a precipitação de 166,8 mm, 11,1% da chuva anual. A temperatura média anual do município é de 20,3°C e a umidade relativa média anual é de 73,9%.

A radiação solar que incide sobre o município é de 5,05 kWh m⁻² dia⁻¹ (média dos últimos 22 anos) e a velocidade médio do vento ao longo do ano é de 1,07 m s⁻¹ (média dos últimos 30 anos). Os dados meteorológicos de longo prazo (1971 a 2006) foram obtidos da Estação Meteorológica do Departamento de Ciência de Solos e Recursos Ambientais – FCA/UNESP, Botucatu, SP (UNESP, 2013). Já os dados de radiação solar e velocidade do vento foram obtidos do programa da NASA “Prediction of World Energy Resources” (NASA, 2021).

O mapa (Figura 4) mostra as localidades relacionadas com a pesquisa em Botucatu-SP. O cultivo da crotalária (*Crotalaria Juncea* L.) ocorreu na Horta Comunitária da Seriema (local B), durante o período de Fevereiro a Maio de 2020. Já a estufa de bambu foi construída em terreno particular (Local A), localizado na área urbana da cidade (22°85’S, 48°45’O) em Abril de 2020 e o cultivo diversificado de mudas nessa estufa em Janeiro a Março de 2021. A avaliação do uso de compostos orgânicos como substratos alternativos para a produção de mudas ocorreu no Viveiro de Pesquisa em Produção de Mudas Florestais (Local C), pertencente ao Departamento de Ciência Florestal, Solo e Ambiente da Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA) – UNESP (22°31’S, 48°15’O), a 840 metros de altitude, no período de Maio a Junho de 2021.

O Bambu e o capim Napier foram coletados no Sítio Beira Serra (Local D) ($22^{\circ}86'S$, $48^{\circ}42'O$). A braquiária foi coletada em lote urbano, recém roçado, vizinho ao terreno onde a estufa de bambu foi construída.

Figura 4 – Mapa com os locais relacionados com a pesquisa em Botucatu-SP



A. Local onde a estufa de bambu foi construída; **B.** Horta Comunitária da Seriema; **C.** Viveiro de Pesquisa em Produção de Mudanças Florestais; **D.** Sítio Beira Serra.

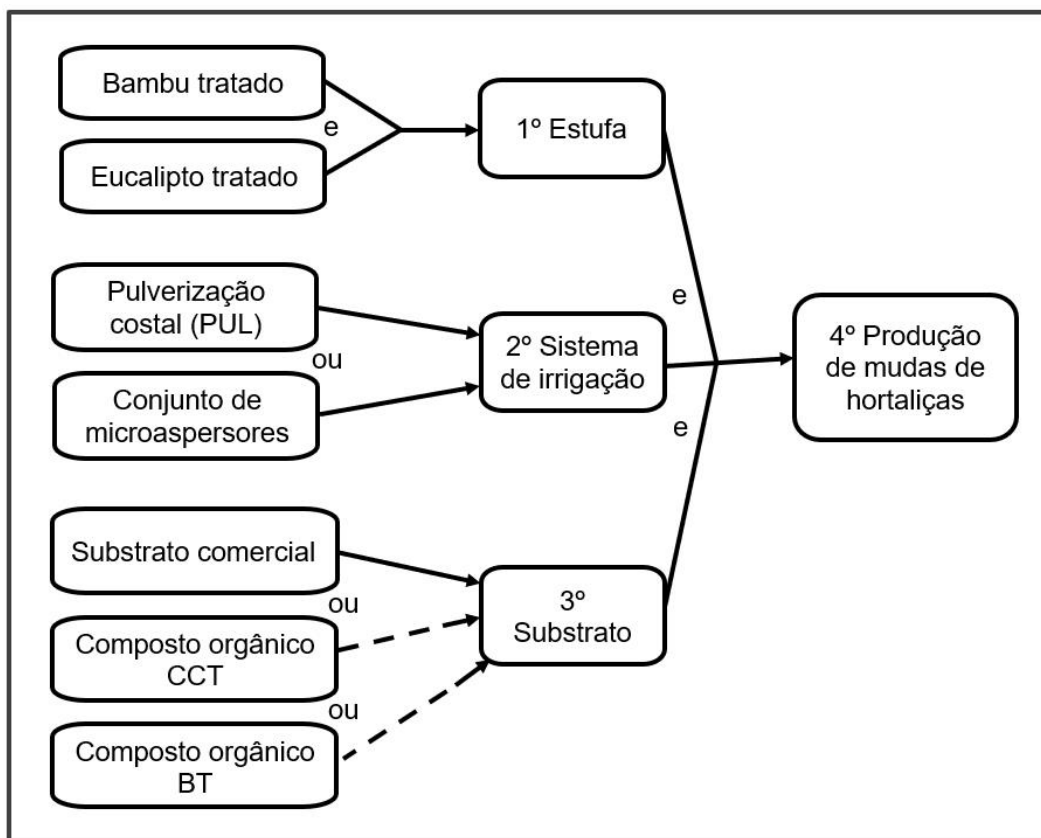
Fonte: Elaborado pelo autor a partir de imagem do Google Earth (2021)

3.2 Estruturação das análises emergéticas

Esse trabalho analisa energeticamente da produção de mudas de hortaliças do município de Botucatu-SP, em um sistema produtivo adequado para a realidade da maioria dos agricultores e hortas comunitárias da cidade.

Para atender esse objetivo foi preciso construir a análise a partir das estruturas e insumos necessários à produção das referidas mudas. A realização desta pesquisa seguiu-se do estudo dos itens presentes na Figura 5 e descritos em seguida.

Figura 5 – Organograma da sequência de análises emergéticas feitas ao longo desse trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

1º. A estufa: estrutura principal à sustentação da produção. Tal estrutura pode ser confeccionada por meio de diferentes matérias primas, que foram descritas da revisão bibliográfica e a partir dela, em consonância com o que é praticado na região pode ser comparada com aquelas confeccionadas com matérias primas distintas. Neste caso, o bambu tratado e o eucalipto tratado são os materiais base para construção da estufa, logo a análise emergética deles é o ponto de partida para então poder calcular a energia da estufa.

2º. O sistema de irrigação: houve a necessidade de se comparar, emergeticamente, a sustentabilidade de um sistema utilizando a pulverização costal e outro sistema regido por microaspersores, por serem formas usuais de produção de mudas.

3º. O substrato utilizado na produção diversificada de mudas de hortaliças: comparação de substratos, sendo um oriundo de sistema industrial (substrato comercial) e dois produzidos localmente por meio de processos de compostagem (compostos orgânicos CCT e BT). Esses compostos orgânicos produzidos nesse estudo foram analisados emergeticamente quanto a sua produção e passaram por avaliação de sua composição química e teste do seu potencial uso como substrato para produção de mudas (usando a alface para esse teste), antes de entrar como insumo para análise emergética da produção diversificada de mudas com os 11 cultivares. Já o substrato comercial teve sua energia aferida a partir do seu valor de mercado, pois apesar dos materiais que o compõe serem descritos na embalagem, a porcentagem de cada item não é revelada por ser um “segredo da empresa fabricante”, e sem esses dados não é possível fazer uma análise emergética mais precisa para esse insumo.

4º. A muda de hortaliça: por fim, após desses procedimentos, pode-se apresentar a análise emergética das mudas que foi realizada para as principais cultivares demandados pelos produtores locais (11 cultivares): obtendo-se ao final da análise a energia por unidade de muda de hortaliça.

3.3 Etapas da Análise Emergética

3.3.1 1ª Etapa: Construção dos Diagramas Sistêmicos

O propósito da elaboração do diagrama ESL (Energy Systems Language), às vezes chamado de Energese, é realizar um inventário crítico de processos, estoques e fluxos importantes que atravessam as fronteiras do sistema e as variações dos estoques internos; trata-se de uma linguagem matematicamente definida para modelagem (ODUM, 1996). Além disso, a construção do diagrama permite entender

a lógica do sistema. Com essa ferramenta, é preciso definir os limites temporais da análise, que geralmente é feita em um intervalo de um ano.

3.3.2 2ª Etapa: Elaboração das Tabelas de Cálculo Emergético

A partir do diagrama, os dados puderem ser coletados e organizados na forma de tabelas dos fluxos de entrada de materiais, trabalho e energia do sistema. A Tabela 3 mostra de que forma os dados estão organizados para se obter o fluxo de energia de cada item.

Tabela 3 – Estrutura da tabela para cálculo dos fluxos emergéticos

01	02	03	04	05	06	07	08	09
Nº	Item	%R	Valor	Uni	UEV	Fluxo de energia	Ref. (UEV)	%

Fonte: Adaptado pelo autor de Ortega (2011)

Coluna 01: número sequencial. Serve como referência para descrição dos dados presentes na linha;

Coluna 02: nome do item;

Coluna 03: renovabilidade emergética do item;

Coluna 04: valor quantitativo do item;

Coluna 05: unidade de medida do valor da coluna 04;

Coluna 06: Valor Unitário de Energia (UEV em inglês, Unit Emergy Values). É a energia pela unidade de medida expressa na coluna 05;

Coluna 07: fluxo de energia solar. É o resultado da multiplicação da coluna 4 com a coluna 6;

Coluna 08: referência da UEV utilizada (dentre os valores encontrados na literatura, é escolhido aquele que tem características mais próximas ao item do estudo);

Coluna 09: porcentagem de energia que o item possui em relação a energia total do processo analisado.

O fluxo anual de energia de entrada para o sistema foi estimado para as instalações estruturais e materiais usados nesses sistemas de acordo com sua vida útil (ASGHARIPOUR, AMIRI e CAMPBELL, 2020). O tempo de vida da cobertura plástica da estufa, bambu tratado, base de eucalipto tratado e bandejas de plástico rígido foi estimado em 3 anos, 6 anos, 12 anos e 12 anos, respectivamente.

Todos os materiais e serviços considerados significativos para os sistemas analisados presentes nas “Tabelas de Cálculo Emergético” foram convertidas em fluxos de energia por meio da multiplicação de suas quantidades pelas UEVs apropriadas, que foram adaptadas de estudos anteriores após o exame de sua generalização para as condições de Botucatu.

Porém, sempre que o insumo adquirido que compõe o sistema produtivo não possui uma UEV adequada na literatura para a quantificar sua energia, utiliza-se o energia contida no valor monetária gasto para adquirir o insumo. Para calcular a energia contida na unidade monetária Real (R\$), utilizou-se como base os dados de Santos (2020) da Energia Total (Y) do Brasil, que foi de $2,19E+25$ seJ em 2018 (dado mais recente encontrado) e o PIB (produto interno bruto) brasileiro foi de 3,37 trilhões de dólares ($3,37E+12$ US\$) no mesmo ano. A divisão da Energia total usada do país por seu PIB resulta no Emdólar (EMR) do país que no caso é igual de $6,50E+12$ seJ US\$⁻¹. Em seguida, para obtenção da energia por unidade de real dividiu-se o EMR pelo valor médio do dólar para o ano de 2020 sendo R\$ 5,16 (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2020). O valor resultante foi de $1,26E+12$ seJ R\$⁻¹.

Equações para o cálculo da energia da Moeda Real:

$$\text{Energia da Moeda Real (seJ R\$}^{-1}\text{)} = (\text{EMR do Brasil, } 6,50E+12 \text{ seJ US\$}^{-1}) \div (\text{câmbio, } 5,16 \text{ R\$ US\$}^{-1}) = 1,26E+12 \text{ seJ R\$}^{-1}$$

$$\text{Emdólar (EMR) brasileiro (seJ US\$}^{-1}\text{)} = (\text{energia total, } 2,19E+25 \text{ seJ}) \div (\text{PIB, } 3,37E+12 \text{ US\$}) = 6,50E+12 \text{ seJ US\$}^{-1}$$

Para o cálculo da energia do vento, inicialmente, é necessário ter conhecimento de algumas informações como altitude da localidade e temperatura. Com esses dois dados, pode-se inferir a densidade do vento por meio da ferramenta Engineering

toolbox (2021); neste caso, tem-se a altitude de 825 m e a temperatura média no município de Botucatu-SP de 20,03°C, o que resulta em uma densidade de 1,466 kg/m³. A partir dessa informação, juntamente com o valor da velocidade do vento, é possível calcular a energia cinética e em seguida o valor da emergia, por meio da multiplicação do valor da energia cinética pelo valor da transformidade do vento (1,50 E+03 seJ J⁻¹), descrita por Odum (1996). Dessa forma encontramos, para o contexto da localidade onde o trabalho foi desenvolvido, que a emergia do vento é de 5,34E+0 seJ s⁻¹.

Equações para o cálculo da emergia do vento:

Energia cinética do vento (seJ s⁻¹) = (energia, 3,59 E-3 J s⁻¹) x (transformidade, 1,50 E+03 seJ J⁻¹) = 5,34E+0 seJ s⁻¹

Energia cinética do vento (J s⁻¹) = (densidade do ar, 1,466 kg m⁻³) x (coeficiente de arrasto, 0,002) x (velocidade do vento, 1,07 m s⁻¹)³ = 3,59 E-3 J s⁻¹

Transformidade do vento, cinético: 1,50 E+03 seJ J⁻¹ (ODUM,196)

Densidade do ar = 1,466 kg m⁻³ (ENGINEERING TOOLBOX, 2021)

Coeficiente de arrasto: 0,002 (ASGHARIPOUR, AMIRI e CAMPBELL, 2020)

No caso da mão de obra, a Transformidade usada foi de 1,15E+07 seJ J⁻¹ que é um valor específico calculado por Bonilla et al. (2010) para o trabalho humano no Brasil. Esse cuidado com o contexto nacional também foi levado em conta para a porcentagem da renovabilidade desse item que no caso do Brasil é de 50%. Diferentes de outros países, como a Austrália (49%) e a China (26%) (BONILLA et al., 2010). Como o presente estudo é voltado para o agricultor de hortas comunitárias e/ou familiar se considera o valor de mão de obra como um recurso local, por se tratar de um trabalho que é prioritariamente desenvolvido por membros de família. A Tr convertida para UEV por hora de trabalho é igual a 6,02E+12 seJ h⁻¹.

Equação para o cálculo da UEV da mão de obra:

UEV da mão de obra (seJ h⁻¹) = (energia, 523250 J h⁻¹) x (Tr, 1,15E+07 seJ J⁻¹) = 6,02E+12 seJ h⁻¹

Energia do indivíduo por hora trabalhada (J h⁻¹) = [(3000 kcal dia⁻¹) / (24 horas dia⁻¹)] x (conversão, 4186 J/kcal) = 523250 J h⁻¹ (ODUM, 1996)

Para os cálculos referentes à água tratada proveniente da Sabesp, a Transformidade usada foi o valor de 1,19E+9 seJ L⁻¹ encontrado por Ferreira (2011) ao estudar a estação de tratamento de água do Alto Cotia, localizada no Estado de São Paulo, que capta água de mananciais e abastece o município de Cotia. Esta

situação é a que mais se aproxima do contexto da cidade de Botucatu-SP, pois se trata da mesma empresa concessionária. A renovabilidade foi de 59,00% (FERREIRA, 2011), pois no processo de tratamento são utilizados muitos produtos químicos e uma grande infraestrutura de alvenaria.

3.3.3 3ª Etapa: Cálculo dos Índices Emergéticos

Os indicadores do desempenho termodinâmico são calculados por meio de relações algébricas da energia presente nas diferentes naturezas dos recursos (R, N ou F) que compõem o sistema estudado.

Nesse estudo os Índices Emergéticos calculados foram os seguintes: Rendimento emergético (EYR), Investimento emergético (EIR), Carga ambiental/Impacto ambiental (ELR), Índice de sustentabilidade (ESI) e Renovabilidade (%R). Os índices foram calculados em consonância com as formas apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 – Indicadores emergéticos e suas fórmulas

Indicadores	Expressão	Significado
Rendimento emergético (EYR)	$EYR = \frac{Y}{F} = \frac{R + N + F}{F}$	Razão entre a energia total e os recursos da economia
Investimento emergético (EIR)	$EIR = \frac{F}{N + R}$	Razão entre os recursos da economia e dos recursos renováveis mais os não renováveis
Impacto ambiental (ELR)	$ELR = \frac{N + FN}{R + FR}$	Razão entre os recursos não-renováveis (locais e adquiridos) e dos recursos renováveis (locais e adquiridos)
Índice de sustentabilidade (ESI)	$ESI = \frac{EYR}{ELR}$	Razão entre o rendimento emergético e o impacto ambiental
Renovabilidade emergética (%R)	$\%R = \frac{(R + FR) * 100}{Y}$	Razão entre os recursos renováveis e a energia total

Y = Energia do fluxo de saída; R = Somatório dos Recursos Renováveis; N = Somatório dos Recursos Não renováveis; FR = Recursos da economia renováveis; FN = Recursos da economia não renováveis; F = Somatório dos Recursos da economia.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Odum (1996); Brown e Ulgiati (2004)

3.4 Estufa de bambu

A estufa (Figura 6) utilizada possui uma estrutura de três metros e meio de comprimento por três metros de largura, totalizando 10,5 m² de área, base de eucalipto roliço com 8 a 10 cm de diâmetro e 2,1 m de comprimento, travados com pregos (24 x 60 mm); arcos confeccionados com ripas de bambu (*Bambusa tuldooides*) e intertravados com o mesmo material cruzando os arcos; filme plástico de polietileno com espessura de 150 microns e dimensões de 8 x 4 m; tela de sombreamento com trama que filtra 50% da radiação solar. A fixação do bambu no eucalipto foi feita com parafusos (4,0 x 40 mm) e as amarrações com arame galvanizado número 20 (0,89 mm). Tal modelo foi desenvolvido por um artesão do município, Carlos Lira, formado por materiais facilmente encontrados na região (bambu coletado e demais materiais adquiridos no comércio), suas dimensões podem ser adaptadas para diferentes contextos, a largura pode variar de 3 à 4 m, devido às características morfológicas da espécie de bambu utilizada. O método construtivo é simples, nesse caso a construção foi executada por uma única pessoa. O método construtivo vem sendo difundido no município nos últimos anos por meio de cursos e oficinas. Em novembro de 2019, um desses cursos com 12 horas de carga horária, o autor aprendeu a técnica construtiva dessa estufa.

O *Bambusa tuldooides*, popularmente chamado de bambu comum, é amplamente cultivada em clima subtropical, pode atingir um tamanho de 15 m de altura, comprimento útil de 10 m, interno de 35 à 45 cm e diâmetro do colmo em média 6 cm espessura de 0,7 à 1,5 cm. Possui resistência média a carunchos. Utilizado em construções leves, cercas, para tutoramento de algumas culturas agrícolas, artesanatos, instrumentos musicais (SILVA, LIMA e OLIVEIRA, 2011; MEDINA, 2020).

Para garantir maior durabilidade no emprego do bambu em construções permanentes, é essencial que haja tratamento de seu colmo pela introdução de substâncias preservativas em sua estrutura celular (AZZINI; BERALDO, 2001).

O bambu foi tratado na mesma propriedade em que foi construído, com a técnica de substituição de seiva, em barril contendo uma solução com 100 L de água, 900g de dicromato de potássio ou de sódio, 850 g de sulfato de cobre, 620 g de ácido bórico. Para que o processo ocorresse de forma mais eficiente, as varas de bambu foram colocadas num intervalo de tempo de até 6 horas após a coleta, além de

permanecerem por 3 semanas na posição de crescimento natural. Na quarta semana, houve a inversão da orientação das varas (nesse momento, as pontas foram colocadas em contato com a solução). Antes do uso, as varas permaneceram por 30 dias secando. Esse método foi realizado de acordo com as instruções do artesão autor desse modelo de estufa; o processo de substituição de seiva ou transporte radial é bem difundido no tratamento para preservação em madeiras roliças (GALVÃO, MAGALHÃES E MATTOS, 2004). Essa técnica de substituição é recomendada para que se obtenha um bom nível de resistência do bambu (TIBURTINO *et al.*, 2016).

Metade da área da estufa foi utilizada para a produção das mudas de hortaliças e a outra metade, para abrigar a leira de compostagem e o substrato para semeadura das mudas.

Figura 6 – Construção da estufa de bambu



01. Base de eucalipto; 02. Montagem dos arcos de bambu;
03. Fixação da cobertura plástica; 04. Estufa pronta.

3.5 Sistema de produção de mudas estudado

O modelo do estudo foi dimensionado para suprir a demanda de mudas de uma horta de pequeno porte, onde o plantio é feito semanalmente de forma diversificada por meio do plantio em blocos e consórcios, este modelo de produção é comumente encontrado na agricultura familiar e nas hortas comunitárias do município. São produzidas 362 mudas por semana, que após transplante, ocupam aproximadamente 40 m lineares de canteiros com 1 m de largura. Para atender a característica de diversificação do plantio, o presente estudo realizou a produção de mudas de 11 cultivares, sendo eles os seguintes: Alface Crespa Itapuã Super, Alface Hanson Crespa Repolhuda, Rúcula Antonella, Repolho Roxo, Salsa Lisa, Cebolinha Verde, Couve Manteiga da Georgia, Beterraba Maravilha, Tomate Kaiçara, Berinjela Rita e Quiabo Amarelinho.

A semeadura para a produção das mudas ocorreu semanalmente em duas bandejas de polipropileno rígido de modelos diferentes, um de 200 células com dimensões de 4,3 x 33,5 x 66,4 cm, altura, largura e comprimento, cuja célula comporta um volume de 18 cm³ de substrato, e outro de 162 células com dimensões de 5,3 X 33,7 X 67,2 cm, com células que comportam 31 cm³, ambas foram preenchidas com o substrato comercial. Nessas bandejas, foram semeadas duas a três sementes do cultivar por célula. Treze dias após a semeadura, foi feito o desbaste, restando uma planta por célula da bandeja. Apenas para rúcula, salsinha e cebolinha o procedimento foi diferente, foram usadas 6 a 8 sementes por células e não houve desbaste, pois, essas plantas são cultivadas em agrupamentos. O modelo de bandeja no qual cada planta foi semeada, o tempo de produção das mudas e a quantidade produzida por semana variou de acordo com o cultivar, sendo a mais rápida a muda de rúcula que é produzida em 14 dias e a mais demorada, a salsinha em 42 dias, os dados estão discriminados na Tabela 5.

Tabela 5. Ciclo produtivo e quantidade de mudas cultivadas por planta

Planta	Nº de células da bandeja utilizada	Nº de células semeadas por semana	Nº de dias do ciclo de produção da muda
Rúcula Antonella	200	60	14
Quiabo Amarelinho	162	18	21
Beterraba Maravilha	162	72	21
Repolho Roxo	200	40	35
Couve Manteiga	162	18	35
Alface Crespa	200	50	35
Alface Repolhuda	200	50	35
Tomate Kaiçara	162	9	35
Salsa Lisa	162	18	42
Berinjela Rita	162	9	42
Cebolinha Verde	162	18	42

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados de pesquisa (2021)

Foram necessárias 12 bandejas (seis de cada tipo) para suprir a demanda produtiva. Foram utilizadas as sementes da Linha Super da marca Isla®, comercializadas em envelopes e adquiridas em loja agrícola em uma única compra.

Foram necessárias 6 semanas para que as 12 bandejas estivessem em uso simultâneo na estufa, devido à semeadura ocorrer semanalmente em 2 bandejas. A partir da sétima semana, a quantidade de mudas produzida estava estabilizada, pois as mudas que tinham um ciclo mais longo estavam prontas para serem transplantadas para horta, pois todos os cultivares tinham seus ciclos em funcionamento, o que significa que estavam sendo produzidas 362 mudas por semana. Então, com essa estabilidade da produção das mudas, os dados foram coletados para análise emergética, com término na décima segunda semana (Tabela 6).

Tabela 6. Produção das mudas ao longo das semanas

Nº de bandejas em uso	Semana	Dia	Mudas por semana	
2	1	1	0	Produção crescendo
4	2	7	0	
6	3	14	60	
8	4	21	150	
10	5	28	150	
12	6	35	317	
12	7	42	362	Produção estável
12	8	49	362	
12	9	56	362	
12	10	63	362	
12	11	70	362	
12	12	77	362	

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de dados de pesquisa (2021)

O coeficiente de transmitância solar é a quantidade de radiação solar que atravessa determinados materiais e fica disponível para as plantas se desenvolverem. O filme plástico adotado na estufa possui um coeficiente de 0,816, segundo Sangpradit (2014), o que significa que 81,6% da radiação solar ultrapassa o plástico e fica disponível.

O substrato utilizado para a produção diversificada de mudas em estufa de bambu foi o substrato comercial Carolina Soil®. Esse produto foi escolhido por ser encontrado com facilidade no comércio de Botucatu, devido à fábrica da empresa estar localizada no município vizinho, Pardinho. É vendido em sacos com 8 kg com volume de 45 litros, composto de turfa sphagno, vermiculita expandida, calcário dolomítico, gesso agrícola e fertilizante NPK (traços).

A água de irrigação da estufa é proveniente da SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) e a quantidade de água utilizada foi medida com o auxílio de um hidrômetro instalado na saída de água.

O controle da herbivoria foi feito manualmente sempre que as injúrias eram observadas nas mudas.

Figura 7 – Produção diversificada de mudas de hortaliças



Foto: César Claro Trevelin - 2021

As bandejas da frente são as de 200 células e as de trás possuem 162 células. A primeira coluna foi recém semeada, a segunda tem 7 dias, a terceira tem 14 dias, a quarta tem 21 dias, a quinta tem 28 dias e a sexta 35 dias.

3.5.1 Variações no sistema produtivo comparadas

Houve variação na forma da rega ao longo das semanas, após a estabilização da produção. Da sétima à nona semana, com auxílio de um pulverizador costal manual de 20 litros; da décima à décima segunda semana, foi realizada a partir de um sistema de irrigação por microaspersão. Independente da forma, a rega foi feita duas vezes ao dia, no início do dia e ao final da tarde (por volta das 8 e 16 horas). O critério adotado para a quantidade de água para a irrigação foi a formação de gotas que caíam do fundo da bandeja, pois este era um indicativo de que o substrato já tinha retido o máximo de água suportado.

Figura 8 – Tipos de rega utilizados**01.** Pulverizador costal; **02.** Sistema de irrigação por microaspersão.

3.6 Produção dos compostos orgânicos

Foram produzidos dois compostos orgânicos com o intuito de serem utilizados como substratos alternativos para produção de mudas de hortaliças. Ambos obtidos a partir de processo de compostagem abrigada dentro da estufa sobre lona plástica, para evitar a lixiviação de nutriente e possíveis contaminações provenientes do solo, com matérias-primas exclusivamente de origem vegetal. A irrigação das pilhas foi realizada sempre que amostragens semanais revelavam que a umidade se encontrava abaixo de 50%. O tempo total de compostagem foi de 4 meses. Após esse período, o composto foi submetido a solarização, sendo espalhado sobre lona plástica, onde ficou por 5 dias exposto ao sol. Em seguida, o composto foi peneirado (peneira com orifícios de 0,4 cm²) e ensacado para armazenamento. Todo o processo foi realizado por uma única pessoa, o tempo de mão de obra foi contabilizado, assim como a quantidade de materiais e os recursos da economia utilizados para viabilizar a produção. As especificidades na produção de cada composto estão descritas nos tópicos a seguir.

Figura 9 – Processo de compostagem



01. Leira recém montada; **02.** Revolvimentos da leira;
03. Leira com 58 dias; **04.** Composto pronto (120 dias).

3.6.1 Crotalária + Capim-elefante + Torta de mamona comercial (CCT)

A crotalária (*Crotalaria Juncea L.*) foi cultivada em 4 canteiros com 1 m de largura e 15 m de comprimento, totalizando 60 m². Seguindo as recomendações de Pereira *et al.* (2005), para maior produtividade de biomassa aérea seca, foram feitos três sulcos com 2 a 3 cm de profundidade e espaçamento de 30 cm, ao longo do comprimento do canteiro. Foram colocadas de 40 sementes de crotalária por metro linear de sulco, totalizando 343 g de sementes. As sementes foram cobertas com terra. Não houve irrigação na área, as plantas se desenvolveram apenas com a água

proveniente do ambiente. O corte ocorreu 90 dias após a semeadora, por ser o tempo em que se obtém a maior produtividade de matéria seca e a maior quantidade de nitrogênio na parte aérea, se semeadas no meio do verão (LEAL *et al.* 2012). O corte foi feito manualmente com facção, na base da planta, apenas a parte aérea foi coletada.

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) foi coletado em um sítio há uma distância de 4,1 km da estufa de onde ocorreu a compostagem. Originalmente o capim-elefante também seria produzido na horta comunitária, porém um incêndio com origem área vizinha a horta, comprometeu parte do capim plantado, inviabilizando sua utilização para a compostagem.

Ambos os materiais foram fragmentados manualmente, em pedaços de 10 a 20 cm de comprimento, com o auxílio de um tesourão e um facção, duas semanas antes da montagem da composteira. A leira de compostagem foi feita misturando esses dois componentes (crotalária e capim-elefante) na proporção de 2:1, baseada em volume (v:v), resultando em uma pilha com dimensões de 1,0 x 1,0 x 1,0 m, altura, largura e comprimento, respectivamente, totalizando 1,0 m³ de volume. Os revolvimentos da pilha foram realizados aos 7, 14, 21, 28, 56, 85 dias. Durante o terceiro revolvimento foram adicionados 10 litros (1% do volume inicial da leira) do terceiro ingrediente, a torta de mamona comercial, como uma fonte extra de nitrogênio, para possibilitar que a pilha atingisse temperaturas mais altas que são um importante indicador do favorecimento da quebra da lignina e celulose em decorrência da maior acidez do meio, que é resultante da liberação e acúmulo de ácidos durante o processo de compostagem (SILIA, JESUS e OLIVEIRA, 2015).

Houve monitoramento da temperatura no centro da leira semanalmente, utilizando um termômetro analógico com sonda.

3.6.2 Braquiária + Torta de mamona caseira

A braquiária (*Brachiaria* sp.) foi coletada em um lote de 250 m², vizinho à estufa, foi rastelada, ensacado e transportada cinco dias após ter sido cortada por uma pessoa a serviço do proprietário do terreno. Os frutos da mamona (*Ricinus communis*) também foram colhidos em terrenos baldios próximos à estufa, ficaram secando ao sol por duas semanas, e, posteriormente, triturados manualmente com o auxílio de

um pilão, resultando no que estamos denominando como torta de mamona caseira. Esses dois componentes foram misturados (braquiária e torta de mamona caseira) na proporção de 50:1, baseada em volume (v:v), resultando em uma pilha com dimensões de 1,4 x 1,3 x 1,1 m, altura, largura e comprimento, respectivamente, totalizando 2,0 m³ de volume. Os revolvimentos da pilha foram realizados aos 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 e 92 dias.

O monitoramento da temperatura no centro da leira ocorreu a partir do quarto dia de compostagem, as leituras foram feitas por meio de um termômetro analógico com sonda, dia sim, dia não, até o fim do processo.

3.7 Teste do uso dos compostos como substratos alternativos

Foram colhidas amostras dos dois compostos produzidos no estudo e do substrato comercial para análise química onde foram avaliados os seguintes parâmetros: teor de sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), potássio (K), fósforo (P), nitrogênio (N), carbono (C), a relação carbono/nitrogênio (C/N), de matéria orgânica (%) e o potencial hidrogeniônico (pH). Estas análises foram realizadas no Laboratório de Análise Química de Fertilizantes e Corretivos, pertencente ao Departamento de Ciência de Solos e Recursos Ambientais – FCA/UNESP, Botucatu, SP, de acordo com a metodologia do MAPA (2007).

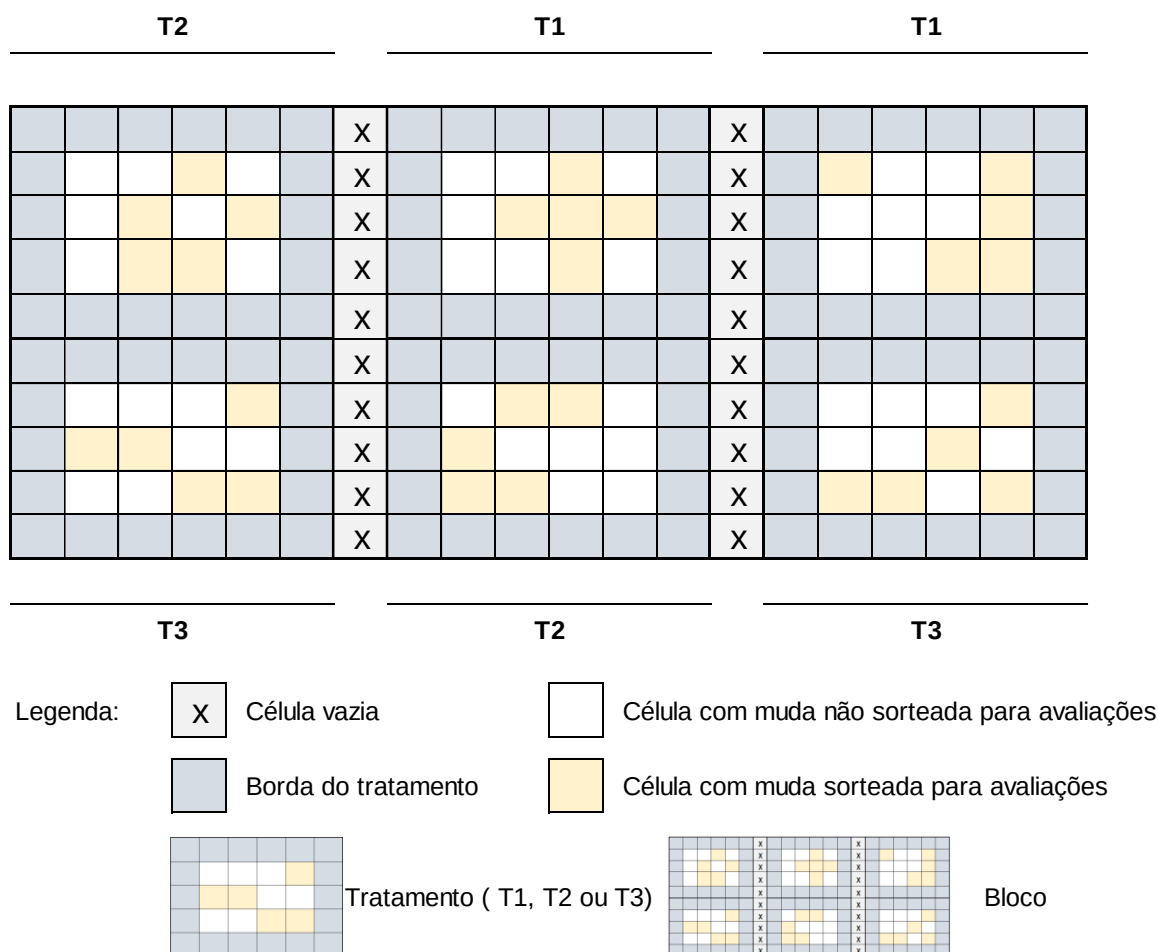
A avaliação do uso desses compostos como substrato para o cultivo de hortaliças foi realizada por meio de um experimento onde foram cultivadas 180 plantas distribuídas em 6 bandejas de poliestireno rígido, com dimensões de 4,3 x 33,5 x 66,4 cm, altura, largura e comprimento, respectivamente, e 200 células com volume unitário de 18 cm³. Cada bandeja constituiu um bloco casualizado (Figura 10), subdividido em 6 partes, contendo duas repetições por tratamento. Cada repetição do tratamento é composta por 30 células, das 12 células centrais, das quais 5 foram sorteadas para as avaliações das mudas, as 18 células que compõem a periferia do tratamento não participaram do sorteio, evitando assim a influência do efeito de borda nos resultados. Os tratamentos foram identificados da seguinte forma:

T1: Substrato comercial (Carolina Soil®)

T2: Composto orgânico (Crotalária + Capim-elefante + Torta de mamona comercial)

T3: Composto orgânico (Braquiária + Torta de mamona caseira)

Figura 10 – Exemplo da estrutura de um Bloco do experimento



Fonte: Elaborado pelo autor para pesquisa (2021)

Após a distribuição dos substratos nas bandejas, realizou-se a semeadura manual, foram colocadas três sementes de alface (*Lactuca sativa*), cultivar Grand Rapids TBR, por célula, na profundidade de 5 mm, no centro da célula e cobertas com fina camada de substrato. As sementes não receberam nenhum procedimento prévio de desinfecção ou quebra de dormência. O desbaste ocorreu 11 dias após a semeadura, restando uma plântula por célula. Neste momento, foi mensurada a taxa de germinação (%E) por tratamento. Foram contabilizadas as sementes emergidas, sendo consideradas apenas as plântulas que apresentaram cotilédones totalmente

livres e normais, em função do número de sementes utilizadas. A avaliação do % E foi realizada considerando o número total de sementes emergidas em relação ao número total de sementes colocadas para germinar. Esses dados foram coletados nas 12 células centrais dos tratamentos.

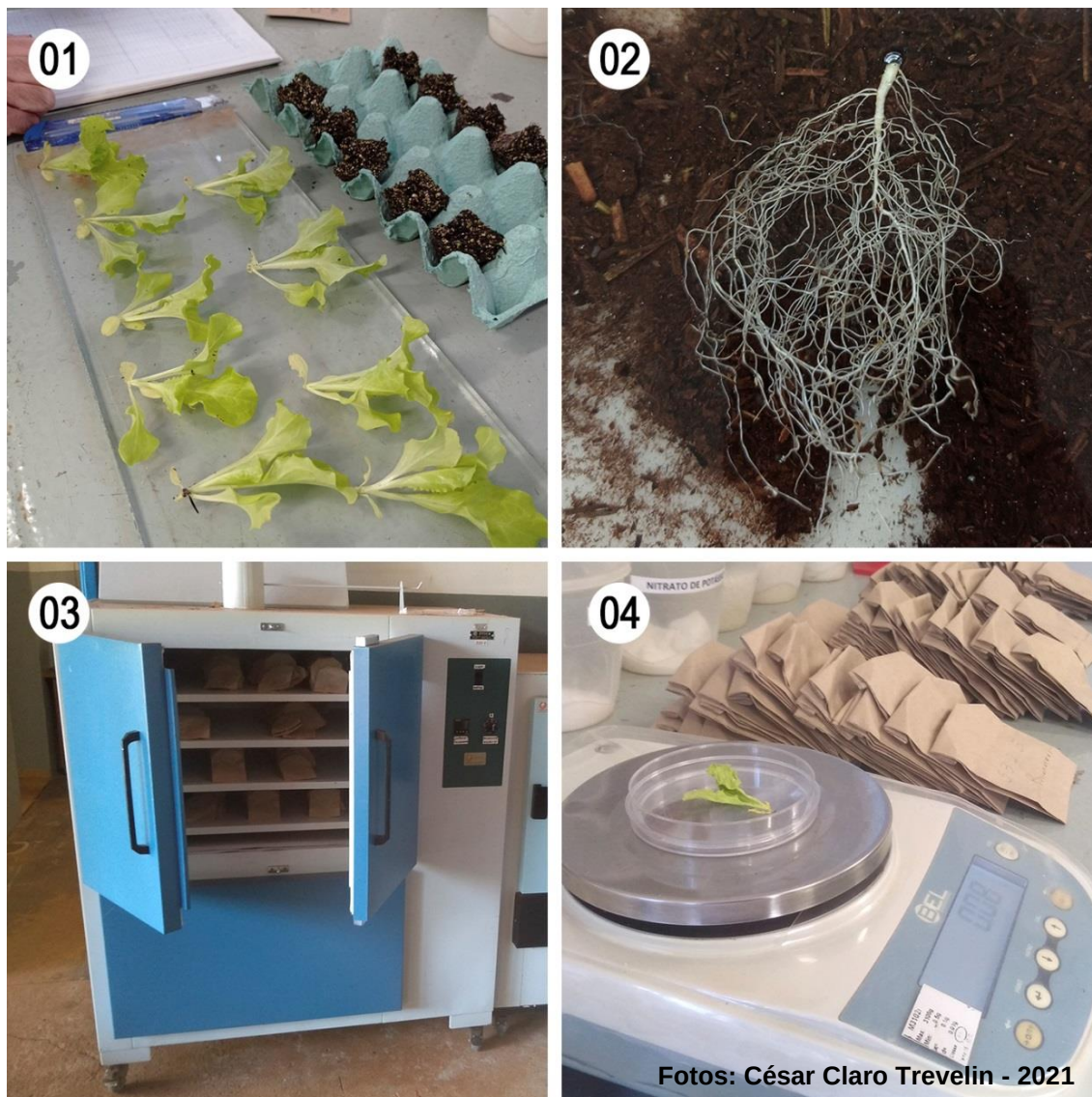
As bandejas foram trocadas de lugar uma vez por semana, visando reduzir uma possível influência de variações bioclimáticas da posição dentro da estufa.

A irrigação da estufa é automatizada, feita por microaspersores, com uma vazão de 105 litros/hora de cada emissor, com uma pressão média de $2,5 \text{ kgf cm}^{-2}$, acionados a cada hora durante um minuto. A lâmina de água é de 3,5 litros de água por metro quadrado por dia. Com espaçamento de 4 m^2 por emissor, com eficiência de 96% de molhamento. A água dessa irrigação é proveniente de poço artesiano. Não houve fertirrigação.

As avaliações das mudas ocorreram 32 dias após a semeadura. Para as avaliações, foram sorteadas 5 plantas por unidade de tratamento dentro do bloco, totalizando 180 mudas avaliadas. Analisou-se as seguintes características: número de folhas por planta (NF), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento de raiz (CR), massa da matéria fresca da parte aérea (MFPA), massa da matéria fresca de raiz (MFR), massa da matéria seca da parte aérea (MSPA) e massa da matéria seca de raiz (MSR).

O NF foi obtido pela contagem do número de folhas definitivas e totalmente distendida por planta. O CPA das mudas foi determinado a partir da medida do colo da planta até a extremidade das folhas e o CR, do colo até a extremidade inferior do sistema radicular, após a lavagem das raízes, ambos com auxílio de régua graduada em centímetros. As raízes das plantas foram lavadas para retirar as partículas do substrato aderidas a elas e colocadas sobre papel-toalha para retirada do excesso de água. A massa das raízes e parte aérea da planta foram mensuradas em balança de precisão, após a separação das partes com o auxílio de um estilete. Para obter a massa seca, as amostras foram acondicionadas em sacos de papel, secas em estufa, por 72 h, a 65°C .

Figura 11 – Avaliação das mudas de alface (*Lactuca sativa*)



01. Parte aérea separada das raízes; 02. Raízes limpas; 03. Estufa; 04. Obtenção da MSPA.

3.7.1 Metodologia Estatística

3.7.1.1 Efeito dos tratamentos na produção de mudas

Na análise das variáveis das mudas comprimento da parte aérea, massa fresca (g), massa seca (g), comprimento de raiz (cm), massa fresca de raízes (g), massa seca de raízes (g) e logaritmo do número de folhas, considerando como fatores qualitativos os tratamentos (substrato comercial; composto orgânico com capim-elefante, crotalária e torta de mamona; composto orgânico com braquiária e torta de

mamona), foram ajustados modelos lineares generalizados com a distribuição gama e função de ligação logarítmica (NELDER e WEDDERBURN, 1972). Foi utilizado o procedimento *genmod* (do Programa estatístico SAS – *Free Statistical Statistical Software, SAS University Edition*) e para comparações entre tratamentos foi utilizado foi o teste de Tukey-Kramer (WESTFALL *et al.*, 1999). A qualidade dos ajustes dos modelos lineares generalizados ajustados foi feita pela análise de desvios por graus de liberdade (deviance) e o gráfico dos resíduos padronizados de Pearson.

3.7.1.2 Efeito dos tratamentos na germinação das mudas

Na análise da variável do percentual de germinação das mudas considerando como fatores qualitativos os tratamentos (substrato comercial; composto orgânico com capim-elefante, crotalária e torta de mamona; composto orgânico com braquiária e torta de mamona), foi ajustado um modelo linear generalizado com a distribuição gama e função de ligação logarítmica (NELDER e WEDDERBURN, 1972). Foi utilizado o procedimento *genmod* (do Programa estatístico SAS – *Free Statistical Statistical Software, SAS University Edition*) e para comparações entre tratamentos foi utilizado foi o teste de Tukey-Kramer (WESTFALL *et al.*, 1999). A qualidade dos ajustes do modelo linear generalizado ajustado foi feita pela análise de desvios por graus de liberdade (deviance) e o gráfico dos resíduos padronizados de Pearson.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise emergética do tratamento do bambu

Antes de iniciar a construção da estufa, foi realizado o tratamento do bambu coletado com o objetivo de aumentar a vida útil do material. Como o tratamento ocorreu totalmente em local sombreado a radiação solar foi considerada nula.

A Bombona Plástica de 200 litros onde as varas de bambu foram acomodadas para o tratamento, tem uma massa de 8,40 kg e é feita de polietileno de alta densidade (PEAD). Esse material tem uma vida útil estimada em 50 anos e uma densidade de $0,96 \text{ g cm}^{-3}$ (GEDEL PLÁSTICOS, 2021).

A evaporação da água presente na solução fiz considerada nula por ter sido adicionada uma camada de óleo de motor sobre a solução para impedir esse processo.

A transpiração das varas de bambu é baseada na redução de massa que a espécie tem entre o material úmido e seco. De acordo com Spolidoro (2008), a espécie *B. tuldooides* tem uma redução média de massa de 53,39%. Obtivemos 67,7 kg de bambu após tratamento e secagem. Logo, a quantidade de água transpirada ao longo do processo foi de 59,10 kg.

Foram coletadas e tratadas 20 varas com 6,45 metros de *B. tuldooides*, totalizando 129 metros. Os fluxos emergéticos desse processo estão apresentados na Tabela 7. A energia total obtida foi de $2,36\text{E}+14 \text{ seJ}$ e a Energia por metro linear de bambu tratado é de $1,83\text{E}+12 \text{ seJ m}^{-1}$; considerando-se a vida útil do bambu tratado de 6 anos, a energia por metro linear a cada ano é de $3,05\text{E}+11 \text{ seJ m}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Por se tratar de uma touceira não manejada com mais de 10 anos de vida, a renovabilidade (%R) do bambu *in natura* foi considerada de 100%; após o tratamento, este índice passou a ser de 30,77% e a energia total do material aumentou 4,27 vezes.

Equações relacionadas aos cálculos da energia do bambu tratado:

Energia por metro linear de bambu tratado (seJ m^{-1}) = (energia total, $2,36\text{E}+14 \text{ seJ}$) ÷ (metros de bambu tratados, 129 m) = $1,83\text{E}+12 \text{ seJ m}^{-1}$

Energia por metro linear de bambu tratado a cada ano ($\text{seJ m}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) = (energia total, $2,36\text{E}+14 \text{ seJ}$) ÷ (metros de bambu tratados, 129 m) ÷ (vida útil, 6 anos) = $3,05\text{E}+11 \text{ seJ m}^{-1} \text{ ano}^{-1}$

%R: Renovabilidade do bambu tratado (%) = $[(R, 7,25E+13 \text{ seJ}) + (FN, 7,02E+10 \text{ seJ})] \times 100 \div (2,36E+14 \text{ seJ}) = 30,77\%$

Energia do bambu tratado em relação ao bambu não tratado = $(2,36E+14 \text{ seJ}) \div (5,53E+13 \text{ seJ}) = 4,27$

Tabela 7 – Fluxos e índices emergéticos envolvidos no tratamento do bambu
(fluxos em 6 anos)

Nº	Item	%R	Valor	Uni	UEV	Fluxo de energia	Ref. (UEV)	%
Recursos renováveis locais (R)								
1	Vento	100,00	2,44E+07	J	1,50E+03	3,66E+10	ODUM, 1996	0,02
2	Transpiração	100,00	2,80E+05	J	4,81E+04	1,35E+10	ODUM, 1996	0,01
3	Bambu	100,00	1,28E+09	J	4,32E+04	5,53E+13	ODUM, 1996	23,45
4	Mão de obra (50,00%)	50,00	2,85E+00	h	6,02E+12	1,71E+13	BONILLA et al., 2010	7,27
Recurso não renovável local (N)								
5	Mão de obra (50,00%)	50,00	2,85E+00	h	6,02E+12	1,71E+13	BONILLA et al., 2010	7,27
Recursos da economia renováveis (FR)								
6	Água tratada (59,00%)	59,00	5,90E+01	L	1,19E+09	7,02E+10	FERREIRA, 2011	0,03
Recursos da economia não renováveis (FN)								
7	Água tratada (41,00%)	59,00	4,10E+01	L	1,19E+09	4,88E+10	FERREIRA, 2011	0,02
8	Bombona PEAD	0,00	1,28E+06	J	2,72E+05	3,48E+11	BURANAKARN, 1998	0,15
9	Gasolina	0,00	1,24E+08	J	1,94E+05	2,41E+13	BROWN et al., 2011	10,21
10	Óleo de motor	0,00	2,00E-01	L	2,49E+12	4,98E+11	ODUM, 1996 e HOVELIUS, 1997	0,21
11	Sulfato de cobre	0,00	8,50E+02	g	8,64E+10	7,34E+13	ALBUQUERQUE, 2012	31,15
12	Ácido bórico	0,00	6,20E+02	g	3,80E+08	2,36E+11	CUADRA e RYDBERG, 2000	0,10
13	Dicromato de sódio	0,00	3,76E+01	R\$	1,26E+12	4,74E+13	SILVA, 2020	20,11
Total (R)						7,25E+13		30,74
Total (N)						1,71E+13		7,27
Total (F)						1,46E+14		61,98
Total (FR)						7,02E+10		0,03
Total (FN)						1,46E+14		61,95
Energia Total (Y)		30,77	1,29E+02	m	1,83E+12	2,36E+14	Calculado neste estudo	
Energia Total por ano (Y/ano)		30,77	1,29E+02	m	3,05E+11	3,93E+13	Calculado neste estudo	
Índices emergéticos		Valor	Interpretação do valor do índice baseada em Brown e Ulgiati (2004)					
Rendimento emergético (EYR)		1,61	(1<EYR<2) Contribuição pequena para o desenvolvimento econômico.					
Investimento emergético (EIR)		1,63	Quanto menor o EIR, maior a competitividade do sistema.					
Impacto ambiental (ELR)		2,25	(2<ELR<3) Sistema de produção com baixa carga (impacto) ambiental.					
Índice de sustentabilidade (ESI)		0,72	(ESI<1) O sistema analisado não é sustentável.					
Renovabilidade emergética (%R)		30,77	Quanto maior o %R, maior a renovabilidade do sistema analisado.					

Fonte: Elaborado pelo Autor a partir de dados de pesquisa (2021)

Para efeito de análise pela especificidade dos cálculos da Tabela 7 os itens a seguir merecem destaque:

1. Vento, cinético

Energia do vento (seJ): (energia cinética do vento, $1,86\text{E}+4$ J) x (transformidade do vento, $1,50\text{E}+03$ seJ) = $2,44\text{E}+7$ seJ

Energia cinética do vento (J) = (densidade do ar, $1,466\text{ kg m}^{-3}$) x (coeficiente de arrasto, 0,002) x (velocidade do vento, $1,07\text{ m s}^{-1}$)³ x (tempo, $5,18\text{E}+6$ s) = $1,63\text{E}+4$ J

Tempo do processo (s): (60 dias) x (24 horas dia⁻¹) x (60 minutos hora⁻¹) x (60 segundos minuto⁻¹) = $5,18\text{E}+6$ s

Transformidade do vento (seJ J⁻¹): $1,50\text{E}+03$ seJ J⁻¹ (ODUM,1996)

2. Transpiração

Energia do bambu (seJ) = ($2,80\text{E}+5$ J) x ($4,81\text{E}+04$ seJ J⁻¹) = $1,35\text{E}+10$ seJ

Energia de transpiração (J) = (transpiração, 59,10 kg) x (4740 J kg^{-1}) = $2,80\text{E}+5$ J

Energia livre de Gibbs = 4740 J kg^{-1} (ASGHARIPOUR, AMIRI e CAMPBELL, 2020)

Transformidade da transpiração: $4,81\text{E}+04$ seJ J⁻¹ (ODUM, 1996)

3. Bambu (*B. tuldooides*)

Energia do bambu (seJ) = ($1,28\text{E}+09$ J) x ($4,32\text{E}+04$ seJ J⁻¹) = $5,53\text{E}+13$ seJ

Energia do bambu (J) = (bambu, 67,7 kg) x ($4515,1\text{ kcal kg}^{-1}$) x (4186 J kcal^{-1}) = $1,28\text{E}+09$ J

Poder calorífico de *B. tuldooides* (kcal kg^{-1}) = $4515,1\text{ kcal kg}^{-1}$ (SANTOS et al., 2016)

Transformidade do bambu = $4,32\text{E}+04$ seJ J⁻¹ (ODUM, 1996)

8. Bombona PEAD

Energia da Bombona PEAD (seJ) = ($1,28\text{E}+6$ J) x ($2,72\text{E}+05$ seJ J⁻¹) = $3,48\text{E}+11$ seJ

Energia da Bombona PEAD (J) = [(8,4 kg) x ($4,65\text{E}+7\text{ J kg}^{-1}$)] ÷ (50 anos) x (0,164 ano) = $1,28\text{E}+6$ J

Transformidade do polietileno (seJ J⁻¹) = $2,72\text{E}+05$ seJ J⁻¹ (BURANAKARN, 1998)

Poder calorífico do polietileno (J kg^{-1}) = $4,65\text{E}+7\text{ J kg}^{-1}$ (AL-SALEM et al., 2010)

Vida útil do PEAD (anos) = 50 anos (GEDEL PLÁSTICOS, 2021)

Tempo do processo (ano) = (60 dias) ÷ (365 dias ano^{-1}) = 0,164 ano

9. Gasolina

Energia da gasolina (seJ) = ($1,28\text{E}+09$ J) x ($1,94\text{E}+05$ seJ J⁻¹) = $2,41\text{E}+13$ seJ

Energia da gasolina (J) = (gasolina, 2,6 L) x ($1,14\text{E}+04\text{ kcal L}^{-1}$) x (4186 J kcal^{-1}) = $1,24\text{E}+08$ J

Transformidade da gasolina (seJ J⁻¹) = $1,94\text{E}+05$ seJ J⁻¹ (BROWN et al., 2011)

O Rendimento emergético (EYR) foi de 1,61, valores entre ($1 < \text{EYR} < 2$) indicam que a contribuição é pequena para o desenvolvimento da economia; o Investimento emergético (EIR) foi 1,63, esse índice é adimensional e indica que quanto menor o EIR, maior será a competitividade; o Impacto ambiental (ELR), com valor de 2,25 é considerado um sistema com produção com baixa carga (impacto) ambiental; o Índice de sustentabilidade (ESI) foi de 0,72, apontando que o sistema não é sustentável, isso se deu porque no tratamento do bambu foi utilizado sulfato de cobre e dicromato de sódio (componentes com maiores valores emergéticos do processo, correspondendo juntos a 51,26% da energia total) que são recursos da economia não renováveis.

4.2 Análise emergética do tratamento do eucalipto

Com relação ao eucalipto tratado, não foram encontrados estudos emergéticos com esse material, então, utilizou-se como base o estudo da energia em cultivo intensivo de eucalipto no estado de São Paulo (ROMANELLI et al., 2008) que mostrou uma transformidade de $9,50\text{E}+03 \text{ seJ J}^{-1}$ e uma renovabilidade de 58,00%, e o tratamento de substituição de seiva semelhante ao empregado no bambu, que é um método apropriado para preservação de madeiras roliças (GALVÃO, MAGALHÃES E MATTOS, 2004).

Para determinar a perda de água por transpiração ao longo do tratamento, baseou-se em Foelkel (2021), que indica que a redução de peso do eucalipto é de 15 à 20% pela secagem, consideramos 18% para este estudo, logo 157,2 kg de eucalipto tratado perderam 34,50 litros de água por transpiração ao longo do processo.

Os fluxos emergéticos desse processo de tratamento do eucalipto estão apresentados na Tabela 8. A energia total contida em 157,2 kg de eucalipto tratado foi de $2,10\text{E}+14 \text{ seJ}$; considerando-se a vida útil do eucalipto tratado de 12 anos, temos uma transformidade de $5,69\text{E}+03 \text{ seJ J}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Após o tratamento, o eucalipto que possuía inicialmente uma renovabilidade (%R) de 58% passou a ter 16,29% desse índice, o que representa uma redução de 3,56 vezes. Assim como ocorreu com o bambu tratado, essa redução se deve principalmente a grande contribuição emergética que os produtos químicos utilizados como agentes de preservação e classificados como FN tiveram para o processo, sulfato de cobre com 35,04% e o dicromato de sódio com 22,62%. O índice de Impacto ambiental (ELR) teve um valor de 5,14 é considerado um sistema com produção com moderada carga (impacto) ambiental; o Índice de sustentabilidade (ESI) foi de 0,23, apontando que o sistema não é sustentável.

Tabela 8 – Fluxos e índices emergéticos envolvidos no tratamento do eucalipto
(fluxos em 12 nos)

Nº	Item	%R	Valor	Uni	UEV	Fluxo de energia	Ref. (UEV)	%
Recursos renováveis locais (R)								
1	Vento	100,00	1,86E+04	J	1,50E+03	2,79E+07	ODUM, 1996	0,00
2	Transpiração	100,00	1,64E+05	J	4,81E+04	7,89E+09	ODUM, 1996	0,00
3	Mão de obra (50,00%)	50,00	2,85E+00	h	6,02E+12	1,71E+13	BONILLA et al., 2010	8,18
Recurso não renovável local (N)								
4	Mão de obra (50,00%)	50,00	2,85E+00	h	6,02E+12	1,71E+13	BONILLA et al., 2010	8,18
Recursos da economia renováveis (FR)								
5	Eucalipto (58,00%)	58,00	1,78E+09	J	9,50E+03	1,69E+13	ROMANELLI et al., 2008	8,07
6	Água tratada (59,00%)	59,00	5,90E+01	L	1,19E+09	7,02E+10	FERREIRA, 2011	0,03
Recursos da economia não renováveis (FN)								
7	Eucalipto (42,00%)	58,00	1,29E+09	J	9,50E+03	1,22E+13	ROMANELLI et al., 2008	5,84
8	Água tratada (41,00%)	59,00	4,10E+01	L	1,19E+09	4,88E+10	FERREIRA, 2011	0,02
9	Bombona PEAD	0,00	1,28E+06	J	2,72E+05	3,48E+11	BURANAKARN, 1998	0,17
10	Gasolina	0,00	1,24E+08	J	1,94E+05	2,41E+13	BROWN et al., 2011	11,48
11	Óleo de motor	0,00	2,00E-01	L	2,49E+12	4,98E+11	ODUM, 1996 e HOVELIUS, 1997	0,24
12	Sulfato de cobre	0,00	8,50E+02	g	8,64E+10	7,34E+13	ALBUQUERQUE, 2012	35,04
13	Ácido bórico	0,00	6,20E+02	g	3,80E+08	2,36E+11	CUADRA e RYDBERG, 2000	0,11
14	Dicromato de sódio	0,00	3,76E+01	R\$	1,26E+12	4,74E+13	SILVA, 2020	22,62
Total (R)						1,72E+13		8,19
Total (N)						1,71E+13		8,18
Total (F)						1,75E+14		83,63
Total (FR)						1,70E+13		8,10
Total (FN)						1,58E+14		75,53
Energia Total (Y)		16,29	3,07E+09	J	6,83E+04	2,10E+14	Calculado neste estudo	
Energia Total por ano (Y/ano)		16,29	3,07E+09	J	5,69E+03	1,75E+13	Calculado neste estudo	
Índices emergéticos		Valor	Interpretação do valor do índice baseada em Brown e Ulgiati (2004)					
Rendimento emergético (EYR)		1,20	(1<EYR<2) Contribuição pequena para o desenvolvimento econômico.					
Investimento emergético (EIR)		5,11	Quanto menor o EIR, maior a competitividade do sistema.					
Impacto ambiental (ELR)		5,14	(3<ELR<10) Sistema de produção com carga (impacto) ambiental moderada.					
Índice de sustentabilidade (ESI)		0,23	(ESI<1) O sistema analisado não é sustentável.					
Renovabilidade emergética (%R)		16,29	Quanto maior o %R, maior a renovabilidade do sistema analisado.					

Fonte: Elaborado pelo Autor a partir de dados de pesquisa (2021)

Para efeito de análise pela especificidade dos cálculos da Tabela 8 os itens a seguir merecem destaque:

2. Transpiração

Energia (seJ) = $(1,64\text{E}+5 \text{ J}) \times (4,81\text{E}+04 \text{ seJ J}^{-1}) = 7,89\text{E}+9 \text{ seJ}$

Energia (J) = (transpiração, 34,50 kg) $\times (4740 \text{ J kg}^{-1}) = 1,64\text{E}+5 \text{ J}$

Quantidade de água transpirada (kg) = (massa seca, 157,20 kg) $\times$ (porcentagem de água transpirada, 18) $\div$ (porcentagem de massa seca, 82) = 34,50 kg (FOELKEL, 2021)

Energia livre de Gibbs = 4740 J kg^{-1} (ASGHARIPOUR, AMIRI e CAMPBELL, 2020)

Transformidade da transpiração: $4,81\text{E}+04 \text{ seJ J}^{-1}$ (ODUM, 1996)

5 e 7. Eucalipto

Fração FR da energia (J) = $(3,07\text{E}+09 \text{ J}) \times 0,58 = 1,78\text{E}+09 \text{ J}$

Fração FN da energia (J) = $(3,07\text{E}+09 \text{ J}) \times 0,42 = 1,29\text{E}+09 \text{ J}$

Energia (J) = (eucalipto, 157,2 kg) $\times (1,95\text{E}+07 \text{ J kg}^{-1}) = 3,07\text{E}+09 \text{ J}$

Poder calorífico do eucalipto ($1,95\text{E}+07 \text{ J kg}^{-1}$) (KUMAR et al., 2010)

Transformidade do eucalipto = $9,50\text{E}+03 \text{ seJ J}^{-1}$ (ROMANELLI et al., 2008)

9. Bombona PEAD

Energia da Bombona PEAD (seJ) = $(1,28\text{E}+6 \text{ J}) \times (2,72\text{E}+05 \text{ seJ J}^{-1}) = 3,48\text{E}+11 \text{ seJ}$

Energia da Bombona PEAD (J) = $[(8,4 \text{ kg}) \times (4,65\text{E}+7 \text{ J kg}^{-1})] \div (50 \text{ anos}) \times (0,164 \text{ ano}) = 1,28\text{E}+6 \text{ J}$

Transformidade do polietileno (seJ J^{-1}) = $2,72\text{E}+05 \text{ seJ J}^{-1}$ (BURANAKARN, 1998)

Poder calorífico do polietileno (J kg^{-1}) = $4,65\text{E}+7 \text{ J kg}^{-1}$ (AL-SALEM et al., 2010)

Vida útil do PEAD (anos) = 50 anos (GEDEL PLÁSTICOS, 2021)

Tempo do processo (ano) = $(60 \text{ dias}) \div (365 \text{ dias ano}^{-1}) = 0,164 \text{ ano}$

10. Gasolina

Energia da gasolina (seJ) = $(1,28\text{E}+09 \text{ J}) \times (1,94\text{E}+05 \text{ seJ J}^{-1}) = 2,41\text{E}+13 \text{ seJ}$

Energia da gasolina (J) = (gasolina, 2,6 L) $\times (1,14\text{E}+04 \text{ kcal L}^{-1}) \times (4186 \text{ J kcal}^{-1}) = 1,24\text{E}+08 \text{ J}$

Transformidade da gasolina (seJ J^{-1}) = $1,94\text{E}+05 \text{ seJ J}^{-1}$ (BROWN et al., 2011)

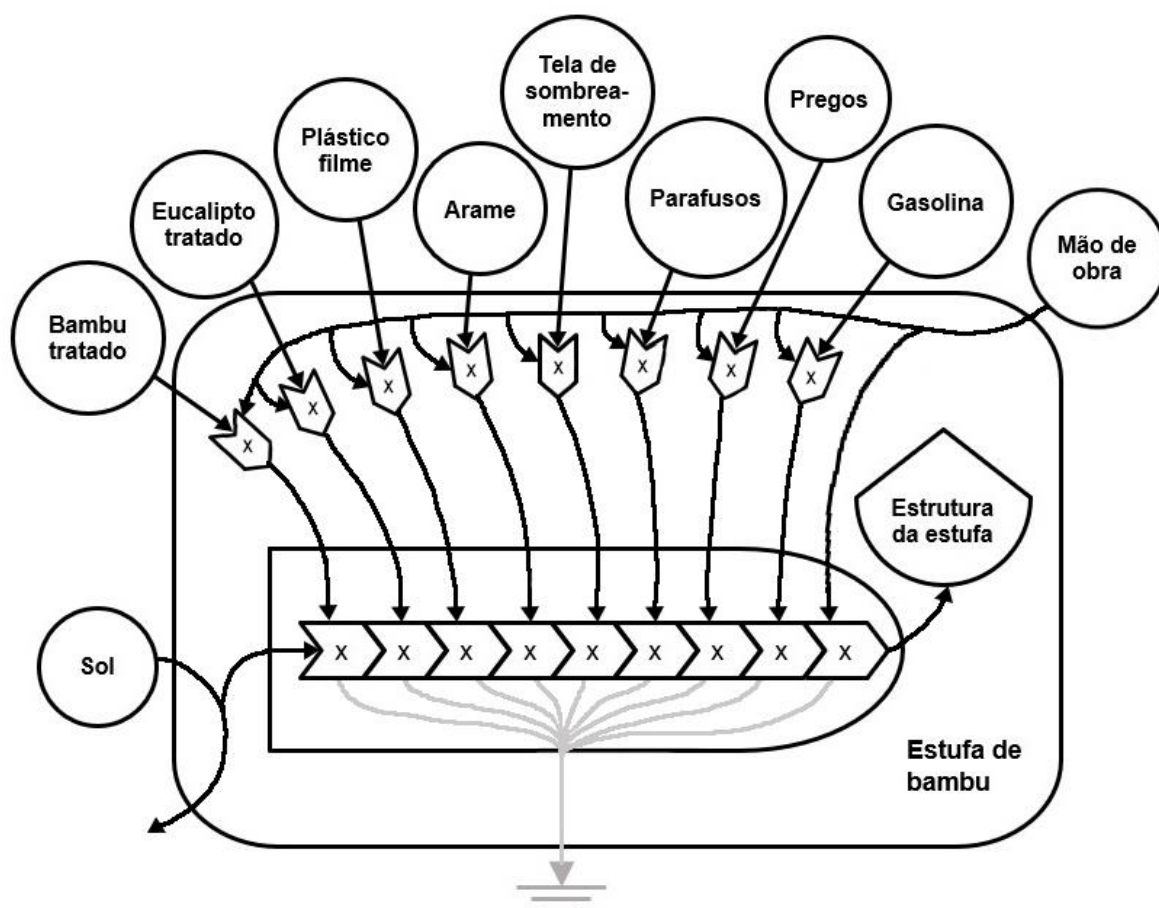
4.3 Análise emergética da estufa de bambu

Após obtenção da energia desses elementos fundamentais para a construção da estufa (eucalipto e bambu tratados), foi feito o desenho do diagrama sistêmico (Figura 12), onde foram representadas as entradas do sistema estudado, os principais fluxos de energia e materiais envolvidos na fabricação e manutenção dessa estufa.

Para elaboração dessa tabela de cálculo emergético (Tabela 9) foi considerado a vida útil de 12 anos para a estufa, pois este tempo representa a durabilidade estimada do item mais durável empregado com construção, que é a base de toda a estrutura, o eucalipto tratado. A análise resultou na energia total de $1,04\text{E}+14 \text{ seJ m}^{-2}$, o que corresponde a energia anual para construção e manutenção da estufa de $8,68\text{E}+12 \text{ seJ m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ e renovabilidade %R de 35,48. Ao comparar com a energia

de $3,07E+12 \text{ seJ m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ e %R de 7,98% encontrada por Asgharipour, Amiri e Campbell (2020) em estufas de grande porte (tamanho médio de 1685 m^2) construídas com arcos metálicos e vida útil estimada em 40 anos para produção de hortaliças em Jiroft no Irã, observa-se que uma é 2,83 vezes maior que a outra. Já a %R da estufa de bambu é 4,45 vezes maior. O índice de impacto ambiental também chama atenção por ser 7,13 vezes maior na estufa metálica ($\text{ELR} = 9,77$). Já o Investimento energético é o mais discrepante, sendo 282421,58 vezes maior na estufa metálica ($\text{ELR} = 196488,34$) por se tratar de uma estufa na qual 99,99% da energia envolvida em sua construção ser proveniente de recursos da economia (F).

Figura 12 – Diagrama de fluxo energético para construção e manutenção da estufa de bambu



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos símbolos energéticos propostos por Odum (1996)

Tabela 9 – Fluxos e índices emergéticos na construção e manutenção da estufa de bambu (fluxos em 12 anos)

Nº	Item	%R	Valor	Uni	UEV	Fluxo de energia	Ref. (UEV)	%
Recursos renováveis locais (R)								
1	Radiação solar	100,00	8,07E+08	J	1,00E+00	8,07E+08	Por definição	0,00
2	Bambu tratado (30,74%) (x2)	30,76	5,16E+01	m	1,83E+12	9,45E+13	Calculado neste estudo	8,65
3	Eucalipto tratado (8,19%)	16,29	2,51E+08	J	6,83E+04	1,72E+13	Calculado neste estudo	1,57
4	Mão de obra (50,00%)	50,00	4,10E+01	h	6,02E+12	2,47E+14	BONILLA et al., 2010	22,57
Recursos não renováveis locais (N)								
5	Bambu tratado (7,28%) (x2)	30,76	1,22E+01	m	1,83E+12	2,24E+13	Calculado neste estudo	2,05
6	Eucalipto tratado (8,78%)	16,29	2,51E+08	J	6,83E+04	1,72E+13	Calculado neste estudo	1,57
7	Mão de obra (50,00%)	50,00	4,10E+01	h	6,02E+12	2,47E+14	BONILLA et al., 2010	22,57
Recursos da economia renováveis (FR)								
8	Bambu tratado (0,03%) (x2)	30,76	5,04E-01	m	1,83E+12	9,22E+11	Calculado neste estudo	0,08
9	Eucalipto tratado (8,10%)	16,29	2,49E+08	J	6,83E+04	1,70E+13	Calculado neste estudo	1,55
10	Arame (79,90%) (x2)	79,90	6,20E+02	g	1,47E+10	9,11E+12	PULSELLI et al., 2009	0,83
11	Parafuso de aço (97,90%)	79,90	1,76E+02	g	1,36E+10	2,39E+12	ASGHARIPOUR et al., 2020	0,22
Recursos da economia não renováveis (FN)								
12	Bambu tratado (61,96%) (x2)	30,76	1,04E+02	m	1,83E+12	1,91E+14	Calculado neste estudo	17,43
13	Eucalipto tratado (75,53%)	16,29	2,32E+09	J	6,83E+04	1,58E+14	Calculado neste estudo	14,49
14	Arame (20,10%) (x2)	79,90	1,56E+02	g	1,47E+10	2,29E+12	PULSELLI et al., 2009	0,21
15	Parafuso de aço (20,10%)	79,90	4,42E+01	g	1,36E+10	6,01E+11	ASGHARIPOUR et al., 2020	0,06
16	Tela de sombreamento (x2)	0,00	2,78E+03	g	2,16E+09	6,00E+12	MU, FENG e CHU, 2012	0,55
17	Pregos de aço carbono	0,00	8,80E+02	g	2,77E+09	2,44E+12	HAUKOOS, 1995	0,22
18	Filme plástico (x4)	0,00	1,28E+04	g	3,72E+08	4,76E+12	ODUM, 1996	0,44
19	Gasolina (x4)	0,00	4,87E+08	J	1,11E+05	5,40E+13	ODUM et al., 2000	4,94
Total (R)						3,58E+14		32,79
Total (N)						2,86E+14		26,19
Total (F)						4,48E+14		41,03
Total (FR)						2,94E+13		2,69
Total (FN)						4,19E+14		38,34
Energia Total (Y)		35,48	1,05E+01	m ²	1,04E+14	1,09E+15	Calculado neste estudo	
Energia Total por ano (Y/ano)		35,48	1,05E+01	m ²	8,68E+12	9,11E+13	Calculado neste estudo	
Índices emergéticos								
		Valor	Interpretação do valor do índice baseada em Brown e Ulgiati (2004)					
Rendimento emergético (EYR)		2,44	(2<EYR<5) Contribuição moderada para o desenvolvimento econômico.					
Investimento emergético (EIR)		0,70	Quanto menor o EIR, maior a competitividade do sistema.					
Impacto ambiental (ELR)		1,82	(ELR<2) Sistema de produção com baixíssima carga ambiental.					
Índice de sustentabilidade (ESI)		1,34	(1<ESI<5) Sistema sustentável a médio prazo.					
Renovabilidade emergética (%R)		35,48	Quanto maior o %R, maior a renovabilidade do sistema analisado.					

Fonte: Elaborado pelo Autor a partir de dados de pesquisa (2021)

Para efeito de análise pela especificidade dos cálculos da Tabela 9 os itens a seguir merecem destaque:

1. Radiação solar

$$\text{Energia (seJ)} = (8,07\text{E}+08 \text{ J}) \times (1,00\text{E}+00 \text{ seJ J}^{-1}) = 8,07\text{E}+08 \text{ seJ}$$

$$\text{Energia (J)} = (\text{duração da construção, 4,225 dias}) \times (5,05 \text{ kWh m}^{-2} \text{ dia}^{-1}) \times (10,5 \text{ m}^2) \times (3,60\text{E}+06 \text{ J kWh}^{-1}) = 8,07\text{E}+08 \text{ J}$$

$$\text{Tr (seJ J}^{-1}) = 1,00\text{E}+00 \text{ seJ J}^{-1} \text{ (por definição)}$$

16. Tela de sombreamento

$$\text{Energia (seJ)} = (1,39 \text{ kg}) \times (2,16\text{E}+12 \text{ seJ kg}^{-1}) \times 2 = 6,00\text{E}+12 \text{ seJ}$$

$$\text{UEV (seJ kg}^{-1}) = 2,16\text{E}+12 \text{ seJ kg}^{-1} \text{ (MU, FENG e CHU, 2012)}$$

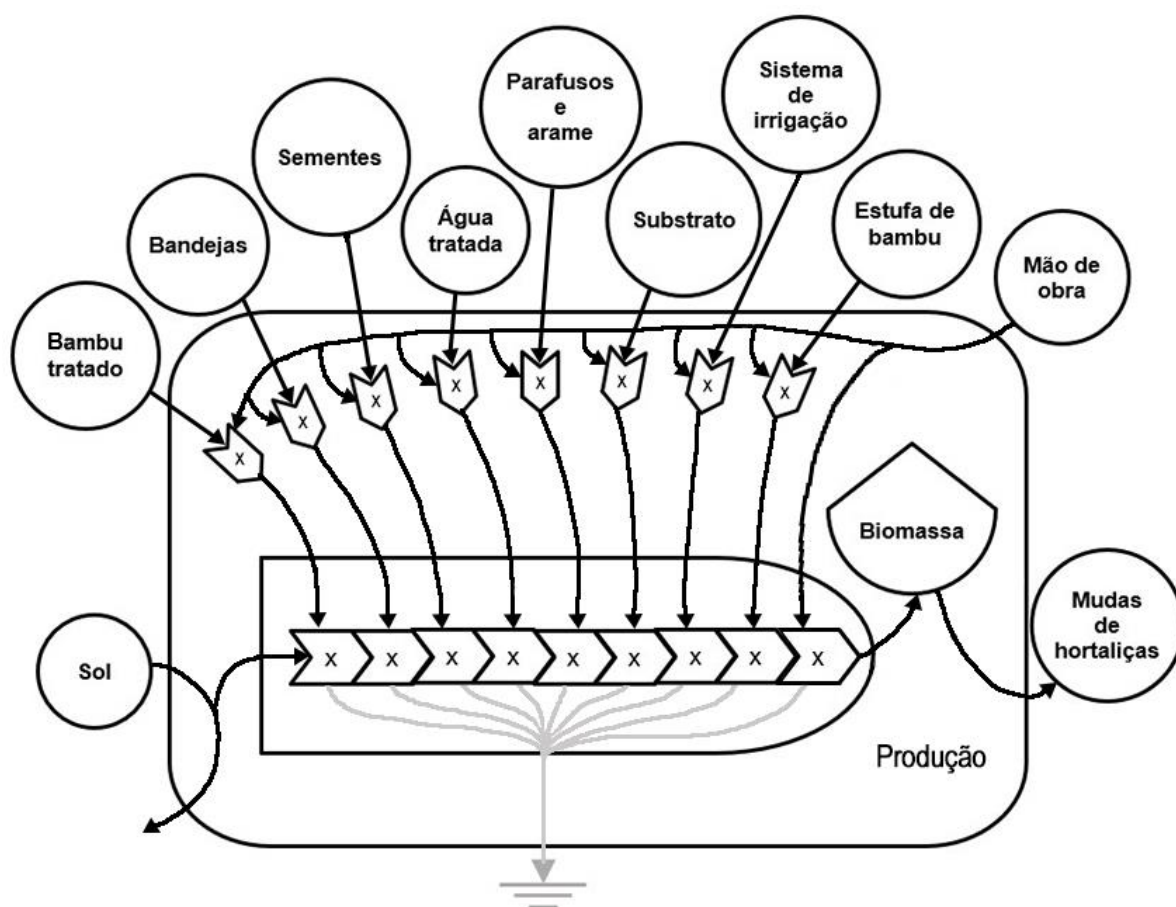
Pela estufa de bambu estudada possuir de um processo construtivo artesanal, que necessita de muitas horas de trabalho humano, 33,8 horas para construção, 36,12 horas para manutenção ao longo dos 12 anos de vida útil, o que envolve 3 trocas da cobertura plástica e uma troca da estrutura de bambu e da tela de sombreamento, além das 12 horas prévias que foram empregadas em uma oficina para aprender o método construtivo, totalizando 82 horas de trabalho humano que corresponde a 45,14% da energia total da estufa.

Os dois outros itens que mais contribuem são o bambu tratado com 28,21% e o eucalipto tratado com 19,18%. Apesar desses dois itens possuírem um ESI inferior a 1, o que os caracterizam como não sustentáveis; porém quando empregados juntos como materiais de construção, neste caso, passam a compor uma estufa agrícola com ESI de 1,34, o que indica um sistema sustentável a médio prazo (BROWN e ULGIATI, 2004).

4.4 Produção diversificada de mudas de hortaliças

Foi feito o desenho do diagrama sistêmico da produção diversificada de mudas de hortaliças (Figura 13), onde foram representadas as entradas, os principais fluxos de energia e materiais envolvidos do sistema estudado.

Figura 13 – Diagrama de fluxo energético para produção diversificadas de mudas de hortaliças



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos símbolos energéticos propostos por Odum (1996)

Para compor o cálculo da energia para a produção de mudas, foram considerados os valores de energia da estufa de bambu, local onde as mudas são produzidas. O bambu tratado, o arame e os parafusos foram novamente adicionados na lista, pois são materiais usados como estrado para suporte das bandejas de plantio, sendo assim, eles não foram contabilizados anteriormente no cálculo da estrutura da estufa.

Os dois sistemas de irrigação estudados diferiram no tempo de mão de obra empregado da rega das mudas em formação e na quantidade de água utilizada. Na irrigação com pulverizador costal (PUL) foram despendidos em média 22,95 minutos por dia ($139,61 \text{ h ano}^{-1}$) e 13,0 litros por dia ($4731,1 \text{ L ano}^{-1}$). Já na irrigação com conjunto de microaspersores (MIC) foram despendidos em média 6,02 minutos por dia ($36,80 \text{ h ano}^{-1}$) e 21,6 litros por dia ($7867,66 \text{ L ano}^{-1}$). Ou seja, a rega com nebulizadores consome 66,3% de água a mais que a com o pulverizador manual, mas

o tempo de trabalho usado com os nebulizadores é menor e corresponde a aproximadamente 1/4 (26,38%) do tempo utilizado com o pulverizador.

4.4.1 Irrigação com pulverizador costal (PUL)

A tabela de cálculos emergéticos do sistema PUL (Tabela 10) foi construída levando em consideração os fluxos correspondentes a 12 anos de atividade do sistema. A vida útil do pulverizador costal foi estimada em 6 anos, portando, nesses cálculos utilizou-se dois itens desse produto.

A energia total deste sistema de irrigação (PUL) foi quantificada em $8,69\text{E}+14$ seJ ano⁻¹, a renovabilidade foi de 48,69% e UEV de $1,84\text{E}+11$ seJ L⁻¹. O principal item que contribuiu para este valor emergético foi a mão de obra que corresponde a 96,63%.

Tabela 10 – Fluxos e índices emergéticos da irrigação com pulverizador costal (PUL)
(fluxos em 12 anos)

Nº	Item	R%	Valor	Uni	UEV	Fluxo de energia	Ref. (UEV)	%
Recurso renovável local (R)								
1	Mão de obra (50,00%)	50,00	8,38E+02	h	6,02E+12	5,04E+15	BONILLA et al., 2010	48,31
Recurso não renovável local (N)								
2	Mão de obra (50,00%)	50,00	8,38E+02	h	6,02E+12	5,04E+15	BONILLA et al., 2010	48,31
Recursos da economia renováveis (FR)								
3	Água tratada (59,00%)	59,00	3,35E+04	L	1,19E+09	3,99E+13	FERREIRA, 2011	0,38
Recursos da economia não renováveis (FR)								
4	Água tratada (41,00%)	59,00	2,33E+04	L	1,19E+09	2,77E+13	FERREIRA, 2011	0,27
5	Pulverizador Costal (x2)	0,00	2,26E+02	R\$	1,26E+12	2,85E+14	SILVA, 2020	2,73
Total (R)						5,04E+15		48,31
Total (N)						5,04E+15		48,31
Total (F)						3,52E+14		3,37
Total (FR)						3,99E+13		0,38
Total (FN)						3,12E+14		2,99
Energia Total (U)		48,69	5,68E+04	L	1,84E+11	1,04E+16	Calculado neste estudo	
Energia Total por ano (U/ano)		48,69	4,73E+03	L	1,84E+11	8,69E+14	Calculado neste estudo	
Índices emergéticos		Valor	Interpretação do valor do índice baseada em Brown e Ulgiati (2004)					
Rendimento emergético (EYR)		29,63	(EYR>5) Grande contribuição para o desenvolvimento econômico.					
Investimento emergético (EIR)		0,03	Quanto menor o EIR, maior a competitividade do sistema.					
Impacto ambiental (ELR)		1,05	(ELR<2) Sistema de produção com baixíssima carga ambiental.					
Índice de sustentabilidade (ESI)		28,13	(ESI>5) Sistema sustentável a longo prazo.					
Renovabilidade emergética (%R)		48,69	Quanto maior o %R, maior a renovabilidade do sistema analisado.					

Fonte: Elaborado pelo Autor a partir de dados de pesquisa (2021)

O Rendimento emergético (EYR) foi de 29,63, valor ($EYR > 5$) indica que sua contribuição é grande para o desenvolvimento da economia; o Investimento emergético (EIR) foi 0,03, por se tratar de um valor muito próximo de zero indica que o sistema tem grande competitividade; o Impacto ambiental (ELR), com valor de 1,05 é considerado um sistema com produção com baixíssima carga (impacto) ambiental; o Índice de sustentabilidade (ESI) foi de 28,13, apontando que o sistema é sustentável a longo prazo.

4.4.2 Irrigação com conjunto de microaspersores (MIC)

A tabela de cálculos emergéticos do sistema MIC (Tabela 11) foi construída levando em consideração os fluxos correspondentes a 12 anos de atividade do sistema. A vida útil do bambu tratado, arame, tubo de polietileno, microaspersores e registro foi estimada em 6 anos, portando, nesses cálculos utilizou-se dois itens destes produtos.

A energia total deste sistema de irrigação (MIC) foi quantificada em $2,48E+14$ seJ ano⁻¹, a renovabilidade foi de 48,17% e UEV de $3,15 E+10$ seJ L⁻¹. O principal item que contribuiu para este valor emergético foi a mão de obra que corresponde a 90,40%.

O Rendimento emergético (EYR) foi de 11,35, valor ($EYR > 5$) indica que sua contribuição é grande para o desenvolvimento da economia; o Investimento emergético (EIR) foi 0,10, por se tratar de um valor muito próximo de zero indica que o sistema tem grande competitividade; o Impacto ambiental (ELR), com valor de 1,08 é considerado um sistema com produção com baixíssima carga (impacto) ambiental; o Índice de sustentabilidade (ESI) foi de 10,55, apontando que o sistema é sustentável a longo prazo.

Tabela 11 – Fluxos e índices emergéticos da irrigação com conjunto de microaspersores (MIC) (fluxos em 12 anos)

Nº	Item	%R	Valor	Uni	UEV	Fluxo de energia	Ref. (UEV)	%
Recursos renováveis locais (R)								
1	Bambu tratado (30,73%) (x2)	30,76	1,04E+01	m	1,83E+12	1,91E+13	Calculado neste estudo	0,64
2	mão de obra (50,00%)	50,00	2,24E+02	h	6,02E+12	1,35E+15	BONILLA et al., 2010	45,20
Recursos não renováveis locais (N)								
3	Bambu tratado (7,28%) (x2)	30,76	2,48E+00	m	1,83E+12	4,53E+12	Calculado neste estudo	0,15
4	Mão de obra (50,00%)	50,00	2,24E+02	h	6,02E+12	1,35E+15	BONILLA et al., 2010	45,20
Recursos da economia renováveis (FR)								
5	Água tratada (59,00%)	59,00	5,57E+04	L	1,19E+09	6,63E+13	FERREIRA, 2011	2,23
6	Bambu tratado (0,03%) (x2)	30,76	1,02E-02	m	1,83E+12	1,87E+10	Calculado neste estudo	0,00
7	Arame (79,90%) (x2)	79,90	2,16E+02	g	1,47E+10	3,17E+12	PULSELLI et al., 2009	0,11
Recursos da economia não renováveis (FN)								
8	Água tratada (41,00%)	59,00	3,87E+04	L	1,19E+09	4,61E+13	FERREIRA, 2011	1,55
9	Bambu tratado (61,96%) (x2)	30,76	2,11E+01	m	1,83E+12	3,86E+13	Calculado neste estudo	1,29
10	Arame (20,10%) (x2)	79,90	5,43E+01	g	1,47E+10	7,98E+11	PULSELLI et al., 2009	0,03
11	Tubo de polietileno (x2)	0,00	1,79E+08	J	2,72E+05	4,87E+13	BURANAKARN, 1998	1,63
12	Microaspersores (x2)	0,00	1,60E+01	R\$	1,26E+12	2,02E+13	SILVA, 2020	0,68
13	Registro (x2)	0,00	2,56E+01	R\$	1,26E+12	3,23E+13	SILVA, 2020	1,08
14	Abraçadeiras	0,00	5,00E+00	R\$	1,26E+12	6,30E+12	SILVA, 2020	0,21
Total (R)						1,37E+15		45,84
Total (N)						1,35E+15		45,35
Total (F)						2,62E+14		8,81
Total (FR)						6,95E+13		2,33
Total (FN)						1,93E+14		6,47
Energia Total (Y)		48,17	9,44E+04	L	3,15E+10	2,98E+15	Calculado neste estudo	
Energia Total por ano (Y/ano)		48,17	7,87E+03	L	3,15E+10	2,48E+14	Calculado neste estudo	
Índices emergéticos		Valor	Interpretação do valor do índice baseada em Brown e Ulgiati (2004)					
Rendimento emergético (EYR)		11,35	(EYR>5) Grande contribuição para o desenvolvimento econômico.					
Investimento emergético (EIR)		0,10	Quanto menor o EIR, maior a competitividade do sistema.					
Impacto ambiental (ELR)		1,08	(ELR<2) Sistema de produção com baixíssima carga ambiental.					
Índice de sustentabilidade (ESI)		10,55	(ESI>5) Sistema sustentável a longo prazo.					
Renovabilidade emergética (%R)		48,17	Quanto maior o %R, maior a renovabilidade do sistema analisado.					

Fonte: Elaborado pelo Autor a partir de dados de pesquisa (2021)

4.4.3 Análise emergética da produção diversificadas de mudas

As tabelas 12 e 13 com os cálculos emergéticos da produção diversificada de mudas utilizando o sistema de irrigação PUL e MIC, respectivamente, foram construídas levando em consideração os fluxos correspondentes ao período de um ano.

Ao longo do ciclo produtivo de um ano, são produzidas 18657 mudas. Para isso são necessários um total de 6340 minutos de trabalho humano (105,68 horas), distribuídos em 886,43 minutos (14,77 horas) para o preparo das bandejas, 2419,43 minutos (40,32 horas) para semeadura nas células, 2914,79 minutos (48,58 horas) para o desbaste das plântulas e 119,93 minutos (2,00 horas) para o controle de predadores. O tempo dedicado a irrigação não está nessa contagem, pois esse tempo já foi contabilizado nos cálculos dos sistemas de irrigação testados.

A energia total da produção com o sistema de irrigação MIC foi de $1,26\text{E}+15$ seJ ano⁻¹ enquanto o sistema PUL foi de $1,88\text{E}+15$ seJ ano⁻¹ e as UEVs foram de $6,77\text{E}+10$ seJ muda⁻¹ e $1,01\text{E}+11$ seJ muda⁻¹, respectivamente (Tabelas 12 e 13). O rendimento emergético (EYR) de ambos indica que a contribuição para o desenvolvimento econômico é moderada (3,41 e 4,98, respectivamente). O impacto ambiental (ELR) de ambos os sistemas foi classificado como baixíssima (BROWN e ULGIATI, 2004). Já o ESI foi de 36,20% e 40,38%. Portanto, os índices emergéticos apontam a produção de mudas utilizando ambos os sistemas de irrigação estudados performaram bem do ponto de vista emergético e, entre eles, a produção com o sistema PUL foi a melhor.

Nos dois sistemas analisados, as maiores contribuições para o fluxo emergético total foram provenientes dos itens mão de obra, sistema de irrigação e substrato.

Tabela 12 – Fluxos e índices emergéticos da produção diversificada de mudas de hortaliças como irrigação PUL (fluxos em 1 ano)

Nº	Item	%R	Valor	Uni	UEV	Fluxo de energia	Ref. (UEV)	%
Recursos renováveis locais (R)								
1	Radiação solar	100,00	2,84E+10	J	1,00E+00	2,84E+10	Por definição	0,00
2	Mão de obra (50,00%)	50,00	5,28E+01	h	6,02E+12	3,18E+14	BONILLA et al., 2010	16,88
3	Estufa (32,79%)	35,48	1,72E+00	m²	8,68E+12	1,49E+13	Calculado neste estudo	0,79
4	Irrigação PUL (48,31%)	48,69	2,29E+03	L	1,84E+11	4,20E+14	Calculado neste estudo	22,29
5	Bambu tratado (30,73%)	30,76	8,60E+00	m	3,05E+11	2,62E+12	Calculado neste estudo	0,14
Recurso não renováveis locais (N)								
6	Mão de obra (50,00%)	50,00	5,28E+01	h	6,02E+12	3,18E+14	BONILLA et al., 2010	16,88
7	Estufa (26,19%)	35,48	1,37E+00	m²	8,68E+12	1,19E+13	Calculado neste estudo	0,63
8	Irrigação PUL (48,31%)	48,69	2,29E+03	L	1,84E+11	4,20E+14	Calculado neste estudo	22,29
9	Bambu tratado (7,28%)	30,76	2,04E+00	m	3,05E+11	6,22E+11	Calculado neste estudo	0,03
Recursos da economia renováveis (FR)								
10	Estufa (2,69%)	35,48	1,41E-01	m²	8,68E+12	1,23E+12	Calculado neste estudo	0,07
11	Irrigação PUL (0,38%)	48,69	1,80E+01	L	1,84E+11	3,30E+12	Calculado neste estudo	0,18
12	Bambu tratado (0,03%)	30,76	8,40E-03	m	3,05E+11	2,56E+09	Calculado neste estudo	0,00
13	Arame (79,90%)	79,90	1,76E+01	g	1,47E+10	2,58E+11	PULSELLI et al., 2009	0,01
14	Parafuso de aço (79,90%)	79,90	2,93E+00	g	1,36E+10	3,98E+10	ASGHARIPOUR et al., 2020	0,00
15	Sementes	100,00	4,17E+02	g	1,20E+09	5,01E+11	COPPOLA et al., 2009	0,03
Recursos da economia não renováveis (FN)								
16	Estufa (38,34%)	35,48	2,01E+00	m²	8,68E+12	1,75E+13	Calculado neste estudo	0,93
17	Irrigação PUL (2,99%)	48,69	1,41E+02	L	1,84E+11	2,60E+13	Calculado neste estudo	1,38
18	Bambu tratado (61,96%)	30,76	1,73E+01	m	3,05E+11	5,29E+12	Calculado neste estudo	0,28
19	Arame (20,10%)	79,90	4,42E+00	g	1,47E+10	6,50E+10	PULSELLI et al., 2009	0,00
20	Parafuso de aço (20,10%)	79,90	7,37E-01	g	1,36E+10	1,00E+10	ASGHARIPOUR et al., 2020	0,00
21	Bandejas de polipropileno	0,00	1,19E+03	g	2,16E+09	2,56E+12	MU, FENG e CHU, 2012	0,14
22	Substrato	0,00	2,55E+02	R\$	1,26E+12	3,21E+14	SILVA, 2020	17,05
Total (R)						7,56E+14		40,10
Total (N)						7,51E+14		39,83
Total (F)						3,78E+14		20,06
Total (FR)						5,33E+12		0,28
Total (FN)						3,73E+14		19,78
Energia Total (Y/ano)		40,38	1,87E+04	muda	1,01E+11	1,88E+15	Calculado neste estudo	
Índices emergéticos								
		Valor	Interpretação do valor do índice baseada em Brown e Ulgiati (2004)					
Rendimento emergético (EYR)		4,98	(2<EYR<5) Contribuição moderada para o desenvolvimento econômico.					
Investimento emergético (EIR)		0,25	Quanto menor o EIR, maior a competitividade do sistema.					
Impacto ambiental (ELR)		1,48	(ELR<2) Sistema de produção com baixíssima carga ambiental.					
Índice de sustentabilidade (ESI)		3,38	(1<ESI<5) Sistema sustentável a médio prazo.					
Renovabilidade emergética (%R)		40,38	Quanto maior o %R, maior a renovabilidade do sistema analisado.					

Fonte: Elaborado pelo Autor a partir de dados de pesquisa (2021)

Tabela 13 – Fluxos e índices emergéticos da produção diversificada de mudas de hortaliças como irrigação MIC (fluxos em 1 ano)

Nº	Item	%R	Valor	Uni	UEV	Fluxo de energia	Ref. (UEV)	%
Recursos renováveis locais (R)								
1	Radiação solar	100,00	2,84E+10	J	1,00E+00	2,84E+10	Por definição	0,00
2	Mão de obra (50,00%)	50,00	5,28E+01	h	6,02E+12	3,18E+14	BONILLA et al., 2010	25,18
3	Estufa (32,79%)	35,48	1,72E+00	m²	8,68E+12	1,49E+13	Calculado neste estudo	1,18
4	Irrigação MIC (45,84%)	48,17	3,61E+03	L	3,15E+10	1,14E+14	Calculado neste estudo	9,01
5	Bambu tratado (30,73%)	30,76	8,60E+00	m	3,05E+11	2,62E+12	Calculado neste estudo	0,21
Recurso não renováveis locais (N)								
6	Mão de obra (50,00%)	50,00	5,28E+01	h	6,02E+12	3,18E+14	BONILLA et al., 2010	25,18
7	Estufa (26,19%)	35,48	1,37E+00	m²	8,68E+12	1,19E+13	Calculado neste estudo	0,94
8	Irrigação MIC (45,35%)	48,17	3,57E+03	L	3,15E+10	1,13E+14	Calculado neste estudo	8,91
9	Bambu tratado (7,28%)	30,76	2,04E+00	m	3,05E+11	6,22E+11	Calculado neste estudo	0,05
Recursos da economia renováveis (FR)								
10	Estufa (2,69%)	35,48	1,41E-01	m²	8,68E+12	1,23E+12	Calculado neste estudo	0,10
11	Irrigação MIC (2,33%)	48,17	1,83E+02	L	3,15E+10	5,78E+12	Calculado neste estudo	0,46
12	Bambu tratado (0,03%)	30,76	8,40E-03	m	3,05E+11	2,56E+09	Calculado neste estudo	0,00
13	Arame (79,90%)	79,90	1,76E+01	g	1,47E+10	2,58E+11	PULSELLI et al., 2009	0,02
14	Parafuso de aço (79,90%)	79,90	2,93E+00	g	1,36E+10	3,98E+10	ASGHARIPOUR et al., 2020	0,00
15	Sementes	100,00	4,17E+02	g	1,20E+09	5,01E+11	COPPOLA et al., 2009	0,04
Recursos da economia não renováveis (FN)								
16	Estufa (38,34%)	35,48	2,01E+00	m²	8,68E+12	1,75E+13	Calculado neste estudo	1,38
17	Irrigação MIC (6,47%)	48,17	5,09E+02	L	3,15E+10	1,61E+13	Calculado neste estudo	1,27
18	Bambu tratado (61,96%)	30,76	1,73E+01	m	3,05E+11	5,29E+12	Calculado neste estudo	0,42
19	Arame (20,10%)	79,90	4,42E+00	g	1,47E+10	6,50E+10	PULSELLI et al., 2009	0,01
20	Parafuso de aço (20,10%)	79,90	7,37E-01	g	1,36E+10	1,00E+10	ASGHARIPOUR et al., 2020	0,00
21	Bandejas de polipropileno	0,00	1,19E+03	g	2,16E+09	2,56E+12	MU, FENG e CHU, 2012	0,20
22	Substrato	0,00	2,55E+02	R\$	1,26E+12	3,21E+14	SILVA, 2020	25,44
Total (R)						4,49E+14		35,58
Total (N)						4,43E+14		35,08
Total (F)						3,71E+14		29,34
Total (FR)						7,81E+12		0,62
Total (FN)						3,63E+14		28,72
Energia Total (Y/ano)		36,20	1,87E+04	muda	6,77E+10	1,26E+15	Calculado neste estudo	
Índices emergéticos		Valor	Interpretação do valor do índice baseada em Brown e Ulgiati (2004)					
Rendimento emergético (EYR)		3,41	(2<EYR<5) Contribuição moderada para o desenvolvimento econômico.					
Investimento emergético (EIR)		0,42	Quanto menor o EIR, maior a competitividade do sistema.					
Impacto ambiental (ELR)		1,76	(ELR<2) Sistema de produção com baixíssima carga ambiental.					
Índice de sustentabilidade (ESI)		1,93	(1<ESI<5) Sistema sustentável a médio prazo.					
Renovabilidade emergética (%R)		36,20	Quanto maior o %R, maior a renovabilidade do sistema analisado.					

Fonte: Elaborado pelo Autor a partir de dados de pesquisa (2021)

4.5 Produção de compostos orgânicos

4.5.1 Crotalária + Capim-elefante + Torta de mamona comercial (CCT)

Para o preparo do composto CCT foi utilizado um total de 920 minutos de mão de obra (15,33 horas), distribuídos em 192 minutos (3,20 horas) para o preparo de canteiro e semeadura da crotalária, 124 minutos (2,07 horas) dedicados à colheita da parte aérea da crotalária, 49 minutos (0,82 hora) para a coleta do capim-elefante, 135 minutos (2,25 hora) para a fragmentação do capim, 238 minutos (3,97 horas) utilizados para fragmentação da crotalária, 14 minutos (0,23 hora) para montagem da pilha de compostagem, 96 minutos (1,60 hora) para rega e revolvimento das pilhas, 72 minutos (1,20 hora) para peneiramento e ensacamento do material final.

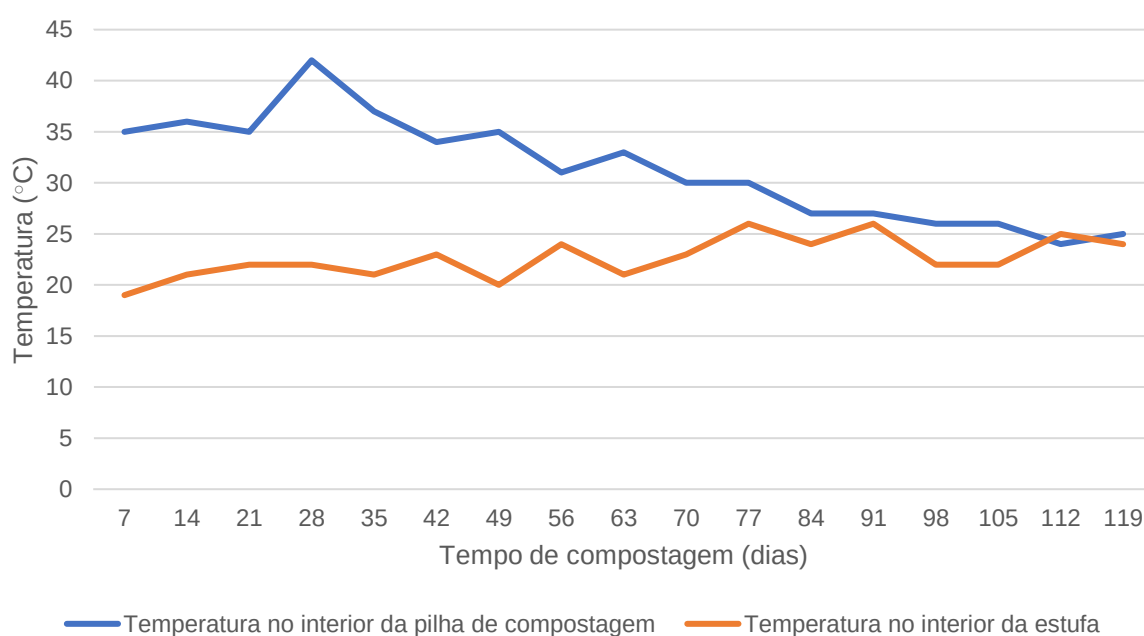
A quantidade de água tratada usada para a irrigação das pilhas, quando estas se encontravam com umidade abaixo de 50%, foi de 432,7 litros. Já em relação a água proveniente da chuva para o desenvolvimento da crotalária e do capim, levando em consideração o tempo de cultivo de 90 dias e a média de chuva durante esse intervalo de tempo, temos cerca de 650mm. Este volume de chuva, no canteiro de crotalária com área de 60 m², corresponde a 39000 litros.

Foram utilizados para a montagem da pilha de compostagem material vegetal que foi colhido e fragmentado duas semanas antes da montagem da pilha; no momento da pastagem, foram utilizados 13,57 kg (0,70 m³) de capim-elefante, que quando coletado possuía uma massa fresca de 41,03 kg; e 50,70 kg (0,35 m³) de crotalária, que quando coletado possuía uma massa fresca de 22,87 kg. Para o transporte dessas plantas até a estufa onde ocorreu o processo de compostagem, utilizou-se 0,82 L de gasolina para o capim-elefante e 0,20 L para a crotalária, totalizando 1,02 litros de combustível.

Durante os 120 dias da compostagem, é possível acompanhar o comportamento térmico da pilha observado na Figura 14. Na produção do composto CCT, não houve a fase mesofílica, caracterizada por apresentar temperaturas entre 45 e 70 graus Celsius (NOGUERA, 2011). Essa faixa de temperatura sugere correlação com a concentração mínima de nitrogênio adequada para atuação eficiente dos microrganismos atuantes no processo.

A ausência dessa fase justifica o acréscimo do volume de 10 litros de torta de mamona no vigésimo primeiro dia, na tentativa de aumentar a concentração relativa do nitrogênio na pilha. Após essa adição, houve um ligeiro aumento da temperatura, chegando ao máximo de 42 graus no vigésimo oitavo dia). Outro fator que pode ter contribuído para as temperaturas abaixo do convencional, é o volume pequeno da pilha de compostagem (1m^3), que deixa ela mais susceptível a perda de calor para o ambiente. Apesar desse comportamento, é possível ver na análise química que o composto apresenta riqueza de macro e micronutrientes. Ao final, foram produzidos 50,92 litros desse composto peneirado.

Figura 14 – Temperatura ao longo do processo de compostagem (CCT)



Fonte: Elaborado pelo Autor a partir de dados de pesquisa (2021)

4.5.1.1 Análise emergética do composto orgânico (CCT)

A tabela 14 apresenta os fluxos emergéticos significativos da compostagem CCT. A energia resultante na produção desse composto foi de $1,69\text{E}+14$ seJ, o que corresponde a $3,32\text{E}+12$ seJ L^{-1} . Quando comparada ao composto comercial utilizado na produção de mudas que possui uma energia total de $7,14\text{E}+11$ seJ L^{-1} , observa-se que ele possui uma energia 4,65 vezes maior. Esse processo CCT tem uma

renovabilidade (%R) de 47,04% e um Índice de sustentabilidade (ESI) de 3,16, o que segundo Brown e Ulgiati (2004) significa que o sistema é sustentável a médio prazo.

Tabela 14 – Fluxos e índices emergéticos da produção do composto orgânico (CCT)

Nº	Item	%R	Valor	Uni	UEV	Fluxo de energia	Ref. (UEV)	%
Recursos renováveis locais (R)								
1	Radiação solar	100,00	1,08E+11	J	1,00E+00	1,08E+11	Por definição	0,06
2	Chuva	100,00	1,85E+08	J	3,06E+04	5,66E+12	Brown e Ulgiati, 2004	3,35
3	Evapotranspiração	100,00	1,08E+08	J	3,98E+04	4,28E+12	ODUM et al., 2000	2,53
4	Mão de obra (50,00%)	50,00	7,67E+00	h	6,02E+12	4,61E+13	BONILLA et al., 2010	27,29
5	Estufa (32,79%)	35,48	5,66E-01	m ²	8,68E+12	4,91E+12	Calculado neste estudo	2,91
6	Capim-elefante	100,00	7,03E+08	J	1,43E+04	1,00E+13	TANNOUS et al., 2015	5,93
Recurso não renováveis locais (N)								
7	Perda de solo	0,00	2,71E+06	J	1,24E+05	3,36E+11	BROWN E ULGIATI, 2004	0,20
8	Mão de obra (50,00%)	50,00	7,67E+00	h	6,02E+12	4,61E+13	BONILLA et al., 2010	27,29
9	Estufa (26,19%)	35,48	4,52E-01	m ²	8,68E+12	3,92E+12	Calculado neste estudo	2,32
Recursos da economia renováveis (FR)								
10	Estufa (2,69%)	35,48	4,64E-02	m ²	8,68E+12	4,03E+11	Calculado neste estudo	0,24
11	Água tratada (59,00%)	59,00	2,55E+02	L	1,19E+09	3,04E+11	FERREIRA, 2011	0,18
12	Torta de mamona comercial (20,00%)	20,00	1,00E+03	g	6,90E+09	6,90E+12	ALBUQUERQUE, 2006	4,08
13	Sementes de crotalária	100,00	3,43E+02	g	2,30E+09	7,89E+11	FAHD et al., 2012	0,47
Recursos da economia não renováveis (FN)								
14	Estufa (38,34%)	35,48	6,62E-01	m ²	8,68E+12	5,74E+12	Calculado neste estudo	3,40
15	Água tratada (41,00%)	59,00	1,77E+02	L	1,19E+09	2,11E+11	FERREIRA, 2011	0,12
16	Torta de mamona comercial (80,00%)	20,00	4,00E+03	g	6,90E+09	2,76E+13	ALBUQUERQUE, 2006	16,33
17	Gasolina	0,00	4,87E+07	J	1,11E+05	5,40E+12	ODUM et al., 2000	3,20
18	Lona plástica de polietileno	0,00	4,57E+02	g	3,72E+08	1,70E+11	ODUM, 1996	0,10
Total (R)						7,11E+13		42,07
Total (N)						5,04E+13		29,81
Total (F)						4,75E+13		28,12
Total (FR)						8,40E+12		4,97
Total (FN)						3,91E+13		23,15
Energia Total (Y/ano)		47,04	50,92	L	3,32E+12	1,69E+14	Calculado neste estudo	
Índices emergéticos		Valor	Interpretação do valor do índice baseada em Brown e Ulgiati (2004)					
Rendimento emergético (EYR)		3,56	(2<EYR<5) Contribuição moderada para o desenvolvimento econômico.					
Investimento emergético (EIR)		0,39	Quanto menor o EIR, maior a competitividade do sistema.					
Impacto ambiental (ELR)		1,13	(ELR<2) Sistema de produção com baixíssima carga ambiental.					
Índice de sustentabilidade (ESI)		3,16	(1<ESI<5) Sistema sustentável a médio prazo.					
Renovabilidade emergética (%R)		47,04	Quanto maior o %R, maior a renovabilidade do sistema analisado.					

Fonte: Elaborado pelo Autor a partir de dados de pesquisa (2021)

4.5.2 Braquiária + Torta de mamona caseira (BT)

Para o reparo do composto BT foi utilizado um total de 740 minutos de mão de obra (12,33 horas), distribuídos em 49 minutos (0,82 hora) para a coleta da braquiária,

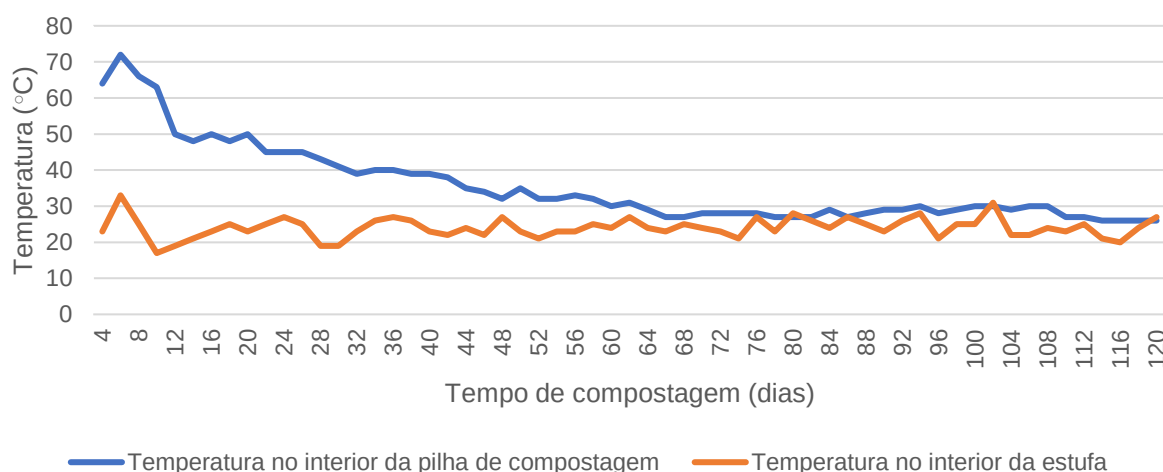
102 minutos (1,70 hora) para a coleta das mamonas, 36 minutos (0,6 hora) para o transporte do material vegetal para a estufa, 86 minutos (1,43 hora) para a fragmentação das mamonas, 46 minutos (0,77 hora) para montagem da pilha de compostagem, 314 minutos (5,23 horas) para rega e revolvimento das pilhas, 107 minutos (1,78 hora) para peneiramento e ensacamento do material final.

A quantidade de água tratada usada para a irrigação das pilhas, quando estas se encontravam com umidade abaixo de 50%, foi de 612,25 litros.

Para o transporte dessas plantas até a estufa onde ocorreu o processo de compostagem, não foi usado combustível fóssil, pois as plantas estavam em local próximo à estufa.

Durante os 120 dias da compostagem, é possível acompanhar o comportamento térmico da pilha observado na Figura 15. Na produção do composto BT, a fase mesofílica foi bem característica para o processo, apresentando temperaturas entre 45 e 70 graus por 26 dias (NOGUERA, 2011). Essa faixa de temperatura sugere que possuía concentração de nitrogênio adequada para atuação eficiente dos microrganismos atuantes no processo, além de ter um volume de pilha maior (2 m^3) que o composto CCT, o que diminui a perda de calor para o ambiente e favorece a manutenção da temperatura interna da pilha. Ao final, foram produzidos 118 litros desse composto.

Figura 15 – Temperatura ao longo do processo de compostagem (BT)



Fonte: Elaborado pelo Autor a partir de dados de pesquisa (2021)

4.5.2.1 Análise emergética do composto orgânico (BT)

A tabela 15 apresenta os fluxos emergéticos significativos da compostagem BT. A energia total obtida foi de $1,71\text{E}+14$ seJ, o que corresponde a $1,45\text{E}+12$ seJ L^{-1} . Quando comparada ao composto comercial utilizado na produção de mudas que possui uma energia total de $7,14\text{E}+11$ seJ L^{-1} , observa-se que ele possui uma energia 2,03 vezes maior. Esse processo tem uma renovabilidade (%R) de 72,44 e um ESI de 72,44, o que indica uma sustentabilidade a longo prazo.

Tabela 15 – Fluxos e índices emergéticos da produção do composto orgânico (BT)

Nº	Item	%R	Valor	Uni	UEV	Fluxo de energia	Ref. (UEV)	%
Recursos renováveis locais (R)								
1	Radiação solar	100,00	1,07E+10	J	1,00E+00	1,07E+10	Por definição	0,01
2	mão de obra (50,00%)	50,00	6,17E+00	h	6,02E+12	3,71E+13	BONILLA et al., 2010	21,65
3	Estufa (32,79%)	35,48	5,66E-01	m ²	8,68E+12	4,91E+12	Calculado neste estudo	2,87
4	Braquiária	100,00	7,04E+08	J	9,35E+03	6,58E+12	TANNOUS et al., 2015	3,84
5	Mamona	100,00	2,21E+04	g	3,38E+09	7,47E+13	COMAR et al., 2004	43,58
Recursos não renováveis locais (N)								
6	mão de obra (50,00%)	50,00	6,17E+00	h	6,02E+12	3,71E+13	BONILLA et al., 2010	21,65
7	Estufa (26,19%)	35,48	4,52E-01	m ²	8,68E+12	3,92E+12	Calculado neste estudo	2,29
Recursos da economia renováveis (FR)								
8	Estufa (2,69%)	35,48	4,64E-02	m ²	8,68E+12	4,03E+11	Calculado neste estudo	0,24
9	Água tratada (59,00%)	59,00	3,61E+02	L	1,19E+09	4,30E+11	FERREIRA, 2011	0,25
Recursos da economia não renováveis (FN)								
10	Estufa (38,34%)	35,48	6,62E-01	m ²	8,68E+12	5,74E+12	Calculado neste estudo	3,35
11	Água tratada (41,00%)	59,00	2,51E+02	L	1,19E+09	2,99E+11	FERREIRA, 2011	0,17
12	Lona plástica de polietileno	0,00	4,44E+02	g	3,72E+08	1,65E+11	ODUM, 1996	0,10
Total (R)						1,23E+14		71,95
Total (N)						4,10E+13		23,94
Total (F)						7,04E+12		4,11
Total (FR)						8,33E+11		0,49
Total (FN)						6,21E+12		3,62
Energia Total (Y/ano)		72,44	1,18E+02	L	1,45E+12	1,71E+14	Calculado neste estudo	
Índices emergéticos		Valor	Interpretação do valor do índice baseada em Brown e Ulgiati (2004)					
Rendimento emergético (EYR)		24,34	(EYR>5) Grande contribuição para o desenvolvimento econômico.					
Investimento emergético (EIR)		0,04	Quanto menor o EIR, maior a competitividade do sistema.					
Impacto ambiental (ELR)		0,38	(ELR<2) Sistema de produção com baixíssima carga ambiental.					
Índice de sustentabilidade (ESI)		63,95	(ESI>5) Sistema sustentável a longo prazo.					
Renovabilidade emergética (%R)		72,44	Quanto maior o %R, maior a renovabilidade do sistema analisado.					

Fonte: Elaborado pelo Autor a partir de dados de pesquisa (2021)

4.6 Caracterização química dos substratos

Os resultados das análises químicas de nutrientes disponíveis (Tabela 16) indicam que os compostos orgânicos produzidos nesse estudo apresentaram alto teor de nitrogênio (N). O composto CCT tem os maiores teores de potássio (K), boro (B) e cobre (Cu). O composto BT, por sua vez, se destaca no teor de fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). Já o substrato comercial apresentou as maiores concentrações dos micronutrientes enxofre (S) e manganês (Mn).

Algumas características do substrato são importantes para o crescimento e desenvolvimento das plantas, tais como a condutividade elétrica (C.E.) e o potencial hidrogeniônico (pH). A C.E. é diretamente proporcional ao teor de sais disponíveis, o que pode afetar negativamente o desenvolvimento das mudas. Cada espécie tem uma resposta diferente ao teor de sais no meio de cultivo, sendo o mais comum mantê-lo em torno de 1,0 dS/m (BEZERRA, 2003; GONÇALVES et al., 2000).

Segundo Kämpf (2000), a faixa de pH (em água) entre 5,2 e 7 é a que possui a maior disponibilidade de nutrientes. Pode-se verificar segundo a Tabela 16 que o composto CCT está fora desse intervalo. O pH de um material utilizado como substrato interfere na absorção de nutrientes pelas plantas, na vida microbiana e no desenvolvimento do sistema radicular.

Tabela 16 - Caracterização química dos substratos

AMOSTRA	pH	C.E.	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		mS/cm	-----						mg /L	-----				
1	6,55	1,09	62	24	195	30	52	142,4	10,10	0,20	0,02	0,16	0,15	0,02
2	7,48	3,08	276	39	1131	27	49	90,7	11,60	0,44	0,04	0,18	0,00	0,03
3	6,01	2,33	280	64	331	131	134	21,0	6,80	0,28	0,01	0,16	0,03	0,03

pH= potencial hidrogeniônico; C.E.= condutividade elétrica; N= nitrogênio; P= fósforo; K= potássio; Ca= cálcio; Mg= magnésio; S= enxofre; Na= sódio; B= boro; Cu= cobre; Fe= ferro; Mn= manganês; Zn= zinco; **Amostra 1** = substrato comercial Carolina Soil®; **Amostra 2** = CCT: composto produzido a partir de crotalária, capim-elefante e torta de mamona comercial (66:33:1); **Amostra 3** = BT: composto produzido a partir de braquiária e torta de mamona caseira (50:1).

4.7 Desempenho dos compostos na produção de mudas de alface

4.7.1 Efeito dos tratamentos na germinação das mudas de alface

Na Tabela 17, observa-se uma pequena diferença entre as taxas de germinação das sementes de alface. A taxa no substrato comercial é maior que o composto orgânico CCT, que por sua vez, é maior que o composto orgânico BT, porém, não foi observada diferença estatística entre esses valores. Portanto, os tratamentos não afetaram a taxa de germinação das sementes de alface (*Lactuca sativa*).

Tabela 17 – Taxa de germinação (%E) por tratamento, avaliada 11 dias após a semeadura

Amostra	%E
Comercial	0,97685 a (0,007810)
CCT	0,96759 a (0,008258)
BT	0,94213 a (0,014064)

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). O número entre parênteses corresponde ao erro padrão da média (EMP). %E = taxa de germinação; CCT = composto produzido a partir de crotalária, capim-elefante e torta de mamona comercial (66:33:1); BT = composto produzido a partir de braquiária e torta de mamona caseira (50:1).

4.7.2 Efeito dos tratamentos na formação das mudas de alface

O composto comercial apresentou melhores resultados nas variáveis analisadas, diferindo estatisticamente dos demais, seguido pelo composto CCT e por último o BT. Apenas na variável comprimento de raiz (CR), o composto CCT apresentou um valor intermediário que não diferiu estatisticamente do substrato comercial e nem do composto BT, mas esses últimos continuam diferindo entre si, mantendo o padrão do composto comercial ter o melhor resultado (Tabela 18).

A elevada salinidade apresentada nos compostos orgânicos (revelada por seus altos valores de C.E.) e o pH elevado do composto CCT podem ter afetado negativamente a formação das mudas de alface contribuindo para os resultados apresentados. Porém, as diferenças entre os valores alcançados pelos substratos não justificam as discrepâncias na resposta produtiva obtida ao final do ensaio, pois outros

estudos como o de Leal et al (2007), que utilizou a compostagem de palhada de *Crotalaria juncea* L. e capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) na proporção 2:1 com pH de 7,5 e uma C.E. de 2,0, obteve desempenho superior (altura, número de folhas, massa fresca e seca) em relação a um substrato comercial (Plantimax®) na produção de mudas de alface, levando a considerar a existência de outro fator que contribua para os resultados atingidos em nosso estudo.

Tabela 18 – Valores médios das variáveis NF, CPA, CR, MFPA, MFR e MSR, obtidos ao analisar as mudas 32 dias após a semeadura

Amostra	NF (cm)	CPA (cm)	CR (cm)	MFPA (g)	MFR (g)	MSPA (g)	MSR (g)
Comercial	3,42 a (0,0642)	7,30 a (0,1246)	9,01 a (0,1454)	0,6745 a (0,0282)	0,30 a (0,0111)	0,0735 a (0,0040)	0,0328 a (0,0156)
CCT	2,83 b (0,0485)	4,86 b (0,0949)	8,26 ab (0,1584)	0,2983 b (0,0151)	0,19 b (0,0073)	0,0357 b (0,0212)	0,0210 b (0,0113)
BT	2,42 c (0,0642)	3,75 c (0,0915)	8,15 b (0,2429)	0,1967 c (0,0090)	0,12 c (0,0056)	0,0240 c (0,0137)	0,0130 c (0,0073)

Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem estatisticamente pelo Teste de Tukey-Kramer ($p < 0,05$). O número entre parênteses corresponde ao erro padrão da média (EMP). NF = número de folhas por planta; CPA = comprimento da parte aérea, CR = comprimento de raiz; MFPA = massa da matéria fresca da parte aérea; MFR = massa da matéria fresca de raiz; MSPA = massa da matéria seca da parte aérea; MSR = massa da matéria seca de raiz; CCT = composto produzido a partir de crotalária, capim-elefante e torta de mamona comercial (66:33:1); BT = composto produzido a partir de braquiária e torta de mamona caseira (50:1).

Para análise das soluções nutritivas foi realizado um processo de filtragem do material contido nas amostras. Durante este processo, foi possível observar que o composto BT apresentou maior resistência em relação à drenagem de água, levando mais tempo que os demais compostos. Essa observação traz o questionamento do quanto a composição física do composto pode interferir em seu desempenho como substrato alternativo.

Observações feitas durante o processo de extração dos nutrientes nas amostras dos substratos para análise das soluções nutritivas divicaram que ambos os compostos orgânicos apresentam maior resistencia em relação a drenagem da água, principalmnete o composto BT. Essa observação traz o questionamento do quanto a

composição física dos compostos interferiu em seus desempenhos como substratos alternativos.

Macroporosidades e microporosidades do substrato influenciam na drenagem, retenção de água, afetando o desenvolvimento radicular da planta e consequentemente a qualidade da muda, proporcionam boa agregação das raízes e formação de sistema radicular de boa qualidade (GONÇALVES et al., 2000).

Como a performance desses compostos orgânicos não foi satisfatória para a produção de mudas de alface, a análise emergética da produção de mudas de hortaliças usando esses compostos como substratos não foi feita.

6 CONCLUSÕES

O número de estudo utilizando a emergia como ferramenta para diagnóstico e comparação de sistemas produtivos vem aumentando. Essa ferramenta mostrou-se útil para análise e tomada de decisão em processos produtivos, possibilitando a escolha e a descoberta do potencial de materiais e processos que geram menor impacto ambiental e que sejam sustentáveis por longos prazos; além de pôr em xeque o uso do critério da vida útil para a escolha de materiais, ou seja, nem sempre um material com maior tempo de duração é a escolha mais adequada pela ótica da emergia.

A mão de obra, de modo geral, teve um grande peso nos resultados das análises, devido aos sistemas estudados serem artesanais, com pouco ou nenhuma automatização. O contexto é um aspecto fundamental para esse tipo de análise, pois um único item, no caso a mão de obra, pode alterar significativamente os resultados dos índices emergéticos. A renovabilidade da mão de obra no Brasil foi considerada 50% (BONILLA et al., 2010) porém, em outra região como o Irã, esse índice pode chegar a 10% (ASGHARIPOUR, AMIRI e CAMPBELL, 2020).

Ainda existem desafios no uso da emergia para análise de sistemas pouco estudados, por exemplo, a disponibilidade para encontrar dados de UEVs na literatura e fazer as adaptações necessárias para as condições do sistema analisado. Muitas vezes, as referências e/ou ajustes feitos em outros estudos não estão claros, dificultando o estabelecimento das relações necessárias. As tabelas contendo os fluxos emergéticos presentes neste trabalho (Tabelas 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15) expõem a importância dos itens do sistema analisado serem decompostos e terem suas reais porcentagens alocadas nas categorias de recursos a que pertencem (R, N, FR e FN). Dessa forma, os índices calculados através desses dados são mais fiéis a realidades do sistema. Tal prática, porém, muitas vezes não é utilizada nos trabalhos de análise emergética, sendo comum alocar o item na categoria de recurso a qual ele tem a maior porcentagem de emergia, esse modo gera um erro nos resultados que vai escalando conforme é replicado.

Este estudo trouxe contribuições para esse universo de produção de hortaliças por meio da análise emergética da produção de suas mudas (materiais utilizados para construção de estufa, escolha do sistema de irrigação e compostagem de resíduos orgânicos), usando como contexto a realidade das hortas comunitárias e a maioria dos agricultores familiares do município de Botucatu-SP.

São necessários mais estudos e maior padronização no método, visando o alcance da sustentabilidade e do desenvolvimento para diversos setores, independentemente da escala; pois a análise emergética tem potencial para trazer mais contribuições para a humanidade em busca por uma relação mais harmoniosa com o planeta.

REFERÊNCIAS

- ABEL, T. Emergy evaluation of DNA and culture in 'information cycles'. **Ecological modelling**, v. 251, p. 85-98, 2013.
- AGOSTINHO, F.; ALMEIDA, C. M.; BONILLA, S. H.; SACOMANO, J. B.; GIANNETTI, B. F. Urban solid waste plant treatment in Brazil: Is there a net emergy yield on the recovered materials?. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 73, p. 143-155, 2013.
- ALBUQUERQUE, T. C. **Análise emergética de um sistema agroflorestal: Sítio Catavento, Indaiatuba, SP**. 2012. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - UNICAMP, São Paulo, 2012.
- ALBUQUERQUE, T. C. **Avaliação emergética de propriedades agrosilvipastoris do Brasil e da Colômbia**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - UNICAMP, São Paulo, 2006.
- ALLEGRETTI, G.; TALAMINI, E.; SCHMIDT, V.; BOGORNÍ, P. C.; ORTEGA, E. Insect as feed: An emergy assessment of insect meal as a sustainable protein source for the Brazilian poultry industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 403-412, 2018.
- ALMEIDA, G. C. S.; LAMOUNIER, W. M. Os alimentos transgênicos na agricultura brasileira: evolução e perspectivas. **Organizações Rurais & Agroindustriais**. Lavras, v. 7, n. 3, p. 345-355, 2005.
- AL-SALEM, S. M.; LETTIERI, P.; BAEYENS, J. "The valorization of plastic solid waste (PSW) by primary to quaternary routes: From re-use to energy and chemicals", **Progress in Energy and Combustion Science**, n. 36, p. 103-129, 2010.
- AMARO, G. B.; SILVA, D. M.; MARINHO, A. G.; NASCIMENTO, W. M. **Recomendações técnicas para o cultivo de hortaliças em agricultura familiar**. Brasília: Embrapa Hortaliças. Circular Técnica (INFOTECA-E), 2007.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Informe 2014. Brasília: ANA, p. 183, 2015.
- ANDRADES, T. O.; GANIMI, R. N. Revolução verde e a apropriação capitalista. **CES Revista**, v. 21, p. 43-56, 2007.
- ASGHARIPOUR, M. R.; AMIRI, Z.; CAMPBELL, D. E. Evaluation of the sustainability of four greenhouse vegetable production ecosystems based on an analysis of emergy and social characteristics". **Ecological Modelling**, v. 424, p. 109021, 2020.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. (Tradução). Campina Grande: UFPB, p. 218, 1991.
- AZZINI, A.; BERALDO, A.L. **Métodos práticos para utilização do bambu**. Campinas: UNICAMP, p. 14, 2001.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Cotações e boletins**. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/historicocotacoes> Acesso em: 14 Dez. 2021

BAILEY, K. **Methods of social research**. New York: The Free Press, 1994.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 4 ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, p. 488, 1987.

BEZERRA, F. C. Produção de mudas de hortaliças em ambiente protegido. Embrapa Agroindústria Tropical-Documentos (INFOTECA-E), 2003.

BIANCHI, V. R. **Análise dos sistemas de produção dos estabelecimentos rurais do município de Palmital/SP em busca de estratégias para o desenvolvimento rural**. 2015. Dissertação (Mestrado em Agronegócio e Desenvolvimento) – Universidade Estadual Paulista, Campus de Tupã, 2015.

BOFF, L. **Sustentabilidade: o que é: o que não é**. Petrópolis/RJ: Vozes, 2012.

BONILLA, S. H.; GUARNETTI, R. L.; ALMEIDA, C. M.; GIANNETTI, B. F. Sustainability assessment of a giant bamboo plantation in Brazil: exploring the influence of labour, time and space. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 1, p. 83-91, 2010.

BURANAKARN, V. **Evaluation of recycling and reuse of building materials using the emergy analysis method**. University of Florida, 1998.

BRASIL. **Decreto nº 7.272, de 25 de agosto de 2010**. Cria o Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional - SISAN com vistas em assegurar o direito humano à alimentação adequada, institui a Política Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional - PNSAN, estabelece os parâmetros para a elaboração do Plano Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional, e dá outras providências. Diário Oficial da União, 26 de agosto, 2010.

BRASIL, IBGE. Lei nº 11.326 de 24 de julho de 2006. **Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais**. Diário Oficial da União, v. 25, 2006.

BRASIL. **Medida Provisória nº 870, de 1º de janeiro de 2019**. Estabelece a organização básica dos órgãos da Presidência da República e dos Ministérios. Diário Oficial da União, 1 de janeiro, 2019.

BRASIL. Ministério da Saúde. VIGITEL Brasil. **Vigilância de fatores de risco e proteção para doenças crônicas por inquérito telefônico**. Brasília: Ministério da Saúde, 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de atenção à Saúde. Departamento de Atenção Básica. **Guia alimentar para a população brasileira**. 2 ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Agenda 21 brasileira: bases para discussão**. MMA/PNUD, 2000.

BRASIL, Secretaria Especial de Agricultura Familiar e do Desenvolvimento Agrário (SEAD). **Plano Safra da Agricultura Familiar 2017/2020: Fortalecer o campo**

para desenvolver o Brasil. Disponível em: <http://www.mda.gov.br/sitemda/plano-safra-da-agricultura-familiar-20172020>. Brasília, 2017. Acesso em: 17 nov. 2019.

BROWN, M. T.; ODUM, H. T.; JORGENSEN, S. E. Energy hierarchy and transformity in the universe. **Ecological Modelling**, v. 178, n. 1-2, p. 17-28, 2004.

BROWN, M. T.; PROTANO, G.; ULGIATI, S. Assessing geobiosphere work of generating global reserves of coal, crude oil, and natural gas. **Ecological Modelling**, v. 222, n. 3, p. 879-887, 2011.

BROWN M. T.; ULGIATI S. Emergy Analysis and Environmental Accounting. *In*: CLEVELAND, C. J. **Encyclopedia of Energy**. Elsevier, p. 329–354, 2004.

BROWN, M.T.; ULGIATI, S. **Emergy evaluation of natural capital and biosphere services**. *AMBIO*. v. 28, n. 6, 1999.

BUCKLIN, R. A. Physical Greenhouse Design Considerations - **Florida Greenhouse Vegetable Production Handbook**, Vol 2. Florida: University of Florida, 2013.

CANELLA, D. S.; LOUZADA, M. L. D. C.; CLARO, R. M.; COSTA, J. C.; BANDONI, D. H., LEVY; R. B.; MARTINS, A. P. B. Consumo de hortaliças e sua relação com os alimentos ultraprocessados no Brasil. **Revista de Saúde Pública**, 52. 2018.

CAMPOS, M. G. **Análise da diversidade dos sistemas de produção na horticultura no contexto do desenvolvimento do município de Botucatu – SP**. 2018. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2018.

CAPES. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. **Portal de Periódicos CAPES/MEC**. Disponível em: < <https://www-periodicos-capes-gov-br.ez87.periodicos.capes.gov.br/index.php?>>. Acesso em: 30 Jun. 2021.

CAPORAL, F. R. **Agroecologia: uma nova ciência para apoiar a transição a agriculturas mais sustentáveis**. Embrapa Caprinos e Ovinos-Outras publicações científicas (ALICE), 2009.

CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. Segurança alimentar e agricultura sustentável: uma perspectiva agroecológica. **Ciência & ambiente**, v. 1, n. 27, p. 153-165, 2003.

CARINO, F. R. **Análise qualitativa dos impactos da implantação de hortas comunitárias na cidade de Botucatu - SP**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas – Universidade Estadual Paulista, Campus de Botucatu, 2019.

CLEMENTE, F. M. V. T. **Produção de hortaliças para agricultura familiar**. Brasília: Embrapa, 2015.

COMAR, V.; TILLEY, D.; FELIX, E.; TURDERA, M.; NETO, M. C. Comparative emergy evaluation of castorbean (*Ricinus communis*) production systems in Brazil and the US. *In*: **Proceedings of IV Biennial International Workshop “Advances in Energy Studies”**. Unicamp, Campinas, SP, Brazil. p. 227-237, 2004.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Custos de Produção Agrícola: A metodologia da Conab**. Brasília, p.60, 2010.

CONSEA. **Programa Agricultura Urbana – Botucatu/SP**. Conselho Estadual de Segurança Alimentar e Nutricional Sustentável, 2018. Disponível em: <http://consea.sp.gov.br/arquivos/premio/2018/12-Agricultura-Urbana.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2021.

COPPOLA, F.; BASTIANONI, S.; ØSTERGÅRD, H. Sustainability of bioethanol production from wheat with recycled residues as evaluated by Emergy assessment. **Biomass and Bioenergy**. V. 33, n. 11, p. 1626-1642, 2009.

CUADRA, M.; RYDBERG, T. Emergy evaluation of the environment and economy of Nicaragua. In: **Proceedings of 1st Biennial Emergy Conference, Emergy Synthesis**. v. 1, 2000.

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.

DIAS, P. E. F. **Diferenciação de dois sistemas de produção de mandioca por meio de uma análise de emergência em Campos Novos Paulista-SP**. 2019. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Campus de Botucatu, 2019.

ENGINEERING TOOLBOX. **Resources, Tools and Basic Information for Engineering and Design of Technical Applications**. Disponível em: https://www.engineeringtoolbox.com/air-temperature-pressure-density-d_771.html. Acesso em: 14 Nov. 2021.

FAHD, S.; FIORENTINO, G.; MELLINO, S.; ULGIATI, S. Cropping bioenergy and biomaterials in marginal land: the added value of the biorefinery concept. **Energy**, v. 37, n. 1, p. 79-93, 2012.

FERRARI, M. O. **Experiências de um Urbanismo (Agro)Ecológico na Horta Comunitária São Caetano, Botucatu SP**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Escola de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal Fluminense, 2020.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. n. 635. Universidade Federal de Viçosa, 2000.

FOELKEL, C. **Eucalyptus Online Book & Newsletter**. Disponível em: <https://www.eucalyptus.com.br/eucaexpert/Pergunta_1638.pdf>. Acesso em: 30 NOV. 2021.

GALVÃO, A. P. M.; MAGALHÃES, W. L. E.; MATTOS, P. P. **Processos práticos para preservar a madeira**. Embrapa Florestas-Documents (INFOTECA-E), 2004.

GASPARATOS, A.; SCOLOBIG, A. Choosing the most appropriate sustainability assessment tool. **Ecological Economics**, v. 80, p. 1-7, 2012.

GEDEL PLÁSTICOS. Polietileno de Alta Densidade (PEAD), 2021. Disponível em: <https://gedelplasticos.com.br/artigos/pead-polietileno-de-alta-densidade/>. Acessado em: 23 de Nov. 2021.

GIANNETTI, B. F.; DEMÉTRIO, J. F. C.; BONILLA, S. H.; AGOSTINHO, F.; ALMEIDA, C. M. V. B. Emergy diagnosis and reflections towards Brazilian sustainable development. **Energy Policy**, v. 63, p. 1002-1012, 2013.

GOMES, M. F.; FERREIRA, L. J. Políticas públicas e os objetivos do desenvolvimento sustentável. **Direito e Desenvolvimento**, v. 9, n. 2, p. 155-178, 2018.

GONÇALVES, A. L. Substratos para produção de mudas de plantas ornamentais. MINAMI, K. **Produção de mudas de alta qualidade em horticultura**. São Paulo: TA Queiroz, p. 107-115, 1995.

GONÇALVES J. L. M.; SANTERELLI E. G.; NETO S. P. M.; MANARA M. P. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. **Nutrição e fertilização florestal**, 2000.

GUEDES, A.F.; FONSECA, C.; TAVARES, M.S.W.; RODRIGUEZ, D.P.; HÖHN, D.; ECHER R.; GAMBOA, T.B.; MORSELLI, A. Substratos alternativos para a produção de mudas de Alface Orgânica. **Revista Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa CONGREGA**, v.14, n.1, p. 2584-2595, 2017.

HAUKOOS, D. S. **Sustainable architecture and its relationship to industrialized building**. 1995. Tese de Doutorado. University of Florida, 1995.

HOVELIUS, K. Energy-, Exergy- and Emergy Analysis of Biomass Production Report. **Swedish University of Agricultural Sciences**, Uppsala, vol. 222, 1997.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário 2017**. Rio de Janeiro, 2017.

KÄMPF, A. N. Seleção de materiais para uso como substrato. In: KÄMPF N. A.; FERMINO, M. H. (Eds.) **Substratos para plantas: a base da produção vegetal em recipientes**. Porto Alegre: Gênese, p.139-145, 2000.

KUMAR, R.; PANDEY, K. K.; CHANDRASHEKAR, N.; MOHAN, S. Effect of tree-age on calorific value and other fuel properties of Eucalyptus hybrid. **Journal of Forestry Research**, v. 21, n. 4, p. 514-516, 2010.

LEAL, M. A. de A.; GUERRA, J. G.; ESPINDOLA, J. A.; ARAÚJO, E. D. S. Compostagem de misturas de capim-elefante e torta de mamona com diferentes relações C: N. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 11, p. 1195-1200, 2013.

LEAL, M. A. de A.; GUERRA, J. G. M.; PEIXOTO, R. T. D. G.; & ALMEIDA, D. L. D. Desempenho de crotalária cultivada em diferentes épocas de semeadura e de corte. **Revista Ceres**, v. 59, v. 3, p. 386-391, 2012.

LEAL, M. A. de A.; GUERRA, J. G. M.; PEIXOTO, R. T. dos G.; ALMEIDA, D. L. de. **Utilização de compostos orgânicos como substratos na produção de mudas de hortaliças**. Horticultura Brasileira. Brasília, DF, v. 25, n. 3, p. 392-395, jul.-set. 2007.

LIMA, J. T. **Obtenção de fertilizantes e substratos orgânicos a partir da compostagem de bagaço de cana mais torta de mamona e seu uso na produção de algumas hortaliças**. 2014. 50 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Orgânica). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

LIZ, R. S.; CARRIJO, O. A. Substratos para produção de mudas e cultivo de hortaliças. **Embrapa Hortaliças-Livro técnico** (INFOTECA-E), 2008.

MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**. Brasília – DF, p. 220, 2007.

MARCÍLIO, M. F. F. B. **Verificação de premissas da contabilidade ambiental em emergência: hierarquia de energia, transformidade e robustez**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Paulista, São Paulo, 2017.

MATOS, A. K. V. Revolução verde, biotecnologia e tecnologias alternativas. **Cadernos da FUCAMP**, v. 10, n. 12, p. 1-17, 2011.

MEDINA, F. **Bambusa tuldoides**, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/208344/Bambusa%20tuldoide.pdf?sequence=1>. Acesso em: 28 Jun. 2021.

MENÊZES, A. K. M.; MARTINS, M. F. Connections between theme Development Objectives Sustainable (SDG), Sustainability Indicators and Sustainable Municipal Management: A systematic review of contemporary literature. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 5, p. e57810515309, 2021.

MU, H.; FENG, X.; CHU, K. H. Calculation of emergy flows within complex chemical production systems. **Ecological Engineering**, v. 44, p. 88-93, 2012.

NELDER, J. A.; WEDDERBURN, R. W. Generalized linear models. **Journal of the Royal Statistical Society Series A**, v.135, n. 3, p. 370–384, 1972. doi:10.2307/2344614.

NOGUERA, J. O. C. Compostagem como prática de valorização dos resíduos alimentares com foco interdisciplinar na educação ambiental. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. REGET- Universidade Federal de Santa Maria. v. 3, n. 3, p. 316-325, 2011.

ODUM, H. T.; BROWN, M. T.; BRANDT-WILLIAMS, S. **Handbook of emergy evaluation Folio 1: Introduction and global budget**. University of Florida, Gainesville, v. 16, 2000.

ODUM, H. T. **Emergy Accounting. Environmental Engineering Sciences**. University of Florida, Gainesville, Florida, USA. April 2000.

ODUM, H. T. **Enviromental Accounting. Emergy and Environmental decision making**. New York-USA: John Wiley & Sons Inc., 1996.

OLIVEIRA, A. F. S. **A sustentabilidade da agricultura orgânica familiar dos produtores associados à APOI (Associação dos Produtores Orgânicos da Ibiapaba-CE)**. 2007. 97f. Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2007.

OLIVEIRA, G. B. Uma discussão sobre o conceito de desenvolvimento. **Revista da FAE**, v. 5, n. 2, 2002.

OMS. Organização Mundial da Saúde. **Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases**: report of a joint WHO/FAO expert consultation. Geneva: WHO, 2003.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Os objetivos de desenvolvimento sustentável: dos ODM aos ODS**. Programa das Nações Unidas para o

desenvolvimento (PNUD). 2015. Disponível em: <http://https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/sustainable-development-goals.html>. Acesso em: 14 fev. 2021.

ORTEGA, E. A contabilidade usando emergia: a possibilidades de uma síntese. E análise crítica da proposta da “Economia Verde”. In: **CONGRESSO SOBRE DESENVOLVIMENTO (CODE)**, Dezembro de 2011, Brasília. **Anais...** Brasília, 2011. Disponível em www.unicamp.br/fea/ortega/codeipea/SinteseEmergetica.pdf. Acesso em: 02 maio. 2021.

ORTEGA, E. **Aplicação do Conceito de Emergia na Contabilidade de Gestão Ambiental**. In: Congresso Brasileiro de Custos, 17., 2010, Belo Horizonte. 2010a.

ORTEGA, E. New Emergy Indices for a Prosperous Way Down. (M. T. Brown, S. Sweeney, D. E. Campbell, E. Ortega, T. Rydberg, D. Tilley, S. Ulgiati, Eds.) In: **Proceedings from the Sixth Biennial Emergy Conference**, January 14 – 16, 2010, Gainesville, Florida, January, Gainesville, FL, USA. **Anais...** Gainesville, FL, USA: 2010b.

ORTEGA, E. O conceito de emergia e a certificação agroecológica com visão sistêmica. In: **XIV Curso de Agrobiologia**, 15-19 de Julho de 2002, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Seropédica, 2002.

PEREIRA, A. J.; GUERRA, J. G. M.; MOREIRA, V. F.; TEIXEIRA, M. G.; URQUIAGA, S.; POLIDORO, J. C.; ESPINDOLA, J. A. A. Desempenho agrônômico de *Crotalaria juncea* em diferentes arranjos populacionais e épocas do ano. **Embrapa Agrobiologia-Comunicado Técnico** (INFOTECA-E), 2005.

PULSELLI, R. M.; SIMONCINI, E.; MARCHETTINI, N. Energy and emergy based cost–benefit evaluation of building envelopes relative to geographical location and climate. **Building and Environment**, v. 44, n. 5, p. 920-928, 2009.

RIBEIRO, D. S.; TIEPOLO, E. V.; VARGAS, M. C.; SILVA, N. **Agroecologia na educação básica: Questões propositivas de conteúdo e metodologia**. 2. ed. São Paulo: Expressão Popular, p. 164, 2017.

ROMA, J. C. Os objetivos de desenvolvimento do milênio e sua transferência para os objetivos de desenvolvimento sustentável. **Cienc. Culto.**, São Paulo, v. 71, n. 1, p. 33-39, 2019.

ROMANELLI, T. L.; COHEN, M. J.; MILAN, M.; BROWN, M. T. Emergy synthesis of intensive eucalyptus cultivation in São Paulo, Brazil. *Forest Science*, v. 54, n. 2, p. 228-241, 2008.

SANGPRADIT, K. Study of the solar transmissivity of plastic cladding materials and influence of dust and dirt on greenhouse cultivations. **Energy Procedia**, v. 56, p. 566-573, 2014.

SANTANA, W. M. S. **Crescimento, produção e propriedades da madeira de um clone de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* com enfoque energético**. 2009.104f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SANTOS, A. B. G. F. **Avaliação emergética e indicadores socioambientais de Brasil, Estados Unidos e México nas últimas sete décadas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - UNICAMP, São Paulo, 2020.

SANTOS, D. D. S.; SETTE JR, C. R.; SILVA, M. D.; YAMAJI, F. M.; ALMEIDA, R. D. A. Potencial de espécies de bambu como fonte energética. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 111, p. 751-758, 2016.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo. Instituto de Economia Agrícola. Coordenadoria de Desenvolvimento Rural Sustentável. **Projeto LUPA 2016/17: Censo Agropecuário do Estado de São Paulo.** São Paulo: SAA: IEA: CDRS, 2019.

SCHAUB, S. M.; LEONARD, J. J. Composting: An alternative waste management option for food processing industries. **Trends in Food Science & Technology**, v.7, p. 263-268, 1996.

SCORIZA, R. N.; BIANCHI, M. D. O.; CORREIA, M. E. F.; LEAL, M. A. de A. Effect of castor cake and elephant grass composting on edaphic fauna. **Ciência Rural**, v. 46, n. 10, p. 1750-1755, 2016.

SEDIYAMA, M. A. N.; SANTOS, I. C. D.; LIMA, P. C. D. Cultivo de hortaliças no sistema orgânico. **Revista Ceres**, v. 61, p. 829-837, 2014.

SILIA, H. D. N.; JESUS, T. A.; OLIVEIRA, L. H. Estudos sobre compostagem com lodo de ETE com vistas à aplicação em solo agrícola. *In: V Simpósio de Pesquisa do Grande ABC*, 71., novembro de 2015. Universidade Federal do ABC (UFABC), Santo André, 2015.

SILVA, H. E. R. **Sustentabilidade de sistemas de produção de hortaliças em propriedades rurais de Botucatu e região.** 2019. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2019.

SILVA, J. C. B. V.; LIMA, N.; OLIVEIRA, V. **Estufa ecológica. Uso do bambu em bioconstruções.** Curitiba: Centro Paranaense de Referência em Agroecologia - CPRA, 2011.

SILVA, M. A. **A situação atual da olericultura em Seropédica - RJ: uma análise sobre a origem e o destino dos produtos comercializados.** Instituto de Agronomia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2012.

SILVEIRA E. A.; MARTINS B. B.; ABREU L.R.; CARDOSO C. K. Low consumption of fruit, vegetables and greens: associated factors among the elderly in a Midwest Brazilian city. **Cienc Saude Colet.**, v. 20, n. 12, p. 3689-99, 2015.

TANNOUS, K.; ARTIOLI, R. A.; CARMO, V. B. Avaliação da eficiência energética renovável de biomassas alternativas para geração de eletricidade, 2015.

TIBURTINO, R. F.; PAES, J. B.; VIDAURRE, G. B.; ARANTES, M. D. C.; ROSA, R. A. Influência do diafragma no tratamento preservativo de duas espécies de bambu por substituição de seiva. **Ciência Florestal**, v. 26, p. 925-938, 2016.

THE WHOQOL GROUP. The World Health Organization quality of life assessment (WHOQOL): position paper from the World Health Organization. **Social Science and Medicine**, v. 10, p. 1403-1409, 1995.

ULGIATI, S.; BROWN, M.T. Monitoring patterns of sustainability in natural and manmade ecosystems. **Ecological Modelling**, v.108, p.23-36, 1998.

UNESP. **Resenha Climatológica (1971 a 2006)**. Estação Meteorológica do Departamento de Ciência de Solos e Recursos Ambientais – FCA/ UNESP, Botucatu, SP. 2013. Disponível em: <https://www.fca.unesp.br/#!/instituicao/departamentos/solos-recursos-ambientais/sra/estacao-meteorologica/resenha-climatologica/>. Acesso em: 28 jun. 2021.

VAN BELLEN, H. M. Desenvolvimento sustentável: uma descrição das principais ferramentas de avaliação. **Ambiente & Sociedade**, v. 7, n. 1, p. 67-87, 2004.

VARGAS, H.; MARTINS, J. Introdução ao Conceito de Emergia. *In*: **IX EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica UniCesumar**, 9., novembro de 2015, Maringá. Anais Eletrônico, Maringá, PR: UNICESUMAR, p. 4-8, 2015. Disponível em:

http://www.cesumar.br/prppge/pesquisa/epcc2015/anais/Jennifer_Martins_Waldhelm.pdf. Acesso em: 27 nov. 2020.

WESTFALL, P. H.; TOBIAS, R. D.; ROM, D.; WOLFINGER, R. D.; HOCHBERG, Y. **Multiple Comparisons and Multiple Tests Using the SAS System**. 1. ed. Cary. SAS Institute Inc., p. 389, 1999.