

STHEFANI GONÇALVES DE OLIVEIRA

**SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO EM SUCESSÃO ENTRE
HORTALIÇAS E PLANTAS MEDICINAIS**

Botucatu

2017

STHEFANI GONÇALVES DE OLIVEIRA

**SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO EM SUCESSÃO ENTRE
HORTALIÇAS E PLANTAS MEDICINAIS**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP –
Campus de Botucatu, para obtenção
do título de Doutor em Agronomia
(Horticultura).

Orientador: Prof. Dr. Filipe Pereira
Giardini Bonfim

Botucatu

2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP
- FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

046s Oliveira, Sthefani Gonçalves de, 1988-
Sustentabilidade de sistemas de produção em sucessão
entre hortaliças e plantas medicinais / Sthefani Gonçalves
de Oliveira. - Botucatu: [s.n.], 2017
50 p.: il., color., grafs., tabs.

Tese(Doutorado)- Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2017
Orientador: Filipe Pereira Giardini Bonfim
Inclui bibliografia

1. Hortaliças - Cultivo. 2. Plantas medicinais - Cultivo. 3. Sistemas agrícolas. 4. Sustentabilidade. 5. Ciclo de vida do produto - Análise. I. Bonfim, Filipe Pereira Giardini. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"(Câmpus de Botucatu).Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

Elaborada por Maria Lúcia Martins Frederico - CRB-8:5255

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

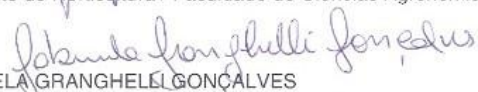
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: SUSTENTABILIDADE DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO EM SUCESSÃO ENTRE
HORTALIÇAS E PLANTAS MEDICINAIS

AUTORA: STHEFANI GONÇALVES DE OLIVEIRA

ORIENTADOR: FILIPE PEREIRA GIARDINI BONFIM

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA
(HORTICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. FILIPE PEREIRA GIARDINI BONFIM
Departamento de Horticultura / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP
Dra GABRIELA GRANGHELLINI GONÇALVES
Depto Horticultura - Pós-Doutoranda / Faculdade de Ciências Agrônômicas
Prof. Dr. SANTINO SEABRA JUNIOR
Departamento de Agronomia / Universidade do Estado do Mato Grosso
Doutora ANASTÁCIA FONTANETTI
Departamento de Agroecologia / UNIVERSIDADE FED. DE SÃO CARLOS - CENTRO DE CIÊNCIAS
AGRÁRIAS
Dra ISABELA CRISTINA GOMES HONÓRIO

Botucatu, 06 de novembro de 2017

Dedico

A minha mãe Valéria, que sempre esteve ao meu lado e acreditou que eu era capaz de chegar aonde cheguei. E ao meu avô José do Nascimento de Oliveira, vovô Juquita (in memoriam).

Ofereço

*Ao meu pai Marcos, e meus irmãos,
Bárbara, Marquinhos e Eduarda pela
confiança, carinho, força e apoio
incondicional.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me guiado até aqui, me dando saúde e força para superar as dificuldades e nunca desistir;

Aos meus pais, Valéria e Marcos, meus irmãos, Bárbara e Marquinhos, e meu padrasto e madrastra, Bruno e Edilaine, por me ensinarem a superar as diferenças e convivermos com respeito, carinho e união, como uma família realmente deve ser. Obrigada por fazerem parte desse momento tão importante;

Ao meu orientador, Prof. Dr. Filipe Pereira Giardini Bonfim, por mais uma vez acreditar em mim e me orientar com dedicação, ética, paciência e confiança, fundamentais para que eu pudesse concluir com segurança o doutorado. Agradeço também ao amigo Filipe, pelos puxões de orelha e todo o companheirismo;

Ao Lucas e sua família por estarem ao meu lado sempre que precisei, pela paciência, pela amizade e carinho. Agradeço por todos os momentos juntos e pelo aprendizado ao longo desses anos.

À Joara, amiga parceira... rs! Pelo apoio, carinho, amizade e torcida. Agradeço por escutar meus desabafos, minhas broncas, pelo companheirismo e por me ajudar como mão-de-obra qualificada ao longo da tese...rs!

Aos meus amigos da Horticultura, em especial a Dani (Cnora), Jordany (Thuras), Rafael Bibiano (Bibi), Bruno Novaes (Bubu), Priscila (Pri) e aos estagiários do Laboratório de Plantas medicinais, em especial, ao Fábio, Giuliano (Taífa) e Lucas Matsura, pela ajuda em diversas etapas da realização desse projeto e inúmeros outros e comemorações em cada etapa alcançada; Ao Rick, por todo companheirismo e amizade.

Aos amigos da República Oxi é Nós e agregados, Marcelinho, Aline e Guilherme pela amizade, companheirismo, cervejinhas, noites de masterchef e ajudas no inglês, rs! E em especial ao Jackson, que está comigo desde o início da minha trajetória em Botucatu e é um grande amigo. Agradeço também, pela hospedagem duradoura na Oxi... rs!

Aos professores Marco Tecchio e Regiane Bueno, que sempre estiveram comigo e além de conhecimentos profissionais, se tornaram grandes amigos e vou sentir muita falta;

ARafaelly (B.O) e Wellington (Narutinho), que apesar de pouco tempo de convivência, se tornaram grandes amigos. E claro, obrigada por me abrigarem na República Filhos D'Loren;

A todos os meus familiares e amigos que de alguma forma me ajudaram durante o doutorado, seja com conselhos, orações, incentivos, conversas descontraídas e momentos únicos;

Ao Francesco Orsini e Esther Menguè, por todo apoio e ensinamentos durante meu estágio de doutorado sanduiche no Departamento de Ciência Agrária da Università di Bologna, Italia. E aos amigos, brasileiros e italianos que tornaram minha experiência na Itália mais prazerosa e enriquecedora.

À FCA/UNESP, Campus Botucatu, o corpo docente e funcionários da Fazenda Experimental São Manuel pela ética, dedicação e auxílio para realização do doutorado;

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão da bolsa.

RESUMO

A sucessão de culturas em curto período de tempo é comum entre os produtores de hortaliça, cujo objetivo é otimizar o uso da área. As espécies em sucessão podem contribuir para a redução de pragas, doenças e aumentar a produtividade das culturas, validando os sistemas diversificados. Assim, com este trabalho objetivou-se avaliar a sustentabilidade dos sistemas de sucessão entre hortaliças e plantas medicinais por meio do desenvolvimento do Índice de Eficiência de Sucessão das culturas (IES), bem como avaliar o potencial de sucessão das culturas antecessoras à alface, e análise do ciclo de vida (ACV). O potencial da sucessão de hortaliças e plantas medicinais foi realizado em condições de campo na Fazenda Experimental São Manuel, FCA/UNESP, Campus Botucatu. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro blocos. Os tratamentos consistiram na sucessão de alfaces em áreas de cultivo de beterraba (T1), calêndula (T2), ervilha-torta (T3), rúcula (T4), manjerição (T5) e alface (T6). As características foram avaliadas aproximadamente 30 dias após o transplante das mudas de alface em campo, sendo massa da parte aérea fresca (g), diâmetro das plantas (cm) e produtividade (kg ha^{-1}). Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade, no software ASSISTAT 7.7 Beta. Nesta tese, foi proposto o desenvolvimento do Índice de Eficiência da Sucessão das culturas (IES). Esse se baseia no favorecimento ou não da produtividade das culturas em sucessão. Após a coleta dos dados de produtividade das culturas, foi realizada a aplicação do índice de eficiência da

sucessão das culturas e posterior interpretação dos resultados e validação da eficiência dos sistemas de cultivo com as demais características analisadas. Propõe-se que para calcular o IES, utiliza-se a fórmula: $IES = ((As/Ass) + (Bs/Bss))/N$. Em que, As é a produtividade da cultura “A” em sucessão; Bs é a produtividade da cultura “B” em sucessão; Ass, a produtividade da cultura “A” sem sucessão e; Bss, a produtividade da cultura “B” sem sucessão e; N o número de espécies envolvidas na sucessão. A sucessão é eficiente quando o IES for maior que 1,0, tendendo a 2,0, prejudicial quando inferior a 1,0, tendendo a zero e quanto mais próximo a 1,0 significa que o sistema de sucessão foi neutro. Ao final do experimento, foi realizada a Análise de Ciclo de Vida (ACV), no departamento de Ciência Agrária da Universidade de Bolonha-Italia. A análise foi realizada utilizando o software SimaPro 8.3.0.0. Pode-se concluir que a beterraba e a rúcula foram eficientes como antecessoras e como sucessoras da cultura da alface, a ervilha-torta e calêndula não se mostraram eficientes nesse sistema de cultivo. O IES se apresentou eficiente, uma vez que teve coerência com os dados fitotécnicos das culturas estudadas. Nos sistemas de cultivo culturas antecessoras o fator insumo foi o que mais afetou o impacto ambiental e em cultivo alface em sucessão e culturas em sucessão foi o viveiro de mudas o que mais afetou.

Palavras-chave: Índice de Eficiência da Sucessão das culturas (IES). Análise de ciclo de vida (ACV). *Lactuca sativa* L.

ABSTRACT

The succession of crops in a short period of time is common among vegetable growers, whose objective is to optimize the use of the area. Species in succession may contribute to pest reduction, disease and increase crop productivity, validating diversified systems. The objective of this work was to evaluate the sustainability of the succession systems between vegetables and medicinal plants through the development of the Succession Efficiency Index of crops (IES), as well as to evaluate the succession potential of the predecessor crops to lettuce, and life cycle analysis (LCA). The potential of the succession of vegetables and medicinal plants was carried out under field conditions at the Experimental Farm São Manuel, FCA / UNESP, Campus Botucatu. The experimental design was in randomized blocks, with six treatments and four blocks. The treatments consisted in the succession of lettuces in beet (T1), marigold (T2), pea (T3), arugula (T4), basil (T5) and lettuce (T6). The characteristics were evaluated approximately 30 days after the transplanting of lettuce seedlings in the field, being the fresh aerial part (g), plant diameter (cm) and productivity (kg ha⁻¹). The data were submitted to analysis of variance and the means were compared by the Tukey test at 5% probability in the ASSISTAT 7.7 Beta software. In this thesis, it was proposed the development of the Efficiency Index of the Succession of Cultures (IES). This is based on favoring or not the productivity of crops in succession. After the crop yield data were collected, the efficiency index of the succession of the crops and subsequent interpretation of the results and validation of the efficiency of the cropping systems were applied with the

other characteristics analyzed. It is proposed that in order to calculate the IES, the formula is: $IES = ((As / Ass) + (Bs / Bss)) / N$. In what, As is the productivity of crop "A" in succession; Bs is the productivity of crop "B" in succession; Ass, the productivity of crop "A" without succession e; Bss, yield of crop "B" without succession e; N the number of species involved in the succession. The succession is efficient when the IES is greater than 1.0, tending to 2.0, damaging when less than 1.0, tending to zero and the closer to 1.0 means that the succession system was neutral. At the end of the experiment, the Life Cycle Analysis (LCA) was carried out in the Department of Agrarian Science of the University of Bologna, Italy. The analysis was performed using the software SimaPro 8.3.0.0. It can be concluded that beets and arugula were efficient as predecessors and as successors of the lettuce crop, the pea and marigold were not efficient in this cultivation system. The IES presented an efficient, since it was consistent with the phytotechnical data of the studied cultures. In the systems of cultivation predecessor crops, the input factor was the one that most affected the environmental impact and in lettuce cultivation in succession and crops in succession, it was the seedling nursery that affected the most.

Keywords: Succession efficiency index (HEI). Life cycle analysis (LCA). *Lactuca sativa* L.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Esquema ilustrativo do delineamento experimental do ciclo 1 – antes da sucessão.

Figura 2. Esquema ilustrativo do delineamento experimental do ciclo 2 – sucessão com alface.

Figura 3. Análise química do solo da área experimental. São Manuel, 2014.

Figura 4. Análise química do solo da área experimental. São Manuel, 2015.

Figura 5. Análise química do solo da área experimental. São Manuel, 2016.

Figura 6. Esquema ilustrativo para avaliação do Índice de Eficiência da Sucessão das culturas (IES).

Figura 7. Etapas de classificação e caracterização para avaliação do ciclo de vida (ACV), [UF 1kg].

Figura 8. Inventário para avaliação do ciclo de vida (ACV) – coleta e distribuição da água [UF 1kg].

Figura 9. Inventário para avaliação do ciclo de vida (ACV) – viveiro de mudas [UF 1kg].

Figura 10. Inventário para avaliação do ciclo de vida (ACV) - manejo e insumos [UF 1kg].

Figura 11. Análise descritiva de massa fresca (MF), diâmetro (D), comprimento (C), massa seca (MS) e número de folhas (NF) de beterraba, calêndula, rúcula, manjerição e ervilha-torta antes e após sucessão de alface. São Manuel, UNESP FCA, 2014.

Figura 12. Análise descritiva de massa fresca (MF), diâmetro (D), comprimento (C), massa seca (MS) e número de folhas (NF) de beterraba, calêndula, rúcula, manjerição e ervilha-torta antes e após sucessão de alface. São Manuel, UNESP FCA, 2015.

Figura 13. Análise descritiva de massa fresca (MF), diâmetro (D), comprimento (C), massa seca (MS) e número de folhas (NF) de beterraba, calêndula, rúcula, manjerição e ervilha-torta antes e após sucessão de alface. São Manuel, UNESP FCA, 2016.

Figura 14. Análise do Ciclo de Vida (ACV) do sistema de cultivo “culturas antecessoras” em 2014 de hortaliças e plantas medicinais, para FU=1kg.

Figura 15. Análise do Ciclo de Vida (ACV) do sistema de cultivo “culturas antecessoras” em 2015 de hortaliças e plantas medicinais, para FU=1kg.

Figura 16. Análise do Ciclo de Vida (ACV) do sistema de cultivo “culturas antecessoras” em 2016 de hortaliças e plantas medicinais, para FU=1kg.

Figura 17. Análise do Ciclo de Vida (ACV) do sistema de cultivo “alface em sucessão” em 2014 de hortaliças e plantas medicinais, para FU=1kg.

Figura 18. Análise do Ciclo de Vida (ACV) do sistema de cultivo “alface em sucessão” em 2015 de hortaliças e plantas medicinais, para FU=1kg.

Figura 19. Análise do Ciclo de Vida (ACV) do sistema de cultivo “alface em sucessão” em 2016 de hortaliças e plantas medicinais, para FU=1kg.

Figura 20. Análise do Ciclo de Vida (ACV) do sistema de cultivo “culturas em sucessão” no ano de 2014, de hortaliças e plantas medicinais, para FU=1kg.

Figura 21. Análise do Ciclo de Vida (ACV) do sistema de cultivo “culturas em sucessão” no ano de 2015, de hortaliças e plantas medicinais, para FU=1kg.

Figura 22. Análise do Ciclo de Vida (ACV) do sistema de cultivo “culturas em sucessão” no ano de 2016, de hortaliças e plantas medicinais, para FU=1kg.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores médios de massa fresca (MF) de alfaces em função da sucessão com diferentes culturas. São Manuel, UNESP FCA, 2014/2015/2016.

Tabela 2. Valores médios de produtividade (P) de alfaces em função da sucessão com diferentes culturas. São Manuel, UNESP FCA, 2014/2015/2016.

Tabela 3. Valores médios de diâmetro (D) de alfaces em função da sucessão com diferentes culturas. São Manuel, UNESP FCA, 2014/2015/2016.

Tabela 4. Produtividade média (kg ha^{-1}) de beterraba, manjeriço, calêndula, rúcula e ervilha-torta em função dos tratamentos antes da sucessão e após a sucessão com alface. São Manuel, UNESP FCA, 2014.

Tabela 5. Produtividade média (kg ha^{-1}) de beterraba, manjeriço, calêndula, rúcula e ervilha-torta em função dos tratamentos antes da sucessão e após a sucessão com alface. São Manuel, UNESP FCA, 2015.

Tabela 6. Produtividade média (kg ha^{-1}) de beterraba, manjeriço, calêndula, rúcula e ervilha-torta em função dos tratamentos antes da sucessão e após a sucessão com alface. São Manuel, UNESP FCA, 2016.

Tabela 7. Índice de Eficiência da Sucessão das culturas (IES) das culturas de alface, beterraba, manjeriço, calêndula, rúcula e ervilha-torta. São Manuel, UNESP FCA, 2014/2015/2016.

Tabela 8. Indicadores ambientais para sistema de cultivo em ano de hortaliças e plantas medicinais, durante o ano de 2014, para FU=1kg. Bolonha – ITA, 2017.

Tabela 9. Indicadores ambientais para sistema de cultivo em sucessão de hortaliças e plantas medicinais, durante o ano de 2015, para FU=1kg. Bolonha – ITA, 2017.

Tabela 10. Indicadores ambientais para sistema de cultivo em sucessão de hortaliças e plantas medicinais, durante o ano de 2016, para FU=1kg. Bolonha – ITA, 2017.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	19
2 MATERIAL E MÉTODOS	22
2.1 Experimento I – Potencial das culturas antecessoras à alface	22
2.2 Experimento II – Índice de Eficiência da Sucessão das culturas (IES).....	25
2.3 Experimento III – Análise de Ciclo de Vida (ACV).....	28
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
3.1 Experimento I – Potencial das culturas antecessoras à alface	32
3.2 Experimento II – Índice de Eficiência da Sucessão das culturas (IES).....	34
3.3 Experimento III – Análise de Ciclo de Vida (ACV).....	38
4 CONCLUSÕES	48
REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

Em busca de sistemas agrícolas menos agressivos ao ambiente, capazes de proteger os recursos naturais e que sejam duráveis no tempo, pesquisadores tentam desviar do modelo convencional de agricultura imposto no início do século XX baseado nas indústrias químicas e mecânicas. Em consequência dessas atitudes começaram a surgir agriculturas, com diversas denominações e princípios segundo as correntes a que estão aderidas, como orgânica, biológica, natural, ecológica, biodinâmica, permacultura, entre outras. Mas, como todo método científico e de pesquisa, nem todas as correntes e princípios alternativos de produção conseguiram responder às expectativas, não obtendo respostas aos problemas socioambientais acumulados do modelo convencional de desenvolvimento e agricultura que predominaram, principalmente, depois da II Guerra Mundial (CAPORAL & COSTABEBER, 2004).

Surge então a Agroecologia como novo enfoque científico capaz de dar suporte à transição e estilos de agriculturas sustentáveis e, portanto, contribuir para o estabelecimento de processos de desenvolvimento rural sustentável. Agricultura que visa à sustentabilidade da produção vegetal e se baseia na diversificação das atividades agrícolas com preceitos ecológicos, econômicos e sociais (CAPORAL & COSTABEBER, 2004).

O consórcio, a rotação e a sucessão entre culturas são métodos de cultivos diversificados muito utilizados atualmente. O consórcio pode ser caracterizado pelo crescimento simultâneo de duas ou mais espécies culturais em uma mesma área, mas que não precisa necessariamente ser implantadas ao mesmo tempo, devendo estar integrado a um sistema de sucessão de culturas (KOLMANS & VÁSQUEZ, 1999). A rotação é definida como sendo a alternância ordenada de diferentes culturas, em determinado espaço de tempo (ciclo), na mesma área e na mesma estação do ano (EMBRAPA, 2011). A sucessão de culturas é definida como o ordenamento de duas culturas na mesma área agrícola por tempo indeterminado, onde cada é cultivada em uma estação do ano (EMBRAPA, 2011).

A sucessão de cultura é comumente usada pelos agricultores (principalmente produtores de hortaliças) com a perspectiva de maior aproveitamento de área, insumos, e mão-de-obra utilizada em capinas, adubações, agroquímicos e diversos tratos culturais (CAETANO et al., 1999). Outros benefícios

da utilização da sucessão de culturas são melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo, auxílio no controle de plantas espontâneas, pragas e doenças, reposição da matéria orgânica (ciclagem de nutrientes) e proteção do solo dos prejuízos das ações climáticas (como erosão e lixiviação).

Os modelos policulturais e a diversificação de renda conseguem proporcionar nova perspectiva de exploração a esse sistema. Essa tecnologia permite otimizar os sistemas e maximizar os ganhos produtivos, gerando maior aproveitamento da área e, em um mesmo espaço podem-se inserir diversas espécies vegetais, sendo estas cultivadas ao mesmo tempo ou ao longo dele buscando sustentabilidade ecológica, produtiva e econômica.

A sucessão de culturas entre hortaliças e plantas medicinais consegue além de agregar valor à produção, melhorar o equilíbrio do sistema. Os diversos sistemas radiculares auxiliam na manutenção da biodiversidade de microrganismos presentes no solo aumentando o incremento da matéria orgânica, melhorando a porção coloidal, química, física e biológica do solo.

A correta escolha das espécies cultivadas em sucessão deve contribuir para o melhor manejo de plantas daninhas, pragas e doenças, com efeitos benéficos também na fertilidade do solo, reduzindo a entrada de insumos externos à propriedade.

Nesse estudo, as espécies utilizadas para a sucessão foram alface, beterraba, calêndula, ervilha-torta, rúcula e manjerição. A alface (*Lactuca sativa* L.) é a cultura principal em estudo por ser muito cultivada e consumida em todo o país, a beterraba (*Beta vulgaris*) é representante da classe hortaliça raiz, a calêndula (*Calendula officinalis* L.) como hortaliça não convencional flor, a ervilha-torta (*Pisum sativum* L.) como hortaliça fruto, rúcula (*Eruca sativa*) hortaliça folhosa e manjerição (*Ocimum basilicum*) como planta condimentar e aromática.

Na perspectiva de validação dos sistemas de sustentabilidade de produção vegetal surgem os índices e/ou indicadores. Existem diferentes conceitos para os termos “índice” e “indicador”. Shields et al. (2002), acreditam que um índice revela o estado de um sistema ou fenômeno e Prabhu et al. (1999) argumentam que um índice pode ser construído para analisar dados através da junção de um jogo de elementos com relacionamentos estabelecidos. No entanto, a definição mais clara é que índice é o valor agregado final de todo um procedimento de cálculo onde se utilizam, inclusive, indicadores como variáveis que o compõem. Pode-se dizer

também que um índice é simplesmente um indicador de alta categoria. O índice pode servir como um instrumento de tomada de decisão e previsão (KHANNA, 2000; SICHE et al., 2007). Fazendo uma correlação direta à área de estudo desta tese, auxiliaria um produtor a adotar ou não um sistema de sucessão, bem como selecionar espécies aptas a este processo.

Quanto ao indicador, Segundo Mitchell (1996), é uma ferramenta que permite a obtenção de informações sobre uma dada realidade, para Mueller et al. (1997), um indicador pode ser um dado individual ou um agregado de informações, que devendo ser simples de entender; quantificação estatística e lógica coerente; e comunicar eficientemente o estado do fenômeno observado.

O termo indicador é um parâmetro selecionado e considerado isoladamente ou em combinação com outros para refletir sobre as condições do sistema em análise. Normalmente um indicador é utilizado como um pré-tratamento aos dados originais (SICHE et al., 2007).

A Análise do Ciclo de Vida (ACV), é um exemplo de indicador, comumente utilizado no gerenciamento ambiental que avalia aspectos ambientais e impactos potenciais associados ao ciclo de vida de um produto, processo, serviço ou outra atividade econômica, em todo o ciclo de vida, sobre o meio ambiente e a saúde (ABNT, 2001; CALDEIRA-PIRES et al., 2005). A ACV requer toda uma análise dos produtos envolvidos no sistema, considerando todas as categorias de impactos ambientais, e pode ser utilizada para grande variedade de propósitos. Essa análise está relacionada a várias etapas do processo desde a extração de matéria-prima até a disposição final do produto (CHEHEBE, 1997).

Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar a sustentabilidade de sucessão entre hortaliças e plantas medicinais por meio da criação do Índice de Eficiência de Sucessão das Culturas (IES) e avaliação da Análise do Ciclo de Vida das culturas (ACV).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Experimento I – Potencial das culturas antecessoras à alface

O experimento foi realizado em condições de campo na Fazenda Experimental São Manuel, FCA/UNESP, Campus Botucatu (22°44'28" de latitude sul, 48°34'37" de longitude oeste e altitude de 740 m), nos anos de 2014, 2015 e 2016. O clima, segundo Cunha & Martins (2009), é classificado como Cfa (clima temperado húmido com verão quente) e o solo, de acordo a Embrapa (2006) é caracterizado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com seis tratamentos e quatro blocos, repetidos em 3 consecutivos. Os tratamentos consistiram na sucessão de alfaces em áreas de cultivo de beterraba, calêndula, ervilha-torta, rúcula, manjerição e alface. Para a produção de mudas utilizou-se sementes comerciais e as espécies estudadas foram transplantadas no campo de acordo com a recomendação técnica de cada cultura e as colheitas realizadas de maneira a respeitar o ciclo produtivo das respectivas.

No preparo inicial da área foi realizada capina manual. A adubação de plantio foi de 4 kg m⁻² de torta de mamona (somente no início). A escolha da dose de adubação baseia-se na média da quantidade recomendada para as culturas ao longo do ciclo de sucessão e a aplicação somente no início da sucessão foi realizada com o intuito de diminuir mão-de-obra para o produtor no preparo da área e observar o potencial residual da torta de mamona no solo. A irrigação foi por aspersão.

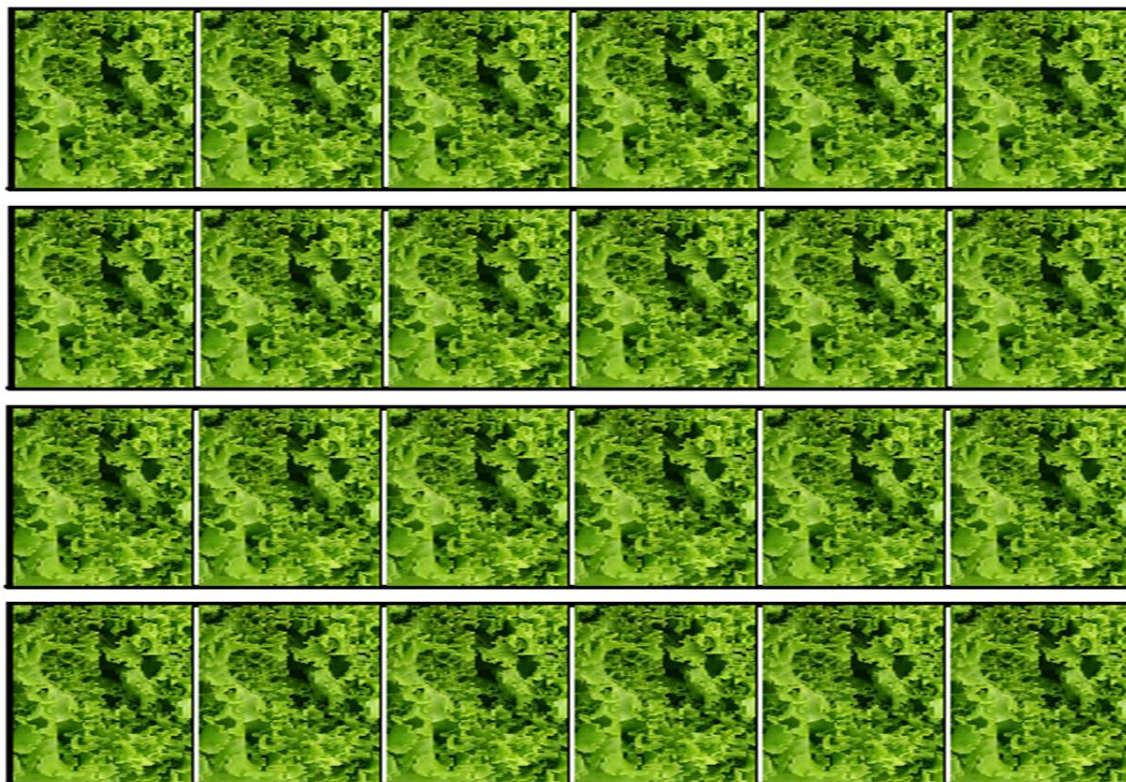
Em cada ano, inicialmente foram transplantadas para o campo as culturas diversificadas (beterraba, calêndula, ervilha-torta, rúcula, manjerição e alface) (Figura 1). Os espaçamentos utilizados foram de 0,15x0,25cm para beterraba, 0,25x0,25cm para calêndula, 0,60x0,50cm para ervilha-torta, 0,15x0,25cm para rúcula, 0,60x0,25cm para manjerição e 0,25x0,25cm para a alface, com 20 plantas por parcela com o total de 24 parcelas.

Figura 1. Esquema ilustrativo do delineamento experimental do ciclo 1 – antes da sucessão.



As colheitas das culturas ocorreram aos 30 dias para alface e calêndula, 23 dias para a rúcula e 60 dias para manjeriço, beterraba e ervilha-torta. Após a retirada das culturas em campo, as mudas de alface foram transplantadas seguindo o mesmo delineamento experimental (Figura 2).

Figura 2. Esquema ilustrativo do delineamento experimental do ciclo 2 – sucessão com alface.



As análises de solo foram feitas em cada fase do cultivo, nos três anos, sendo a amostra 1 – antes da instalação das culturas antecessoras; amostra 2 – após cultivo das culturas antecessoras 3 – após cultivo da alface em sucessão, como mostra as figuras abaixo (Figura 3, 4 e 5).

Figura 3. Análise química do solo da área experimental. São Manuel, 2014.

Amostra (s)		pH	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S
Labor.	Int.	CaCl ₂	g/dm ³	mg/dm ³	-----mmol _c /dm ³ -----							mg/dm ³	
1		6, 5	13	101	---	10	1, 8	61	19	82	92	89	---
2		6, 4	10	102	---	11	2, 5	49	16	67	79	86	---
3		6, 0	8	63	---	14	2, 6	27	10	39	53	74	---
Amostra (s)		BORO		COBRE		FERRO		MANGANÊS		ZINCO			
Labor.	Int.	-----mg/dm ³ -----											
1		0, 51		1, 2		20		18, 9		3, 6			
2		0, 39		1, 2		25		9, 1		4, 0			
3		0, 38		1, 2		37		15, 2		3, 2			

Figura 4. Análise química do solo da área experimental. São Manuel, 2015.

Amostra (s)		pH	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S
Labor.	Int.	CaCl ₂	g/dm ³	mg/dm ³	-----mmol _c /dm ³ -----							mg/dm ³	
1		6,4	11	69	---	11	1,8	61	17	80	92	88	---
2		6,0	10	99	---	12	4,0	39	15	59	70	84	---
3		5,7	9	102	---	15	2,2	33	12	47	62	75	---
Amostra (s)		BORO		COBRE		FERRO		MANGANÊS		ZINCO			
Labor.	Int.	-----mg/dm ³ -----											
1		0,36		1,0		20		12,0		3,2			
2		0,39		1,2		28		10,2		4,5			
3		0,51		1,3		37		12,9		4,0			

Figura 5. Análise química do solo da área experimental. São Manuel, 2016.

Amostra (s)	pH	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S
Int.	CaCl ₂	g/dm ³	mg/dm ³	-----mmol _c /dm ³ -----								mg/dm ³
1	5,3	16	205	0	21	2,0	33	5	40	61	66	4
2	5,2	14	101	0	18	1,8	15	5	20	45	62	2
3	5,0	15	102	0	17	2,2	10	4	18	37	60	2
Amostra (s)	BORO		COBRE		FERRO		MANGANÊS			ZINCO		
Int.	-----mg/dm ³ -----											
1	0,31		3,0		88		7,8			8,7		
2	0,26		3,0		89		6,5			8,5		
3	0,22		3,0		92		7,0			8,0		

As avaliações fitotécnicas das alfaces (ciclo 2) foram avaliadas aproximadamente 30 dias após o transplante das mudas em campo, sendo:

- Massa da parte aérea fresca (g)
- Diâmetro das plantas (cm)
- Produtividade (kg ha⁻¹)

2.2 Experimento II – Índice de Eficiência da Sucessão das culturas (IES)

Nesta tese, foi proposto o desenvolvimento do índice de eficiência da sucessão das culturas (IES) com o auxílio do Mestre em Matemática Bruno Cavalcanti Pinto. O índice se baseia no favorecimento ou não da produtividade das culturas em sucessão. Para tal avaliação, após a sucessão da alface (ciclo 2), as culturas

diversificadas (beterraba, rúcula, manjeriço, ervilha-torta, calêndula e alface) foram novamente colocadas em campo (ciclo 3) para coleta de dados (Figura 6).

Figura 6. Esquema ilustrativo para avaliação do Índice de Eficiência da Sucessão das culturas (IES).



Foram feitas avaliações fitotécnicas das culturas diversificadas como massa fresca (g/planta), diâmetro (cm), comprimento (cm), massa seca (g/planta) e número de folhas, no ciclo 1 e ciclo 3. Após as avaliações, foram feitas análises descritivas das culturas antecessoras e sucessoras à alface.

Logo após, foi realizado a aplicação do índice de eficiência da sucessão das culturas e posterior interpretação dos resultados e validação da eficiência dos sistemas de cultivo com as demais características analisadas.

Propõe-se que para calcular o IES, utiliza-se a fórmula:

$$\text{IES} = ((\text{As}/\text{Ass}) + (\text{Bs}/\text{Bss}))/\text{N} \quad (1)$$

Em que,

As é a produtividade da cultura “A” em sucessão;

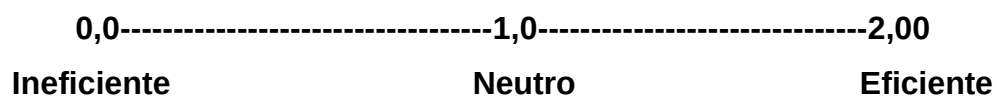
Bs é a produtividade da cultura “B” em sucessão;

Ass, a produtividade da cultura “A” sem sucessão e;

Bss, a produtividade da cultura “B” sem sucessão e;

N o número de espécies envolvidas na sucessão.

A sucessão é eficiente quando o IES é maior que 1,0, tendendo a 2,0, prejudicial quando inferior a 1,0, tendendo a zero e quanto mais próximo a 1,0 significa que foi neutro o sistema de sucessão.



Hipóteses:

Para melhor entender o índice, se considera um sistema de sucessão que envolva duas culturas e as produtividades em sistemas sem e com sucessão. Para sabermos se a sucessão foi eficiente para uma, duas culturas ou foi prejudicial para ambas, devemos aplicar o índice da seguinte forma:

Hipótese 1- Sucesso de ambas

$$\text{IES} = ((\text{As}/\text{Ass}) + (\text{Bs}/\text{Bss}))/\text{N}$$

$$\text{IES} = ((2/1 + 2/1))/2$$

$$\text{IES} = (2 + 2)/2$$

$$\text{IES} = 4/2$$

$$\text{IES} = 2$$

Hipótese 2 – Sucesso de uma cultura e Neutro para outra

$$IES = ((As/Ass) + (Bs/Bss))/N$$

$$IES = ((2/1 + 1/1)/2$$

$$IES = (2 + 1)/2$$

$$IES = 3/2$$

$$IES = 1,5$$

Hipótese 3 – Insucesso das duas culturas

$$IES = ((As/Ass) + (Bs/Bss))/N$$

$$IES = ((1/2 + 1/2)/2$$

$$IES = (0,5 + 0,5)/2$$

$$IES = 1/2$$

$$IES = 0,5$$

Hipótese 4 – Neutro para a sucessão

$$IES = ((As/Ass) + (Bs/Bss))/N$$

$$IES = ((1/1 + 1/1)/2$$

$$IES = (1 + 1)/2$$

$$IES = 2/2$$

$$IES = 1$$

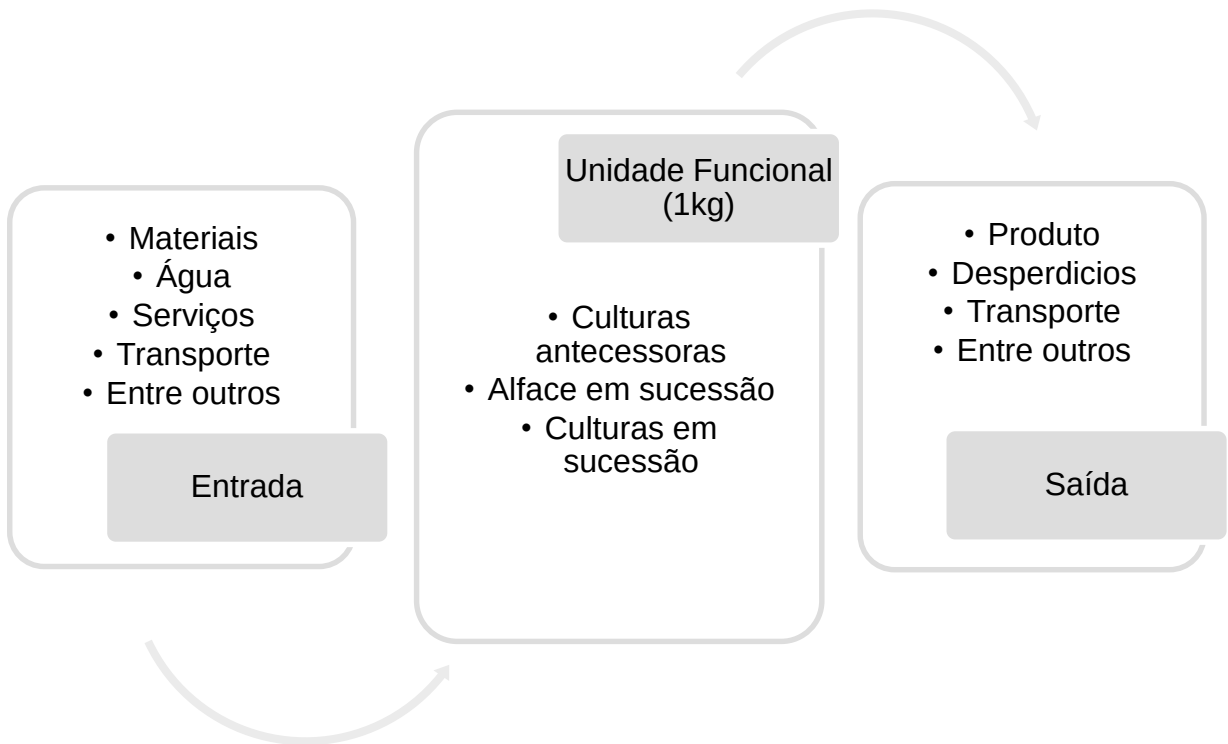
2.3 Experimento III – Análise de Ciclo de Vida (ACV)

Foi realizada no Departamento de Ciências Agrárias da Universidade de Bolonha – Bolonha, Itália, durante o estágio de doutorado sanduiche por 4 meses e meio, no período de abril a agosto de 2017, por meio do software SimaPro 8.3.0.0 - PréSustainability 2016. Esse software é usado para realizar a avaliação de impacto do ciclo de vida, e segue as etapas de classificação e caracterização determinadas como obrigatórias pelo regulamento ISO 14044 (ISO2006).

Ao se fazer a análise do ciclo de vida (ACV), levou-se em consideração duas etapas: inventário do Ciclo de Vida e análise do impacto do Ciclo de Vida. Cada etapa foi feita levando em consideração as fases de cultivo (culturas antecessoras,

alface em sucessão e culturas sucessoras) e a avaliação foi realizada para uma unidade funcional de 1 kg de produto (Figura 7).

Figura 7. Etapas de classificação e caracterização para avaliação do ciclo de vida (ACV), [UF 1kg].



Primeira etapa - Inventário do Ciclo de vida: com relação à compilação de dados para o software, foram feitos inventários dos materiais utilizados incluindo todos os materiais e processos de fabricação e construção, exemplo, materiais usados na coleta e distribuição da água (tubos, bombas, injetores, sistemas de distribuição de água, tanques de água, aspersores), levando em consideração os materiais que são feitos, tempo de vida útil para o sistema, processo de fabricação, transporte, resíduo, entre outros. Posteriormente divididas em grupos (viveiro de mudas, manejo em campo, insumos e coleta e distribuição da água) (Figura 8, 9 e 10).

Figura 8. Inventário para avaliação do ciclo de vida (ACV) – coleta e distribuição da água [UF 1kg].

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	CAMPO – 1 canteiros de 60m linear – 72m²														
2	DESCRIÇÃO	UNIDADE	Qt.	Massa (kg/L/m³)	Material	Transporte (meios; km)	Vida útil (anos)	Comments	Amount/FU (1kg-1y)						
3															
4															
5															
6	Trator 65 cv	HORA	1	2930		265	20		0,044198026						
7	Óleo	LITROS	4	4		6.1	1		0,001206772						
8	Aspersor ZE30 – raio 6m	UNIDADE	20	2,8	metal	33.1	10	140g/u.	8,4474E-05						
9	Registro	UNIDADE	1	0,05	metal	33.1	5		3,01693E-06						
10	Cano 3 polegadas	METROS	120	48	Alumínio ou ferro galvanizado	33.1	10		0,001448126						
11				2,64			10		7,9647E-05						
12	Engate rápido	UNIDADE	20	0,6	Alumínio ou ferro galvanizado	33.1	10		1,81016E-05						
13	Bomba 25 cv	UNIDADE	1	156	Elétrica	265	20	40 mini giomo	0,002353206						
14	Regulador de pressão	UNIDADE	1	0,05	Metal por dentro e plástico (Clorito de polivinila) por fora	265	10		1,50847E-06						
15	Cano 2 polegadas (5cm) (colados entre si)	METRO	1600	320	Pvc (Clorito de polivinila)	33.1	25		0,003861671						
16	Cano 4 polegadas (10cm)	METRO	80	48	Alumínio ou ferro	33.1	20		0,000724063						
17				2,51			20		3,78625E-05						
18	Conector	UNIDADE	14	0,56	Pvc (Clorito de polivinila)	33.1	10		1,68948E-05						

Figura 9. Inventário para avaliação do ciclo de vida (ACV) – viveiro de mudas [UF 1kg].

19	Pé direito 2,0m	UNIDADE	12	360	Ferro galvanizado	6.1	15		0,007240632						
20	Pé direito 3,2m	UNIDADE	2	96	Ferro galvanizado	6.1	15		0,001930835						
21	Plástico	m²	240	50	polipropileno	6.1	5		0,00301693						
22	Caibro	METRO	54	270	madeira	6.1	5	5 kg – 100 cm	0,016291423						
23	Sarrafo	METRO	54	135	cedrilho	6.1	5	3.5 kg - 250 cm	0,008145711						
24	Prego 19x27	MAÇO	2	0,05	ferro	6.1	5		3,01693E-06						
25	Arco 9m	UNIDADE	6	18	Ferro galvanizado	6.1	10		0,000543047						
26	Porta	UNIDADE	1	6	Ferro	6.1	15		0,000120677						
27	Tela antiafídica	METRO	54	45	Nylon	6.1	4		0,003394046						
28	Arame de aço galvanizado	METRO	500	15,38	Ferro galvanizado	6.1	15	0,2 kg – 6.5 m	0,000309336						
29	Catraca	UNIDADE	16	3,84	Ferro galvanizado	6.1	15		7,72334E-05						
30	Mangueira	METRO	10	7	Borracha	6.1	2		0,001055926						
31	Chuveirinho	UNIDADE	1	0,24	ferro	6.1	5		1,44813E-05						
32	Torneira	UNIDADE	1	0,4	ferro	6.1	5		2,41354E-05						
33	T – 1,0x1,2m	UNIDADE	9	0,3824	Madeira	6.1	15		7,69116E-06						

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Experimento I – Potencial das culturas antecessoras à alface

Durante os três anos de cultivo (2014, 2015 e 2016), pode-se verificar, por intermédio da análise de variância, diferenças significativas para as características massa fresca (MF), diâmetro (D) e produtividade (P) da alface em sucessão à beterraba, rúcula, ervilha-torta, manjeriço, calêndula e com a alface.

Em relação à massa fresca e a produtividade das alfaces em sucessão, o tratamento que obteve melhor resultado foi em sucessão com rúcula, e o que apresentou menor valor foi em sucessão com ervilha-torta, manjeriço e calêndula em 2014 e 2015 e ervilha-torta em 2016 (Tabela 1 e 2).

Tabela 1. Valores médios de massa fresca (MF) de alfaces em função da sucessão com diferentes culturas. São Manuel, UNESP FCA, 2014/2015/2016.

Tratamentos	MF (2014)	MF (2015)	MF (2016)
Sucessão c/ alface	281,89 bc	202,97 abc	110,48 ab
Sucessão c/ beterraba	338,2 ab	232,62 ab	101,04 ab
Sucessão c/ manjeriço	223,45 bcd	172,47 bcd	89,47 ab
Sucessão c/ calêndula	171,02 cd	135,97 cd	87,09 ab
Sucessão c/ rúcula	412,07 a	282,82 a	116,90 a
Sucessão c/ ervilha-torta	153,17 c	114,26 d	77,22 b
CV (%)	19,20	18,72	17,36
Teste F	40256,07**	15650,87**	912,32**
DMS	120,38	81,83	38,71

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 2. Valores médios de produtividade (P) de alfaces em função da sucessão com diferentes culturas. São Manuel, UNESP FCA, 2014/2015/2016.

Tratamentos	P (2014)	P (2015)	P (2016)
Sucessão c/ alface	45103,33 bc	32476 abc	17677,93 ab
Sucessão c/ beterraba	54112 ab	37220 ab	16167,26 ab
Sucessão c/ manjerição	35752 bcd	27595,66 bcd	14316,00 ab
Sucessão c/ calêndula	27364 cd	21756 cd	13935,20 ab
Sucessão c/ rúcula	65932 a	45252 a	18704,73 a
Sucessão c/ ervilha-torta	24508 d	18282 d	12355,20 b
CV (%)	19,90	18,72	17,36
Teste F	1,03**	400662027,54**	23356073,4**
DMS	19261,86	13093,03	6194,40

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação à característica de diâmetro (D), notam-se diferenças significativas nos anos de 2014 e 2015, e no ano de 2016 não houve diferenças (Tabela 3).

Tabela 3. Valores médios de diâmetro (D) de alfaces em função da sucessão com diferentes culturas. São Manuel, UNESP FCA, 2014/2015/2016.

Tratamentos	D (2014)	D (2015)	D (2016)
Sucessão c/ alface	9,12 b	12,87 b	17,84 a
Sucessão c/ beterraba	19,12 a	17,81 a	19,71 a
Sucessão c/ manjerição	15,72 a	15,11 ab	17,80 a
Sucessão c/ calêndula	17,52 a	15,63 ab	16,73 a
Sucessão c/ rúcula	15,65 a	14,32 ab	21,98 a
Sucessão c/ ervilha-torta	7,75 b	13,41 b	18,32 a
CV (%)	18,29	10,44	14,22
Teste F	85,66**	12,56**	8,76 ^{ns}
DMS	5,94	3,56	6,15

*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tais resultados podem ser devido ao ciclo de cada cultura, diferença de famílias botânicas e demanda de nutriente. A rúcula possui raiz superficial e necessita de nutrientes prontamente disponíveis, o que as favorece em sistemas de

sucessão, rotação e consórcio de culturas em curto prazo, além de ser a planta com menor ciclo dentre as espécies cultivadas (FILGUEIRA, 2007).

A alface em sucessão com alface, apesar de apresentar alta produtividade, apresentou folhas bem espessas, tornando-as impróprias para o consumo. As alfaces em sucessão com a calêndula, manjerição e ervilha-torta, apresentaram menores valores de massa e produtividade, sendo a ervilha-torta a que apresentou diferença significativa. Possivelmente devido à necessidade de nutrientes utilizados na formação de flores, frutos e maior permanência na área. Isso pode ter levado a baixa de nutrientes disponíveis para a cultura sucessora e consequentemente apresentando menores valores quando comparadas às outras culturas.

Outro fator importante que pode ter interferido é o ponto de decomposição e liberação de nutrientes da torta de mamona. Quanto à decomposição, Lima et al (2011) afirmam que a torta de mamona forma compostos mais rapidamente, com mais da metade da decomposição ocorrendo antes de sessenta dias. Isso provavelmente favoreceu as culturas de ciclo mais curto (beterraba, rúcula e alface), sendo notável a diferença nas alfaces que tiveram como antecessoras culturas de ciclo mais longo (manjerição, ervilha-torta e calêndula).

3.2 Experimento II – Índice de Eficiência da Sucessão das culturas (IES)

Ao se fazer a análise descritiva das culturas antecessoras e sucessoras à alface, conclui-se que, nos três anos de cultivo, de maneira geral, após sucessão com a alface, as culturas da beterraba, rúcula e manjerição permaneceram com as características comerciais estáveis e não tiveram grande perda de massa fresca, a calêndula e ervilha-torta sofreram grandes perdas de massa fresca e seca (Figuras 11, 12 e 13).

Figura 11: Análise descritiva de massa fresca (MF), diâmetro (D), comprimento (C), massa seca (MS) e número de folhas (NF) de beterraba, calêndula, rúcula, manjerição e ervilha-torta antes e após sucessão de alface. São Manuel, UNESP FCA, 2014.

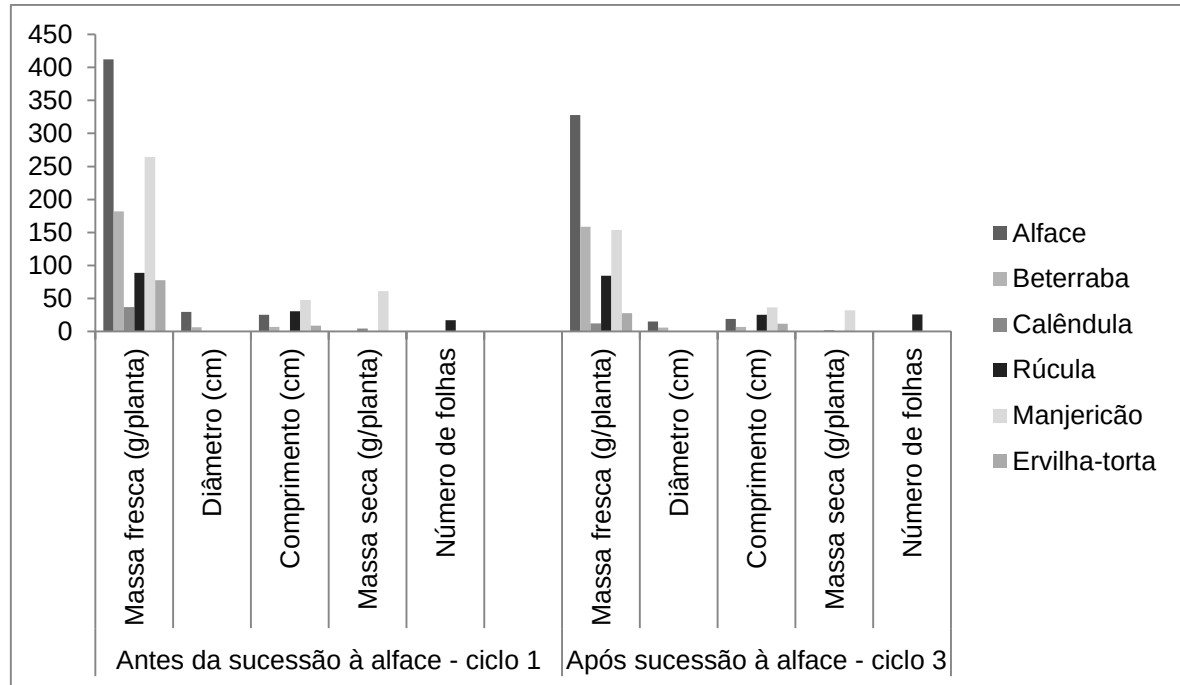


Figura 12: Análise descritiva de massa fresca (MF), diâmetro (D), comprimento (C), massa seca (MS) e número de folhas (NF) de beterraba, calêndula, rúcula, manjerição e ervilha-torta antes e após sucessão de alface. São Manuel, UNESP FCA, 2015.

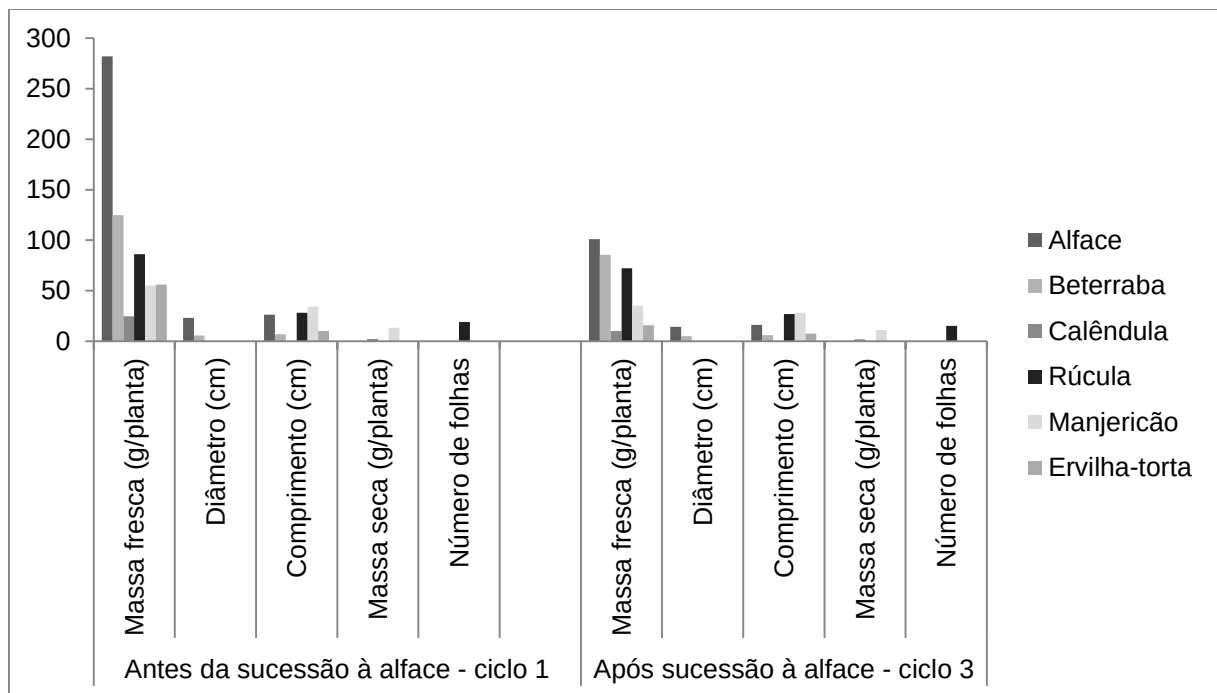
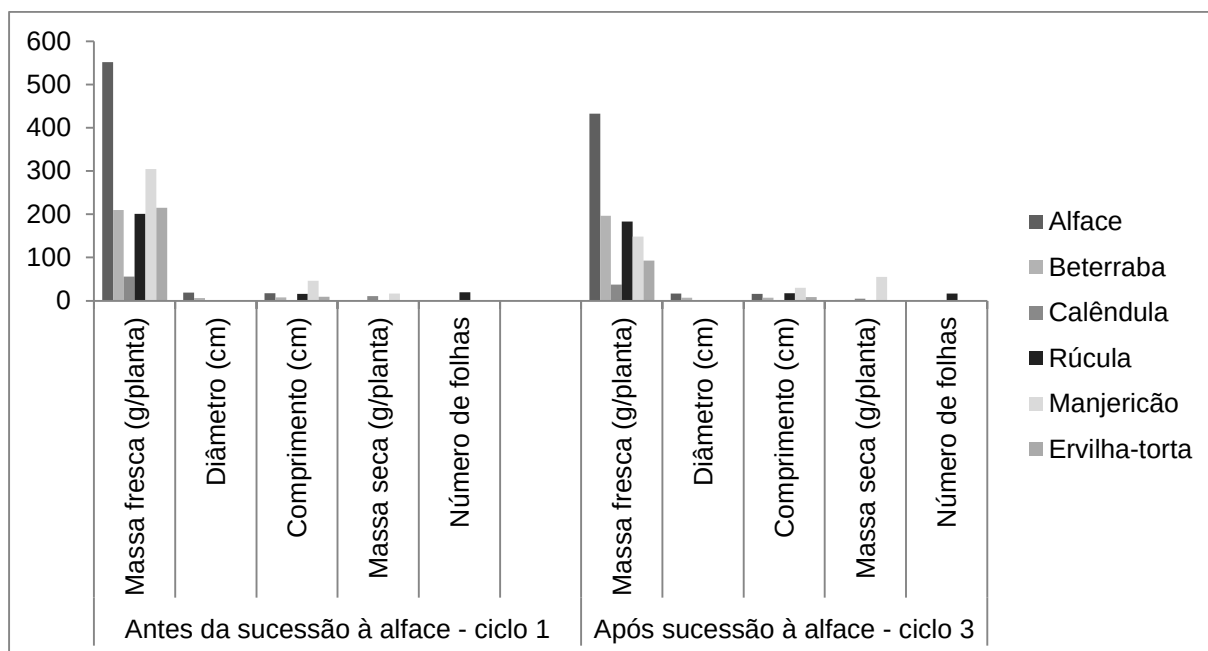


Figura 13: Análise descritiva de massa fresca (MF), diâmetro (D), comprimento (C), massa seca (MS) e número de folhas (NF) de beterraba, calêndula, rúcula, manjerição e ervilha-torta antes e após sucessão de alface. São Manuel, UNESP FCA, 2016.



Em relação à produtividade, a alface, beterraba, rúcula e manjerição, apesar de terem sofrido perdas de produtividade, ainda sim atingiram a produtividade média de cada cultura. A calêndula, antes da sucessão, obteve boa produtividade, mas após a sucessão, a produtividade média não foi alcançada. E a ervilha-torta, não alcançou o esperado em nenhuma fase do cultivo. Houveram redução de produtividade como mostram as tabelas abaixo (Tabela 4, 5 e 6).

Tabela 4. Produtividade média (kg ha^{-1}) de beterraba, manjerição, calêndula, rúcula e ervilha-torta em função dos tratamentos antes da sucessão e após a sucessão com alface. São Manuel, UNESP FCA, 2014.

Tratamentos	Antes da sucessão	Após a sucessão	Redução da produtividade (%)
Alface	65.987,20	52.480,00	20,46
Beterraba	48.533,33	42.368,00	12,70
Rúcula	23.634,66	22.557,33	4,55
Manjerição	17.633,33	10.266,66	41,77
Calêndula	5.939,20	1.974,40	66,75
Ervilha-torta	2.589,00	931,66	64,01

Tabela 5. Produtividade média (kg ha⁻¹) de beterraba, manjeriço, calêndula, rúcula e ervilha-torta em função dos tratamentos antes da sucessão e após a sucessão com alface. São Manuel, UNESP FCA, 2015.

Tratamentos	Antes da sucessão	Após a sucessão	Redução da produtividade (%)
Alface	45.102,40	16.176,00	64,13
Beterraba	33.312,00	22.768,00	31,65
Rúcula	22.933,33	19.277,33	15,94
Manjeriço	3.670,66	2.333,33	36,43
Calêndula	3.948,80	1.603,20	59,40
Ervilha-torta	1.868,00	528,00	71,73

Tabela 6. Produtividade média (kg ha⁻¹) de beterraba, manjeriço, calêndula, rúcula e ervilha-torta em função dos tratamentos antes da sucessão e após a sucessão com alface. São Manuel, UNESP FCA, 2016.

Tratamentos	Antes da sucessão	Após a sucessão	Redução da produtividade (%)
Alface	88.288,00	69.148,80	21,67
Beterraba	56.000,00	52.333,33	6,54
Rúcula	53.538,66	48.800,00	8,85
Manjeriço	20.279,33	9.919,33	51,08
Calêndula	8.955,20	5.948,80	33,57
Ervilha-torta	14.352,66	6.200,00	56,80

Em relação ao Índice de eficiência da Sucessão das culturas (IES), beterraba e rúcula podem ser culturas eficientes como antecessoras da alface, uma vez que apresentaram valor de IES próximo de 1, e mantiveram estabilidade durante os ciclos de cultivos nos anos de 2014 e 2016. A ervilha-torta, calêndula, manjeriço e a alface não são indicadas nestas condições experimentais, pois apresentaram baixo valor de IES e desuniformidade de produção durante os três anos de cultivos (Tabela 7).

Tabela 7. Índice de eficiência da sucessão das culturas (IES) das culturas de alface, beterraba, manjerição, calêndula, rúcula e ervilha-torta. São Manuel, UNESP FCA, 2014/2015/2016.

Tratamentos	IES (2014)	IES (2015)	IES (2016)
Alface	0,73	0,48	0,49
Beterraba	0,83	0,51	0,85
Rúcula	0,87	0,59	0,84
Manjerição	0,68	0,49	0,63
Calêndula	0,56	0,37	0,72
Ervilha-torta	0,17	0,31	0,60

Nos consórcios, sucessões e rotações, geralmente, se detecta alguma redução na produtividade das espécies associadas, o que evidencia a necessidade de estudos direcionados ao melhor entendimento dos mecanismos ecológicos específicos envolvidos nesse modo de cultivo (GLIESSMAN, 1990). Mesmo que não traga retorno econômico imediato, através da redução de doenças e pragas e do aumento da produtividade, a sucessão e/ou rotação de culturas é um investimento na propriedade, pois garante o uso do solo por um período mais longo (SILVA & ALTHOFF, 2003).

3.3 Experimento III – Análise de Ciclo de Vida (ACV)

Quanto à análise de ciclo de vida (ACV) é importante salientar que não existem valores ótimos para tal, se tratando de um índice meramente comparativo. Com base nisso, no ano de 2014 observou-se que o cultivo de alface em sucessão foi o que causou menor impacto dentre as características analisadas. Enquanto que, o cultivo de culturas em sucessão foi o que apresentou maiores valores de impacto ambiental, influenciando na mudança climática, acidificação terrestre, depleção de água e toxicidade humana, apesar de não ter apresentado valores distantes do cultivo de culturas antecessoras (Tabela 8).

Tabela 8. Indicadores ambientais para sistema de cultivo em ano de hortaliças e plantas medicinais, durante o ano de 2014, para FU=1kg. Bolonha – ITA, 2017.

	Mudança climática (kg CO ₂ eq)	Acidificação terrestre (kg SO ₂ eq)	Toxicidade humana (kg 1,4-DB eq)	Depleção da água (m ³)
Culturas antecessoras à alface	0,233893181	0,001694908	0,328839761	0,771161397
Alface em sucessão	0,06674568	0,000479224	0,086811439	0,20640156
Culturas em sucessão à alface	0,293094257	0,00212803	0,41621477	0,974006788

Quanto menor for a produtividade e quanto mais longo o período de safra, maior o impacto ambiental. Ou seja, no cultivo de alface em sucessão as alfaces tiveram valores altos de produtividade em um curto período no campo, já nas culturas em sucessão, a produtividade variou, uma vez que cada cultura do cultivo diversificado contribuiu de maneira diferente, juntamente com o maior tempo no campo, isso fez com que este cultivo apresentasse o maior impacto quando comparado com o cultivo de alfaces em sucessão e de culturas antecessoras.

No ano de 2015, o cultivo de culturas em sucessão à alface causou maior impacto em todas as quatro características estudadas, sendo a alface em sucessão novamente o cultivo que apresentou menor impacto (Tabela 9).

Tabela 9. Indicadores ambientais para sistema de cultivo em sucessão de hortaliças e plantas medicinais, durante o ano de 2015, para FU=1kg. Bolonha – ITA, 2017.

	Mudança climática (kg CO ₂ eq)	Acidificação terrestre (kg SO ₂ eq)	Toxicidade humana (kg 1,4-DB eq)	Depleção da água (m ³)
Culturas				
antecessoras à alface	0,342296756	0,002483657	0,486013202	1,137788057
Alface em sucessão	0,08914114	0,000642363	0,119404096	0,282351688
Culturas em sucessão à alface	0,600579733	0,004367872	0,86369806	2,016771887

O ano de 2015 foi um ano atípico para o estado de São Paulo devido à crise hídrica, portanto os valores de impacto foram mais discrepantes. A análise do ciclo de vida (ACV) na fase de culturas em sucessão apresentou maior impacto, pois houve maior uso de recurso hídrico em um maior período de tempo, quando comparado ao cultivo de alfaces em sucessão, o que influenciou diretamente na análise de impacto.

No ano de 2016, as culturas antecessoras tiveram menores valores de impacto em relação às características de mudança climática, acidificação terrestre, toxicidade humana e depleção da água (Tabela 10).

Tabela 10. Indicadores ambientais para sistema de cultivo em sucessão de hortaliças e plantas medicinais, durante o ano de 2016, para FU=1kg.m². Bolonha – ITA, 2017.

	Mudança climática (kg CO ₂ eq)	Acidificação terrestre (kg SO ₂ eq)	Toxicidade humana (kg 1,4-DB eq)	Depleção da água (m ³)
Culturas antecessoras à alface	0,164325305	0,001188723	0,227975496	0,535882924
Alface em sucessão	0,166562862	0,001206338	0,232077867	0,544913439
Culturas em sucessão à alface	0,203079524	0,001472328	0,285216414	0,668742845

Apesar de que as culturas antecessoras tiveram menores valores de impacto quando comparadas às demais, os valores ainda assim foram muito próximos, não ficando evidente que essa diferença seja significativa.

Tal fato mostra maior estabilidade do cultivo e do sistema, o que pode ser explicado devido ao reaproveitamento dos recursos ao longo dos anos e estabilidade na produção, além de menor interferência externa (crise hídrica, por exemplo) quando comparada aos outros anos.

Já o Inventário do Ciclo de vida, pode-se concluir que no sistema de cultivo de culturas antecessoras, o insumo foi o fator em destaque durante dos três anos (Figura 14, 15 e 16). Tal fato se deve à adubação com torta de mamona ter sido aplicada somente no início do ciclo e em uma dosagem relativamente grande para este ciclo.

Figura 14. Análise do Ciclo de Vida (ACV) do sistema de cultivo “culturas antecessoras” em 2014 de hortaliças e plantas medicinais, para FU=1kg.

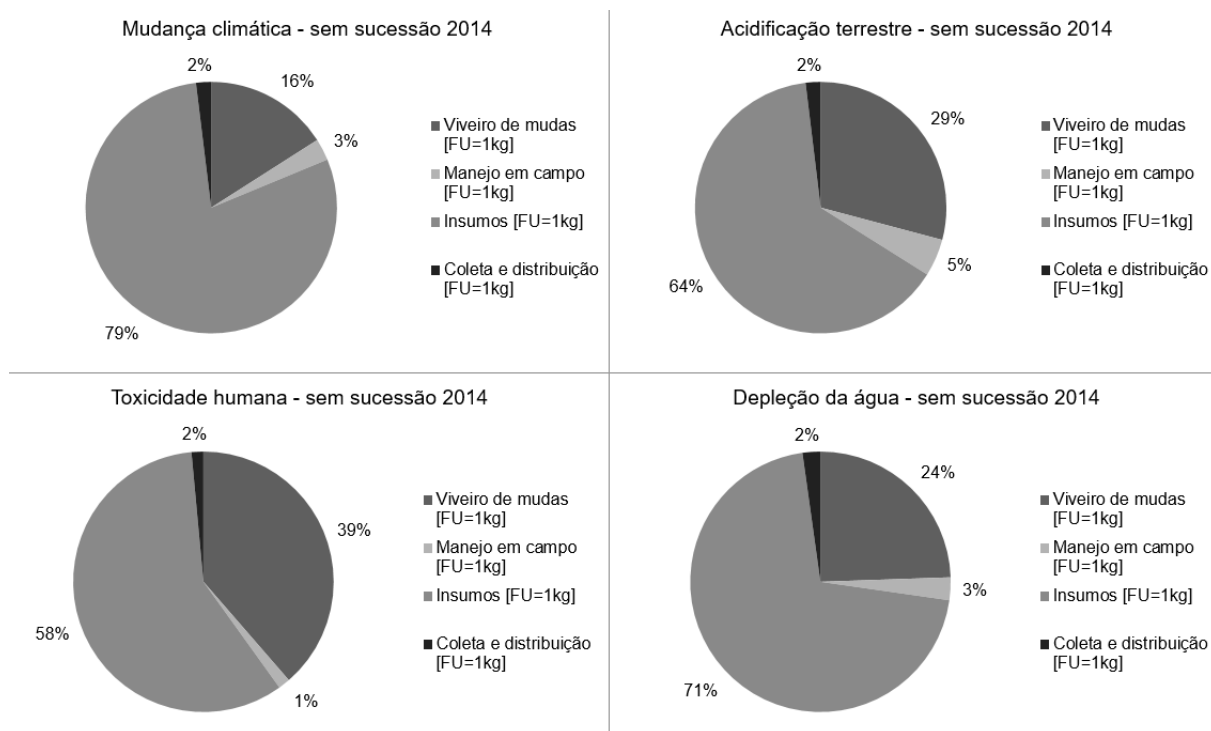


Figura 15. Análise do Ciclo de Vida (ACV) do sistema de cultivo “culturas antecessoras” em 2015 de hortaliças e plantas medicinais, para FU=1kg.

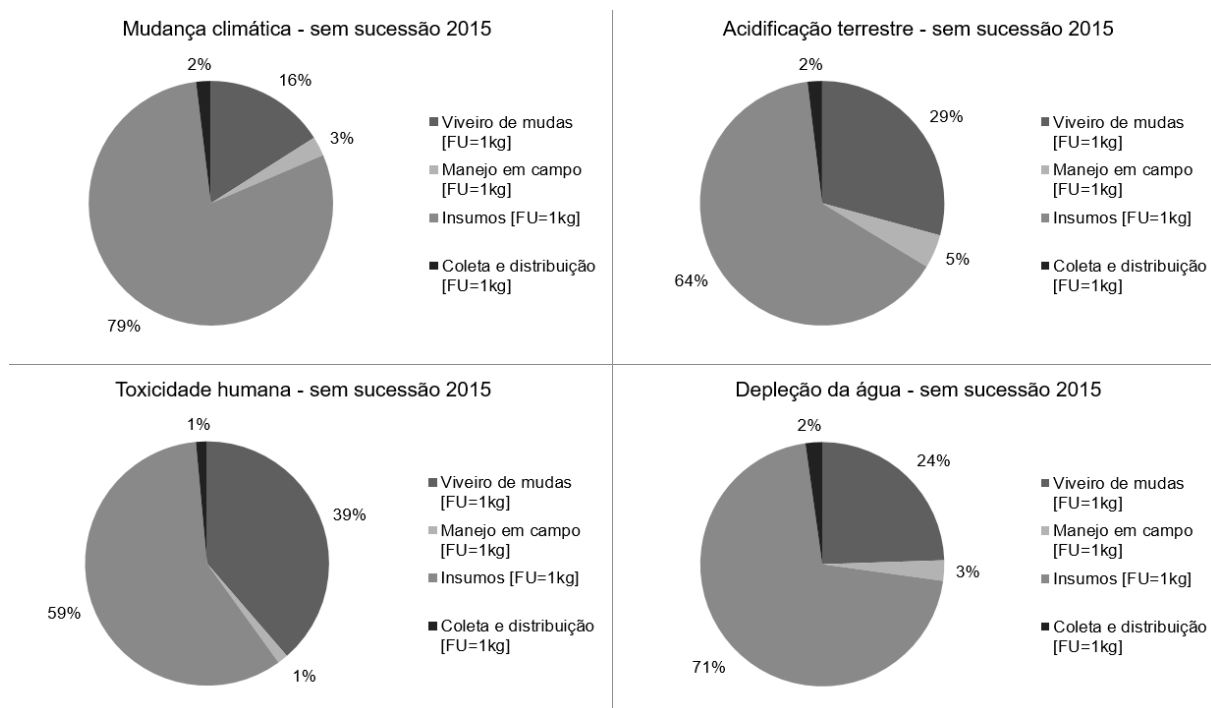
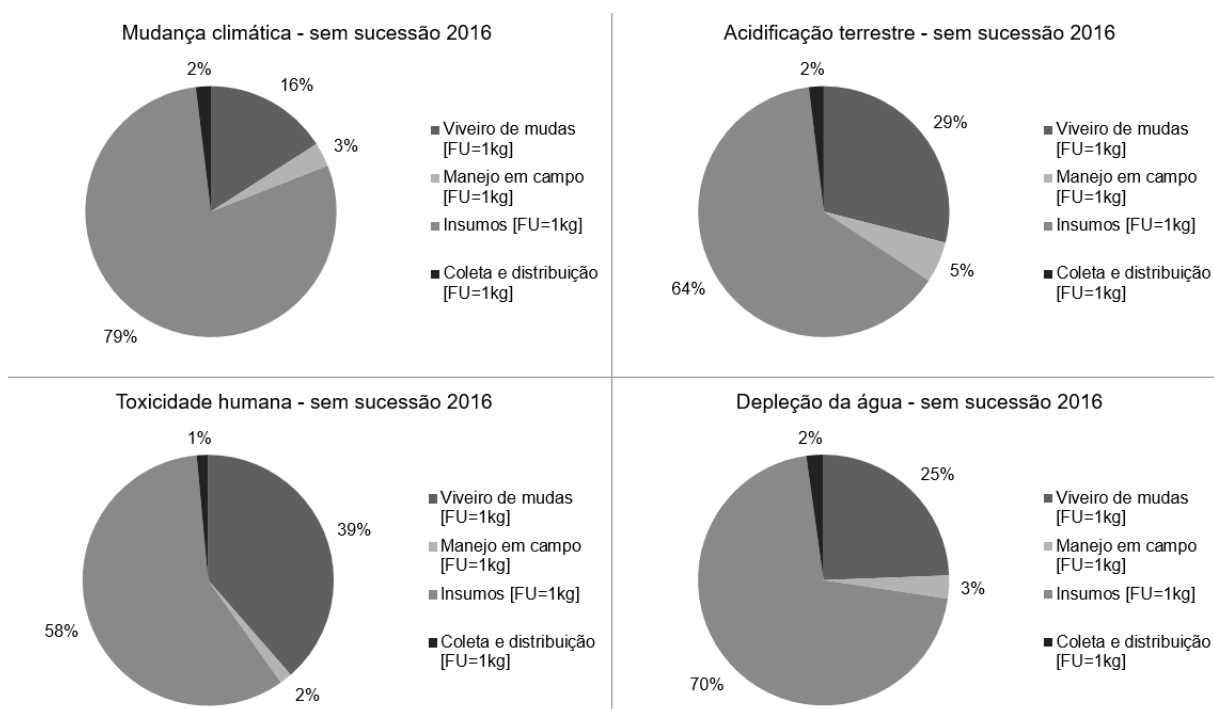


Figura 16. Análise do Ciclo de Vida (ACV) do sistema de cultivo “culturas antecessoras” em 2016 de hortaliças e plantas medicinais, para FU=1kg.



No cultivo de alface em sucessão, o fator que mais causou impacto foi o viveiro de mudas, com pelo menos 70% quando comparado com os demais (Tabela 17, 18 e 19). Isso se deve ao fato desse sistema de cultivo, nessas condições do experimento, terem o menor ciclo (60 dias), não ter sido adubado (o que aumenta em muito o impacto por insumo) e usar a mesma estrutura de viveiro que os demais, onde o número de mudas eram maiores.

Figura17. Análise do Ciclo de Vida (ACV) do sistema de cultivo “alface em sucessão” em 2014 de hortaliças e plantas medicinais, para FU=1kg.

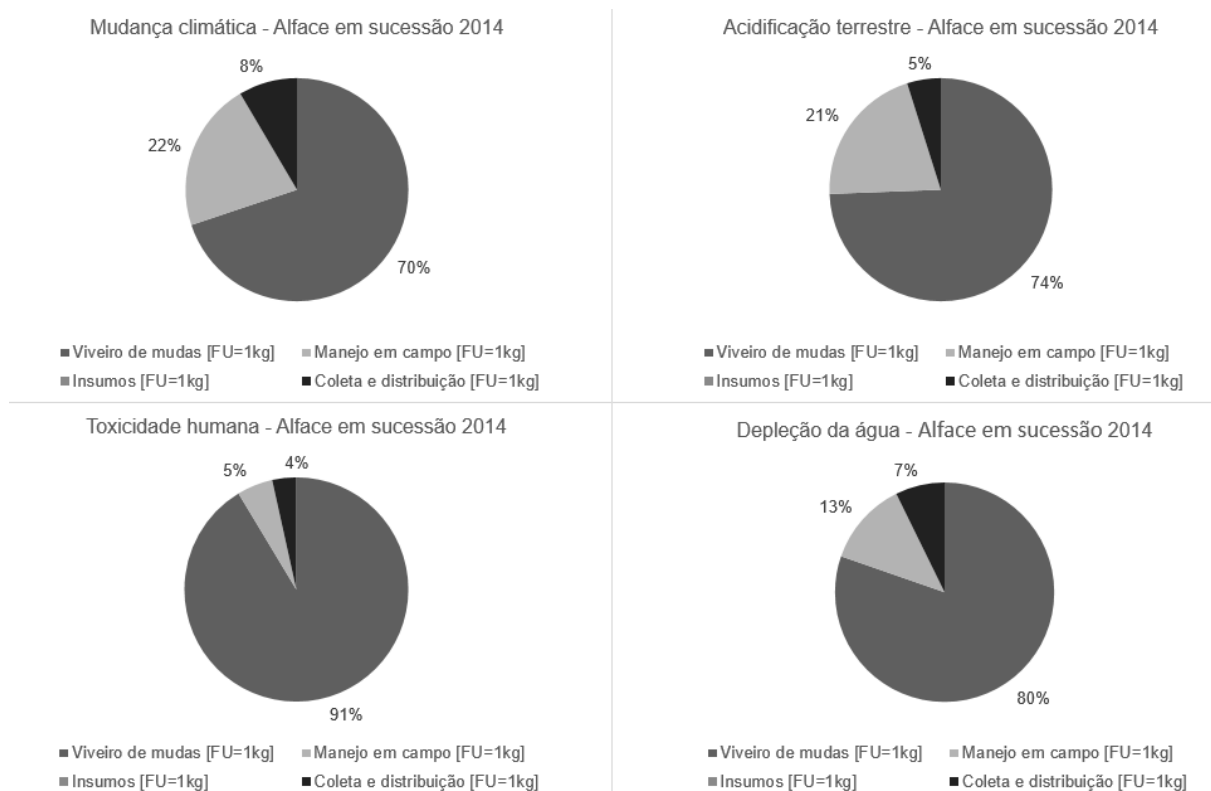


Figura18. Análise do Ciclo de Vida (ACV) do sistema de cultivo “alface em sucessão” em 2015 de hortaliças e plantas medicinais, para FU=1kg.

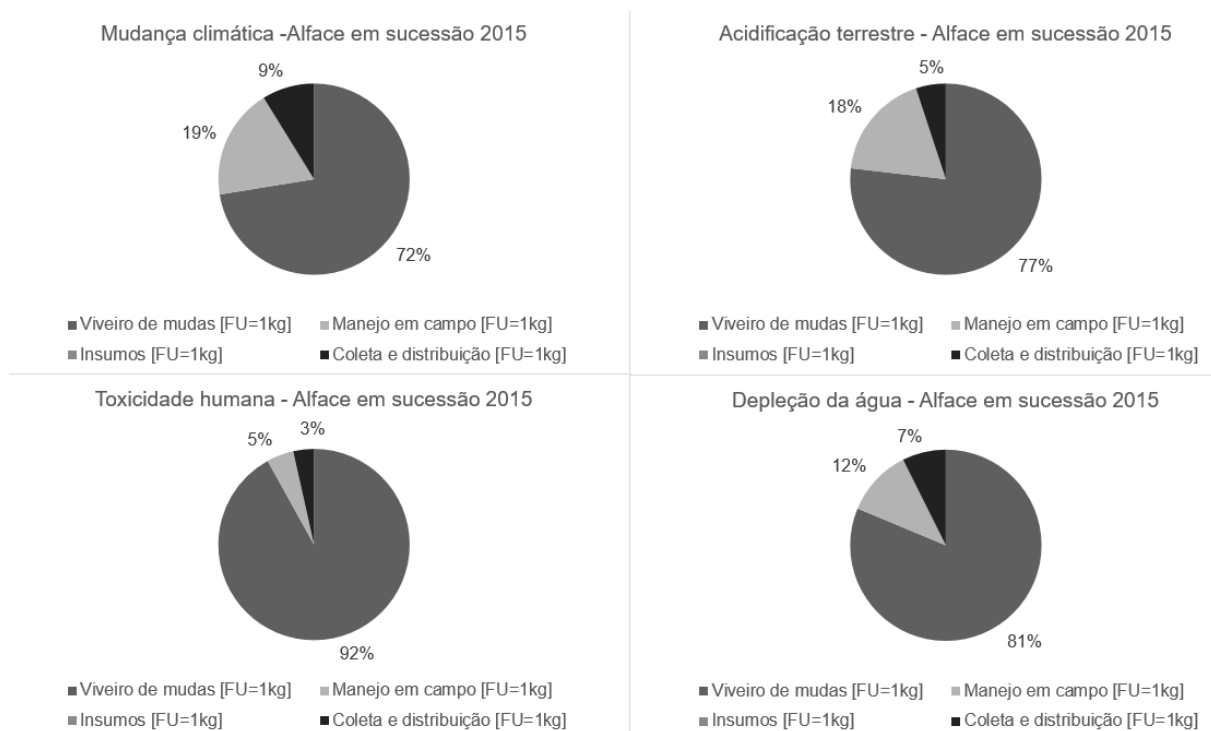
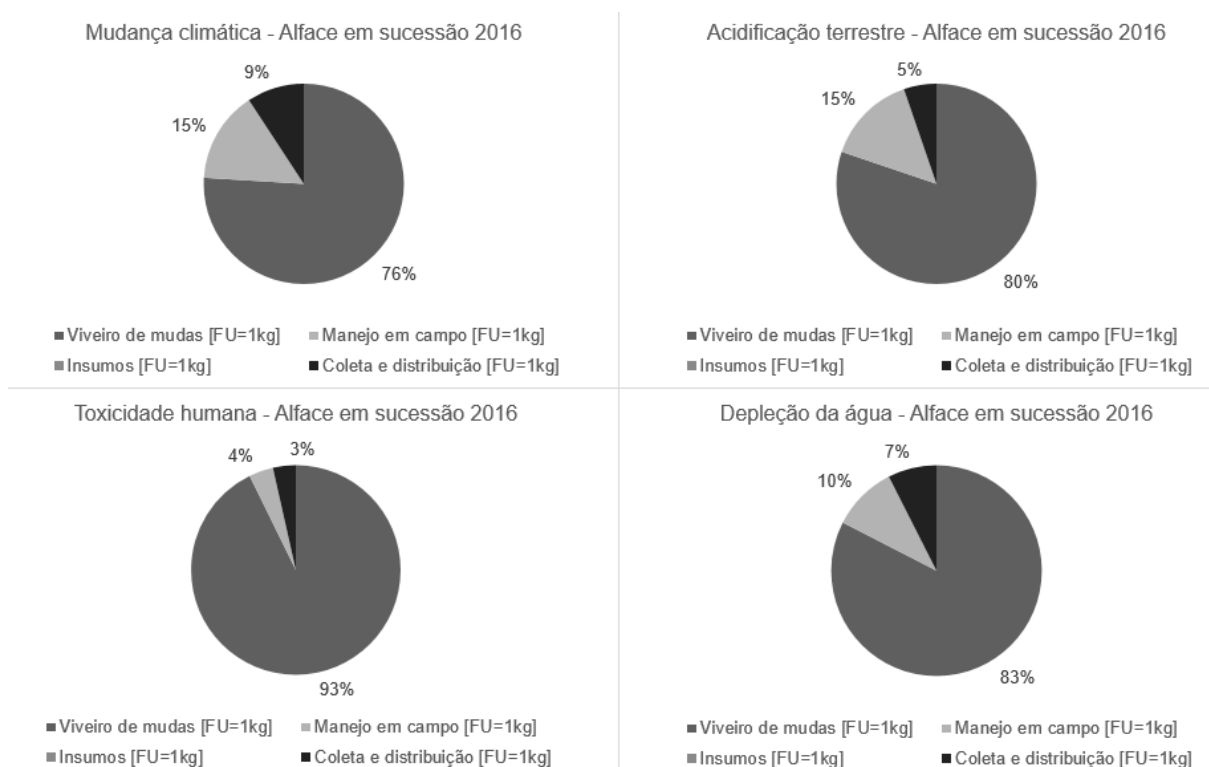


Figura19. Análise do Ciclo de Vida (ACV) do sistema de cultivo “alface em sucessão” em 2016 de hortaliças e plantas medicinais, para FU=1kg.



O mesmo acontece no cultivo culturas em sucessão (Tabela 20, 21 e 22) onde o viveiro de mudas foi o que mais contribui para o impacto ambiental durante os três anos de cultivo.

Figura20. Análise do Ciclo de Vida (ACV) do sistema de cultivo “culturas em sucessão” no ano de 2014, de hortaliças e plantas medicinais, para FU=1kg.

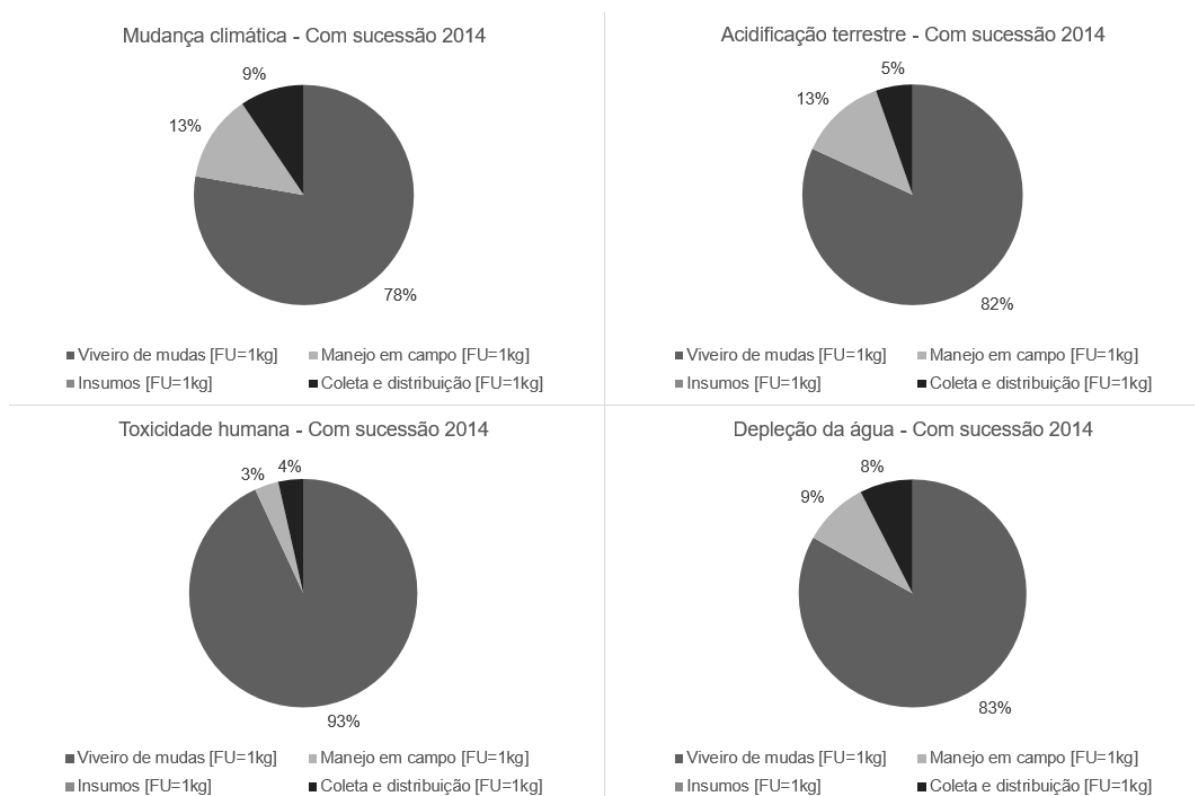


Figura 21. Análise do Ciclo de Vida (ACV) do sistema de cultivo “culturas em sucessão” no ano de 2015, de hortaliças e plantas medicinais, para FU=1kg.

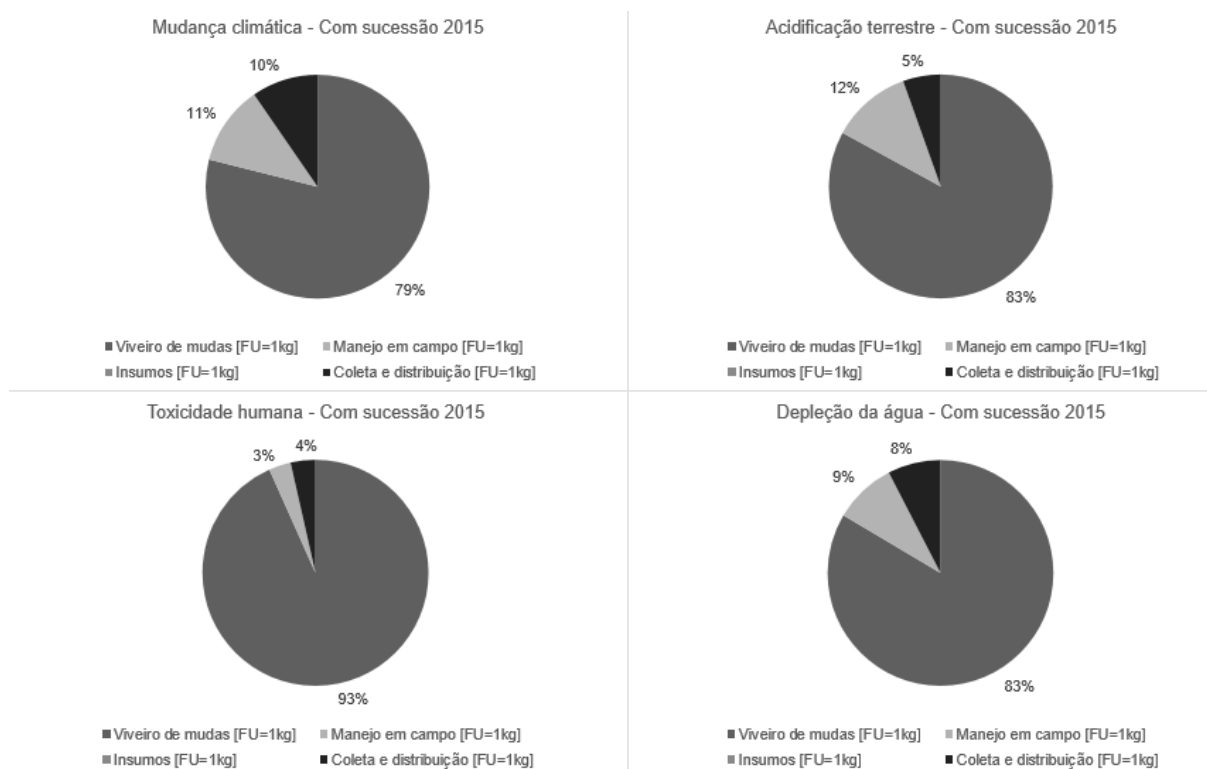
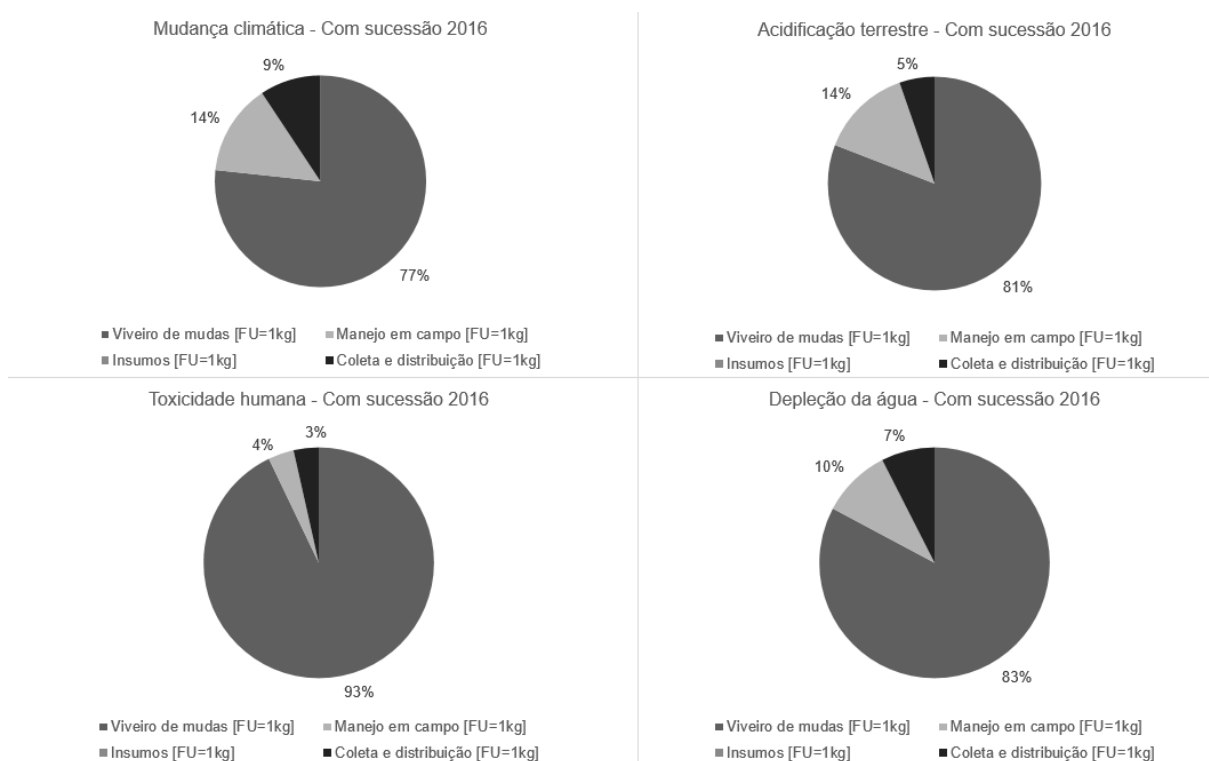


Figura 22. Análise do Ciclo de Vida (ACV) do sistema de cultivo “culturas em sucessão” no ano de 2016, de hortaliças e plantas medicinais, para FU=1kg.



Em termos gerais, nos sistemas culturas antecessoras o fator insumo foi o que mais afetou o impacto ambiental e cultivo alface em sucessão e culturas em sucessão o viveiro de mudas foi o que mais afetou. Uma alternativa para diminuir o impacto desse experimento ao ambiente seria uma redistribuição da adubação e uma estrutura menor de viveiro de mudas ou utilizar materiais recicláveis quando possível, uma vez que as estruturas de viveiro utilizadas foram de aço e zinco, que são duráveis, porém grandes fontes de poluentes.

Em relação à coleta e distribuição da água, apesar do ano de 2015 ter sido destaque nesse fator, o índice não chegou a ser grande causador de impacto. A coleta e distribuição da água e o manejo em campo apresentaram porcentagens de impacto bem menor quando comparadas às demais (com menos de 10% de impacto cada fator aproximadamente). Apesar de apresentarem valores baixos de impacto, ainda assim podem ser reduzidos, como por exemplo, trocar os tipos de cano utilizados para a irrigação.

4 CONCLUSÕES

O IES (Índice de Eficiência da Sucessão das culturas) se apresentou eficiente, uma vez que teve coerência com os dados fitotécnicos das culturas estudadas.

Beterraba e a rúcula foram eficientes como antecessoras e como sucessoras da cultura da alface, o que é comprovado pelo IES com valor próximo de 1, e pela alta produtividade.

A ervilha-torta, calêndula e manjerição não se mostraram eficientes nesse sistema de cultivo, pois tiveram produtividade abaixo da média e IES próximo de 0,5.

A redução de insetos pragas e diversidade de polinizadores ficou evidente em cultivo diversificado de culturas, como mostrou o Índice de Shannon.

Em relação à análise de ciclo de vida (ACV) no sistema de cultivo das culturas antecessoras à alface o fator insumo foi o que mais afetou o impacto ambiental e no sistema de cultivo alface em sucessão e culturas em sucessão à alface foi o viveiro de mudas o que mais afetou. O manejo em campo e a coleta e distribuição da água não apresentaram grandes impactos. Uma maneira de minimizar os impactos ambientais seria a substituição de materiais altamente poluentes por materiais recicláveis ou menos poluentes.

REFERÊNCIAS

- ABCSEM – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COMÉRCIO DE SEMENTES E MUDAS. **Projeto para o levantamento dos dados socioeconômicos da cadeia produtiva de hortaliças no Brasil 2010/2011**. 2011. Disponível em: <http://www.abcsem.com.br/docs/direitos_reservados.pdf>. Acesso em 11/7/2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 10p. 2001.
- CAETANO, L. C. S.; FERREIRA, J. M.; ARAÚJO, M. L. de. Produtividade de cenoura e alface em sistema de consorciação. **Horticultura Brasileira**, Brasília-DF, v.17, n.2, p.143-146, 1999.
- CALDEIRA-PIRES, A; SOUZA-PAULA, M.C. de & VILLAS BÔAS, R.C. **A Avaliação do ciclo de vida: a ISO 14040 na América Latina**. Brasília: Abipti, 2005. 337 p.
- CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. **Agroecologia: alguns conceitos e princípios**. 24 p. Brasília : MDA/SAF/DATER-IICA, 2004.
- CHEHEBE, J. R. **Análise do Ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark, CNI, 1997
- CUNHA, A. R. & MARTINS, D. (2009) **Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel**. Irriga, 41:1-11.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa Soja. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná**. Pesquisadores: Julio Cezar Franchini ...[et al.]. – Londrina. 52p. Junho, 2011.
- EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2ª ed. Rio de Janeiro, **Embrapa Solos**. 306p. 2006.
- FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2007. 421p.
- GLIESSMAN, S.R. Researching the ecological basis for sustainable agriculture. In: GLIESSMAN, S.R. (Ed) **Agroecology: researching the ecological basis for sustainable agriculture**. Santa Cruz: University of California. 1990. p.3-10.
- KHANNA, N. Measuring environmental quality: an index of pollution. **Ecological Economics**, v. 35, n. 2, p. 191-202, nov. 2000.
- KOLMANS, E.; VÁSQUEZ, D. **Manual de agricultura ecológica: una introducción a los principios básicos y su aplicación**. Habana, Cuba: Actaf, 1999. 150p.

LIMA, P. C.; MOURA, W. M.; SEDIYAMA, M. A. N.; SANTOS, R. H. S.; MOREIRA, C. L. Manejo da adubação em sistemas orgânicos. In: Tecnologias para produção orgânica. Viçosa, MG: Unidade Regional EPAMIG Zona da Mata, 2011. p 69-106.

MITCHELL, G. Problems and fundamentals of sustainable development indicators. **Sustainable Development**, v. 4, n. 1, p. 1-11, 1996.

MUELLER, C.; TORRES, M.; MORAIS, M. **Referencial básico para a construção de um sistema de indicadores urbanos**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 1997.

PRABHU, R., COLFER, C. J.P., DUDLEY, R.G. **Guidelines for developing, testing and selecting criteria and indicators for sustainable forest management**. Toolbox Series, n. 1. Indonesia: CIFOR, 1999.

SHIELDS, D.; SOLAR, S.; MARTIN, W. The role of values and objectives in communicating indicators of sustainability. **Ecological Indicator**, v. 2, n. 1-2, p. 149-160, nov. 2002.

SICHE, J. R. et al. Sustainability of nations by indices: comparative study between environmental sustainability index, ecological footprint and the energy performance indices. **Ecological Economics**, DOI: 10.1016/j.ecolecon.2007.