

UMA APLICAÇÃO DA AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA DO PRODUTO NO SETOR AGRÍCOLA- COMPARAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ALFACE COM AS TÉCNICAS INTENSIVA, HIDROPÔNICA E ORGÂNICA

Roberta Graf

Aluna de Mestrado da Faculdade de Engenharia de Produção.
Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP.
Rod. SP – 306, Km 1, CEP 13450-000, Sta. Bárbara d'Oeste, SP, m9860420@unimep.br

Paulo Jorge Moraes Figueiredo

Professor Doutor da Faculdade de Engenharia de Produção.
Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP.
Rod. SP – 306, Km 1, CEP 13450-000, Sta. Bárbara d'Oeste, SP, pfigueir@unimep.br

ABSTRACT

“Life Cycle Assessment” (or “LCA”) is a methodological tool for environmental management in the productive sector. It’s a complete study of a product, involving its whole history, since raw materials till the after-utilization, when the product became waste. Another name of these studies, more didactic, is “From Cradle to Grave”. Common environmental management systems just include the industrial processes, and many environmental impacts due to the production are not considered. Despite the complexity of these LCA studies, they are great tools to the environmental planning of a product, recommended by the Environmental Protection Agency (EPA) of USA. The purpose of this paper is to present a preliminary study of LCA directed to agricultural products. In this case, we studied lettuces production from *intensive* practices in comparison with *hydroponic* and *organic* methods. Results of this LCA study allowed the discussion of several practices of the three production techniques, under the environmental point of view.

KEYWORDS: life cycle assessment, environmental management, agriculture

RESUMO

“Avaliação do Ciclo de Vida” (ou “ACV”) é uma ferramenta metodológica para a gestão ambiental no setor produtivo. Trata-se do estudo completo de um produto, envolvendo toda a sua história, desde as matérias-primas até a pós-utilização, quando o produto se torna resíduo. Outro nome desses estudos, mais didático, é “Do Berço ao Túmulo”. Os sistemas de gestão ambiental comuns só incluem os processos industriais, em que muitos impactos ambientais envolvidos com a produção não são considerados. Apesar da complexidade desses estudos, eles são ótimas ferramentas para o planejamento ambiental de um produto, recomendados pela Agência de Proteção Ambiental norte-americana (EPA: “Environmental Protection Agency”). A proposta deste trabalho é apresentar um estudo preliminar acerca da aplicação de ACV aos produtos agrícolas. Nesse caso, foram estudadas três técnicas de produção de alfaces: a *intensiva*, a *hidropônica* e a *orgânica*. Os resultados desse estudo de ACV permitiram a discussão das diversas práticas dos três métodos, sob o ponto de vista ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: avaliação de ciclo de vida, gestão ambiental, agricultura

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho consiste num exercício simplificado de aplicação da metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida - ACV (“Life Cycle Assessment” - LCA) para produtos agrícolas. O produto escolhido foi a alface, hortaliça da família Compositae, espécie *Lactuca Sativae* L., sendo o objetivo central do trabalho o levantamento comparativo das influências ambientais associadas à técnica

intensiva de produção em comparação com as técnicas alternativas de agricultura orgânica e hidroponia.

As ACV's são metodologias concebidas para avaliar as influências ambientais associadas aos produtos, considerando todas as etapas de produção (incluindo a extração, o manejo e o transporte de matérias-primas, e os processos de produção propriamente), além das etapas de embalagem, conservação e distribuição do produto, uso e a pós-utilização (quando se esgota a vida-útil do produto). As três etapas de execução das ACV's são: 1) INVENTÁRIO: Coleta dos dados, a respeito de todos os fluxos de matéria e energia na história do produto. 2) AVALIAÇÃO AMBIENTAL: A partir dos dados, faz-se o estudo dos impactos sócio-ambientais do produto. Boa parte das conclusões são qualitativas, pela própria natureza do estudo de impactos ambientais. 3) AVALIAÇÃO DAS MELHORIAS: Avaliados os impactos, procede-se ao estudo das alternativas para a prevenção e/ou minimização dos mesmos. (CURRAN, 1996)

Atualmente, o desenvolvimento de processos de produção agrícola alternativos aos tradicionais têm merecido a atenção de pesquisadores, no sentido de minimizar a intensa utilização de fertilizantes e defensivos sintéticos (agrotóxicos), e reduzir as influências ambientais. A agricultura orgânica e a hidroponia são técnicas de produção agrícola alternativas, mas, enquanto as motivações para a agricultura orgânica se remetem às tradições culturais mais integradas com a natureza, as motivações para a hidroponia são de outra ordem: ausência de solo e/ou clima adequados à agricultura. Dessa forma, diante do intenso debate mundial sobre esse tema, a investigação de amostras dessas técnicas pela metodologia das ACV's se faz interessante assunto de pesquisa. (Este foi um trabalho de fim de disciplina do mestrado chamada "Análise de Ciclo de Vida dos Produtos").

Com relação à escolha do produto em questão, merece destaque a popularidade da alface na dieta brasileira e a diversidade de técnicas de produção disponíveis, particularmente a hidroponia e a agricultura orgânica, que atualmente competem com a técnica intensiva. A seguir, descrevemos brevemente as técnicas comparadas nesse estudo:

- *Alface Intensiva*: Caracteriza-se pelo cultivo intensivo a céu aberto, na forma de monocultura, com o auxílio de irrigação à base de energia elétrica. Esse produto depende do alto consumo de fertilizantes sintéticos e pesticidas (agrotóxicos).

- *Alface Orgânica*: Cultivada em quatro estufas de aço galvanizado, cobertas com sombrite. A irrigação se faz através da queima de óleo diesel. Os fertilizantes são sintéticos, e aplicados na forma das caldas bordalesa e viçosa, receitas comuns da agricultura orgânica.
- *Alface Hidropônica*: Cultivada em uma estufa de madeira, coberta com sombrite, sobre mesas de cerca de 1,0 m de altura. Não há substrato sólido para as plantas, que ficam suspensas por uma estrutura de canais de polipropileno, cobertos com isopor, por onde passa continuamente a solução aquosa com nutrientes sintéticos, através de bombeamento por energia elétrica.

2. METODOLOGIA

O inventário foi realizado a partir de pesquisa de campo, complementada com dados extraídos da literatura técnica. No que diz respeito à produção e etapas posteriores, foram entrevistados produtores, transportadores, comerciantes e outros atores envolvidos com o ciclo de vida da alface. A ACV é sempre restrita a um local específico. Os sítios pesquisados se localizam no município de Campinas, que situa-se 100 Km ao norte de São Paulo, e é o segundo maior do estado, com cerca de 1,0 milhão de habitantes. A alface intensiva estudada é produzida no distrito de Barão Geraldo, a orgânica, no bairro São Marcos e a hidropônica, na estação experimental do IAC (Instituto Agrônomo de Campinas), no bairro Vila Nova. Os três são próximos entre si, num raio de 5 km.

Das etapas características das ACV's, foram destacadas as de extração de matéria prima, pré-produção e produção. Este destaque se deve ao fato de que, a partir destas etapas, os três tipos de alface estudados percorrem as mesmas etapas básicas de distribuição, utilização e pós-utilização.

Os parâmetros considerados na composição do inventário e na avaliação dos impactos ambientais, foram classificados em 3 tipos, a saber:

- Gerais: produtividade (por unidades de tempo e área), análise do processo e mão-de-obra envolvida.
- Insumos Materiais: água, sementes, adubos (serragem, bagaço de cana, esterco de galinha, húmus, complexo N-P-K (20-5-20), sulfatos (de zinco, magnésio e manganês), nitratos (de cálcio e potássio), cal virgem, ácido bórico, uréia, cloreto de potássio, MAP (fosfato monoamônio), ferro – EDDHMA (Etileno-diamino-dihidroxi-monofenil-acetato) e adubo “Yogen 2” (denominações

patenteadas pelos fabricantes), e defensivos (sulfato de cobre, e compostos sintéticos dos grupos piretróides (*Karate*), benzimidazoles (*Cercobim*), carbamatos (*Pirimor*) e nitroguanidinas (*Confidor*)), além de outros insumos (como espuma fenólica, etc.).

- Insumos energéticos: energia elétrica, óleo diesel, conteúdo energético dos adubos e dos defensivos.

Observação: equipamentos e materiais permanentes (tais como: caixas de madeira, tratores, bombas e componentes estruturais das estufas e sistemas de irrigação), não foram objeto de quantificação por apresentarem influências ambientais menos significativas que os materiais de consumo, para a ACV da alface.

3. INVENTÁRIO

A metodologia da ACV estabelece uma unidade fixa de referência do produto, normalmente em unidades materiais, massa ou volume. No caso, a referência é tomada em unidades materiais: 1000 (um mil) pés de alface, o que equivale, em média, a 350 kg. (FURLANI, 1998)

Parâmetros Gerais referentes à produção de 1000 pés de alface (350 kg):

- Produtividade por área (a cada ciclo de vida da alface)

Alface Intensiva: 9,0 pés / m²

Alface Orgânica: 7,5 pés / m²

Alface Hidropônica: 16 pés / m²

- Produtividade por tempo

Alface Intensiva: 21.600 pés / mês

Alface Orgânica: 8.512 pés / mês

Alface Hidropônica: 600 pés / mês

- O ciclo de vida da alface

Alface Intensiva: 20 dias (semente → mudas) + 40 dias (mudas → pés) = 60 dias

Alface Orgânica: 30 dias (semente → mudas) + 30 dias (mudas → pés) = 60 dias

Alface Hidropônica: 30 dias (semente → mudas) + 30 dias (mudas → pés) = 60 dias

- Mão-de-obra envolvida (tempo integral: 8 horas diárias): em n° de trabalhadores / mês . 1000 pés de alface

Alface Intensiva: 0,12 trabalhador / mês . 1000 pés

Alface Orgânica: 0,12 trabalhador / mês . 1000 pés

Alface Hidropônica: 2,5 trabalhadores / mês . 1000 pés

3.1. EXTRAÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS

Tabela 1 – Insumos materiais associados às diferentes modalidades produtivas

Insumos materiais	Elementos constituintes e/ou processos	Alface Orgânica	Alface Intensiva	Alface Hidropônica
Complexo N-P-K	<i>Mistura de:</i> Uréia, NH ₄ NO ₃ , MAP, DAP, SSP, TSP, KCl, K ₂ SO ₄	-	X	-
CuSO₄	Cu + H ₂ SO ₄	X	-	X
CaO	CaCO ₃	X	-	-
H₃BO₃	nd	X	-	X
ZnSO₄	Zn + H ₂ SO ₄	X	-	X
MgSO₄	Mg + H ₂ SO ₄	X	-	X
Uréia	NH ₃ + CO ₂	X	-	-
KCl	nd	X	-	-
MAP	SSP + H ₃ PO ₄ + NH ₃	-	-	X
Ca(NO₃)₂	NH ₃ + HNO ₃ + CaCO ₃	-	-	X
KNO₃	HNO ₃ + KCl	-	-	X
MnSO₄	Mn + H ₂ SO ₄	-	-	X
FeEDDHMA	nd	-	-	X
Yogen 2	Uréia, nitratos, comp. Amoniacais, fosfatos, KCl, Mg, Mn, B, Zn, Mo, Cu	-	X	-
Karate	nd	-	X	-
Cercobim	nd	-	X	-
Pirimor	nd	-	-	X
Confidor	nd	-	-	X

nd = não-disponível X = utilizado - = não-utilizado

A despeito da produção de alface hidropônica pesquisada *não utilizar* os defensivos sintéticos (Pirimor e Confidor), estes dados foram acrescidos a partir de parâmetros da literatura que consideram o uso destes produtos como tradicionais nesta modalidade produtiva.

Quanto à origem, observa-se pela Tabela 1 que as matérias-primas básicas constituem-se de derivados do petróleo e minérios (manganês, zinco, cobre, potássio, fósforo, cálcio, ferro, enxofre e molibdênio), o que nos remete, já num primeiro momento, às influências ambientais associadas à extração, movimentação e processamento primário destes materiais.

3.2. PRÉ-PRODUÇÃO

As etapas da pré-produção foram aqui subdivididas em duas, a saber: produção dos insumos materiais (materiais de consumo) e pré-produção da alface propriamente.

3.2.1. PRODUÇÃO DE INSUMOS MATERIAIS

Os materiais de consumo que passam por uma pré-produção são basicamente os fertilizantes e os pesticidas (ou defensivos agrícolas). Estes são divididos em grupos conforme sua função: inseticidas, fungicidas, acaricidas, bactericidas e herbicidas.

Fertilizantes: As plantas em geral precisam de elementos nutrientes, fornecidos pelos fertilizantes. Os macronutrientes são aqueles necessários em grande quantidade. São eles: N, P, K, Ca, Mg, S.

Os micronutrientes, por sua vez, são necessários em menor quantidade. São eles: B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn.

O Brasil, em 1984, consumiu $52,6 \times 10^6$ GJ em recursos energéticos para a indústria de fertilizantes, o que correspondeu, na época, a 23% da demanda energética de todas as indústrias químicas. 2,5% do petróleo utilizado no Brasil serviu como matéria-prima para fertilizantes. (STOUT, 1979)

Pesticidas: Pesticidas são produtos energo-intensivos. Estima-se que o consumo energético médio esteja na ordem de 101 GJ/t, e que se utilize 2,4 kg de petróleo para cada 1,0 kg de pesticida produzido (STOUT, 1979).

Tabela 2 - Consumo energético associado à produção de fertilizantes e pesticidas

Compostos	Consumo Energético (GJ/t produzida)
Pesticidas	101
NH₄NO₃	64,1
Uréia	63,9
Ca(NO₃)₂	19,2
SSP	17,4
DAP	14,34
TSP	12,85
MAP	10,82
KCl	4,9
K₂SO₄	1,6
N-P-K	1,23 ^a
N total	78,13
P total (em P₂O₅)	17,45
K total (em K₂O)	13,70

a: referente, unicamente, aos processos de mistura e granulação das substâncias que compõem o N-P-K

FONTES: IFDC, 82; CNP, 85

3.2.2. PRÉ-PRODUÇÃO DA ALFACE (PREPARO DE MUDAS)

Tabela 3 - Materiais utilizados no preparo de mudas (por 1000 pés de alface / 350 kg)

Materiais	Alface Orgânica	Alface Intensiva	Alface Hidropônica
Sementes	nd	81 g	1.350 sementes
Espuma fenólica	-	-	14.400 cm ³
Serragem	-	100 kg	-
Húmus	35,24 kg	-	-
Esterco de galinha	58,74 kg	125 kg	-
Bagaço de cana	-	80 kg	-

Observação: Os itens água, óleo diesel e energia elétrica desta etapa, foram agregados à etapa de produção.

3.3. PRODUÇÃO DA ALFACE

**Tabela 4 - Materiais utilizados na produção, do plantio das mudas até a colheita
(por 1000 pés de alface / 350 kg)**

Materiais	Orgânica	Intensiva	Hidropônica
Água	74.000 L	267.000 L	4.500 L
Complexo N-P-K	-	12,5 kg	-----
CuSO₄	45,23 g ou 18 g Cu	-	1,0 g
CaO	48,64 g ou 34,74 g Ca	-	-----
H₃BO₃	5,29 g ou 0,94 g B	-	6,0 g
ZnSO₄	5,29 g ou 2,13 g Zn	-	4,5 g
MgSO₄	28,20 g ou 5,64 g Mg	-	1.000 g
Uréia	14,10 g ou 900 J	-	-----
KCl	14,10 g ou 69,1 J ou 7,38 g K	-	-----
MAP	-	-	550 g ou 5.951 J ou 240 g P
Ca(NO₃)₂	-	-	1.650 g ou 31.680 J ou 402 g Ca ou 282 g N
KNO₃	-	-	3.600 g ou 1.390 g K ou 500 g N
MnSO₄	-	-	9,0 g ou 3,3 g Mn
FeEDDHMA	-	-	80 g
Yogen 2	-	5,93 g ou N: 1,8 g; P: 0,60 g; K: 0,60 g; Mg: 0,03 g; Mn: 4,6 mg; B: 0,9 mg; Zn: 6,0 mg; Mo: 0,03 mg Cu: 2,8 mg	-----
Karate	-	5,93 ml	-----
Cercobim	-	5,93 g	-----
Pirimor	-	-	Nd
Confidor	-	-	Nd
Perdas na produção^a	20 %	20 %	15 %

a: Essa porção de matéria orgânica é imediatamente reciclada na própria produção, nos três casos.

**Tabela 5 - Consumo energético da produção
(por 1000 pés de alface / 350 kg)**

Materiais	Alface Orgânica	Alface Intensiva	Alface Hidropônica
Energia elétrica	-	15 kWh (irrigação) ou 54 MJ	525 kWh (irrigação) ou 1,90 GJ
Óleo diesel	1.07 GJ [28 L(irrigação + trator)]	28,36 MJ [740 mL (trator)]	-
Adubos^a	970 J	nd	37,6 J
Defensivos^a	-	30,3 MJ	7,5 MJ
Total	≅ 1,07 GJ	112,66 MJ	≅ 1,90 GJ

a / b: OBS: somente foram computados os valores *conhecidos* de consumo energético (relacionados na tabela 4).

Fatores de conversão: 38321,3 kJ / L e 3,6 MJ / kWh

FONTES: IFDC, 82; CNP, 85

3.4. EMBALAGEM E DISTRIBUIÇÃO

A alface é embalada nas tradicionais caixas vazadas (ou engradados) de madeira, com capacidade para 24 pés de alface cada, e estas são distribuídas para consumo em caminhões a óleo diesel. Numa estimativa gerada nas pesquisas de campo, cada caminhão transporta uma média de 250 caixas de alface, e roda 10 km a cada 1,0 L de combustível consumido. Notamos também que a maioria dos supermercados atendidos situa-se num raio médio de 10 km.

Sendo esta uma etapa comum aos produtos oriundos das 3 técnicas, e sendo o objetivo desta pesquisa uma avaliação comparativa, esta etapa não merece detalhamento. De qualquer forma, em uma avaliação mais ampla, com fins de decisão acerca da gestão ambiental da alface, esta etapa seria relevante devido aos grandes impactos resultantes do transporte a óleo diesel.

3.5. USO E PÓS-UTILIZAÇÃO

As perdas no transporte e no consumo são estimadas em 10%, para as três técnicas, segundo os entrevistados. Uma vez que 1000 pés de alface pesam aproximadamente 350 kg, temos uma perda de 35 kg na forma de resíduos orgânicos. Em Campinas, não há iniciativas mensuráveis de realização de reciclagem de resíduos orgânicos (compostagem ou biodigestão). Estes são encaminhados para o aterro municipal, onde geram poluição dos lençóis freáticos.

4. AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS SÓCIO-AMBIENTAIS

Neste trabalho, procuramos expandir o conceito de impactos ambientais para impactos sócio-ambientais, por entender que problemas ambientais e sociais estão sempre ligados, intrinsecamente.

Os impactos serão aqui tratados brevemente. Na verdade, este assunto é muito complexo e abrangente e, numa situação real, envolveria significativos estudos de equipes interdisciplinares e que representasse todos os interesses sociais envolvidos na questão.

4.1. EXTRAÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS

A obtenção dos combustíveis fósseis e dos minérios envolvem impactos tais como: alta periculosidade e ocorrência de acidentes ocupacionais, alto consumo energético, desmatamento de florestas nativas, significativa alteração do ecossistema (com a extinção de espécies vegetais e animais), assoreamento de rios, contaminação das águas com elementos tóxicos, geração de resíduos sólidos, entre outros. Outro problema sério é a escassez, cujo prazo é desconhecido, destes recursos naturais não-renováveis.

4.2. PRÉ-PRODUÇÃO

O refino dos combustíveis fósseis envolve diversos impactos ambientais tais como: alto consumo energético, emissões atmosféricas (HC, CO₂, SO₂ e NO_x, principalmente), geração de efluentes líquidos e de resíduos sólidos (estes resíduos são ricos em compostos poli-fenilados, de alta toxicidade).

A mineração das matérias-primas para os fertilizantes e pesticidas gera impactos tais como: danos à saúde dos trabalhadores e moradores próximos, erosão, assoreamento de rios, extinção ou eliminação do habitat de espécies e contaminação dos corpos d'água.

A metalurgia (transformação dos minérios em substâncias metálicas úteis) também envolve diversos impactos, principalmente: alto consumo energético, emissões gasosas, (CO_2 , SO_2 , NO_x e MP, principalmente), geração de efluentes líquidos e resíduos sólidos (estes resíduos são ricos em metais, e portanto muito tóxicos).

A pré-produção da alface hidropônica pesquisada envolve a utilização de espuma a base de resina fenólica (polímero de muitas unidades fenólicas unidas em cadeia), composto tóxico, que possivelmente pode liberar fenóis para as plantas, através de suas raízes que ficam inseridas na espuma.

4.3. PRODUÇÃO

Água: As alfaces são plantas das que mais precisam de água no seu cultivo (HAMADA, 1993). O autor calcula que, na região de Campinas / Piracicaba, a média de volume utilizado por área, por dia seja de $15 \text{ L} / \text{m}^2 \cdot \text{dia}$. Nos casos pesquisados, estimou-se que a alface orgânica consome $18,5 \text{ L} / \text{m}^2 \cdot \text{dia}$, a intensiva, $89 \text{ L} / \text{m}^2 \cdot \text{dia}$ e a hidropônica consome $2,4 \text{ L} / \text{m}^2 \cdot \text{dia}$. Tomando por base a referência da literatura citada, conclui-se que: a técnica orgânica se encontra próxima da média de consumo; a hidropônica, muito abaixo (6 x menor), trata-se de uma técnica racional em uso de água; a intensiva, muito acima (mais de 5 x maior), o que pode ser caracterizado como desperdício de água.

Aparentemente, o uso de água não seria um problema ambiental, já que ela retorna ao local de origem (apenas 300 mL de água são incorporados para cada pé de alface (FURLANI, 1998)). Porém, principalmente no caso da técnica intensiva, grande consumidora de fertilizantes e pesticidas sintéticos, esses produtos tóxicos, e os sub-produtos tóxicos gerados, são lixiviados para os corpos d'água superficiais e subterrâneos, sendo uma fonte significativa de contaminação local.

Energia: Numa avaliação preliminar, foi possível um cálculo total de consumo energético para que comparássemos as três formas de produção. As técnicas alternativas, tanto a orgânica quanto a hidropônica, para os casos estudados, são energo-intensivas ($1,07 \text{ GJ} / 1000 \text{ pés}$ e $1,90 \text{ GJ} / 1000$

pés, respectivamente), contra um consumo de 112,6 MJ / 1000 *pés* da técnica intensiva. Diante dos significativos impactos sócio-ambientais da obtenção de energia (tanto na forma elétrica quanto na forma de calor de queima de óleo diesel), as produções estudadas devem fazer uma tentativa de diminuir esses valores.

A partir da diferença entre as fontes energéticas utilizadas para irrigação, pôde-se chegar a conclusões interessantes. A partir dos dados das tabelas 4 e 5, acerca do consumo de água e do consumo energético para a irrigação, chegou-se aos seguintes valores:

Técnica Intensiva: Consumo de 0,002 MJ / L de água. Energia na forma elétrica.

Técnica Orgânica: Consumo de menos de 0,014 MJ / L de água (o valor exato não é mensurável, já que essa energia é distribuída entre a irrigação e o uso do trator). Energia na forma de óleo diesel.

Técnica Hidropônica: Consumo de 0,42 MJ / L de água. Energia na forma elétrica.

A partir desses dados, podemos fazer as seguintes análises:

* A técnica hidropônica consome 210 vezes mais energia elétrica do que a intensiva, para o mesmo volume de água de irrigação. Essa grande diferença se explica pelo fato de que a técnica hidropônica lança mão do fluxo contínuo de água pelas raízes das plantas, prática deveras energo-intensiva.

* A técnica orgânica, que lança mão de outro recurso energético, o óleo diesel, consome 7 vezes mais energia do que a técnica intensiva, em valores absolutos. Esse fato demonstra a maior eficiência das transformações de energia elétrica em força motriz do que de energia térmica (da queima do óleo diesel) em força motriz. Assim, pode-se dizer que a irrigação da alface orgânica estudada é mais impactante do que a irrigação da alface intensiva estudada.

Adubos sintéticos: No geral, apenas a alface intensiva estudada demonstra consumo significativo destes insumos. No entanto, dois dados comparativos entre as alfaves orgânica e hidropônica nos chamam a atenção: a orgânica consome 45 vezes mais CuSO_4 do que a hidropônica. Talvez essa diferença esteja associada ao fato de que esse insumo é usado também como fungicida, além de fertilizante, na alface orgânica estudada (na forma das caldas, bordalesa e viçosa) (PENTEADO, s/d, 1 & PENTEADO, s/d, 2). Por outro lado, a técnica hidropônica demanda 35 vezes mais MgSO_4 que a orgânica. Uma diferença importante é que os fertilizantes são injetados diretamente na água absorvida, no caso da técnica hidropônica. Nesse tipo de adubação, praticamente não há perda de fertilizantes. Ao contrário, na técnica orgânica, ocorrem as perdas típicas de fertilização do solo. Por

outro lado, a fertilização via aquosa, numa situação em que a planta não pode obtê-los através do solo (seu substrato natural), é questionável sob os pontos de vista científico e ético.

Os fertilizantes sintéticos são energo-intensivos (com alta participação de derivados do petróleo) e chegam a consumir até 64% da energia destinada a agricultura, que inclui também gastos com irrigação, preparo da terra, transportes e produção de pesticidas. Outros aspectos são a depleção dos recursos naturais não-renováveis e a geração de emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos de suas unidades industriais, em grande quantidade (MUTHUKUMAR, 1982).

Os adubos sintéticos provocam a progressiva diminuição da produtividade dos solos, bem como de sua capacidade de retenção de água. Eles provocam muitos danos ao ecossistema e à saúde pública via contaminação das águas, superficiais ou de lençóis freáticos, pois são lixiviados pelas chuvas (MIYASAKA et al., 1983). O despejo dos nutrientes N e P nos corpos d'água provoca a eutrofização, ou seja, a “morte” das águas. Esse processo é praticamente irreversível (OECD, 1986). Eles também causam sérios danos à saúde pública. Os nitratos, por exemplo, causam doenças fatais nas crianças, quando ingeridas em altas concentrações.

Pesticidas (Agrotóxicos): Os pesticidas, além de energo-intensivos (clacula-se uma média de 101 GJ/t produzida), são um seríssimo problema de saúde pública. São, via de regra, muito tóxicos, e as doses letais são da ordem de ppm (partes por milhão). São também bio-acumulativos, e podem habitar os três meios físicos (ar, água e solo). Quando são degradados, liberam derivados ainda mais tóxicos que os compostos de origem, como as dioxinas (polifenilas-cloradas) . As principais ocorrências de toxicidade são: carcinogênese, teratogênese, mutagênese, distúrbios nos sistemas nervoso central, imunológico e respiratório. Os efeitos podem ser agudos ou crônicos (RICHARDSON, 1991).

4.4. EMBALAGEM, DISTRIBUIÇÃO, USO E PÓS-UTILIZAÇÃO

Dentre os impactos associados a estas etapas, destacam-se aqueles oriundos da utilização de energia no transporte para a distribuição (depleção dos combustíveis fósseis não-renováveis e emissões atmosféricas, entre outros), e deposição de resíduos sólidos (que gera acidificação e contaminação da água dos lençóis freáticos).

5. CONCLUSÕES

Embora preliminar, esta aplicação parcial de ACV permite o levantamento de influências ambientais relevantes, decorrentes das diferentes técnicas de produção da alface. Extrapolando as fronteiras tradicionais do sítio onde se localiza o processo de produção propriamente, o enfoque no produto nos permite considerar influências e impactos ambientais que se manifestam, muitas vezes, fora da região da produção, mas que podem superar, em intensidade, as degradações locais. Ilustram esta consideração as avaliações dos conteúdos energéticos dos fertilizantes e pesticidas sintéticos, além do consumo de óleo diesel e energia elétrica, que podem ser interpretadas como sérias influências sócio-ambientais associadas ao produto estudado, embora seus efeitos se materializem em outras localidades¹, e são tema de discussão ambiental global.

No entanto, é muito importante ressaltar que as pesquisas do tipo ACV, como esta, são direcionadas *a cada produto específico*, de cada unidade produtiva, estudado com todas as suas peculiaridades.² No caso, por exemplo, a técnica orgânica é praticada na forma de monocultura de característica intensiva (em estufas). A maior parte da aplicação da técnica orgânica mundial se dá na forma de policulturas. A técnica hidropônica estudada não utiliza pesticidas, mas muitas unidades utilizam. Dessa forma, esse estudo não permite uma avaliação ampla sobre as técnicas em si, mas sim dos produtos estudados, e das respectivas unidades produtivas. No entanto, são igualmente possíveis algumas considerações genéricas sobre as técnicas, das características mais comuns (praticadas de forma consensual pelo mundo).

Nenhuma das produções de alface estudadas está isenta de impactos, ou pode ser mais elogiada, sob o ponto de vista sócio-ambiental. No entanto, a partir das observações em campo e das pesquisas bibliográficas pôde-se tecer algumas conclusões:

- Embora a *alface hidropônica estudada* seja muito racional no uso da água, de insumos sintéticos e de área, é uma prática deveras energo-intensiva, e portanto impactante.

A produtividade por área é a maior dos produtos estudados: 16 pés / m² . mês. A proposta conceitual da hidroponia se baseia precisamente nessa propriedade, de forma a permitir o cultivo sobre áreas não-cultiváveis e maior racionalização do espaço (especialmente em localidade super-povoadas), desde que se garanta a qualidade da água.

No entanto, o emprego direto de fertilizantes industrializados nas raízes, bem como a retirada do substrato composto que é o solo, são passíveis de questionamentos científicos e éticos, tais como:

Como os homens podem garantir que conhecem, exatamente, o que a planta precisa consumir para o seu desenvolvimento? Como podem inferir acerca da irrelevância da complexidade de composição do solo para o desenvolvimento normal da planta? Quais são os possíveis impactos ecológicos no equilíbrio interno das plantas? Qual é o direito ético que os homens tem de manipulação do desenvolvimento das espécies vivas? Nesse sentido, guardadas as proporções, a hidroponia segue o referencial da *engenharia genética*, com respeito à ética: não há impecílios para a manipulação dos seres vivos, se estes são direcionados à alimentação humana, ou à alimentação dos animais de criação. Ou seja, prevalece a idéia de que a ciência prescinde de questionamentos éticos.

Além disso, a hidroponia não rompe com o modelo de consumo de fertilizantes industrializados, a partir dos recursos minerais. Enquanto que, do ponto de vista ambiental, é muito melhor que os fertilizantes se originem dos recursos vegetais, como ocorre nos ecossistemas naturais. A passagem dos minérios aos fertilizantes é extremamente entrópica e ecologicamente agressiva.³

Atualmente, existem alguns estudos que comprovam a liberação de compostos tóxicos pelos plásticos, inclusive pelo polipropileno, utilizado na irrigação. Já a borracha, da irrigação das alfaves intensiva e orgânica estudadas, não apresenta esse impacto. Outra preocupação é a espuma fenólica utilizada no preparo das mudas, já que ela se decompõem durante o cultivo, e é possível que haja alguma contaminação das plantas com fenóis.

Um ponto positivo analisado foi o maior grau de empregabilidade entre os três produtos comparados: 2,5 trabalhador / 1000 pés . mês. As condições de trabalho não apresentam insalubridade.

- A *alfave intensiva estudada* (em monocultura intensiva em consumo de adubos, pesticidas sintéticos e água) apresenta impactos ambientais muito significativos, embora seja a mais produtiva. Esses impactos levam a uma perda de produtividade do solo a médio prazo, o que acarreta a dependência crescente de insumos sintéticos, o que, por sua vez, agrava os impactos ambientais, num ciclo vicioso de degradação. As práticas orgânicas e mais integradas aos ecossistemas são mais recomendáveis, em seus princípios.

- A *alfave orgânica estudada* é do tipo intensiva, e em monocultura, tendo alta produtividade.

O produtor lança mão do uso das caldas, compostas por adubos sintéticos. Existem práticas orgânicas mais sustentáveis, por exemplo com as características de policulturas, de pequenas

escalas, rotativas, do tipo permacultura e agrossilvicultura, ect. Em diversas delas, utilizam-se apenas resíduos vegetais como adubos (adubos orgânicos), os quais são mais adequados do que os adubos industrializados, sob o ponto de vista da sustentabilidade ecológica, ou da qualidade ambiental.

Nesta forma em que foi pesquisada, a prática da agricultura orgânica é mais adequada do que a intensiva, do ponto de vista sócio-ambiental, apenas pelo uso mais racional de adubos sintéticos e pelo não-uso dos pesticidas. Sob o aspecto da empregabilidade, ambas demandam a mesma quantidade de trabalho (0,12 trabalhador / 1000 pés . mês). No entanto, a insalubridade do trabalho com a alface intensiva estudada é bem maior do que com a orgânica, já que a primeira se utiliza de quantidades consideráveis de agrotóxicos perigosos.

Um ponto negativo é sua característica energo-intensiva (da mesma ordem de grandeza da *alface hidropônica estudada*).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CONSELHO NACIONAL DO PETRÓLEO (CNP), FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS (FINEP), INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). *Conservação de energia na indústria de fertilizantes*. São Paulo: 1985.
- CURRAN, M. A. *Environmental life-cycle analysis*. New York: McGraw-Hill, 1996.
- FURLANI, P. R. *Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia – NFT*. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), 1998. 2. Ed. (Boletim Técnico no. 168)
- HAMADA, E. *Desenvolvimento e produtividade da alface (lactuca sativa L.), submetida à diferentes lâminas de água, através da irrigação por gotejamento..* Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) / Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 1993. (Dissertação de Mestrado)
- INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER (IFDC). *Energy and fertilizer: Policy implications and options for developing countries*. Alabama: 1982. (Technical Bulletin, T-20) IN: CONSELHO NACIONAL DO PETRÓLEO (CNP), FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS (FINEP), INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). *Conservação de energia na indústria de fertilizantes*. São Paulo: 1985.
- MIYASAKA, S. et al. *Adubação orgânica, adubação verde e rotação de culturas no Estado de São Paulo*. Campinas: Fundação Cargill, 1983.
- MUTHUKUMAR, G. et al. *Pollution control in fertilizer industry: Approach towards an ideal solution*. Fertilizer News, New Delhi, 27(6): 43-47, junho / 1982.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). *Water pollution by fertilizers and pesticides*. Paris: 1986.
- PENTEADO, S. R. (1) *Calda bordalesa; Como e por que usar*. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI), s/d.
- _____ (2) *Agricultura sem veneno; Preparo e aplicação das caldas bordalesa, sulfocálcica e viçosa*. Campinas: s/d.
- RICHARDSON, M. L. (ed.) *Chemistry, agriculture and the environment*. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 1991.

- STOUT, B. A. Energy for world agriculture. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1979. (FAO Agriculture Series, no. 7)

¹ Por exemplo, nas proximidades de: * mineração das matérias-primas para fertilizantes e pesticidas; * indústrias de produção de fertilizantes e pesticidas; * usinas hidrelétricas; * poços de petróleo; * refinarias de petróleo; * estradas; etc.

² No presente estudo, pretendeu-se comparar três técnicas de produção de alfaces que atingem, basicamente, os mesmos mercados consumidores. Para isso, lançou-se mão de uma unidade de medida comum: 1000 pés de alface. Os consumidores, de posse de informações como essas, poderiam escolher seus produtos com base em critérios ecológicos, ou sócio-ambientais. Essa é uma forma de gestão e política ambiental do setor produtivo, já popularizada pela Europa e outros países ricos, chamada de “*regulação pelo mercado*”.

³ Processos entrópicos, no Planeta Terra, significam ameaças à vida em todas as suas formas, que necessitam de ambientes de baixa entropia para se desenvolverem.