

**Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia**

**Mestrado em Engenharia Agronómica**

Dissertação

**Avaliação do Consumo de energia e de água em sistemas de  
Produção de alface em estufa e ao ar livre.**

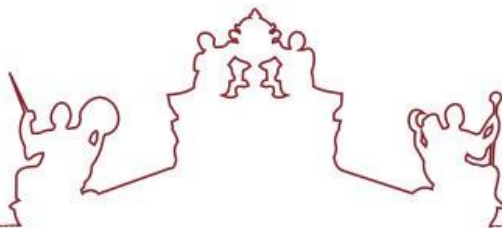
**João Pedro Serralheiro Marcelino**

Orientador(es) | Fátima Baptista

Diogo Coelho

Évora 2024





**Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia**

**Mestrado em Engenharia Agronómica**

Dissertação

**Avaliação do Consumo de energia e de água em sistemas de  
Produção de alface em estufa e ao ar livre.**

**João Pedro Serralheiro Marcelino**

Orientador(es) | Fátima Baptista

Diogo Coelho

Évora 2024

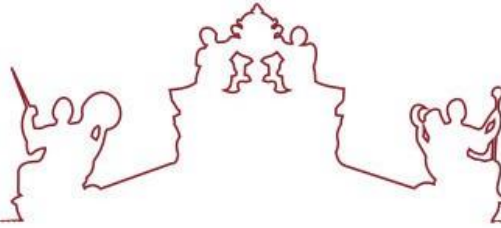
---

---

---

---

---



A dissertação foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Diretor da Escola de Ciências e Tecnologia:

Presidente | Maria do Rosário Félix (Universidade de Évora)

Vogais | Fátima Baptista (Universidade de Évora) (Orientador)  
Vasco Fitas da Cruz (Universidade de Évora) (Arguente)

Évora 2024



## **Agradecimentos**

Inicialmente, desejo expressar os meus sinceros agradecimentos à minha orientadora Profa. Fátima de Jesus Folgôa Baptista, pela sua contínua prontidão, colaboração incansável, atenção dedicada e confiança demonstrada ao longo do processo de desenvolvimento deste trabalho. Cada etapa deste trabalho foi enriquecida pela sua excelente orientação, o que tornou o trabalho mais simples e verdadeiramente gratificante.

Ao Doutor Diogo José de Rezende Coelho, meu coorientador, expresso o meu reconhecimento pela prontidão demonstrada a cada solicitação de assistência e pela grande ajuda fornecida durante a realização da dissertação. A disposição em ajudar e o suporte oferecido foram elementos fundamentais para a conclusão deste trabalho.

À CAMPOTEC por me ter gentilmente fornecido não apenas alguns conjuntos de dados essenciais, mas também por disponibilizar os meios, nomeadamente o contacto com os produtores que colaboram com a empresa, que impulsionou o progresso desta dissertação. Gostaria de estender um agradecimento particular ao Engenheiro João Freire e à Engenheira Andreia Gomes, cuja colaboração foi essencial para o sucesso deste trabalho.

Aos produtores pela amabilidade e comprometimento ao disponibilizar as suas explorações agrícolas, deixando-me com liberdade para acompanhar a cultura e retirar toda a informação necessária. Sem a contribuição deles seria inviável a realização deste trabalho, estendendo um agradecimento muito especial a todos.

Aos meus pais, expresso a minha profunda gratidão e generosidade que nunca esquecerei. Proporcionaram-me todas as orientações, princípios e ferramentas necessárias para que eu pudesse atingir as metas que sempre desejei. A eles dedico o meu sincero apreço por tudo o que fizeram por mim e pelo apoio incondicional que me deram.

À minha namorada Catarina, desejo expressar o meu profundo obrigado pelo apoio constante, dedicação incansável e afeto com os quais ela sempre esteve ao meu lado. Sempre com o seu apoio contínuo para que perseguisse os meus objetivos e dando-me sempre uma motivação e palavras de conforto ao longo deste percurso.

À Universidade de Évora, assim como a todos os docentes, funcionários e colegas, o meu sincero apreço por todas as vivências enriquecedoras e oportunidades valiosas durante a minha trajetória académica nesta instituição.

## **Resumo**

A produção de alface é uma atividade importante na região Oeste de Portugal, sendo produzida durante todo o ano, em estufa ou ao ar livre utilizando diferentes práticas culturais e tecnologias, refletindo-se em diferentes consumos energéticos e níveis de produtividade.

A eficiência energética é um tema atual, relacionado com a eficiente utilização dos fatores de produção. O consumo eficiente de energia é fundamental para a sustentabilidade da produção, para a redução das emissões dos gases com efeito de estufa e dos custos de produção. A produção em estufa está geralmente associada a elevada incorporação de fatores de produção, a um maior consumo de energia e impactos ambientais comparativamente com a produção ao ar livre.

O objetivo deste trabalho é avaliar a sustentabilidade da produção da cultura da alface em estufa e ao ar livre, em termos de consumo de energia direta, indireta e de água mediante a estimativa de vários indicadores.

**Palavras-Chave:** Horticultura; Produção em Estufa; Produção ao Ar Livre; Sustentabilidade; Eficiência Energética.

## **Evaluation of Energy Consumption for Lettuce Production in Greenhouse and in open air**

### **Abstract**

Lettuce production is an important activity in the western region of Portugal. It is produced all year round, in greenhouses or outdoors, using different crop practices and technologies, resulting in different energy consumption and productivity levels.

Energy efficiency is an actual issue, related with the efficient use of production factors. Efficient energy consumption is essential for sustainable production, for reduction of greenhouse gas emissions and production costs. Greenhouse production is generally associated with high incorporation of production factors, with high energy consumption and environmental impacts, in comparison with outdoor production.

The aim of this work is to assess the sustainability of lettuce crop production in both the outdoor and the greenhouse production systems, in terms of direct and indirect energy consumption and water consumption by estimating various indicators.

**Keywords:** Horticulture; Greenhouse production; Outdoor production; Sustainability; Energy Efficiency

## Índice Geral

Agradecimentos .....	i
Resumo.....	ii
Abstract .....	iii
Índice de Tabelas.....	vi
Índice de Figuras .....	vii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	viii
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento.....	2
1.2. Objetivos .....	3
2. Revisão Bibliográfica .....	4
2.1. Caracterização da cultura da alface .....	5
2.2. Sistema de Produção.....	5
2.3. Energia e Eficiência Energética.....	6
2.4. Indicadores Energéticos .....	8
2.4.1. Energia Direta.....	8
2.4.2. Energia Indireta .....	8
2.4.3. Energia Total.....	8
2.4.4. Energia Específica e Produtividade Energética .....	9
2.4.5. Coeficientes de Conversão Energéticos .....	9
3. Materiais e Métodos .....	10
3.1. Caracterização da área experimental.....	11
3.1.1. Sistema de Produção em Estufa.....	11
3.1.2. Sistema de Produção ao Ar Livre.....	16
3.2. Recolha de Dados.....	20
3.2.1. Consumos energéticos e água.....	20
3.2.2. Dados da Produtividade .....	22
3.3. Análise de Dados .....	22

4.	Resultados e Discussão .....	24
4.1.	Sistema de Produção em Estufa.....	25
4.1.1.	Energia.....	25
4.1.2.	Energia Específica, Produtividade Energética e Produtividade da Água.....	27
4.1.3.	Emissão de Gases com Efeito de Estufa (GEE) .....	29
4.2.	Sistema de Produção ao Ar Livre.....	30
4.2.1.	Energia.....	30
4.2.2.	Energia Específica, Produtividade Energética e Produtividade da Água.....	33
4.2.3.	Emissão de Gases com Efeito de Estufa (GEE) .....	34
4.3.	Análise Comparativa dos Sistemas de Produção em Estufa e Ar Livre .....	36
5.	Conclusões.....	38
6.	Referências Bibliográficas .....	41



## Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Período e posição das aberturas de cumeeira .....	12
Tabela 3.2 - Abertura e fecho da cumeeira consoante a temperatura no interior da estufa.....	14
Tabela 3.3 - Tratores utilizados em cada produtor e respetivas características.....	20
Tabela 3.4 - Informações e valores do processo de calibração dos sistemas de rega.....	21
Tabela 3.5 - Valores dos débitos do fabricante e dos calibrados para o sistema de rega de cada produtor .....	21
Tabela 3.6 - Equipamento elétrico utilizado em cada produtor e respetiva potência .....	22
Tabela 3.7 - Coeficientes de conversão energéticos para os cálculos da energia e da emissão de gases com efeito de estufa.....	23
Tabela 4.1 - Quantidade utilizada dos fatores de produção para o Sistema de Produção em Estufa do Produtor 1 e do Produtor 2.....	25
Tabela 4.2 - Contribuição relativa dos diferentes fatores de produção no consumo de energia para o Sistema de Produção em Estufa do Produtor 1 e do Produtor 2.....	25
Tabela 4.3 – Consumo de energia para o Sistema de Produção em Estufa do Produtor 1 e do Produtor 2 .....	27
Tabela 4.4 - Valores relativos de produção, consumo de água, energia específica, produtividade energética e a produtividade da água do Sistema de Produção em Estufa do Produtor 1 e do Produtor 2 .....	28
Tabela 4.5 - Contribuição relativa dos diferentes fatores de produção na emissão de gases com efeito de estufa para o Sistema de Produção em Estufa do Produtor 1 e do Produtor 2 .....	29
Tabela 4.6 - Quantidade total utilizada dos fatores de produção para o Sistema de Produção ao Ar Livre do Produtor 2 e do Produtor 3 .....	30
Tabela 4.7 - Contribuição relativa dos diferentes fatores de produção no consumo de energia para o Sistema de Produção ao Ar Livre do Produtor 2 e do Produtor 3 .....	30
Tabela 4.8 - Consumo de energia para o Sistema de Produção ao Ar Livre do Produtor 2 e do Produtor 3 .....	32
Tabela 4.9 - Valores relativos de produção, consumo de água, energia específica, produtividade energética e a produtividade da água do Sistema de Produção ao Ar Livre do Produtor 2 e do Produtor 3 .....	33
Tabela 4.10- Contribuição relativa dos diferentes fatores de produção na GEE para o Sistema de Produção ao Ar Livre do Produtor 2 e do Produtor 3 .....	34
Tabela 4.11 – Valores médios obtidos para os indicadores de produtividade, consumo de energia e emissão de gases com efeito de estufas para os sistemas de produção estudados .....	36

## Índice de Figuras

Figura 1.1 - Dados referentes aos anos 2019-2021 da alface .....	2
Figura 3.1 - Local de ensaio do Sistema de Produção em Estufa do Produtor 1 .....	11
Figura 3.2 - Esboço da divisão da estufa por setores .....	12
Figura 3.3 - Trator New Holland T4.85N com fresa.....	12
Figura 3.4 - Esboço do modo de plantação .....	13
Figura 3.5 - Micro-aspersor suspenso na estufa .....	13
Figura 3.6 - Trator Agrifull com porta paletes.....	14
Figura 3.7 - Local de ensaio do Sistema de Produção em Estufa do Produtor 2 .....	14
Figura 3.8 - Deutz-fahr Agrofarm 420 T com grade rotativa.....	15
Figura 3.9 - Micro-aspersor suspenso na estufa .....	15
Figura 3.10 - Trator Deutz-fahr Agrofarm 410 T com caixa de carga.....	16
Figura 3.11 - Local de ensaio do Sistema de Produção Ar Livre do Produtor 2 .....	16
Figura 3.12 - Trator Deutz-fahr Agrofarm 420 T com as alfaias.....	17
Figura 3.13 - Alfaia modificada.....	17
Figura 3.14 - Trator Deutz-fahr Agrofarm 420 T com pulverizador de barras .....	18
Figura 3.15 - Local de ensaio do Sistema de Produção Ar Livre do Produtor 3 .....	18
Figura 3.16 - Trator Deutz-fahr Série 5D com fresa .....	19
Figura 3.17 - Esboço do modo de plantação .....	19
Figura 3.18 - Sistema de rega por aspersão .....	19
Figura 3.19 -Pulverizador de dorso de 16 Litros .....	20
Figura 4.1 - Contribuição relativa dos diferentes fatores de produção no consumo de energia para o Sistema de Produção em Estufa .....	26
Figura 4.2 - Contribuição relativa dos diferentes fatores de produção na Emissão de Gases com Efeito de Estufa para o Sistema de Produção em Estufa .....	29
Figura 4.3 - Contribuição relativa dos diferentes fatores de produção no consumo de energia para o Sistema de Produção ao Ar Livre .....	31
Figura 4.4 - Contribuição relativa (%) dos diferentes fatores de produção na Emissão de Gases com Efeito de Estufa para o Sistema de Produção ao Ar Livre .....	35

## **Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos**

**SP** – Sistema de Produção

**SPE** – Sistema de Produção Estufa

**SPAL** – Sistema de Produção Ar Livre

**P1** – Produtor 1

**P2** – Produtor 2

**P3** – Produtor 3

**SPE\_P1** – Sistema de Produção em Estufa do Produtor 1

**SPE\_P2** – Sistema de Produção em Estufa do Produtor 2

**SPAL\_P2** – Sistema de Produção Ar Livre do Produtor 2

**SPAL\_P3** – Sistema de Produção Ar Livre do Produtor 3

**EE** – Energia Específica

**PE** – Produtividade Energética

**GEE** – Gases com efeito de estufa



## 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento

A alface (*Lactuca sativa L.*) é uma cultura agrícola com grande importância em Portugal, apresentando, em 2020, uma área cultivada de 2.452 hectares e com tendência para o aumento da produção (INE, 2020). Segundo os dados da Aliança contra a Fome e a Má-nutrição Portugal (Figura 1.1), a área ocupada de 2019 a 2021 aumentou de 1.934 ha para 2.673 ha. Outros aumentos verificados foram na produção, em 2019 foi de 45.219 toneladas de alface e no ano de 2021 passou para 74.851 toneladas. Referente ao consumo existiu um aumento considerável de 2019 para 2021, nomeadamente de 44.210 para 73.740 toneladas.



Figura 1.1 - Dados referentes aos anos 2019-2021 da alface

Fonte: Adaptado de Produção Nacional Da Horta | ACFMNP ([acfmnportugal.pt](http://acfmnportugal.pt))

A região Oeste de Portugal (incluindo o Ribatejo) concentra 55% da produção de alface de Portugal Continental, sendo produzida ao longo de todo o ano, através de dois sistemas de produção, em estufa e ao ar livre (fora do período mais frio), que empregam diferentes práticas culturais e tecnologias, desde a densidade de plantas, a utilização de água de rega e o sistema de rega, os tratamentos fitossanitários e a mecanização (Ministério da Agricultura, 2007). De referir, que nesta região, a horticultura protegida (produção em estufa) apresenta relevância, pois predominam empresas de maior dimensão, direcionadas para as exportações das hortícolas (Costa et al., 2014).

Analisando a evolução da produção da alface em Portugal e na região Oeste, os sistemas produtivos apresentam cada vez maior incorporação de fatores de produção, logo o tema da eficiência energética e da sustentabilidade deve ser abordado.

A eficiência energética é um tema atual, diretamente relacionado com a eficiente utilização dos fatores de produção, tais como o solo, a água, os fertilizantes, os combustíveis e gastos energéticos relacionados com as estufas (materiais de construção, sistemas de arrefecimento e aquecimento, entre outros). O consumo eficiente de energia (direta e indireta)

é um dos pontos-chave para a sustentabilidade da produção, contribuindo para a redução das emissões dos gases com efeito de estufa e dos custos de produção, sem prejudicar a produtividade (Clements et al., 1995; Strapatsa et al., 2006). Neste contexto, uma análise da eficiência energética e do ciclo cultural de uma cultura, permite obter o balanço energético e consequentemente uma avaliação da sustentabilidade de uma exploração agrícola, ou mesmo realizar comparações entre diferentes explorações agrícolas (Couto et al., 2019).

A produção sustentável, ou seja, económica, ambiental e socialmente sustentável é um objetivo importante que pode ser alcançado através da utilização de tecnologias e práticas agrícolas inovadoras que contribuam para a utilização eficiente dos fatores de produção como os fertilizantes, a água e a energia.

## **1.2. Objetivos**

Este trabalho tem por objetivo avaliar a sustentabilidade da produção da cultura da alface em estufa e no ar livre, em termos de consumo de energia direta e indireta. Pretende-se estimar indicadores energéticos, para possibilitar a comparação dos diferentes sistemas em termos de consumos energéticos e perceber onde poderá ocorrer melhorias e poupanças de energia. Para além disso, pretende-se também avaliar o consumo de água em ambos os sistemas de produção.

Desta forma possibilita ao produtor minimizar os consumos e os desperdícios de energia tornando a exploração mais eficiente e rentável (melhores níveis de produtividade).



## 2. Revisão Bibliográfica

## **2.1. Caracterização da cultura da alface**

A alface (*Lactuca sativa L.*) é uma planta herbácea, de ciclo anual, que pertence ao género *Lactuca* e à família das *Asteraceae*, anteriormente denominada como *Compositae*, originária do Leste do Mediterrâneo e é mundialmente cultivada para o consumo humano. A mesma apresenta um sistema radicular apurado e pouco desenvolvido, explorando em média 0,25 m do solo (Filgueira, 2003). A sua ramificação mais ou menos desenvolvida é em função de como é produzida, da variedade e das características edáficas.

Em relação às condições edafo-climáticas a cultura da alface em geral, tem a possibilidade de ser produzida durante todo o ano, para seu desenvolvimento precisa de temperaturas diurnas entre os 15 e 20 °C e noturnas entre os 8 e 12 °C, e evitar zonas de ocorrência de geadas pois as mesmas podem provocar danos necróticos nas folhas. Em clima temperado, a alface é cultivada também em estufas, com temperaturas ideais no interior de 8 a 12 °C e humidade relativa entre 60 e 70%. De considerar que durante o inverno precisa de sol e luminosidade (no mínimo 10 horas de luz), para as folhas ficarem consistentes e pouco finas (Miranda et al., 2004).

As características dos solos ideais para as cultivares de alface devem ser textura franco-arenosa, 2 a 4% de matéria orgânica, 40 a 50 cm de profundidade, pH entre 6,5 e 7,5, pouco ácido e com boa drenagem. De referir que, as temperaturas de solo ótimas estão entre 13 e 15 °C, e temperaturas inferiores a 7 °C favorece o aparecimento de necroses nas folhas jovens e no interior da planta (Miranda et al., 2004).

Segundo Almeida (2006) o ciclo vegetativo da alface destinada ao consumo inicia-se pela germinação e emergência, depois formação da roseta de folhas e finaliza com a formação do repolho.

O ciclo cultural da alface varia e depende da variedade, da região e da época de plantação. Em regra geral, as plantações de Outono/Inverno (Outubro a Janeiro), que ocorre em estufa, o ciclo atinge as 10-12 semanas, enquanto plantações de Primavera/Verão (Março a Julho), que podem ocorrer em estufa (menos comum) e/ou no ar livre, o ciclo dura entre 6-8 semanas em estufa e 9-12 semanas ao ar livre (Almeida, 2006).

## **2.2. Sistema de Produção**

Conforme os dados estatísticos disponibilizados pelo Instituto Nacional de Estatística (INE) no ano de 2019, verificou-se que as culturas hortícolas em Portugal continental abrangem uma área de superfície de 50.509 ha. Esta extensa área, divide-se em 35.477 ha de culturas hortícolas extensivas e 15.032 ha de culturas hortícolas intensivas, no qual inclui o sistema de produção em estufa. Além disso, os dados revelam que a região do Ribatejo e Oeste destacam-



se como as maiores áreas de superfície de culturas hortícolas extensivas e intensivas com 24.060 ha e 8.474 ha, respetivamente (INE, 2019)

Desta forma, as estufas surgiram com a necessidade de produzir plantas em locais e/ou épocas em que as condições climáticas não eram favoráveis para a produção. Segundo Baptista (2018), *“São instalações cuja envolvente é parcialmente transparente à radiação solar e com as quais se pretende melhorar as condições ambientais para a produção de plantas”*.

Estufa é uma estrutura coberta com material transparente à radiação solar de forma a proteger as plantações de condições climáticas adversas (vento, chuvas fortes, temperaturas elevadas ou baixas) permitindo no interior, o trabalho de pessoas e máquinas. Visam criar condições favoráveis à cultura presente e possibilitam controlar a temperatura, humidade, luz e dióxido de carbono (Von Elsner et al., 2000).

Nas zonas de clima Mediterrâneo, em geral as estufas são de estruturas metálicas de aço galvanizado, cobertas com material plástico (filme de Polietileno), não aquecidas, em que a ventilação natural (ventilação natural e zenital) é a técnica de controlo ambiental possibilitando o controlo da temperatura, humidade e nível de CO<sub>2</sub> no ar (Baptista F, 2018)

Em suma, produção em estufa possibilita a precocidade (obtenção da produção mais cedo), produções e colheitas fora de época, maiores rendimentos e qualidade, melhor gestão de água de rega e proteção das culturas das condições climáticas adversas, pragas e doenças (Baptista F, 2018). Por outro lado, exige um nível de investimento inicial elevado, tem associado custos de produção elevados, exige mão de obra mais especializada e dependência do mercado.

No que respeita ao ar livre, as culturas estão sujeitas às condições climáticas exteriores e diversidade de pragas e doenças existentes superiores, podendo considerar estes os pontos negativos do sistema. Em geral, devido às exigências climatéricas das culturas hortícolas, a produção neste tipo de sistema decorre no período de menos frio como referido anteriormente. Os pontos positivos de produção em ar livre são menor investimento, trabalhos mais mecanizados e consequentemente menor mão de obra.

### **2.3. Energia e Eficiência Energética**

O setor agrícola desempenha um papel fundamental no consumo de energia, uma vez que todas as operações, que abrangem desde o trabalho humano até a alimentação animal, a aplicação de fertilizantes, o uso de combustíveis e eletricidade, requerem um dispêndio energético. Com a evolução do tempo a agricultura tradicional e de baixo consumo energético está a ser substituída por sistemas mais modernos e com maior incorporação de fatores (Elsoragaby et al., 2019).

Com a intensificação dos sistemas de produção, o consumo de energia na agricultura tem aumentado e para contrariar este aumento, as melhorias na eficiência energética têm uma grande relevância. Desta forma, uma diminuição do uso de energia para um determinado serviço ou nível de atividade ou um aumento de produtividade para a mesma energia consumida, são duas alternativas para melhorias na eficiência energética (Baptista et al., 2013).

O consumo de energia na agricultura difere entre energia direta e energia indireta. A energia direta é a energia diretamente consumida nas explorações, tais como o combustível (gasóleo e/ou gasolina) para a maquinaria e a eletricidade, para sistemas de rega, climatização e iluminação, e com um peso importante neste tema e neste setor. A energia indireta é a energia utilizada para produzir os fatores de produção necessários às práticas de produção agrícola, como fertilizantes, agroquímicos, plásticos e outros materiais.

É possível estimar o consumo de energia direta e indireta no setor agrícola, permitindo comparações entre diferentes regiões, assim como a análise das diferenças entre essas duas formas de energia (Di Felice et al., 2014; Kazemi et al., 2018).

Segundo um estudo realizado na província de Antália, Turquia com produção de tomate em estufa, ao analisar padrões de uso de energia e a relação entre inputs energéticos e produtividade, os autores concluíram que o combustível (34,35%), fertilizantes (27,59%), eletricidade (16,01%), produtos químicos (10,19%) e mão de obra (8,64%) são os maiores componentes da matriz do consumo energético. A produtividade média e o consumo total de energia apresentaram valores de aproximadamente 160.000 kg/ha e 106.716,2 MJ/ha, respetivamente (Hatirli et al., 2006).

Através de outro estudo, para avaliar o ciclo de vida da produção de alface e estimar os diversos efeitos ambientais no processo produtivo em diversas explorações, os autores concluíram que em termos de energia consumida nas explorações, o maior valor corresponde ao combustível (38%) e a eletricidade (16%), enquanto o menor corresponde a mão de obra e as sementes (ambas inferiores a 1%) (Mousavi et al., 2022).

Outra análise, relativamente a este tema, teve por base avaliar o efeito dos resultados na economia, consumo energético e os impactos ambientais através de um ciclo da produção de tomate em Portugal, olhando para um cenário base e de seguida com quatro alternativas. Focando no cenário base, com relação ao consumo de energia, a mais representativa foi a energia direta (gasóleo e eletricidade) consumindo aproximadamente 68%, seguida de materiais e fertilizantes, com aproximadamente 19 e 21%, respetivamente. No que respeita às emissões de GEE, o quadro repete-se sendo o gasóleo e a eletricidade responsáveis por 69%, os fertilizantes por 20% e os materiais por 10%. Os pesticidas neste estudo não apresentaram uma

grande contribuição para o consumo de energia ou para as emissões de GEE (Baptista et al., 2013).

## **2.4. Indicadores Energéticos**

De acordo com Goldenergy (2014), os indicadores energéticos constituem um instrumento de apoio ao desenvolvimento sustentável, pois fornece dados relevantes sobre o setor energético. Os indicadores energéticos podem ser macro, ou seja, dados sobre o setor energético de um país e/ou região, ou micro, quando os dados são de uma empresa e/ou atividade específica.

### **2.4.1. Energia Direta**

A energia direta (combustível e eletricidade) consiste na energia consumida diretamente nas explorações para realizar algumas operações culturais.

Desta forma, a energia direta é utilizada em diversos processos da produção agrícola, como exemplo a preparação do solo, colheita, transporte de fatores de produção e produtos agrícolas e eletricidade para o sistema de rega e mecanismos elétricos na estufa (no caso de existir este sistema de produção) (Gołaszewski et al., 2012).

O consumo de energia direta é elevado no setor agrícola, segundo Khaledian et al., (2010), uma solução pode passar por sistemas de mobilização reduzida/mínima, ou seja, adotar uma agricultura de conservação reduzindo assim os gastos energéticos.

### **2.4.2. Energia Indireta**

A energia indireta é a energia consumida para a obtenção de fatores de produção como sejam os fertilizantes, os agroquímicos, tubagens, entre outros materiais auxiliares usadas na exploração.

Segundo Pellegrino et al., (2011) a energia indireta é calculada através da multiplicação das medidas físicas ligadas à sua implementação (kg/ha) com os fatores que quantificam a energia despendida para produzir uma unidade física (MJ/kg). Este processo culmina na determinação do consumo energético por hectare.

### **2.4.3. Energia Total**

O consumo de energia total na agricultura ou numa determinada produção agrícola corresponde à soma das energias direta e indireta, nessa mesma produção (De Visser et al., 2013).

#### 2.4.4. Energia Específica e Produtividade Energética

A energia específica (EE) consiste na energia total consumida no processo agrícola por unidade de produto produzido (MJ/kg) (Gołaszewski et al., 2012). A produtividade energética (PE) consiste na produção obtida por unidade de energia consumida durante o ciclo cultural (kg/MJ) (Hamedani et al., 2011).

#### 2.4.5. Coeficientes de Conversão Energéticos

Para estimar os gastos de energia, utiliza-se coeficientes de conversão energéticos que estabelecem uma relação entre as unidades físicas e energia. Existem diversos valores disponíveis na bibliografia para esses coeficientes de conversão energéticos.

No que se refere ao consumo do gasóleo, o coeficiente energético é estimado levando em conta o consumo de gasóleo e o tempo de trabalho do trator equipado com as diferentes alfaias/equipamentos para determinada atividade. Segundo Mihov e Tringovska (2010) o valor de coeficiente de conversão energético é 42,23 MJ/kg, e de acordo com o Biograce (2008) a densidade do gasóleo é de 832 kg/m<sup>3</sup>, levando assim a um coeficiente a considerar de 35,14 MJ/L.

Quanto à eletricidade, focando no uso da mesma para o sistema de rega, o coeficiente de conversão energético representa a quantidade de energia necessária para produzir uma unidade de energia elétrica. Conforme Mihov e Tringovska (2010) o coeficiente energético a ser apresentado é 3,6 MJ/kWh.

Relativamente aos fertilizantes, compostos por azoto, fósforo e potássio, os coeficientes de conversão refletem a energia consumida para obter uma unidade de nutriente. De acordo com Tsatsarelis (1993), esse coeficiente para o azoto é 74,2 MJ/Kg, para o fósforo é 13,7 MJ/kg e para o potássio é 9,7 MJ/Kg. Conforme registado na base de dados do projeto Biograce, (2008) a quantidade de energia requerida para produzir uma unidade de azoto, fósforo e potássio é de 48,99, 15,23 e 9,68 MJ/Kg, respetivamente.

No caso dos herbicidas, fungicidas e inseticidas o coeficiente a utilizar de acordo com projeto Biograce, (2008), que engloba estes produtos em agroquímicos, é 268,40 MJ/Kg s.a. (substância ativa).



### 3. Materiais e Métodos

Os trabalhos experimentais tiveram início em janeiro de 2023 e término a julho de 2023. Os trabalhos foram conduzidos em sistema de produção em estufa (SP\_E) e ao ar livre (SP\_AL), em quatro locais diferentes.

A cultura estudada foi a alface, especificamente a variedade multifolhas verde, com destino final para produtos unicamente processados de 4ª Gama, como por exemplo para saladas. Outro aspeto é que as explorações onde foram realizados os trabalhos estão agregadas à empresa CAMPOTEC, situada no litoral Oeste a cerca de 8 km de Torres Vedras, na Zona Industrial de Casalinhos de Alfaiata na Freguesia da Silveira, sendo esta empresa responsável pelo processamento da alface.

### 3.1. Caracterização da área experimental

O ensaio foi conduzido em duas estufas e duas parcelas ao ar livre, o que implica distintas características (áreas, declives, tipo de solo) bem como as práticas culturais e técnicas de produção.

#### 3.1.1. Sistema de Produção em Estufa

##### **Produtor 1 (P1)**

A exploração em estufa do produtor 1 (SPE\_P1) está situada no litoral Oeste, a uma distância de 3,8 km do mar, mais propriamente na Cerca, pertencente ao concelho de Torres Vedras (Figura 3.1).



Figura 3.1 - Local de ensaio do Sistema de Produção em Estufa do Produtor 1

A estufa tem uma orientação Este-Oeste, com 115 m de comprimento, 240 m de largura e uma altura de 3 m de pé direito. O material da estrutura é aço galvanizado, coberto por polietileno térmico. A estufa tem 6 setores, cada setor com 8 módulos e uma área por módulo

de 500 m<sup>2</sup> (setor 1,2 e 3) e 550 m<sup>2</sup> (setor 4,5 e 6) (Figura 3.2). A ventilação é natural através de aberturas na cumeeira, que fecham e abrem de forma automática consoante as horas do dia (Tabela 3.1).

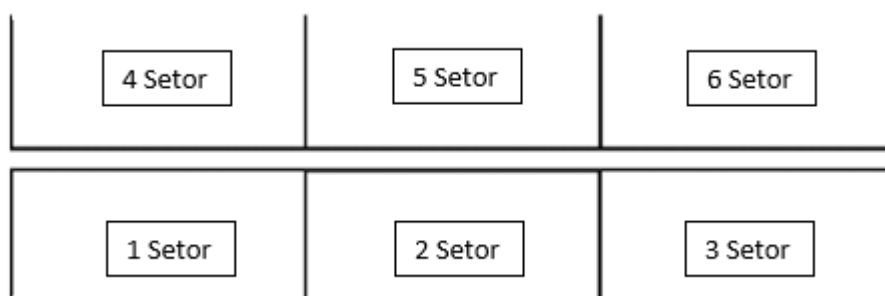


Figura 3.2 - Esboço da divisão da estufa por setores

Tabela 3.1 - Período e posição das aberturas de cumeeira

Período	Posição de abertura (%)
9h – 10h:30min	0 – 20
10h:30min – 16h	20 – 50
16h – 17h	0 – 15
17h – 9h	0

A preparação do solo consistiu numa mobilização de 20-25 cm, onde foram realizadas duas operações, sendo na primeira somente fresa e na segunda fresa com um abridor de regos em cada ponta, formando um camalhão de 1,5 metros para a plantação da alface. Para esta operação foi utilizado um trator New Holland T4.85N de 75 Cv com uma fresa Joper de 1,80 metros (Figura 3.3).



Figura 3.3 - Trator New Holland T4.85N com fresa

Após formados os camalhões foi estendido, manualmente, o plástico de cobertura dos camalhões, cujo objetivo é manter a temperatura do solo, reduzir as perdas de água no solo, impedir o desenvolvimento das infestantes e proteger as plantas de doenças ou ataques de pragas de solo.

A plantação foi realizada de forma manual, colocando o torrão diretamente sobre o solo, vindo as plantas do viveiro semeadas em *mottes* (cubos de 2 cm). A forma de plantação é cruzada, com um compasso de 25 cm e 6 linhas de alface por camalhão, com uma densidade de 16 plantas/m<sup>2</sup> (Figura 3.4).

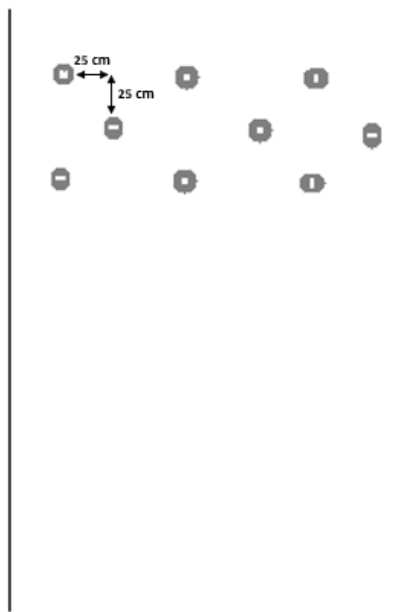


Figura 3.4 - Esboço do modo de plantação

O sistema de rega utilizado foi por aspersão, através de micro-aspersores suspensos na estufa. Cada bico dos micro-aspersores debita 54L/h e a duração e frequência da rega é programada em função da evolução e da necessidade de água da cultura (Figura 3.5).



Figura 3.5 - Micro-aspersor suspenso na estufa

Os tratamentos, mais especificamente para proteção fitossanitária, são feitos ao longo do ciclo de acordo com as necessidades. Para esta operação foi utilizado um trator Mitsubishi MT 18 de 24 Cv com um pulverizador elétrico Dupijet.

A duração do ciclo da cultura é variável, as alfaces são colhidas conforme é solicitado pela empresa processadora. A colheita é feita manualmente, cortando o caule ao nível do solo e as folhas inferiores (mais velhas) são eliminadas. No processo de colheita é utilizado um trator



Agrifull de 55 Cv com um porta paletes, para o transporte das paletes completas (com 45 caixas) (Figura 3.6).



Figura 3.6 - Trator Agrifull com porta paletes

### **Produtor 2 (P2)**

A produção em estufa do produtor 2 (SPE\_P2) está situada na Tourinha, pertencente ao concelho de Mafra (Figura 3.7).



Figura 3.7 - Local de ensaio do Sistema de Produção em Estufa do Produtor 2

A estufa tem uma orientação Este-Oeste, com 122 m de comprimento, 77 m de largura e uma altura média de 3 m de pé direito. Existe uma variabilidade na altura do pé direito devido ao facto da estufa se encontrar numa encosta e a altura não ser sempre a mesma. O material da estrutura é aço galvanizado, coberto por polietileno térmico. A estufa tem 8 módulos e uma área média de 1.000 m<sup>2</sup> por módulo. A ventilação é natural através de aberturas na cumeeira e em três laterais. As aberturas na cumeeira fecham e abrem de forma automática consoante a temperatura no interior da estufa (Tabela 3.2), e as laterais manualmente.

Tabela 3.2 - Abertura e fecho da cumeeira consoante a temperatura no interior da estufa

<b>Temperatura para abertura ou fecho (°C)</b>	<b>Observações</b>
$\geq 17$	Ocorre a abertura da cumeeira
$\leq 11$	Ocorre o fecho da cumeeira

Antes da preparação do solo foi realizada uma adubação de fundo, utilizando fertilizante ENTEC 13-10-20. Para esta operação foi utilizado uma moto4 com um distribuidor de capacidade de 75 kg.

A preparação do solo consistiu numa mobilização de 20-25 cm, sendo utilizado um trator Deutz-fahr Agrofarm 420 T de 100 Cv com uma grade rotativa (Gaspardo) Maschio DL Super 2500 de 2,50 metros (Figura 3.8).



Figura 3.8 - Deutz-fahr Agrofarm 420 T com grade rotativa

Após formados os camalhões os mesmos foram cobertos, manualmente, por plástico e o modo da plantação das alfaces foi similar ao realizado pelo produtor SPE\_P1.

O sistema de rega utilizado foi por aspersão, através de micro-aspersores suspensos na estufa (Figura 3.9). Cada bico dos micro-aspersores debita 186 L/h e a duração e frequência da rega é programada em função da evolução e da necessidade de água da cultura. O sistema de rega foi utilizado para aplicação dos tratamentos realizados ao longo do ciclo da cultura como distribuidor da água com produto e a utilização da bomba levar a mesma para o sistema. De referir que, a mistura do produto com a água é realizada num depósito à parte.



Figura 3.9 - Micro-aspersor suspenso na estufa

Tal como no produtor 1, as alfaces são colhidas conforme é solicitado pela empresa processadora o que implica também a duração do ciclo ser variável. O processo de colheita é similar ao SPE\_P1, sendo utilizado um trator Deutz-fahr Agrofarm 410 T de 85 Cv com uma caixa de carga, para o transporte das caixas completas (Figura 3.10).



Figura 3.10 - Trator Deutz-fahr Agrofarm 410 T com caixa de carga

### 3.1.2. Sistema de Produção ao Ar Livre

#### **Produtor 2 (P2)**

O sistema de produção ar livre do produtor 2 (SPAL\_P2) está situada na Tourinha, pertencente ao concelho de Mafra. A parcela onde foi realizado o ensaio possui uma área de 2.520 m<sup>2</sup>, com 90 m de comprimento e 28 m de largura (Figura 3.11).



Figura 3.11 - Local de ensaio do Sistema de Produção Ar Livre do Produtor 2

A preparação do solo consistiu em diversas mobilizações para uma boa e adequada cama para a plântula jovem. O equipamento utilizado foi o trator Deutz-fahr Agrofarm 420 T de 100 Cv com uma charrua de aivecas CH2-12H da galucho de 0,60 metros (lavoura), uma Fresa RF-2R-240 da Joper de 2,50 metros (fresar) e uma grade Rotativa (Gaspardo) Maschio DL Super 2500 de 2,50 metros (Figura 3.12). Ainda se incorporou no solo um fertilizante orgânico azotado, granulado e de origem animal, o Fertigranu N3 da Nutrofertil, com o trator Deutz Agrofarm 420 T de 100 Cv e um distribuidor de adubo Gamberini SCO 600 de 650 Kg de capacidade (Figura 3.12).



Figura 3.12 - Trator Deutz-fahr Agrofarm 420 T com as alfaia

O produtor efetuou a operação mecânica de estender o plástico e colocação da fita de rega com uma alfaia modificada, que possibilita em uma passagem realizar 4 operações em simultâneo, sendo: preparação do solo com uma Fresa RF-2R-200 da Joper de 2,00 metros; estender o plástico preto microperfurado colocado com 90 m de comprimento e 1,50 metros de largura; colocação da fita de rega gota a gota por baixo do plástico; e adubação de fundo com um total de 225 kg do produto ENTEC (13-10-20) (Figura 3.13).



Figura 3.13 - Alfaia modificada

A distribuição e densidade de plantas foi similar a realizada pelos SPE\_P1 e SPE\_P2.

O sistema de rega utilizado foi o de gota-a-gota, através de gotejadores no interior da fita de rega. Cada gotejador debita 1,146 L/h e a duração e frequência da rega é programada em função da evolução e da necessidade de água da cultura.

Para os tratamentos realizados ao longo do ciclo da cultura foi utilizado um trator Deutz-fahr Agrofarm 420 T de 100 Cv com um pulverizador da tomix de barra com 12 metros (Figura 3.14).





Figura 3.14 - Trator Deutz-fahr Agrofarm 420 T com pulverizador de barras

No processo de colheita foi utilizado um trator Deutz-fahr Agrofarm 410 T de 85 Cv com uma caixa de carga, para o transporte das caixas completas (Figura 3.10).

### **Produtor 3 (P3)**

A exploração em ar livre do produtor 3 (SPAL\_P3) está situada no Carvalhal, pertencente ao concelho de Mafra. A parcela tem uma área cultivada de 4.750 m<sup>2</sup>, e para efeitos nesse estudo foi considerada uma área com 30 m de comprimento e 28 m de largura dentro dessa parcela (Figura 3.15).



Figura 3.15 - Local de ensaio do Sistema de Produção Ar Livre do Produtor 3

A preparação do solo consistiu em diferentes mobilizações, sendo utilizado um trator Deutz-fahr Série 5D de 90 Cv com uma charrua de aivecas CH2-12H da galucho de 0,60 metros (lavoura). Foram realizadas duas passagens com uma fresa Maschio B Super (Gaspardo) de 2,35 metros, a última passagem da fresa foi com um abridor de regos formando 3 camalhões de 50 cm para a plantação da alface (Figura 3.16).



Figura 3.16 - Trator Deutz-fahr Série 5D com fresa

A plantação foi realizada de forma manual, colocando o torrão abaixo do nível do solo, vindo as plantas do viveiro semeadas em alvéolos (torrão em forma piramidal). A forma de plantação é simples, com 2 linhas de alface por camalhão, a um compasso de 25 cm e com uma densidade de plantação de 11 plantas/m<sup>2</sup> (Figura 3.17).



Figura 3.17 - Esboço do modo de plantação

O sistema de rega utilizado foi por aspersão, através de aspersores de duas boquilhas. Cada aspersor debita 489 L/h e a duração e frequência da rega é programada em função da evolução e da necessidade de água da cultura (Figura 3.18).



Figura 3.18 - Sistema de rega por aspersão

Para os tratamentos ao longo do ciclo da cultura foi utilizado um pulverizador de dorso com capacidade de 16 litros (Figura 3.19).



Figura 3.19 -Pulverizador de dorso de 16 Litros

A colheita foi realizada manualmente, e no processo foi utilizado um trator Deutz-fahr Série 5D de 90 Cv com um porta paletes, para o transporte das paletes completas.

### 3.2. Recolha de Dados

O processo de recolha de dados teve como objetivo principal acompanhar o ciclo cultural da alface nas 4 explorações, tendo em conta as práticas culturais e técnicas de produção, como a preparação do solo, plantação, rega, fertilização, proteção fitossanitária e colheita.

#### 3.2.1. Consumos energéticos e água

A metodologia de recolha de dados dos consumos energéticos e de água ao longo do ciclo cultural, constituem em processos idênticos nos quatros sistemas de produção, e são em função do tempo das operações, dos equipamentos utilizados, dos consumos e das características específicas dos equipamentos.

A respeito das operações mecanizadas, especificamente em relação ao uso de tratores, é importante considerar o consumo de combustível como ponto de destaque. Os consumos de combustível são determinados com base no tempo de funcionamento dos tratores em cada operação cultural e o consumo específico de cada um deles (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 - Tratores utilizados em cada produtor e respetivas características

Produtor	Trator	Potência (Cv)	Combustível	Consumo (L/h)
SPE_P1	Agrifull	55	Gasóleo	4
	New Holland T4.85N	75	Gasóleo	6
	Mitsubishi MT 18	24	Gasóleo	4
SPE_P2 e SPAL_P2	Deutz Agrofarm 410 T	85	Gasóleo	8
SPAL_P2	Deutz Agrofarm 420 T	100	Gasóleo	16
SPAL_P3	Deutz Agrofarm 5D	90	Gasóleo	4

Na rega, é importante mencionar que cada produtor possui o sistema de rega, equipamentos elétricos e débitos de água diferentes, o que influenciará de certa forma o consumo de água e de energia. Relativamente ao consumo de água é determinado em função do tempo de rega, da quantidade de pontos de água e os débitos de cada sistema.

Durante o estudo foi realizada uma calibração dos sistemas de rega, para se perceber na realidade os débitos, possibilitando verificar a quantidade real de água gasta numa rega em cada ciclo cultural da alface. O processo de calibração teve como base medir durante determinado tempo a quantidade de água que era debitada num ponto do sistema de rega, sendo o processo realizado para diferentes pontos, em cada área estudada, e posteriormente determinou-se o débito médio em L/h. Neste processo, utilizaram-se copos graduados de diferentes capacidades, uma calculadora e um cronómetro para controlo de tempo. As tabelas 3.4 e 3.5, apresentam informações e resultados do processo de calibragem.

Tabela 3.4 - Informações e valores do processo de calibração dos sistemas de rega

<b>Calibração do sistema de rega</b>					
<b>Produtor</b>	<b>Pontos de calibração</b>	<b>Material para calibração</b>	<b>Tempo de calibração</b>	<b>Débito médio do aspersor/gotejador para o tempo de calibração</b>	<b>Débito do aspersor/gotejador calibrado</b>
<b>SPE_P1</b>	5 pontos	Copo graduado 1L	1 minuto	900 ml	54 L/h
<b>SPE_P2</b>	5 pontos	Copo graduado 2L	30 segundos	1.550 ml	186 L/h
<b>SPAL_P2</b>	5 pontos	Copo graduado 250 ml	2 minutos	38,2 ml	1,146 L/h
<b>SPAL_P3</b>	4 pontos	Copo graduado 500 ml	30 segundos	4.075 ml	489 L/h

Tabela 3.5 - Valores dos débitos do fabricante e dos calibrados para o sistema de rega de cada produtor

<b>Calibração do sistema de rega</b>				
<b>Produtor</b>	<b>Sistema de rega</b>	<b>Tipo de Aspersor/gotejador</b>	<b>Débito do fabricante (L/h)</b>	<b>Débito do aspersor/gotejador calibrado (L/h)</b>
<b>SPE_P1</b>	Aspersão	Micro-aspersor	70 - 80	54
<b>SPE_P2</b>	Aspersão	Micro-aspersor	210	186
<b>SPAL_P2</b>	Gota a gota	Gotejador	1	1,146
<b>SPAL_P3</b>	Aspersão	Aspersor	-----	489



Para estimar o consumo de energia, é necessário considerar os equipamentos elétricos utilizados por cada produtor, em especial as bombas dos sistemas de rega, que desempenham um papel fundamental. O consumo de energia é determinado com base no tempo de funcionamento e potência de cada equipamento (Tabela 3.6).

Tabela 3.6 - Equipamento elétrico utilizado em cada produtor e respetiva potência

<b>Produtor</b>	<b>Equipamento Elétrico</b>	<b>Potência da bomba (kW)</b>
<b>SPE_P1</b>	Bomba	11
<b>SPE_P2</b>	Bomba	11
<b>SPAL_P2</b>	Bomba	5,5

O sistema de rega do SPAL\_P3, tem por base a bomba a gasóleo. Desta forma, o consumo de energia é determinado tendo em conta o tempo de funcionamento e o consumo específico da bomba (1,6 L/h).

### 3.2.2. Dados da Produtividade

A recolha dos dados da produtividade estão relacionados com os valores da colheita, ou seja a produção efetiva e a produção esperada. A produção efetiva considera-se o peso da alface colhida, este dado é fornecido pela empresa processadora, enquanto a produção esperada é o peso que esperava ter-se colhido com as alfaces a terem o peso médio ideal e sem que ocorra desperdícios nesta operação.

### 3.3. Análise de Dados

A análise de dados teve por base avaliar os consumos energéticos de cada produtor e no final realizar uma avaliação comparativa entre os dois sistemas de produção. Os valores calculados são referentes a 1 ha de área cultivada e iniciou-se pelo cálculo dos consumos de energia direta, indireta e total.

Quanto à energia direta utilizada na produção da alface, considerou-se o consumo de gasóleo e o consumo elétrico. O consumo energético referente ao gasóleo foi calculado tendo em conta o tempo total de utilização do trator (horas) e o consumo do combustível (litros) do mesmo perante o tempo de trabalho, em seguida multiplicado pelo respetivo coeficiente de conversão energético (MJ/L), obtendo assim a energia consumida (MJ).

Para a eletricidade, o consumo foi obtido tendo em atenção a potência da bomba (kW) e o tempo de trabalho da mesma (horas), multiplicou-se a seguir o respetivo coeficiente de conversão energético (MJ/kWh), resultando a energia consumida total pela eletricidade (MJ).

No que respeita à energia indireta, referente a alguns fatores de produção tais como fertilizantes, fungicidas e inseticidas foi calculada tendo em conta as quantidades de produto

aplicado (kg) multiplicado pelo respetivo coeficiente de conversão energético (MJ/kg), obtendo assim a energia consumida (MJ).

A energia total é a resultante da soma da energia direta e indireta, obtendo assim a totalidade da energia consumida (MJ) para cada produtor e sistema de produção.

Foram também calculados outros dois indicadores energéticos: a energia específica (EE) e a produtividade energética (PE), o que possibilita uma melhor análise dos consumos energéticos. A EE calcula-se dividindo a energia total consumida (MJ), pela produção obtida (kg), o que possibilita obter a energia consumida por quilograma de produto produzido (MJ/kg). A PE é o inverso da EE, ou seja, a produção obtida por unidade de energia (kg/MJ).

Outro parâmetro calculado foi o volume de água consumido para produzir um quilograma de alface. Tem por base a divisão do volume total de água utilizado ( $m^3$ ) pela produtividade (kg), o que facilita entender a eficiência da utilização da água para cada produtor e sistema de produção.

Também foi calculado a produtividade da água tendo por base a divisão da produção (kg) pelo volume total de água utilizado ( $m^3$ ), o que facilita entender a quantidade de alface produzida por  $m^3$  de água consumida para cada produtor e sistema de produção.

A estimativa da energia consumida foi realizada para cada produtor e sistema de produção utilizando dados recolhidos nas explorações agrícolas e material disponibilizado na literatura, como por exemplo, a de dados do projeto Biograce ([www.biograce.net](http://www.biograce.net)).

A tabela 3.7, apresenta os coeficientes de conversão utilizados para os cálculos da energia e da emissão de gases com efeito de estufa (GEE) para os diversos fatores de produção.

Tabela 3.7 - Coeficientes de conversão energéticos para os cálculos da energia e da emissão de gases com efeito de estufa

Consumos	Coeficiente no cálculo da energia	Unidade	Coeficiente no cálculo das GEE	Unidade	Fonte
Gasóleo	35,14	MJ/L	3.646	$gCO_{2-eq}/L$	Mihov e Tringoska (2010); Biograce (2008)
Eletricidade	3,6	MJ/kWh	470	$gCO_{2-eq}/kWh$	Mihov e Tringoska (2010); Biograce (2008)
Azoto	48,99	MJ/kg	5.886,0	$gCO_{2-eq}/kg N$	Biograce (2008)
Fósforo	15,23	MJ/kg	1.010,7	$gCO_{2-eq}/kg P_2O_5$	Biograce (2008)
Potássio	9,68	MJ/kg	576,1	$gCO_{2-eq}/kg K_2O$	Biograce (2008)
Agroquímicos	268,40	MJ/kg s.a.	10.971,3	$gCO_{2-eq}/kg s.a.$	Biograce (2008)



#### 4. Resultados e Discussão

#### 4.1. Sistema de Produção em Estufa

No sistema de produção em estufa, realizou-se o acompanhamento em dois produtores, tendo-se recolhido dados em mais que um ciclo cultural. No que respeita a cada produtor, os ciclos de produção apresentam operações e práticas culturais semelhantes.

A tabela 4.1 mostra quantidades aplicadas para cada fator de produção por hectare. A partir desta tabela, são calculados os vários indicadores de eficiência, para o que se utilizam os coeficientes de conversão energética mencionados na tabela 3.7.

Tabela 4.1 - Quantidade utilizada dos fatores de produção para o Sistema de Produção em Estufa do Produtor 1 e do Produtor 2

Quantidade total dos fatores de produção	Produtor 1		Produtor 2			Média ± Desvio Padrão
	1º Ciclo	2º Ciclo	1º Ciclo	2º Ciclo	3º Ciclo	
<b>Gasóleo (L)</b>	226,40	183,45	130,78	130,61	127,50	159,75 ± 39,33
<b>Eletricidade (kWh)</b>	5.370,00	4.718,18	703,07	798,19	557,64	2.429,42 ± 2.146,17
<b>Fertilizantes (kg)</b>	0,0024	0,00	291,26	272,11	250,00	162,67 ± 133,46
<b>Agroquímicos (kg)</b>	7,34	1,36	0,32	0,045	0,042	1,82 ± 2,80
<b>Água (m³)</b>	3.044,79	4.172,73	772,74	1.004,37	678,64	1.934,65 ± 1.416,64

##### 4.1.1. Energia

A Tabela 4.2 apresenta os valores calculados dos consumos de energia para os diferentes fatores de produção para cada produtor e respetivos ciclos de produção analisados.

Tabela 4.2 - Contribuição relativa dos diferentes fatores de produção no consumo de energia para o Sistema de Produção em Estufa do Produtor 1 e do Produtor 2

Energia (MJ/ha)	Produtor 1			Produtor 2				Média ± Desvio Padrão
	1º Ciclo	2º Ciclo	Média	1º Ciclo	2º Ciclo	3º Ciclo	Média	
<b>Gasóleo</b>	7.955,70	6.446,59	7.201,14	4.595,49	4.589,71	4.480,35	4.555,19	5.613,57 ± 1.381,91
<b>Eletricidade</b>	19.332,00	16.985,45	18.158,73	2.531,07	2.873,47	2.007,50	2.470,68	8.745,90 ± 7.726,21
<b>Fertilizantes</b>	0,04	0,00	0,02	8.948,30	8.359,86	7.680,63	8.329,60	4.997,77 ± 4.100,32
<b>Agroquímicos</b>	1.970,06	366,00	1.168,03	85,99	12,17	11,18	36,45	489,08 ± 751,90

A análise da Tabela 4.2 revela algumas diferenças entre o produtor 1 (P1) e o produtor 2 (P2) relativamente à contribuição relativa dos fatores de produção para o consumo de energia total. No caso do consumo de gasóleo, verifica-se que o P1 apresenta um consumo superior ao P2. Esta diferença é atribuída pelo facto de P1 realizar uma maior quantidade de operações agrícolas no terreno, como, por exemplo na aplicação de tratamentos fitossanitários. O P1 realiza os tratamentos com auxílio do trator e respetiva alfaia, o P2 opta por realizar os tratamentos através do sistema de rega como meio de distribuição da água e do produto.

No consumo de eletricidade utilizada no sistema de rega, observa-se uma diferença muito significativa entre o P1 e o P2, com P1 apresentando um consumo mais elevado. Este

facto é explicado pelo P1 realizar regas diariamente (uma ou duas vezes por dia), implicando gastos de eletricidade diários, enquanto o P2 realiza regas menos frequentes e intervalos mais espaçados.

Nos fertilizantes o P2, antes da plantação da alface realiza uma adubação de fundo, com NPK, o que se traduz num consumo de energia muito superior ao verificado no P1. Por outro lado, o P1 aplicou apenas uma pequena quantidade de adubo corretivo no primeiro ciclo, o que teve um impacto mínimo no consumo total de fertilizantes.

No caso dos Agroquímicos, o P1 efetuou um número superior de controlo de pragas e doenças através da utilização de fungicidas e inseticidas. Isso resultou no maior consumo de energia no P1. Já no que respeita ao P2, adotou uma abordagem de controlo de pragas e doenças mais restrito, ou seja, um número de tratamentos efetuados mais reduzido.

A Figura 4.1 mostra, em média, a contribuição relativa dos fatores de produção no consumo de energia total para o sistema de produção em estufa.

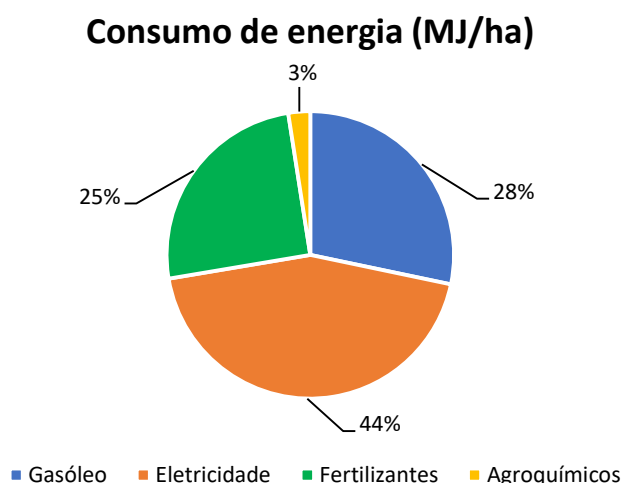


Figura 4.1 - Contribuição relativa dos diferentes fatores de produção no consumo de energia para o Sistema de Produção em Estufa

Com base nos valores apresentados para o SPE, observa-se que o consumo de eletricidade é o mais representativo, com 44% do total de energia consumida. Ao longo do ciclo cultural é necessário regar com regularidade, implicando a utilização de eletricidade para o funcionamento do sistema de rega.

Em seguida, o segundo valor mais representativo, corresponde ao consumo de gasóleo, representando 28% do total de consumo da energia, que reflete a utilização de tratores para a execução de algumas práticas culturais.

No que se refere aos fertilizantes, estes representam 25% do consumo total de energia, sendo influenciado pelo maior uso de fertilizantes por parte do P2. Os consumos menos representativos são os agroquímicos, com apenas 3% do consumo total.

De acordo com uma pesquisa de Ahmadbeyki et al., (2023), na região do Irão, que analisou a cultura de pepino e de tomate através da abordagem de avaliação do ciclo de vida, a energia direta, representado pelo consumo de gásóleo e eletricidade, correspondeu a aproximadamente 74,33% na produção de pepino e 75,25% na produção de tomate. Os fertilizantes seguiram, contribuindo com cerca de 16,14% e 14,97% respectivamente. Este estudo destaca a importância da eletricidade e do gásóleo em comparação com os fertilizantes e agroquímicos.

A Tabela 4.3, apresenta o consumo de energia direta, indireta e total para cada produtor.

Tabela 4.3 – Consumo de energia para o Sistema de Produção em Estufa do Produtor 1 e do Produtor 2

Energia (MJ/ha)	Produtor 1			Produtor 2				Média ± Desvio Padrão
	1º Ciclo	2º Ciclo	Média	1º Ciclo	2º Ciclo	3º Ciclo	Média	
<b>E. Direta</b>	27.287,70	23.432,05	25.359,87	7.126,56	7.463,18	6.487,85	7.025,86	14.359,47 ± 9.069,58
<b>E. Indireta</b>	1.970,09	366,00	1.168,05	9.034,29	8.372,04	7.691,81	8.366,05	5.486,85 ± 3.587,79
<b>E. Total</b>	29.257,79	23.798,05	26.527,92	16.160,85	15.835,22	14.179,66	15.391,91	19.846,31 ± 5.761,50

Observando o caso do P1, verifica-se que o consumo de energia direta apresenta um valor muito superior ao consumo de energia indireta, algo comprovado devido ao gásóleo e eletricidade apresentarem maior peso neste sistema, logo a energia direta tem um significado relevante na contabilização na energia total consumida. Tal como já referido, justifica-se devido aos dois fatores de produção com mais relevância neste sistema pertencerem à energia consumida diretamente na exploração.

No P2, o consumo de energia indireta supera ligeiramente o consumo de energia direta. Este produtor, utiliza fertilizantes, que para serem produzidos necessitam de elevados consumos de energia e que representam neste caso, o principal fator de consumo de energia (indireta), enquanto o gásóleo (energia direta), representa o segundo.

Verifica-se uma considerável variabilidade entre produtores, devido às diversas razões já mencionadas. Cada produtor adota metodologias de gestão da cultura diferentes, que vão desde as frequências de rega, que influencia o fator da eletricidade, até ao uso de fertilizantes para melhorar a fertilidade do solo, bem como os agroquímicos para a proteção de culturas utilizando mais ou menos fungicidas, inseticidas.

#### 4.1.2. Energia Específica, Produtividade Energética e Produtividade da Água

A Tabela 4.4 apresenta os valores da produção de alface, do consumo de água, da energia específica, da produtividade energética e da produtividade da água para cada produtor.

Tabela 4.4 - Valores relativos de produção, consumo de água, energia específica, produtividade energética e a produtividade da água do Sistema de Produção em Estufa do Produtor 1 e do Produtor 2

	Produtor 1			Produtor 2				Média ± Desvio Padrão
	1º Ciclo	2º Ciclo	Média	1º Ciclo	2º Ciclo	3º Ciclo	Média	
<b>Produção (kg/ha)</b>	64.780	94.040	79.410	42.155	40.136	25.313	35.868	53.285 ± 23.968,02
<b>Consumo de Água (m³/ha)</b>	3.044,79	4.172,73	3.608,76	772,74	1.004,37	678,64	819	1.935 ± 1.416,64
<b>Energia Específica (MJ/kg)</b>	0,45	0,25	0,35	0,38	0,39	0,56	0,45	0,41 ± 0,10
<b>Produtividade Energética (kg/MJ)</b>	2,21	3,95	3,08	2,61	2,53	1,79	2,31	2,62 ± 0,73
<b>Consumo Específico de Água (m³/kg)</b>	0,047	0,044	0,05	0,018	0,025	0,027	0,02	0,03 ± 0,01
<b>Produtividade da Água (kg/m³)</b>	21,28	22,54	21,91	54,55	39,96	37,30	43,94	35,13 ± 12,29

A observação da tabela permite verificar que, o P1 apresenta uma produtividade e um consumo de água bastante superior ao P2. Essa diferença pode ser explicada pelo atraso do P1 na colheita, o que resultou em um peso da alface superior ao ideal, especialmente no 2º ciclo. Este atraso na colheita implicou um maior número de regas e assim uma maior utilização de água.

Como se verifica na tabela, no P2 utilizou em média 0,45 MJ para produzir 1 Kg de alface, ou seja, um consumo de energia superior em comparação ao P1, que utilizou 0,35 MJ/Kg. Sendo a PE o inverso da EE, então o P1 produz 3,08 kg de alface por unidade de energia consumida, enquanto o P2 produz 2,31 Kg por unidade de energia. De mencionar que, em média, o consumo de energia foi 0,41 ± 0,10 MJ/kg, produzindo 2,62 ± 0,73 kg de alface/MJ.

De mencionar, que P1 consome uma quantidade maior de água para produzir 1 Kg de alface, ou seja, são necessários 0,05 m³ (50 L) de água para produzir 1 Kg de alface. Já o P2, necessita de uma menor quantidade de água, 0,02 m³ (20 L), para produzir o mesmo 1 kg de alface. É de refletir que, a produção não depende só do consumo de água, mas sim de outros fatores, tais como clima, solo e sua composição nutricional, controlo de pragas e doenças.

Na produtividade da água, o P2 apresenta uma produção superior por m³ de água consumida, ou seja, é produzido 43,94 kg de alface por 1 m³ de água consumida. Em comparação, o P1 apenas produz 21,91 kg de alface por 1 m³ de água consumida. Estes resultados podem ser explicados pela variação na quantidade de água utilizada, a qual é influenciada pelos diferentes débitos de rega e pela duração dos ciclos adotados por cada produtor. Em outras palavras, o P2, rega com menos frequência, mas utiliza um débito de água mais elevado e para 1 m³ de água utilizada tem uma produção mais elevada. Em média, o consumo de água foi de 0,03 ± 0,01 m³/kg, tendo-se produzido 35,13 ± 12,29 kg/m³.

#### 4.1.3. Emissão de Gases com Efeito de Estufa (GEE)

A Tabela 4.5 apresenta os valores estimados das emissões de gases com efeito de estufa para os diferentes fatores de produção para cada produtor e respetivos ciclos analisados.

Tabela 4.5 - Contribuição relativa dos diferentes fatores de produção na emissão de gases com efeito de estufa para o Sistema de Produção em Estufa do Produtor 1 e do Produtor 2

GEE (kg CO <sub>2</sub> -eq/ha)	Produtor 1			Produtor 2				Média ± Desvio Padrão
	1º Ciclo	2º Ciclo	Média	1º Ciclo	2º Ciclo	3º Ciclo	Média	
Gasóleo	825,45	668,88	747,16	476,81	476,21	464,87	472,63	582,44 ± 143,38
Eletricidade	2.523,9	2.217,55	2.370,72	330,44	375,15	262,09	322,56	1.141,83 ± 1.008,70
Fertilizantes	0,003	0,00	0,00	971,94	908,03	834,25	904,74	542,84 ± 445,37
Agroquímicos	80,53	14,96	47,75	3,52	0,50	0,46	1,49	19,99 ± 30,74
<b>GEE Total</b>	<b>3.429,89</b>	<b>2.901,38</b>	<b>3.165,63</b>	<b>1.782,71</b>	<b>1.759,88</b>	<b>1.561,66</b>	<b>1.701,42</b>	<b>2.287,11 ± 740,53</b>

A análise da Tabela 4.5 revela diferenças entre o P1 e o P2 no que se refere à emissão de gases com efeito de estufa associados a cada fator de produção. Essas estão de acordo com os resultados obtidos do consumo de energia. Em outras palavras, essas diferenças podem ser justificadas pelas mesmas razões, uma vez que as GEE estão diretamente relacionadas com o consumo de energia.

A Figura 4.2 mostra a contribuição relativa dos fatores de produção na emissão de GEE para o sistema de produção em estufa.

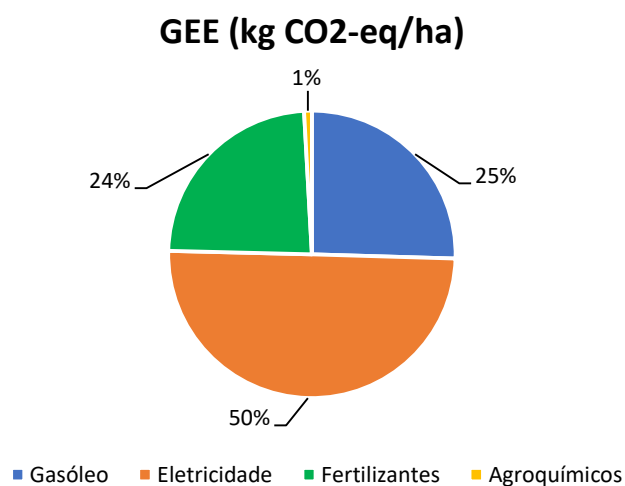


Figura 4.2 - Contribuição relativa dos diferentes fatores de produção na Emissão de Gases com Efeito de Estufa para o Sistema de Produção em Estufa

Com base nos valores da GEE apresentados para o SPE, verifica-se que a eletricidade é responsável pela maior emissão de GEE, representando 50% do total das emissões. De seguida, praticamente em igualdade estão o consumo de gasóleo e de fertilizantes (25 e 24%, respetivamente).



Com valores significativamente inferiores, observa-se as emissões resultantes da utilização de agroquímicos, com 1% do total das emissões.

Os resultados obtidos estão em concordância com um estudo desenvolvido por Baptista et al., (2013) que analisou o consumo energético e os impactos ambientais num ciclo da produção de tomate em Portugal, indicando que as emissões de GEE associados ao gásóleo e eletricidade representam 69% do total, enquanto os fertilizantes representam 20% e os materiais 10%.

#### 4.2. Sistema de Produção ao Ar Livre

No sistema de produção ao ar livre, realizou-se o acompanhamento em dois produtores, em cada um seguiu-se um único ciclo cultural. Os produtores, apresentam maneiras de efetuar operações e práticas culturais diferentes, nomeadamente a mobilização do solo com um maior ou menor número de alfaías, sistema de rega diferente entre os produtores e os tratamentos fitossanitários.

A tabela 4.6 mostra as quantidades aplicadas para cada fator de produção por hectare. A partir desta tabela, são calculados os vários indicadores de eficiência, para o que se utilizam os coeficientes de conversão energética mencionados na tabela 3.7.

Tabela 4.6 - Quantidade total utilizada dos fatores de produção para o Sistema de Produção ao Ar Livre do Produtor 2 e do Produtor 3

<b>Quantidade total dos fatores de produção</b>	<b>Produtor 2</b>	<b>Produtor 3</b>	<b>Média</b>
<b>Gasóleo (L)</b>	403,97	529,92	466,95
<b>Eletricidade (kWh)</b>	527,45	n.e	527,45
<b>Fertilizantes (kg)</b>	898,91	n.e	898,91
<b>Agroquímicos (kg)</b>	0,043	0,005	0,02
<b>Água (m<sup>3</sup>)</b>	1.978,21	2.872,88	2.425,54

n.e – Não efetuado

##### 4.2.1. Energia

A Tabela 4.7 apresenta os valores dos consumos de energia para os diferentes fatores de produção para cada produtor.

Tabela 4.7 - Contribuição relativa dos diferentes fatores de produção no consumo de energia para o Sistema de Produção ao Ar Livre do Produtor 2 e do Produtor 3

<b>Energia (MJ/ha)</b>	<b>Produtor 2</b>	<b>Produtor 3</b>	<b>Média</b>
<b>Gasóleo</b>	14.195,44	18.621,51	16.408,48
<b>Eletricidade</b>	1.898,81	n.e	-----
<b>Fertilizantes</b>	22.475,10	n.e	-----
<b>Agroquímicos</b>	11,56	1,36	6,46

n.e – Não efetuado

A análise da Tabela 4.7 revela algumas diferenças entre o produtor 2 (P2) e o produtor 3 (P3) no consumo de energia relativo a cada fator de produção. No caso do consumo de gasóleo, verifica-se um consumo superior no P3 em comparação ao P2. Esta diferença é pelo facto do P3 utilizar o combustível como fonte de energia para operar o trator agrícola e para o funcionamento da bomba do sistema de rega, uma vez que a mesma funciona com base em combustível. Relativamente, ao consumo de energia elétrica e de fertilizantes verifica-se no P2, uma vez que utiliza eletricidade para o funcionamento da bomba de rega e realiza duas adubações. O P3 não efetua adubações e nem utiliza eletricidade.

De mencionar que, ao contabilizar o gasóleo e a eletricidade consumida do P2, com valor de 16.094,25 MJ/ha, em comparação ao P3 que consome somente gasóleo, com um valor de 18.621,51 MJ/ha a diferença não é alta, podendo afirmar que ambos os produtores têm consumos idênticos de energia direta.

Observando o consumo de energia relacionada com os agroquímicos, o P2 apresenta um maior consumo do que o P3. Ambos os produtores realizam apenas um tratamento, mas o P2 utilizou dois produtos enquanto o P3 utilizou apenas um, explicando assim a diferença de valores pela quantidade de produtos utilizados.

A Figura 4.3 mostra a contribuição relativa dos fatores de produção no consumo de energia para o sistema de produção ao ar livre.

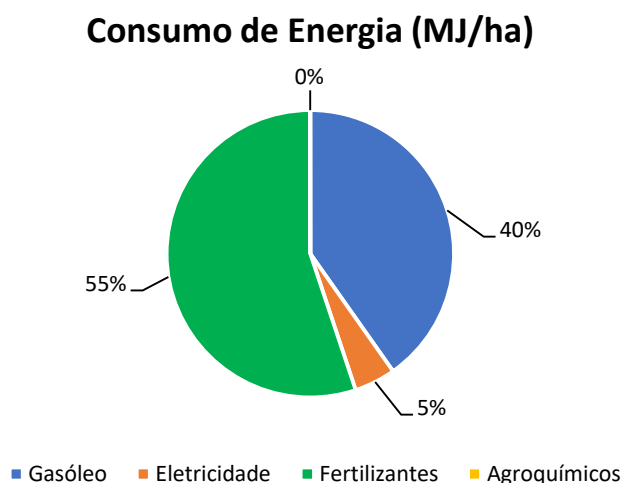


Figura 4.3 - Contribuição relativa dos diferentes fatores de produção no consumo de energia para o Sistema de Produção ao Ar Livre

Com base nos valores apresentados para o SPAL, observa-se que o consumo de fertilizantes é mais representativo, com 55% do consumo total da energia. Deve-se ao facto do

P2 realizar uma fertilização orgânica e uma adubação de fundo, com NPK, antes de fazer a plantação da alface, em quantidades consideráveis, o que reflete alguma importância.

Em seguida, o segundo valor mais representativo, aproximando-se dos fertilizantes, corresponde ao consumo de gásóleo, com um valor de 40%. Este valor revela a importância do gásóleo no SPAL, pois é essencial para o funcionamento dos tratores nas operações agrícolas e, no caso específico do P3, para o funcionamento da bomba do sistema de rega.

A eletricidade corresponde a 5% da energia total. Valor mais baixo, uma vez que o P3 não utiliza eletricidade para o sistema de rega e só o P2 faz uso da mesma. Assim, os outros parâmetros apresentam um peso superior no SPAL.

Em estudo realizado por Abbas et al., (2022) no Paquistão, focado na cultura do algodão, verificou-se um consumo de energia superior nos fertilizantes de 37% do consumo total de energia, de forma melhorar a constituição química do solo e um fornecimento superior de nutrientes para planta. Além disso, o estudo destacou que o consumo de combustível, utilizado em operações culturais no campo, transporte de mercadorias e bombeamento de água de rega representou 36% do consumo total de energia.

A Tabela 4.8, apresenta o consumo de energia direta, indireta e total para cada produtor e do sistema de produção, influenciado pelos diferentes fatores de produção.

Tabela 4.8 - Consumo de energia para o Sistema de Produção ao Ar Livre do Produtor 2 e do Produtor 3

<b>Energia (MJ/ha)</b>	<b>Produtor 2</b>	<b>Produtor 3</b>	<b>Média</b>
<b>E. Direta</b>	16.094,25	18.621,51	17.357,88
<b>E. Indireta</b>	22.486,66	1,36	11.244,01
<b>E. Total</b>	38.580,91	18.622,87	28.601,89

Observando o caso do P2, verifica-se que o consumo de energia indireta (fertilizantes e agroquímicos) apresenta um valor superior ao consumo de energia direta, algo justificado pelo uso de duas aplicações de fertilizantes (fertilização orgânica e adubação NPK) numa quantidade total de 1.520 kg. Assim a energia indireta tem um significado relevante na contabilização na energia total consumida.

No P3, é evidente que o consumo de energia direta é superior ao consumo de energia indireta. Essa disparidade justifica-se pelo uso do gásóleo, tanto no sistema de rega como nas máquinas agrícolas, e emerge assim, como o principal fator de produção que impulsiona a energia direta, enquanto a energia indireta apresenta um valor reduzido, pelo facto de não ser realizada aplicação de fertilizantes e apenas um tratamento fitossanitário. Como resultado, a energia direta configura-se como o principal componente na contabilização total da energia consumida.

No sistema de produção ao ar livre, a energia direta supera a energia indireta, o que se deve ao facto do P3 possuir um consumo de energia indireta insignificante, logo afeta a média do consumo de energia indireta.

Uma vez que a energia indireta no P3 é pouco expressiva, e levando em consideração somente P2, é possível afirmar que a energia indireta no sistema de produção ao ar livre tem um peso importante. Estes resultados corroboraram com um estudo de Özbek et al., (2021), onde apresentou uma investigação sobre eficiência no uso de energia e emissões de gases de efeito estufa (GEE) da cultura da cebola, pertencendo ao grupo das hortícolas, no qual concluiu que a energia indireta representa 69,59% do total da energia, e a energia direta representa 30,41%.

#### 4.2.2. Energia Específica, Produtividade Energética e Produtividade da Água

A Tabela 4.9 apresenta os valores da produção, do consumo de água, da energia específica, da produtividade energética e da produtividade da água para cada produtor.

Tabela 4.9 - Valores relativos de produção, consumo de água, energia específica, produtividade energética e a produtividade da água do Sistema de Produção ao Ar Livre do Produtor 2 e do Produtor 3

	<b>Produtor 2</b>	<b>Produtor 3</b>	<b>Média</b>
<b>Produção (kg/ha)</b>	35.567,46	10.714,29	23.140,87
<b>Consumo de Água (m<sup>3</sup>/ha)</b>	1.978,21	2.872,88	2.425,54
<b>Energia Específica (MJ/kg)</b>	1,08	1,74	1,41
<b>Produtividade Energética (kg/MJ)</b>	0,92	0,58	0,75
<b>Consumo Específico de Água (m<sup>3</sup>/kg)</b>	0,056	0,268	0,16
<b>Produtividade da Água (kg/m<sup>3</sup>)</b>	17,98	3,73	10,85

Ao observar a tabela, o P2 apresenta uma produtividade superior ao P3, com menor consumo de água. A diferença na produtividade é justificada pelo facto do P2 realizar uma colheita com alfaces de peso superior em comparação ao P3, onde as alfaces se desenvolveram um pouco menos. Outra causa está relacionada com o número de plantas por m<sup>2</sup> (no P2 é 16, já o P3 é 11), ou seja, o P3 tinha uma quantidade menor de plantas em 1 ha (a rondar as 50 mil plantas de diferença) o que interfere na diferença da produtividade entre produtores.

No que diz respeito a água utilizada, o P3 utiliza um sistema de rega por aspersão, que consome mais água em comparação ao P2, que utiliza o sistema de rega gota a gota, sistema este que possui uma melhor eficiência na utilização de água.

Observando a tabela, o P3 utilizou em média 1,74 MJ para produzir 1 Kg de alface, refletindo em uma necessidade maior de energia em comparação ao P2, que requer 1,08 MJ. Em relação à PE, o P2 produz 0,92 kg de alface por unidade de energia consumida, um valor superior ao P3 que produz 0,58 Kg por unidade de energia.

Ainda de referir, que P3 consome uma quantidade maior de água para produzir 1 kg de alface, sendo necessários 0,268 m<sup>3</sup> (268 L) de água, já o P2, consome 0,056 m<sup>3</sup> (56 L) de água para produzir 1 kg de alface. Essa diferença entre produtores pode ser explicada pela influência do sistema de rega que utilizam, pois, o P3 utiliza um sistema de rega com um débito muito elevado, e ainda pela influência da densidade de plantas por m<sup>2</sup> de cada produtor como referido anteriormente.

Na produtividade da água, o P2 apresenta uma produção superior por m<sup>3</sup> de água consumida, ou seja, é produzido 17,98 kg de alface por 1 m<sup>3</sup> de água consumida. Em comparação, o P3 apenas produz 3,73 kg de alface por 1 m<sup>3</sup> de água consumida. A diferença dos valores devem-se essencialmente à produção de cada produtor por razões já mencionadas. Em média, o consumo de água foi de 0,16 m<sup>3</sup>/kg, tendo-se produzido 10,85 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.2.3. Emissão de Gases com Efeito de Estufa (GEE)

A Tabela 4.10 apresenta os valores das emissões de gases com efeito de estufa para os diferentes fatores de produção para cada produtor.

Tabela 4.10- Contribuição relativa dos diferentes fatores de produção na GEE para o Sistema de Produção ao Ar Livre do Produtor 2 e do Produtor 3

<b>GEE (kg CO<sub>2</sub>-eq/ha)</b>	<b>Produtor 2</b>	<b>Produtor 3</b>	<b>Média</b>
<b>Gasóleo</b>	1.472,87	1.932,10	1.702,48
<b>Eletricidade</b>	247,90	n.e	-----
<b>Fertilizantes</b>	3.012,44	n.e	-----
<b>Agroquímicos</b>	0,47	0,056	0,26
<b>GEE Total</b>	4.733,68	1.932,16	3.332,92

A análise da Tabela 4.9 revela diferenças entre o P2 e o P3 no que se refere à emissão de gases com efeito de estufa associados a cada fator de produção. As diferenças entre os produtores estão de acordo com os resultados obtidos do consumo de energia. Em outras palavras, como as GEE estão diretamente relacionadas com o consumo de energia, as justificações são idênticas.

A Figura 4.4 mostra a contribuição relativa dos fatores de produção na GEE para o sistema de produção ao ar livre.

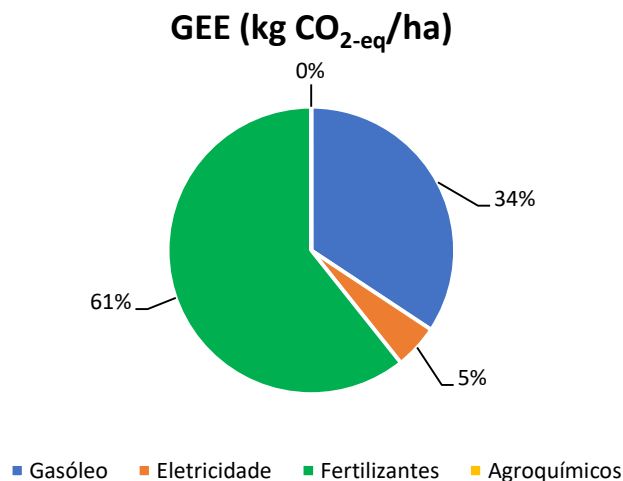


Figura 4.4 - Contribuição relativa (%) dos diferentes fatores de produção na Emissão de Gases com Efeito de Estufa para o Sistema de Produção ao Ar Livre

Com base nos valores da GEE para o SPAL, verifica-se que os fertilizantes corresponde à maior porção neste sistema, representando 61% do total das emissões. Essa percentagem elevada deve-se a uma utilização superior de fertilizantes, cujo propósito é melhorar a composição do solo e fornecer nutrientes ao mesmo, para um posterior benefício da cultura.

De seguida, o segundo valor mais representativo, corresponde ao gasóleo representando 34% do total das emissões, refletindo o uso de tratores para as operações culturais e para outras atividades necessárias ao longo do ciclo da cultura, como, por exemplo, para o funcionamento do sistema de rega.

Com valores inferiores, apresenta-se as GEE da eletricidade e dos agroquímicos, pelo facto de uma utilização limitada desses dois fatores de produção, tornado a sua contribuição pouco relevante.

De acordo com o Abbas et al., (2022), verificou uma contribuição relevante no combustível para as GEE, de 58%. Valor este atribuído a uma combinação inadequada de equipamentos e uso de tratores desgastados. A redução destas emissões pode passar por sistemas alternativos de preparação do solo. O estudo indicou que as GEE associados aos fertilizantes representa cerca de 9%, sendo que uma pequena redução nesta parcela pode passar por rotação de culturas, cultivo de leguminosas e adubação verde. Apesar desse estudo, apresentar uma diferença na influência de cada fator de produção, as alternativas de redução identificadas podem ser consideradas como soluções viáveis.

De acordo com o estudo realizado pelo autor Özbek et al., (2021) verifica-se que os fatores de produção seguem uma ordem semelhante de importância aos obtidos, uma vez as GEE provenientes dos fertilizantes representam 37,71% do total das emissões, seguidas das GEE

do gasóleo, que corresponde a 4,54%. Por último, as GEE decorrentes de produtos químicos totalizaram 1,81% do total das emissões.

#### 4.3. Análise Comparativa dos Sistemas de Produção em Estufa e Ar Livre

A comparação entre os sistemas é realizada como base nos valores médios obtidos para os sistemas de produção em estufa e ao ar livre.

A tabela 4.11, apresenta um resumo de alguns resultados para cada sistema de produção.

Tabela 4.11 – Valores médios obtidos para os indicadores de produtividade, consumo de energia e emissão de gases com efeito de estufas para os sistemas de produção estudados

	<i>Estufa</i>	<i>Ar Livre</i>
<b>Produção (kg/ha)</b>	53.284,78	23.140,87
<b>Energia Total (MJ/ha)</b>	19.846,31	28.601,89
<b>GEE Total (kg CO<sub>2-eq</sub>/ha)</b>	2.287,11	3.332,92
<b>GEE Específico (kg CO<sub>2-eq</sub>/kg)</b>	0,04	0,14
<b>Energia Específica (MJ/kg)</b>	0,37	1,24
<b>Produtividade Energética (kg/MJ)</b>	2,68	0,81
<b>Consumo de Água (m<sup>3</sup>/ha)</b>	1.934,65	2.425,54
<b>Produtividade da Água (kg/m<sup>3</sup>)</b>	27,54	9,54

No que respeita à produção, o SPE apresenta uma produtividade superior ao SPAL, uma vez que no sistema em estufa o ambiente é controlado, proporcionando à cultura, por exemplo, condições de temperatura mais adequadas ao seu desenvolvimento e regas mais precisas consoante a necessidade hídrica da cultura, contribuindo para uma produção mais estável e elevada.

Observando a tabela, verifica-se que em relação à energia total o SPAL supera o SPE. No sistema ar livre, o consumo da energia total (direta e indireta) é maior, pelo facto de se realizar um maior número de operações culturais com máquinas (mais mobilizações de solo, equipamentos agrícolas a combustível) consumindo combustível de forma mais acentuada, bem como um uso mais intenso de fertilizantes, como por exemplo as adubações de fundo, com NPK.

No que respeita a GEE, o cenário é igual ao do consumo de energia total, uma vez que estão diretamente relacionadas. Sendo a energia total superior no sistema em ar livre, verifica-se também maior emissão de gases com efeito de estufa para SPAL para produzir 1 kg de alface, com valor de 0,14 kg CO<sub>2-eq</sub>, em comparação ao SPE, que emite apenas de 0,04 kg CO<sub>2-eq</sub>.

Segundo Khoshnevisan et al., (2014), os quais estudaram o consumo de energia e emissões de GEE da produção de morango em campo aberto e em estufa, no Irão, verificou-se maior consumo de energia total (direta e indireta) no sistema em produção em estufa

comparando com o sistema de produção ao ar livre. Este resultado é contrário ao presente estudo. Importa mencionar que não é comparável por se tratar de culturas distintas, com práticas culturais diferentes.

O SPAL utilizou 1,24 MJ de energia para produzir 1 kg de alface, ou seja, uma necessidade maior de energia em comparação ao SPE, que requer apenas de 0,37 MJ. Sendo a PE inverso da EE, o SPE produz 2,68 kg de alface por unidade de energia consumida, um valor superior ao SPAL, que produz 0,81 kg por unidade de energia. Estes resultados mostram que o SPE apresenta maior eficiência de utilização do recurso de energia.

Em relação ao consumo de água, verifica-se que o SPAL consome em média mais que o SPE, devido a realização de regas mais longas pela influência da evapotranspiração ser maior ao ar livre, ou seja, ocorre uma maior transferência de água para atmosfera. Relativamente à produtividade da água, no SPE produz-se 27,54 kg de alface por 1 m<sup>3</sup> de água consumida, enquanto no SPAL apenas se produz 9,54 kg de alface por 1 m<sup>3</sup> de água consumida. Também neste caso, se verifica que o SPE utiliza o fator água de modo mais eficiente que no SPAL.

Os resultados obtidos mostram que os indicadores de eficiência de utilização de energia e de água são muito favoráveis para a produção em estufa comparativamente à produção no ar livre. Tal explica-se pelo facto da quantidade de alface produzida em estufa ser mais do dobro do que no ar livre, o que não é acompanhado proporcionalmente pelo maior consumo de energia e água.





## 5. Conclusões

No contexto atual, enfrenta-se o desafio de melhorar a eficiência energética como uma estratégia fundamental para aprimorar a preservação ambiental e otimizar a gestão dos recursos limitados, como por exemplo a água e energia. Uma utilização energética mais eficaz depende da redução dos níveis de consumo por unidade de produção.

Desta forma, é importante a conservação de energia por meio da redução direta do consumo energético. Isso implica na diminuição dos fatores de produção diretamente associados à atividade em foco, os quais exercem influência direta sobre os padrões de consumo de energia. Atualmente, é precisamente nestes padrões de consumo que se concentra a abordagem energética na agricultura.

Neste trabalho, e devido a análise ser conduzida em três produtores diferentes e em dois sistemas de produção, evidencia-se que o consumo total de energia na exploração tem influência através dos fatores de produção para a energia direta como também para a indireta. Este cenário decorre da variabilidade entre as explorações analisadas, que resulta em diversificação das práticas culturais e conseqüentemente influencia sobre os diversos fatores de produção. Observa-se, por exemplo, nos casos dos produtores 1 e 3, que uma parte muito importante da energia total consumida está associada aos consumos de combustível e eletricidade (caso do produtor 1). No entanto, no caso do produtor 2, uma parte muito importante da energia total consumida está relacionada com consumos de fertilizantes.

No que diz respeito às emissões de GEE e ao impacto ambiental decorrente dos fatores de produção, há uma correlação direta com o consumo total de energia por cada produtor. Sendo assim, os resultados podem indicar a necessidade de uma utilização mais eficiente no combustível (caso do produtor 1 e 3) e eletricidade (caso do produtor 1), bem como uma abordagem mais cuidadosa e estratégica na utilização de fertilizantes (caso do produtor 2). Isto destaca a importância de se refletir em práticas mais eficazes e sustentáveis na gestão de recursos energéticos e nos fatores de produção utilizadas na atividade agrícola.

Em relação à comparação entre os dois sistemas de produção analisados, observa-se que o sistema de produção em estufa apresenta mais vantagens. Este sistema mostra resultados mais promissores, caracterizando-se por uma produção superior associada a menores gastos de energia e emissões de gases com efeito de estufa (por unidade de produção). Além disso, apresenta melhores valores em energia específica e produtividade energética e valores mais eficientes no que se refere à água, em comparação ao sistema de produção ao ar livre. Esta conclusão é retirada através dos dados obtidos e analisados, no entanto ressalva-se a importância de ampliar a análise para um maior número de fatores de produção, o que poderá implicar ajustes nos valores e proporcionar conclusões mais precisas nesta comparação.

Os resultados mostram que os indicadores de eficiência de utilização de energia e de água são muito favoráveis para a produção em estufa comparativamente à produção no ar livre.

De realçar que este estudo foi conduzido perante o acompanhamento de vários ciclos culturais e as respetivas operações culturais, um trabalho realizado experimentalmente com recolha de dados reais. Os resultados derivam de informações obtidas em campo e das observações realizadas. Reconhece-se a importância de um estudo mais abrangente, abordando um número superior de explorações e nas quais as práticas culturais apresentem maior similaridade em cada sistema de produção. Esse aspeto visa tornar as comparações mais claras e objetivas bem como ao existir uma amostra maior possibilitar a obtenção de conclusões mais sólidas.



## 6. Referências Bibliográficas

- Abbas, A., Zhao, C., Waseem, M., Ahmed Khan, K., Ahmad, R. (2022). Analysis of Energy Input–Output of Farms and Assessment of Greenhouse Gas Emissions: A Case Study of Cotton Growers. *Frontiers in Environmental Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.826838>
- Ahmadbeyki, A., Ghahderijani, M., Borghaee, A., Bakhoda, H. (2023). Energy use and environmental impacts analysis of greenhouse crops production using life cycle assessment approach: A case study of cucumber and tomato from Tehran province, Iran. *Energy Reports*, 9, 988–999. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.11.205>
- Almeida D. (2006). Manual de Culturas Hortícolas. *Editorial Presença, Volume 1*, 158–181.
- Américo da Silva Couto, P., António Carlos Sepúlveda Machado Moura, D. (2019). *Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto Desenvolvimento de ferramenta de avaliação de sustentabilidade, suportada em balanços energéticos e análise de ciclo de vida, para utilização em sistemas agroindustriais*.
- Baptista F. (2018). *Balanço Térmico de Estufas*.
- Baptista, F., Murcho, D., Silva, L. L., Louro, M., Marques, C. (2013). *Energy Efficiency Measures in Portuguese Tomato Production*.
- Baptista, F., Murcho, D., Silva, L. L., Marques Da Silva, J. R., Marques, C., Dias, A., Peça, J. O., Sousa, A. (2013). *II Workshop (Bio)Energia ENERGIA, AMBIENTE, ECONOMIA E OLIVAL NO ALENTEJO. ESTUDO PRELIMINAR*. [www.biograce.net](http://www.biograce.net)
- Biograce. (2008). *Harmonised Calculations of Biofuel Greenhouse Gas Emission in Europe*.
- Clements, D. R., Weise, S. F., Brown, R., Stonehouse, D. P., Hume, D. J., Swanton, C. J. (1995). Energy analysis of tillage and herbicide inputs in alternative weed management systems. In *Ecosystems and Environment*, Volume 52.
- Costa, M., Palha, M. G., Carvalho, S. M. P. (2014). *Sustentabilidade sócio-ambiental da horticultura protegida em Portugal*. <https://www.researchgate.net/publication/279527916>
- De Visser, C., Schoorlemmer, H., Ur, W., Gołaszewski, J., Olba-Zięty, E., Stolarski, M., Brodziński, Z., Myhan, R., Baptista, F., Silva, L. L., Murcho, D., De, M., Neto, C., Meyer-Aurich, A., Briassoulis, D., Panagakis, P., Balafoutis, A., Lutsyuk, C., Nachwachsende, F., ... Mikkola, H. J. (2013). *Agriculture and Energy Efficiency*.
- Di Felice, V., De Jesus Soares Bessa Batista, E. R., Mancinelli, R., Ferreira Batista, J. G., Campiglia, E. (2014). Rurality and agroecosystem sustainability: A case study at farm-field level in Terceira Island (Portugal) and in Viterbo Province (Italy). *Renewable Agriculture and Food Systems*, 29, 265–276. <https://doi.org/10.1017/S1742170513000136>
- Elsoragaby, S., Yahya, A., Mahadi, M. R., Nawi, N. M., Mairghany, M. (2019). Energy utilization in major crop cultivation. *Energy*, 173, 1285–1303. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.142>
- F. A. R. Filgueira. (2003). Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. *UFV*, 2003.

- Gołaszewski, J., de Visser UWM, C., Zbigniew Brodziński, W., Myhan, R., Olba-Zięty, E., Stolarski, M., de Buissonjé, F., Ellen, H., Stanghellini, C., van der Voort, M., Baptista, F., Leopoldo Silva, L., Murcho, D., Meyer-Aurich, A., Ziegler, T., Ahokas, J., Jokiniemi, T., Mikkola, H., Rajaniemi, M., ... Papadakis, G. (2012). *Country data on energy consumption in different agro-production sectors in the European countries Project Deliverable 2.1*.
- Goldenergy. (2014). Acesso Disponível em: O que é o Indicador Energético |Glossário | Goldenergy [Consultado em 29 de Agosto de 2023].
- Hatirli, S. A., Ozkan, B., Fert, C. (2006). Energy inputs and crop yield relationship in greenhouse tomato production. *Renewable Energy*, 31, 427–438. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.04.007>
- INE. (2019). Estatísticas Agrícolas - 2019. [www.ine.pt](http://www.ine.pt)
- INE. (2020). *Estatísticas Agrícolas - 2020*. [www.ine.pt](http://www.ine.pt)
- Kazemi, H., Shokrgozar, M., Kamkar, B., Soltani, A. (2018). Analysis of cotton production by energy indicators in two different climatic regions. *Journal of Cleaner Production*, 190, 729–736. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.195>
- Khaledian, R. M., Mailho, J. C., Ruele, P., Mubarak, I., Petter, S. (2010). The impacts of direct seeding into mulch on the energy balance of crop production system in the se of France. *Soil e Tillage Research*, 106, 218 - 226.
- Khoshnevisan, B., Shariati, H. M., Rafiee, S., Mousazadeh, H. (2014). Comparison of energy consumption and GHG emissions of open field and greenhouse strawberry production. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 316-324. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.098>
- Mihov, M., & Tringovska, I. (2010). Agricultural Academy. In *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, Volume 16.
- Ministério da Agricultura, do D. R. e das P. (2007). *HORTICULTURA - 2007*.
- Miranda, S. C., Henriques S., Carvalho A., Rodrigues, S. A., Miranda, S. C., Rosa M., Santos M., Cajão N., Bizarro P., Prieto R., Silva R. (2004). Manual de Produção Integrada de Culturas Hortícolas, 39-57.
- Mousavi, A., Aghbolaghi, E. A., Khorramifar, A., Gancarz, M., Darvishi, Y., Stasiak, M., Miernik, A., Karami, H. (2022). Life Cycle Assessment for Environmental Impact Reduction and Evaluation of the Energy Indices in Lettuce Production. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12. <https://doi.org/10.3390/app122010348>
- Özbek, O., Firat Baran, M. (2021). *INVESTIGATION ON ENERGY USE EFFICIENCY AND GREENHOUSE GAS EMISSIONS (GHG) OF ONION CULTIVATION ENERGY INPUT-OUTPUT ANALYSIS OF ORGANIC GRAPE PRODUCTION: A CASE STUDY FROM ADIYAMAN PROVINCE View project Comparison of Different Soil Tillage and Drilling Methods Technically and Economically in Second Crop Maize and Sunflower Production View project*. <https://www.researchgate.net/publication/348430133>
- Pellegrino, E., Di Bene, C., Tozzini, C., Bonari, E. (2011). Impact on soil quality of a 10-year-old short-rotation coppice poplar stand compared with intensive agricultural and uncultivated

systems in a Mediterranean area. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 140, 245–254.  
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.12.011>

Rajabi Hamedani, S., Keyhani, A., Alimardani, R. (2011). Energy use patterns and econometric models of grape production in Hamadan province of Iran. *Energy*, 36, 6345–6351.  
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.09.041>

Strapatsa, A. V., Nanos, G. D., Tsatsarelis, C. A. (2006). Energy flow for integrated apple production in Greece. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 116, 176–180.  
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.02.003>

Tsatsarelis, C. A. (1993). Energy inputs and outputs for soft winter wheat production in Greece. In *Ecosystems and Environment*, Volume 43.

Von Elsner, B., Briassoulis, ; D, Waaijenberg, ; D, Mistriotis, ; A, Von Zabeltitz, C., Gratraud, ; J, Russo, ; G, Suay-Cortes, ; R. (2000). Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouses in European Union Countries: Part I, Design Requirements. In *J. agric. Engng Res*, Volume 75. <http://www.idealibrary.com>