



Avaliação do desempenho de um filme de cobertura de solo biodegradável num ciclo cultural de pimento picante (*Capsicum annuum* var. Santaka)

Helena de Freitas Paulino

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia do Ambiente

Orientadores: Doutora Maria Odete Pereira Torres, Doutora Elizabeth da Costa Neves Fernandes de Almeida Duarte

Júri:

Presidente: Doutora Maria Teresa Marques Ferreira, Professora Catedrática do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais: Doutora Elizabeth da Costa Neves Fernandes de Almeida Duarte, Professora Catedrática Aposentada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa; Doutora Maria Margarida da Costa Ferreira Correia de Oliveira, Professora Adjunta da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Santarém.

À memória de Teresa Hartman,

estarás sempre entre nós

"Death is just the beginning"

Gandalf the Grey,

The Lord of the Rings Return of the King

AGRADECIMENTOS

Este espaço é dedicado àqueles que me acompanharam ao longo do meu percurso acadêmico, e que direta ou indiretamente, contribuíram para a finalização de mais uma etapa da vida incluindo família, amigos, colegas e professores e funcionários do Instituto Superior de Agronomia (ISA).

Agradeço em primeiro lugar à minha orientadora Professora Doutora Maria Odete Torres e à Professora Doutora Elizabeth D'Almeida Duarte pelos ensinamentos, disponibilidade e amizade manifestadas e cujo apoio foi absolutamente determinante para a concretização desta dissertação.

Expresso também a minha gratidão ao Professor Doutor Francisco Manuel Souto Gonçalves de Abreu do ISA pela cedência dos dados meteorológicos, à Doutora Maria Encarnação Ferreira Marcelo do INIAV pelo apoio concedido na parte estatística e ao Engenheiro Fernandes pela partilha de conhecimentos e amabilidade demonstradas.

Uma referência especial ao Artur Saraiva e ao Nuno Coutinho pelo contributo voluntário que prestaram no laboratório e na instalação do ensaio de campo. A ambos desejo o maior sucesso.

Agradeço também à Empresa Silvex – Indústria de Plásticos e Papéis SA, pela oferta do filme de cobertura de solo biodegradável (Agrobiofilm®).

Ao Marco, à Sofia e ao João pela amizade, afeto e paciência que demonstraram nos meus momentos mais difíceis.

À minha família, em especial os meus pais que são a minha inspiração e o meu porto seguro e que sempre me incentivaram nos meus estudos e a não desistir dos meus objetivos. Finda esta etapa, espero ser capaz de lhes retribuir todo o esforço e amor que me dedicaram ao longo da minha vida.

RESUMO

O objetivo deste trabalho consistiu em testar a biodegradabilidade e avaliar o desempenho de um filme de cobertura de solo biodegradável negro com 12 µm de espessura (Agrobiofilm®) em pimento picante (*Capsicum annuum* var. Santaka), tendo sido monitorizados a temperatura e o teor de água no solo, a durabilidade deste material no campo, bem como a produtividade da cultura.

O ensaio teve lugar no Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, de junho a novembro de 2016, com um delineamento experimental com 4 repetições de 10 plantas cada, com cobertura de solo com Agrobiofilm®.

Seguindo a norma DIN EN ISO 17556, a biodegradabilidade do Agrobiofilm® foi testada, já que estudos desta natureza nas condições edáficas nacionais são ainda escassos.

O Agrobiofilm® alcançou em média os 32% de biodegradação, apesar do elevado pH e do baixo teor em matéria orgânica do solo.

O Agrobiofilm® manteve-se funcional durante a maior parte do ciclo cultural e a sua deterioração só revelou ser significativa 3 meses após a sua aplicação o que terá contribuído para um controlo eficiente das infestantes, bem como a manutenção do teor de humidade e da temperatura do solo em níveis que não comprometeram o desenvolvimento adequado da cultura.

Verificou-se uma correlação positiva e significativa entre a produção e o número de frutos colhidos, podendo este ser um importante parâmetro de avaliação da produtividade que atingiu as 3,64 ton/ha. O mesmo se verificou entre o comprimento e largura média dos frutos.

Os resultados obtidos indicam que o Agrobiofilm® está bem-adaptado às condições edafoclimáticas locais e às práticas culturais a que foi sujeito, pelo que este pode ser uma solução promissora para o cultivo de pimento da variedade Santaka com cobertura de solo.

Palavras-chave: mulching, teste respirométrico, filme de cobertura de solo biodegradável, Mater-Bi®, pimento picante

ABSTRACT

The goal of this study was to test the biodegradability and evaluate the performance of a Mater-Bi[®] based biodegradable black mulch film, with 12 µm thickness (Agrobiofilm[®]), on a hot pepper crop (*Capsicum annuum* var. Santaka). The resistance of the mulch film, soil temperature and humidity and crop yield were monitored.

The field experiment took place, from June to November 2016, in the Campus of the Institute of Agronomy, Lisbon in which the experimental design consisted of 4 replications, 10 plants each with Agrobiofilm[®] used as soil mulch film.

According to the standard DIN EN ISO 17556, the biodegradation of Agrobiofilm[®] was tested, since there are very few studies of this nature performed under Portuguese soil conditions.

Agrobiofilm[®] reached 32% of biodegradation rate on average, despite the high pH and low organic matter content in the soil.

Temperature and moisture levels remained adequate, in addition to efficient weed control, to sustain the crop until harvest time since Agrobiofilm[®] remained functional during use, only starting to break after 3 months in the field.

A positive correlation was found between width and fruit length, but also between yield and number of harvested fruits per plant, which can be useful for the assessment of productivity that reached 3,64 ton/ha.

The overall results seem to show that the biodegradable mulch film is well adapted to the local pedoclimatic conditions and cultural practices, suggesting that biodegradable mulch appears to be a promising solution in terms of soil cover in Santaka pepper crop.

KEYWORDS: soil mulching, respirometric test, biodegradable mulch film, Mater-Bi[®], hot pepper

EXTENDED ABSTRACT

The practice of mulching with conventional plastic film has brought a huge environmental liability due to the lack of solutions for the disposal of these materials at the end of their useful lifetime. For this reason, a boost in the research on biopolymers has occurred in later years, with the purpose of developing biodegradable materials that can be naturally degraded by microorganisms in the soil and thus can remain in the ground after harvest and incorporated in the soil.

The goal of this study was to test the biodegradability and evaluate the performance of a Mater-Bi® based biodegradable mulch film (Agrobiofilm®) on a hot pepper crop (*Capsicum annuum* var. Santaka). In addition, the resistance of the biodegradable mulch film, soil temperature and humidity and crop yield were monitored.

The field experiment took place in the Campus of the Institute of Agronomy, Lisbon and was performed between June and November of 2016. The experimental design consisted in 4 replicates with 10 plants each with Agrobiofilm® used for soil cover.

The biodegradability of Agrobiofilm® in the soil was tested in laboratory by means of a respirometric test following the standard DIN EN ISO 17556, in which the amount of CO₂ released was measured in order to determine the ultimate aerobic biodegradation of the material.

The hot pepper productivity obtained was 3,64 ton.ha⁻¹. A statistically significant positive correlation was found between yield and number of harvested fruits per plant meaning that the later can be used as a parameter to evaluate crop productivity. A positive correlation was also found between width and fruit length.

The temperature and moisture content of the soil were adequate to sustain the crop until harvest time since Agrobiofilm® remained functional during use, only starting to break after 3 months in the field.

The overall results express the adjustability of the biodegradable mulch film to the local pedoclimatic conditions and to the cultural practices applied in the hot pepper crop, suggesting that this material appears to be a promising solution in terms of soil cover. However, research and development should continue to optimize and further expand its usage to other cultures such as long-term crops.

The biodegradation test, carried out under controlled conditions, performed better than expected considering the high pH and low organic matter content in the soil. The test was extended to 190 days since the test flasks with the biodegradable mulch film and cellulose remained active in terms of CO₂ release, at the end of this time period, reaching 32% and 84 % of biodegradation, on average, respectively. Furthermore, at this point the cellulose had not reached the plateau phase yet which is indicative that the test could be performed for longer time in order to reach more detailed conclusions.

The different behavior dynamic regarding the biodegradation rate achieved with the biodegradable mulch under study, reinforce the need for further research under Portuguese soil conditions, in order to validate the obtained results.

Índice

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	II
ABSTRACT	III
EXTENDED ABSTRACT	IV
Índice de Figuras.....	X
Índice de Quadros	XII
Lista de abreviaturas	XIV
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1 Plásticos, seus usos e destino	3
2.1.1 Panorama mundial do plástico	3
2.2 Plásticos na agricultura	3
2.2.1 Filmes plásticos de cobertura de solo	4
2.2.2 Vantagens na utilização dos plásticos para cobertura do solo	4
2.2.3 Cor dos filmes plásticos de cobertura de solo	7
2.2.4 Desvantagens na utilização dos filmes plásticos de cobertura de solo convencionais	9
2.2.5 Soluções de valorização dos resíduos plásticos agrícolas	10
2.2.6 Destino dos plásticos agrícolas não valorizados	11
2.2.7 Plásticos de cobertura de solo degradáveis	11
2.2.7.1 Fotodegradáveis.....	12
2.2.7.2 Oxodegradáveis	12
2.2.7.3. Compostáveis.....	13
2.2.7.4. Biodegradáveis.....	14
2.2.7.5 Tipos de plásticos biodegradáveis	15

2.2.8	Processo de biodegradação no solo	16
2.2.8.1	Fatores que influenciam a atividade microbiana	16
2.2.9	Vantagens na utilização de filmes de cobertura de solo biodegradáveis	17
2.2.10	Mercado dos plásticos biodegradáveis	18
2.2.11	Mater-Bi ®.....	18
2.2.12	Desempenho esperado do filme de cobertura de solo à base de Mater-Bi ® durante o ciclo cultural.....	19
2.3	A cultura do pimento	21
2.3.1	Origem da cultura	21
2.3.2	Importância económica	21
2.3.3	Utilizações	22
2.3.4	Classificação das cultivares	22
2.3.5	Descrição botânica do <i>Capsicum annuum L.</i>	24
2.3.6	Caraterísticas morfológicas.....	24
2.3.7	Variedade Santaka	26
2.3.8	Composição química	27
2.3.9	Princípios ativos.....	28
2.3.10	Condições climáticas	29
2.3.11	Condições edáficas.....	32
2.3.12	Instalação da cultura.....	32
2.3.13	Colheita.....	34
3.	MATERIAL E MÉTODOS	35
3.1	Localização do ensaio experimental	35
3.2	Caraterização climática.....	35
3.2.1	Registos meteorológicos da Tapada da Ajuda no ano de 2016.....	37
3.3	Caraterização edáfica	39
3.4	Delineamento experimental	40
3.4.1	Esquema experimental	40
3.4.2.	Preparação do solo.....	42

3.4.3 Fertilização	42
3.4.4 Aplicação do filme de cobertura de solo biodegradável.....	42
3.4.5 Plantação.....	43
3.4.6 Tratamentos fitossanitários	43
3.4.7 Rega.....	44
3.4.8 Colheita e Pós-colheita	45
3.4.9 Monitorização da temperatura e humidade do solo.....	46
3.4.10 Resistência do Agrobiofilm ®	47
3.4.11 Dimensões e Produtividade dos frutos	47
3.5 Ensaio de biodegradação	48
3.5.1 Cálculo da percentagem de biodegradação a partir do CO ₂ libertado	48
3.5.2 Preparação do material em teste	48
3.5.3 Preparação do material de referência	49
3.5.4 Preparação do solo.....	49
3.5.5 Montagem e início do ensaio de biodegradação	50
3.5.6 Condições do ensaio.....	51
3.6 Tratamento estatístico	52
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
4.1 Resultados da biodegradação.....	53
4.1.1 Problemas identificados durante o ensaio de incubação.....	53
4.1.2 Discussão dos resultados	54
4.2 Resistência física e mecânica do Agrobiofilm ®.....	57
4.2.1 Controlo de infestantes	57
4.2.2. Primeiros indícios de degradação	57
4.2.3 Durabilidade e resistência nas condições reais de campo	57
4.3 Parâmetros meteorológicos	59
4.3.1 Temperatura do ar e precipitação	59
4.3.2 Temperatura do solo	60
4.3.3 Humidade do solo	61

4.4 Análise da produção	63
4.4.1 Produtividade	63
4.4.2 Correlação entre caracteres relacionados com a produção de pimento	64
5. CONCLUSÕES	65
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
Anexo A Observações no campo da degradação do Agrobiofilm ®.....	79
Anexo B Características climáticas Tapada da Ajuda	84
Anexo C Valores obtidos pelas sondas no registo da temperatura e da humidade do solo .	93
Anexo D Resultados do ensaio de biodegradação	98
Anexo E Registo das dimensões e da quantidade total de frutos produzidos por planta em cada mês e resultados da correlação de Pearson	110

Índice de Figuras

Figura 2.1 Evolução da área ocupada e produção de pimento em Portugal entre 2000 e 2014. Adaptado de FAOSTAT (2017)	22
Figura 2.2 Formas mais comuns dos frutos de <i>Capsicum</i> . Fonte: Bosland & Votava (2010)	23
Figura 2.3 Aspeto visual da flor de <i>C. annuum</i> L. Fotos da autora (06/09/2016)	27
Figura 2.4 Inflorescência (a) e cluster de frutos do <i>Capsicum annuum</i> da variedade Santaka (b). Fotos da autora (08/09/2016).....	27
Figura 2.5 Aspeto do pimenteiro da variedade Santaka (a), corte longitudinal do fruto (b) e evolução da maturação do fruto da variedade Santaka (c). Fotos da autora (22/09/2016) ..	27
Figura 3.1 Localização da parcela, no Instituto Superior de Agronomia, Tapada da Ajuda, no concelho de Alcântara, distrito de Lisboa. Fonte: Google Earth (2016)	35
Figura 3.2 Diagrama Ombrotérmico de Gausse para a Tapada da Ajuda. Adaptado de Normais Climáticas da Tapada da Ajuda, 1971/2000 (Anexo B)	36
Figura 3.3 Evolução da insolação real total (h) na Tapada da Ajuda. Adaptado de Normais Climáticas da Tapada da Ajuda, 1971/2000 (Anexo B).....	37
Figura 3.4 Desvios médios entre os valores da temperatura média mensal do ar, mínimo e máximo entre NC 1971-2000 e o ano de 2016. Fonte: Anexo B.....	39
Figura 3.5 Radiação solar acumulada (W/m^2) ao longo do ensaio (de 1 de junho de 2016 a 5 de dezembro de 2016). Fonte: Anexo B	39
Figura 3.6 Desenho experimental do ensaio de campo (2016).....	41
Figura 3.7 Aplicação do Agrobiofilm ® no talhão (a) e transplantação das plantas (b). Fotos da autora (31/05/2016 e 02/06/2016)	43
Figura 3.8 Sintomas de doença nas plantas A51 (a) e B51 (b). Fotos da autora (03/09/2016)	44
Figura 3.9 Origem da água usada na rega. Foto da autora (06/02/2017)	44

Figura 3.10 Talhões antes (a) e depois (b) da incorporação no solo dos resíduos vegetais e dos resíduos do Agrobiofilm ®. Fotos da autora (06/12/2016)	45
Figura 3.11 Pormenor da sonda Decagon 5TE (a), 5 TM (b) e sistema de aquisição de dados (c). Fotos da autora (06/12/2016)	46
Figura 3.12 Aspeto do MB intacto (a) e MB em pequenos fragmentos (b). Fotos da autora (01/12/2016).....	49
Figura 3.13 Homogeneização do solo após adição de água. Foto da autora (13/12/2016)..	50
Figura 3.14 Perspetiva do ensaio de incubação. Foto da autora (13/12/2016)	52
Figura 3.15 Difusor de ar. Foto da autora (13/12/2016)	52
Figura 3.16 Compressores de ar. Foto da autora (13/12/2016)	52
Figura 3.17 Software de aquisição de dados. Foto da autora (13/12/2016)	52
Figura 4.1 Evolução da percentagem de biodegradação da celulose (Cel) e do filme biodegradável (MB) durante 190 dias de incubação.....	56
Figura 4.2 CO ₂ libertado pela celulose (Cel) e pelo filme durante 190 dias biodegradável (MB)	56
Figura 4.3 Efeito da radiação solar acumulada no período em que se observou a degradação da superfície do filme biodegradável testado.....	58
Figura 4.4 Temperaturas médias do ar (°C), intervalo de temperaturas ótimas para a cultura (°C) e precipitação (mm) durante o ciclo cultural	59
Figura 4.5 Evolução da temperatura média do solo (°C) a 10 cm de profundidade em cada talhão	60
Figura 4.6 Influência da precipitação acumulada diariamente (mm), na evolução da humidade média do solo (%) a 10 cm de profundidade em cada talhão	62

Índice de Quadros

Quadro 2.1 Classificação botânica do <i>Capsicum annuum</i> L.....	24
Quadro 2.2 Duração normal de cada fase de desenvolvimento do <i>Capsicum annuum</i> L.	25
Quadro 2.3 Composição média dos frutos de pimento picante verde e vermelho. Valores expressos em unidades por 100 g de parte comestível.....	28
Quadro 2.4 Preferência e tolerância térmica do pimenteiro	31
Quadro 3.1 Evolução da precipitação (mm) no período 1971-2000 relativo às Normais Climatológicas (NC) e do ano de 2016 desde o mês de maio a novembro. Adaptado de Normais Climáticas da Tapada da Ajuda, 1971/2000 (Anexo B)	38
Quadro 3.2 Análise físico-química da amostra de solo colhida antes da instalação da cultura	40
Quadro 3.3 Elementos do ensaio experimental seguido no campo	41
Quadro 3.4 Qualidade da água de rega	44
Quadro 3.5 Datas e dotações (mL) das regas aplicadas à cultura no ensaio experimental .	45
Quadro 3.6 Cronologia das atividades desenvolvidas durante o ensaio de campo.....	46
Quadro 3.7 Distribuição das modalidades do ensaio de biodegradação pelos frascos de teste	50
Quadro 4.1 Resultado da % de Biodegradação, média (M) e desvio padrão amostral (Dp) da celulose (Cel) e do filme biodegradável (MB) após 35 dias e 190 dias	55
Quadro 4.2 Valores médios mensais (M) da temperatura do solo (°C), registados pelas sondas nos 4 camalhões, a 10 cm de profundidade e respetivo desvio padrão amostral (Dp)	61
Quadro 4.3 Valores mensais da temperatura máxima (Max) e mínima (Min) do solo (°C), registado pelas sondas nos 4 talhões, a 10 cm de profundidade.....	61

Quadro 4.4 Valores médios mensais (M) do teor de humidade do solo (%), registados pelas sondas nos 4 camalhões, a 10 cm de profundidade e respetivo desvio padrão amostral (Dp)	62
Quadro 4.5 Valores mensais do teor de humidade (%) máxima (Max) e mínima (Min) do solo, registados pelas sondas nos 4 talhões, a 10 cm de profundidade	63
Quadro 4.6 Produtividade estimada do ciclo cultural de pimento picante	64

Lista de abreviaturas

μS – Microsiemens

Agrobiofilm® - Filme de cobertura de solo biodegradável à base de Mater-Bi® de cor negra e com 12 μm de espessura aplicado no ensaio de campo

ASTM – Sociedade Americana de Testes

Ca – Cálcio

Cel - Celulose

CH_4 – Metano

Co - Cobalto

CO – Monóxido de carbono

CO_2 – Dióxido de carbono

Da - Dalton

dS – Decisiemens

EN – European norm

FCB – Filme de cobertura de solo biodegradável

FCS – Filme de cobertura de solo

Fe - Ferro

FPCS – Filme plástico de cobertura de solo

H_2S - Sulfureto de hidrogénio

INIAV – Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária

IPMA- Instituto Português do Mar e da Atmosfera

ISA – Instituto Superior de Agronomia

ISO - Organização Internacional de Normalização

K - Potássio

LDPE – Polietileno de baixa densidade

MB – Agrobiofilm ® utilizado no ensaio de biodegradação

Mg – Magnésio

Mn - Molibdénio

MO – Matéria Orgânica

mS - MiliSiemens

N – Azoto

NC – Normais Climatológicas

NH₃ - Amoníaco

O₂ – Oxigénio

OGM – Organismos Geneticamente Modificados

P – Fósforo

PAR – Radiação Fotossinteticamente Ativa

PE – Polietileno

PLA - Poliacido láctico

ppm – Partes por milhão

SO₂ - Dióxido de enxofre

ThCO₂- Theoretical amount of CO₂

UE – União Europeia

USDA - United States Department of Agriculture

UV – Ultravioleta

W – Watts

1. INTRODUÇÃO

O aumento da população mundial (Godfray *et al.*, 2010) impulsionou o uso de plásticos na agricultura, de modo a tornar as atividades agrícolas cada vez mais eficientes (Touchaleaume *et al.*, 2016). A nível mundial, a intensificação do *mulching* agrícola recorrendo-se ao filme plástico na cobertura de solo expressa isso mesmo, chegando o seu consumo a atingir as 700.000 toneladas por ano (Espí *et al.*, 2006) abrangendo uma área de superfície de cerca 4.270 km² na Europa (Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2011) e que tem vindo a ganhar relevo na horticultura (Chandra & Rustgi, 1998).

Os filmes plásticos de cobertura do solo convencionais (FPCS) são sobretudo utilizados para aumentar a temperatura deste e conservar a sua humidade (Touchaleaume *et al.*, 2016), mas também conduzem a aumentos de produção, da precocidade da colheita, menores aplicações de fertilizantes e de herbicidas, reduzem a compactação do solo, permitem uma maior eficiência no controlo de pragas, doenças e infestantes e melhoram a qualidade do produto agrícola (Bosland & Votava, 2000; Almeida, 2006; Ekicin & Dursun, 2009).

Os FPCS são na sua maioria constituídos por polietileno de baixa densidade (LDPE) (Lamont, 1993) e são por natureza resistentes à degradação biótica (Koutny *et al.*, 2006) o que faz deles extremamente persistentes no ambiente (Comăniță *et al.*, 2016). Se não forem removidos, estes plásticos podem contaminar os solos de forma irreversível e, conseqüentemente, pôr em causa a segurança alimentar da produção agrícola futura (Briassoulis, 2006) pelo que o abandono, a incorporação no solo ou a queima a céu aberto destes resíduos são práticas proibidas por lei de acordo com o disposto na legislação europeia (Briassoulis *et al.*, 2012; Briassoulis *et al.*, 2015). No entanto, a recolha e a correta eliminação destes resíduos pode ser bastante difícil e dispendiosa (Saponaro *et al.*, 2008).

Os FPCS ficam frequentemente muito contaminados e danificados no fim da sua utilização e assim, a sua reciclagem pode ter custos inportáveis (Levitan & Barros, 2003; Kotrba, 2008; Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2011; Briassoulis *et al.*, 2012; Steinmetz *et al.*, 2016). Nestas condições, opta-se pela incineração e deposição em aterro para lidar eficazmente com este tipo de resíduos. Contudo, tal acarreta problemas ambientais como a emissão de gases de combustão durante a incineração e o risco de lixiviação quando são colocados em aterro (Steinmetz *et al.*, 2016).

De modo a contornar os problemas ambientais decorrentes da utilização dos FPCS e reduzir o volume de resíduos plásticos que vão para aterro (Lamont, 1999), foram realizados estudos

no sentido de desenvolver filmes plásticos que se degradam no ambiente aos quais Kyrikou & Briassoulis (2007) atribuíram a designação "plásticos degradáveis no ambiente". Esta categoria, para além de abranger os plásticos biodegradáveis, inclui os plásticos fotodegradáveis e oxodegradáveis que têm um processo de degradação similar (Kasirajan & Ngouajio, 2012), mas apenas se degradam em condições específicas (Kyrikou & Briassoulis, 2007) e no solo não são eliminados totalmente como observaram Feuilloley *et al.* (2005) e Briassoulis *et al.* (2015) em condições reais de campo. A substituição dos filmes de cobertura de solo convencionais por filmes de cobertura de solo biodegradáveis (FCB), permite remover as dificuldades inerentes à gestão dos resíduos plásticos pois estes degradam-se no solo, ao longo do tempo (Saponaro *et al.*, 2008), por intervenção dos microrganismos e sem efeitos prejudiciais no ambiente, havendo também a possibilidade de serem compostados em conjunto com materiais orgânicos como resíduos da cultura e estrume (Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2011).

O Mater-Bi® é um copoliéster alifático/aromático com matriz de amido de milho (*Zea mays*) (Agrobiofilm, 2013) que é processado por extrusão (Novamont, 2013) produzindo um filme biodegradável com propriedades similares às conferidas pelos polímeros sintéticos de polietileno (PE) (Filippi *et al.*, 2011) pelo que se apresentam como uma boa alternativa aos FPCS (Briassoulis, 2006; Kasirajan & Ngouajio, 2012), uma vez que os filmes de cobertura de solo à base de amido têm como matéria-prima recursos renováveis e biológicos como o milho (PlasticsEurope *et al.*, 2016) o que torna possível a sua degradação biótica (Kasirajan & Ngouajio, 2012).

Neste trabalho pretendeu-se avaliar, numa cultura de pimento picante (*Capsicum annuum* var. Santaka), o desempenho de um filme de cobertura de solo biodegradável à base de Mater-Bi®, em condições reais de campo, onde foram monitorizadas a humidade e temperatura do solo e avaliada a produtividade da cultura. A biodegradabilidade do filme de cobertura de solo biodegradável foi testada em laboratório seguindo a norma DIN EN ISO 17556.

No capítulo 2 apresenta-se uma breve revisão da utilização dos filmes de cobertura de solo (FCS), bem como as principais características da cultura do pimento. No capítulo 3 apresenta-se a metodologia utilizada, no capítulo 4 os resultados e discussão, no capítulo 5 encontram-se as principais conclusões deste estudo e no capítulo 6 apresenta-se a bibliografia usada na elaboração deste trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Plásticos, seus usos e destino

2.1.1 Panorama mundial do plástico

Os plásticos são materiais eficientes, versáteis e económicos, usados na produção de múltiplos bens de consumo (Comăniță *et al.*, 2016). Nos últimos 50 anos, a produção de plástico, a nível mundial, seguiu um crescimento contínuo atingindo em 2015 as 322 milhões de toneladas (PlasticsEurope *et al.*, 2016) o que representou um aumento de 3,42 % em relação ao ano de 2014. Contudo, na Europa, desde 2007 que se verifica um decréscimo gradual na produção de plásticos, passando-se das 65 milhões de toneladas para as 58 milhões de toneladas de plástico produzido em 2015, aproximando-se dos valores observados em 2002 (PlasticsEurope *et al.*, 2015; PlasticsEurope *et al.*, 2016).

O consumo de plásticos na Europa atingiu 49 milhões de toneladas em 2015, com dois terços da procura concentrada em 6 países liderados pela Alemanha, seguindo-se a Itália, a França, a Espanha, o Reino Unido e a Polónia sendo o polipropileno o polímero com maior procura na União Europeia (UE) (PlasticsEurope *et al.*, 2016).

Cerca de 25,8 milhões de toneladas de resíduos plásticos foram produzidos na Europa em 2014 dos quais 8 milhões de toneladas foram depositados em aterro. Do total de resíduos plásticos gerados, 69,2% foram valorizados, 29,7% através de reciclagem, enquanto que 39,5% foram usados em processos térmicos de recuperação de energia (PlasticsEurope *et al.*, 2016).

2.2 Plásticos na agricultura

As previsões para 2050 apontam para um aumento da população mundial que rondará as 9 mil milhões de pessoas, cujos hábitos de consumo convergirão com os de países desenvolvidos à medida que aumentar o seu poder de compra. Esta corrente evolução demográfica representa um sério desafio às práticas agrícolas dado que fomenta uma maior competição pelos recursos hídricos e energéticos, mas também pela terra arável disponível que é limitada (Godfray *et al.*, 2010). Por estas razões, o uso de plásticos na agricultura tem ganho maior peso nas zonas mediterrânicas, já que permite aos produtores de frutas e de hortícolas reduzirem a sua dependência das condições climáticas, bem como reduzir o tempo normal de cultura, permitindo-lhes obter maiores rendimentos devido ao uso mais eficiente da

área de produção agrícola (Frazão & Reis, 1975; Lamont, 1999; Briassoulis, 2007; Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2011).

2.2.1 Filmes plásticos de cobertura de solo

De entre os vários tipos FPCS, predominam os de polietileno de baixa densidade (LDPE) obtidos através da polimerização do etileno a altas pressões resultando num material com excelente resistência à tração o que o torna resistente à rutura durante a sua aplicação mecânica ao solo e quando exposto às intempéries (Lamont, 1993). Estes geralmente têm uma espessura entre 12-80 mm, podendo atingir os 3 metros de largura (Espí *et al.*, 2006; Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2011). Por norma, têm um tempo de vida útil compatível com o ciclo cultural, entre 2 a 6 meses (Kijchavengkul *et al.*, 2008). Estes são colocados diretamente sobre o solo, com o objetivo de proteger as plantas nos primeiros estágios de desenvolvimento (Espí *et al.*, 2006; Briassoulis, 2007; Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2011).

O LDPE tem por base o polietileno (PE) que é um polímero termoplástico, pertencente à família das poliolefinas, dotado de grande resistência mecânica, inércia química e de insolação térmica (Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2011). Tipicamente, a formulação comercial do PE contém estabilizadores com função antioxidante, pois durante o processo de produção a altas temperaturas o PE é bastante vulnerável à oxidação. Estes aditivos prolongam o tempo de vida do plástico e retardam a degradação das suas propriedades mecânicas quando exposto a altas temperaturas e à radiação solar (Koutny *et al.*, 2006).

A cobertura do solo com filme plástico tem ganho cada vez mais expressão na atividade hortícola (Chandra & Rustgi, 1998), chegando o seu consumo a atingir as 700.000 toneladas por ano a nível mundial (Espí *et al.*, 2006). No caso de Portugal, estima-se que cerca de 23 mil hectares de terreno são cobertos anualmente com filme plástico o que representa um consumo de 4.500 a 5.000 toneladas por ano deste material (“Silvex avança”, 2015).

2.2.2 Vantagens na utilização dos plásticos para cobertura do solo

Os principais benefícios que os plásticos para cobertura de solo conferem são descritos em seguida:

Efeito na temperatura do solo

O filme plástico, devido às propriedades óticas da sua superfície, consegue transmitir, absorver e refletir a radiação solar incidente, o que significa que é capaz de modificar o regime térmico do solo (Dickerson, 2002; Díaz-Pérez, 2010; Bhardwaj & Kumar, 2013) e alterar o microclima da planta particularmente ao nível da zona radicular (Bosland & Votava, 2000; Tarara, 2000).

Ekinci & Dursun (2009) reportaram um aumento da temperatura do solo a 10 cm de profundidade de 5 a 8 °C, em média, quando foi usado o filme plástico de cobertura de solo transparente e de 1 a 4 °C, em média, no caso do de cor negra comparativamente a solo nu. Os filmes plásticos de cobertura de solo brancos e prateados, por terem maior capacidade refletora, possibilitam que o solo se mantenha a uma temperatura ligeiramente abaixo da verificada em solo descoberto (Lamont, 1999; Bhardwaj & Kumar, 2013). Por sua vez Lamont (1999) observou que um solo coberto por filme plástico de cor negra, apresentava a uma profundidade de 5 cm, em média mais 2,8°C, e a uma profundidade de 10 cm, em média mais 1,7°C durante o dia, relativamente ao verificado num solo nu.

Redução no consumo de água de rega

Por ser uma barreira impermeável, o filme plástico permite a redução da perda de água por evaporação do solo, mitigando as perdas de água por parte da cultura, o que possibilita a diminuição da frequência da irrigação e a conservação da humidade do solo, protegendo melhor a planta tanto da secura como do encharcamento (Lamont, 1993; Sanders, 2001; Schut, 2001; Dickerson, 2002; Bhardwaj & Kumar, 2013). Isto resulta num menor consumo de água por unidade de produção (Sanders *et.al.*, 1996).

Redução da lixiviação de nutrientes

Pelo fato do solo estar mais protegido da chuva, reduzem-se as perdas de fertilizantes e a lixiviação de nutrientes solúveis ao nível da zona radicular o que possibilita um uso mais eficiente dos nutrientes (Lamont, 1993; Sanders, 2001; Bhardwaj & Kumar, 2013).

Menor compactação do solo

O solo debaixo do plástico sofre menor perturbação ficando mais solto e friável e com melhor arejamento o que favorece a atividade microbológica e melhora o acesso das raízes ao oxigénio (Lamont, 1993; Sanders, 2001; Bhardwaj & Kumar, 2013).

Melhor aproveitamento de solos com menor potencial produtivo

Os FPCS facilitam o cultivo de hortícolas em zonas áridas que por norma são caracterizadas por terem solos com elevada salinidade. Pelo fato da humidade do solo se conservar debaixo do filme plástico, os sais vão-se dissolvendo e acabam por percolar para camadas mais profundas ao contrário do que sucede em solo nu onde a água evapora, originando um depósito de sal à superfície acentuando o problema da salinização do solo (Mendizabal, 1975).

Controlo de infestantes

As infestantes quando não são eliminadas competem com a cultura por nutrientes, luz e água o que pode ser particularmente problemático quando as plantas estão no início do seu desenvolvimento. Podem também interferir com a colheita, podendo torná-la mais dispendiosa e difícil de realizar (Nuez *et al.*, 1996; Bosland & Votava, 2000). As ervas daninhas podem também atrair insetos vetores de doenças virais que afetam a cultura (Nuez *et al.*, 1996). Debaixo do filme plástico, o desenvolvimento das infestantes fica seriamente comprometido bem como a germinação das suas sementes, o que se traduz numa redução dos custos com herbicidas (Lamont, 1993; Sanders, 2001; Bhardwaj & Kumar, 2013).

Assistência na gestão de pragas e doenças

FPCS com propriedades refletoras são muitas vezes concebidos para serem úteis na gestão de pragas e doenças. A reflexão da radiação a partir da superfície do plástico é capaz de perturbar o voo de vetores de doenças como é o caso dos afídios, tripses e mosca branca, o que reduz a incidência e a propagação de vírus do mosaico em hortícolas (Lamont, 1993; Boslan & Votava, 2000; Sanders, 2001; Schut, 2001).

Aumento na produção e na precocidade da cultura

O uso do plástico de cobertura de solo tem por consequência a redução da flutuação da temperatura no solo ao longo do ciclo cultural, o que permite manter a cultura a temperaturas mais favoráveis o que conduz a um desenvolvimento mais rápido desta, o que possibilita a antecipação da produção/colheita (Lamont, 1993; Schut, 2001; Bhardwaj & Kumar, 2013).

No caso do filme plástico negro não é invulgar ocorrer uma antecipação da colheita em 7 a 14 dias, podendo chegar aos 21 dias no caso do filme plástico transparente, dependendo das condições climáticas (Schut, 2001; Bhardwaj & Kumar, 2013).

As hortícolas, em particular o pepino (*Cucumis sativus*), a abóbora (*Cucurbita pepo*), o melão (*Cucumis melo*), a melancia (*Citrullus lanatus*), o quiabo (*Hibiscus esculentus*), a beringela (*Solanum melongena*) e o pimento (*Capsicum annuum*) respondem de forma positiva ao filme plástico de cobertura de solo no que diz respeito à precocidade e à produção (Lamont, 1993; Sanders, 2001; Bhardwaj & Kumar, 2013).

Na cultura de cenoura (*Daucus carota*) com cobertura com um filme de PE perfurado, Saturnino (2014), registou um aumento de produção na ordem dos 90% com maior precocidade.

A cobertura de solo com filme plástico de PE é muito usada em cultura de pimento, de modo a aumentar a temperatura do solo na zona radicular o que estimula o crescimento das raízes o que por sua vez tem efeito positivo na folhagem e na produção de frutos (Bosland & Votava, 2000). Nesta cultura, Pakyürek *et al.* (1991) reportaram um aumento de produtividade de 7,2% por hectare com antecipação da colheita, devido ao uso de um plástico de cobertura à base de PE de cor negra, comparativamente ao cultivo em solo nu. Do mesmo modo, Ashrafuzzaman *et al.* (2011) observaram maiores produções numa cultura da espécie *Capsicum annum*, de variedade picante, devido ao efeito da cobertura do solo com plástico, especialmente o de cor negra.

Melhoria da qualidade do produto consumível

Os produtos hortícolas por estarem afastados do solo mantêm-se mais limpos e são menos propensos à podridão (Lamont, 1993; Sanders, 2001; Schut, 2001).

2.2.3 Cor dos filmes plásticos de cobertura de solo

A cor que tinge o FPCS influencia o comportamento radiativo do material (refletância, absorvância e transmitância) face à radiação solar que incide na sua superfície, o que tem impacto direto na temperatura do solo, pelo que desempenha um papel importante na regulação do regime térmico e do microclima da planta (Lamont, 1999; Dickerson, 2002).

Os FPCS mais vulgares na produção de hortícolas são os de cor preta, transparente e branca com ou sem dupla face (branco/preto) (William & Lamont, 1991). Outras cores são utilizadas de modo a selecionar determinados comprimentos de onda quando se pretendem efeitos mais específicos (Espie *et al.*, 2006).

Pretos

Os FPCS negros são os mais utilizados na produção hortícola. Comportam-se como um corpo negro absorvendo radiação solar no espectro ultravioleta (UV), luz visível e infravermelha, de forma tanto mais eficiente quanto maior o contato entre o solo e o plástico (Lamont, 1999; Bosland & Votava, 2000). São principalmente utilizados para combater as infestantes e reter a humidade e o calor do solo (William & Lamont, 1991; Shut, 2001).

Transparentes

Os FPCS transparentes, dependendo da espessura e do grau de opacidade do material (Lamont, 1999), transmitem uma grande percentagem da radiação incidente que é convertida

em calor na camada mais superficial do solo (Bosland & Votava, 2000). Em resultado da condensação, acumulam-se gotas de água debaixo da superfície do plástico transparente pelo que as perdas de calor potenciais, na forma de radiação infravermelha, para a atmosfera são evitadas pois as gotas são capazes de reter a radiação infravermelha de grande comprimento de onda, aprisionando o calor debaixo do filme plástico de cobertura de solo. O uso deste, contudo, não é eficaz no combate de infestantes pois estas têm acesso à radiação solar, pelo que práticas como a solarização, o uso de herbicidas ou a fumigação são recomendadas antes da sua instalação no terreno (William & Lamont, 1991; Lamont, 1999).

Brancos

Os FPCS brancos aumentam a refletância da superfície pelo que uma grande porção da radiação atinge a canópia. A aplicação deste material é útil em situações de pouca luminosidade, podendo também ajudar no estabelecimento de culturas no Verão em regiões mais quentes quando o aquecimento do solo não é considerado como um efeito benéfico. Estes conservam a humidade do solo, mantendo em simultâneo a temperatura deste mais baixa do que com o plástico de cor negra. (William & Lamont, 1991; Lamont, 1993; Bosland & Votava, 2000; Schut, 2001; Dickerson, 2002). Podem ser bicolores com dupla-face: branco à superfície e preto na parte inferior o que permite o arrefecimento do solo ao mesmo tempo que controla as infestantes (Schut, 2001; Dickerson, 2002).

Fotoseletivos

Incluem os filmes plásticos de cobertura de solo térmicos capazes de transmitir radiação infravermelha e que em simultâneo bloqueiam a passagem da radiação fotossinteticamente ativa (PAR), pelo que possuem as qualidades do filme plástico negro no que diz respeito ao controlo das infestantes e na manutenção da humidade do solo, mas mantêm o solo mais fresco, tal como os plásticos brancos, por refletirem a radiação UV (Lamont, 1999; Schut, 2001). No caso deste tipo de plásticos, a cor que este adota varia de acordo com o tipo de cultura, a altura do ano, as condições climáticas, a altitude e o tipo de pragas e doenças suscetíveis de ocorrerem na região (Schut, 2001).

Prateados

Black & Rolston (1972) (*in* Bosland & Votava, 2000, p.110) verificaram uma diminuição na incidência de viroses, em cultura de pimento, com a utilização de filmes plásticos refletores de cor prateada com os quais se obtiveram maiores produtividades. Por serem capazes de refletir uma grande percentagem da radiação solar incidente, desorientam e interferem no voo dos insetos vetores destas doenças (afídios, mosca branca e tripses) e por essa razão são

muito utilizados em culturas hortícolas sensíveis ao vírus do mosaico I e II e a outras doenças. (William & Lamont, 1991; Schut, 2001).

Encarnados

Estudos demonstraram que filmes plásticos de cobertura de solo coloridos, por refletirem radiação no espectro da luz visível atingindo as folhas, são capazes de estimular a morfogénese das plantas (Schut, 2001; Espie *et al.*, 2006). O tomateiro (*Solanum lycopersicum*) parece responder positivamente à cor encarnada (Schut, 2001), tendo Decoteau *et al.* (1989) verificado um aumento na quantidade de tomate produzido nos talhões com filmes plásticos com esta coloração. Similarmente, Decoteau *et al.* (1990) verificaram que pimentos da variedade Bell a desenvolverem-se em solo coberto com filme plástico de cor vermelha obtinham um porte maior (maior altura e peso) comparativamente aos cultivados com o solo coberto por plásticos de outras cores.

2.2.4 Desvantagens na utilização dos filmes plásticos de cobertura de solo convencionais

Um dos problemas que surge associado à utilização dos FPCS prende-se com o fato de estes terem um tempo de vida útil relativamente curto, sem possibilidade de serem reutilizados e por serem extremamente resistentes à degradação biótica, sendo por isso persistentes no ambiente (Koutny *et al.*, 2006; Comăniță *et al.*, 2016).

A legislação europeia responsabiliza os produtores agrícolas pelo destino final, pelos custos de gestão e pelo transporte dos resíduos plásticos gerados nas suas explorações, contudo, a remoção e limpeza destes materiais é difícil de concretizar por ser bastante onerosa e ter custos muitas vezes inoportáveis (Levitan & Barros, 2003; Saponaro *et al.*, 2008; Briassoulis *et al.*, 2012). Por essa razão, a queima a céu aberto e a incorporação do filme plástico no solo ou o seu abandono puro e simples são práticas que se realizam ainda hoje na Europa apesar de serem consideradas ilegais nos termos da legislação europeia (Directiva 99/31/CE, Diretiva 2000/76/CE e Diretiva 2008/98/CE) por representarem um sério risco para a saúde pública e para o meio ambiente (Briassoulis *et al.*, 2015).

Os efeitos negativos destas práticas são resumidos em seguida:

Se o plástico for enterrado no solo, este deixa de ficar exposto à luz solar e às temperaturas elevadas pelo que mais dificilmente se decompõe (Kasirajan & Ngouajio, 2012). Também a deposição sistemática deste material no solo pode acabar por contaminá-lo de forma irremediável pois para além da superfície do plástico frequentemente reter agroquímicos, este

pode ser uma fonte importante de poluentes tóxicos como os ftalatos tal como verificaram Wang *et al.* (2013) em solos de produção hortícola, em Nanjing na China. Esta prática pode acarretar problemas a nível da segurança alimentar nos produtos cultivados posteriormente (Briassoulis, 2006) mas também ter um impacto negativo na qualidade dos frutos, de tal modo que Yin *et al.* (2003) constataram um decréscimo no conteúdo de vitamina C e de capsaicina presente nos frutos de pimento em virtude do incremento da concentração de ftalatos na planta via solo.

Estima-se que atualmente na Europa, mais de 30.000 toneladas de FPCS acabam abandonados nas bordaduras dos terrenos ou queimados a céu aberto (Lange, 2016). A queima não controlada destes resíduos liberta CO₂, CO, H₂S, SO₂, NH₃ e dioxinas que são substâncias com grande potencial poluidor do ar (Briassoulis, 2006; Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2011).

2.2.5 Soluções de valorização dos resíduos plásticos agrícolas

Saponaro *et al.* (2008) e Briassoulis *et al.* (2012) apresentam a reciclagem e a incineração com recuperação de energia como soluções viáveis de gestão de resíduos desta natureza.

A quantidade de plásticos agrícolas que são reciclados é consideravelmente mais baixa em comparação com outros tipos de plásticos, devido à inexistência ou pouca eficácia dos sistemas de recolha que possam existir (Levitan & Barros, 2003; Kotrba, 2008). No caso específico dos filmes plásticos de cobertura de solo, a sua reciclabilidade é muito baixa pois geralmente estes acumulam muitas impurezas como solo, matéria vegetal e resíduos de agroquímicos como pesticidas (Amidon, 1994; Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2011; Steinmetz *et al.*, 2016) e quando estes contaminantes representam mais de 5% do peso total do filme plástico, este resíduo não é aceite para reciclagem (Clarke, 1996) pois, nessas circunstâncias, os custos da sua limpeza não são comportáveis (Kotrba, 2008). O mesmo sucede se estes estiverem muito danificados devido à ação da luz ultravioleta (Levitan & Barros, 2003).

Quando os resíduos plásticos se consideram demasiado contaminados ou degradados para poderem ser reciclados, a sua queima em instalações de incineração tendo em vista a recuperação de energia é apresentada como uma solução alternativa (Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2011; Comăniță *et al.*, 2016). A incineração tendo por fim a recuperação de energia pode realizar-se em centrais elétricas ou em cimenteiras (Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2011), onde o resíduo plástico é usado como combustível pois o seu valor calorífico é similar ao dos combustíveis convencionais (Lamont, 1999) considerando-se que 1 tonelada de plástico contém igual conteúdo energético que 1 tonelada de petróleo (Barrales-Rienda, 2002).

Na incineração controlada de resíduos sólidos urbanos, as emissões por massa de material queimado são inferiores à queima a céu aberto, libertando para a atmosfera 20 vezes menos dioxinas e 40 vezes menos matéria particulada (Levitan & Barros, 2003). Contudo, apesar da combustão do plástico em instalações de incineração ser mais eficiente (Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2011), a emissão de poluentes contribui inevitavelmente para o aquecimento global sendo alguns destes considerados como tóxicos e perigosos (Comăniță *et al.*, 2016) como é o caso das dioxinas, tidas como carcinogénicas (Levitan & Barros, 2003; WHO, 2016).

2.2.6 Destino dos plásticos agrícolas não valorizados

Os plásticos agrícolas que não são admitidos nos processos de valorização como a reciclagem ou os processos de recuperação de energia são encaminhados para aterro (Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2011). Contudo, os resíduos de filmes plásticos de cobertura de solo são considerados inadequados para deposição em aterro devido ao risco de lixiviação de pesticidas e outros agroquímicos (Wang *et al.*, 2013).

Numa série de estados-membros da UE, particularmente na Europa central e na Escandinávia, menos de 10% dos resíduos plásticos têm como destino final o aterro. Outros países foram mais longe e proíbem a deposição em aterro de resíduos de plástico (PlasticsEurope *et al.*, 2016). Importa referir que a Comissão Europeia já tem metas estabelecidas para a UE que passam pela redução da quantidade de resíduos sólidos urbanos enviados para aterro para um máximo de 10% até 2030 e pela reciclagem de pelo menos 65% de resíduos sólidos urbanos até 2030 (European Commission, 2016).

2.2.7 Plásticos de cobertura de solo degradáveis

Como já referido, os filmes de cobertura do solo à base de PE geram resíduos não degradáveis que dificilmente podem ser reciclados pelo que acabam por se acumular no ambiente e causar poluição através das emissões durante a sua incineração ou pela lixiviação em aterro sanitário (Steinmetz *et al.*, 2016).

Para fazer face aos problemas ambientais derivados da utilização dos FPCS e reduzir a quantidade de resíduos plásticos que acabam no aterro, surgiram os plásticos fotodegradáveis e biodegradáveis (Lamont, 1999). Por sua vez, Kyrikou & Briassoulis (2007) criaram uma categoria denominada "Plásticos Degradáveis no Ambiente", para plásticos capazes de se degradarem por influência de fatores ambientais, fazendo uma distinção entre aqueles que são biodegradáveis e os que são degradáveis apenas em condições específicas como acontece com os plásticos fotodegradáveis e os oxodegradáveis.

A degradação é definida pela Sociedade Americana de Testes e Materiais (ASTM) e pela Organização Internacional de Normalização (ISO) como um “processo irreversível que provoca uma alteração significativa na estrutura de um material caracterizado pela perda das suas propriedades inerentes (ex: propriedades mecânicas, estrutura, peso molecular) e/ou sua fragmentação.”. Este processo pode ocorrer por degradação microbiana, fotodegradação ou por degradação química (Kasirajan & Ngouajio, 2012).

2.2.7.1 Fotodegradáveis

Os plásticos de cobertura de solo fotodegradáveis quando instalados no terreno são concebidos para serem degradados por ação dos raios ultravioleta. Contudo, a taxa de degradação depende de vários fatores incluindo a temperatura, a quantidade de radiação solar que intercepta durante o ciclo cultural, do ensombramento provocado pela cultura no plástico e da proporção em que o plástico fica enterrado (Lamont, 1999). Estes plásticos comportam-se de modo similar aos oxodegradáveis durante o seu processo de degradação (Kasirajan & Ngouajio, 2012).

2.2.7.2 Oxodegradáveis

A degradação dos plásticos de cobertura oxodegradáveis é primordialmente controlada por agentes abióticos como a temperatura e a radiação ultravioleta (Kyrikou & Briassoulis, 2007). Durante o seu processo de fabrico, agentes oxidantes são incorporados de modo a acelerar o processo de degradação (Kyrikou & Briassoulis, 2007). Estes são aditivos que contêm na sua composição metais de transição como o Fe, Co e Mn que funcionam como catalisadores da oxidação e da fragmentação das cadeias poliméricas do PE durante a sua exposição à luz e ao calor, o que posteriormente vai facilitar o ataque microbiano (Kyrikou & Briassoulis, 2007; Pablos *et al.*, 2009). No entanto, a presença destes aditivos pode comprometer a reciclagem deste material se tal for desejado (Briassoulis *et al.*, 2012).

O processo de degradação dos plásticos oxodegradáveis inicia-se quando o material é exposto aos agentes abióticos como o oxigénio, temperaturas elevadas e à radiação ultravioleta. Em resultado da degradação oxidativa, formam-se os grupos carbonilo sendo estes responsáveis pela cisão da cadeia principal do PE o que resulta numa diminuição do seu peso molecular (Pablos *et al.*, 2009). A redução do peso molecular é necessária para facilitar a ação dos microrganismos na fase posterior de biodegradação (Philp *et al.*, 2013) isto porque, à medida que o peso molecular de um polímero aumenta, a sua solubilidade decresce e mais dificilmente este é degradado e mineralizado pelos microrganismos através da ação enzimática celular (Kasirajan & Ngouajio, 2012). Espera-se que a biodegradação tenha início quando o polímero sofre um decréscimo suficiente no seu peso molecular e foi

reportado que tal acontece aos 28.000 Da, 10.000 Da ou 5.000 Da, valores que não são consensuais entre os cientistas (Kyrikou & Briassoulis, 2007; Pablos *et al.*, 2009; Deconinck & De Wilde, 2013).

Num ensaio de campo conduzido por Briassoulis *et al.* (2015), filmes de cobertura do solo à base de PE com agentes oxidantes na sua composição, foram desenterrados do solo após 8,5 anos, tendo-se verificado que o material remanescente se manteve na sua maior parte intacto. Identificaram-se microplásticos invisíveis a olho nu no solo, em consequência da degradação mecânica e abiótica, o que revelou que o desempenho dos catalisadores acabou por não ser satisfatório nas condições reais de campo pelo que estes tipos de plásticos não devem ser tidos como biodegradáveis (Briassoulis *et al.*, 2015). Feuilleley *et al.* (2005) obtiveram o mesmo resultado em condições típicas de clima quente e temperado onde, ao invés da biodegradação geraram-se micro-fragmentos durante a degradação de um plástico de PE incorporado com agentes oxidantes. Por não serem visíveis a olho nu, os fragmentos podem dispersar-se no ambiente (e entrar facilmente na cadeia alimentar) (Philp *et al.*, 2013), com a agravante de terem na sua composição metais, provenientes dos catalisadores, que não se degradam devido à sua natureza inorgânica, podendo tornar-se potenciais contaminantes do solo (Briassoulis & Dejean, 2010). Estima-se que mais de 15.000 toneladas destes micro-fragmentos existam na Europa, acumulados no solo (Lange, 2016).

Atualmente, não existe nenhuma norma internacional que reconheça os plásticos oxo-degradáveis como biodegradáveis pois estes não cumprem os critérios estabelecidos pelas normas vigentes que certificam os plásticos biodegradáveis como é o caso da ASTM D6400, ASTM D6868 ou a EN 13432 (European Bioplastics e.V, 2015).

2.2.7.3. Compostáveis

Para que um plástico seja certificado como compostável, a sua biodegradação tem de decorrer em condições específicas, integrada na compostagem de outros resíduos orgânicos, segundo a norma europeia EN 13432 ou a ASTM D6400, referente à biodegradação em condições de compostagem industrial ou de digestão anaeróbica (Briassoulis & Dejean, 2010; European Bioplastics e.V., 2016a).

A compostagem é um processo de decomposição biológica que é conduzida em condições aeróbias, a temperaturas superiores a 50 °C na fase termófila e que pode durar 6 a 12 semanas. Em unidades industriais de compostagem, este processo decorre sob condições controladas (ex: temperatura, humidade, arejamento). Os microrganismos como fungos e bactérias são capazes de degradar a estrutura polimérica dos polímeros compostáveis o que

resulta na formação de água, dióxido de carbono, compostos inorgânicos e biomassa (Briassoulis *et al.*, 2014; European Bioplastics e.V., 2016a).

Os requisitos para que um material seja considerado compostável são estipulados pela norma europeia EN 13432 devendo este ter as seguintes características:

- Biodegradabilidade, que traduz a capacidade de conversão do polímero em CO₂, água e biomassa por ação dos microrganismos: segundo esta norma, o material deve atingir uma biodegradação de pelo menos 90% comparativamente ao valor de biodegradabilidade obtido com o material de referência (ex: celulose), no prazo de 6 meses (Innocenti, 2004; Song *et al.*, 2009; BioBag International AS, 2017);
- Desintegrabilidade (fragmentação) do material que é testada segundo a norma EN 14045 onde é definido que o material a testar é degradado em conjunto com resíduos orgânicos e ao fim de 3 meses, o composto resultante é crivado e os resíduos do material em teste com dimensão > 2 mm consideram-se que não se desintegraram, devendo esta fração ser inferior a 10% da massa inicial do material em teste (Innocenti, 2004; BioBag International AS, 2017);
- De modo a não comprometer a qualidade do composto, este não pode produzir efeitos ecotóxicos para as plantas e os teores de metais pesados na sua composição devem estar abaixo dos valores máximos predefinidos (Innocenti, 2004; BioBag International AS, 2017). O composto produzido pode ser depois utilizado com corretivo orgânico podendo substituir parcialmente os fertilizantes minerais (European bioplastics e.V., 2015).

2.2.7.4. Biodegradáveis

Devido às dificuldades inerentes na recolha e reciclagem dos FPCS, os filmes biodegradáveis surgiram como uma alternativa atraente (Briassoulis *et al.*, 2015) particularmente no cultivo protegido em túneis baixos e nas culturas com cobertura de solo (Briassoulis, 2006).

PlasticsEurope *et al.* (2016) classificam como biodegradáveis os materiais constituídos por polímeros capazes de serem degradados e mineralizados pelos microrganismos do solo sem efeitos prejudiciais no ambiente (Kyrikou & Briassoulis, 2007; Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2011; Kasirajan & Ngouajio, 2012). Para que um plástico possa ser biodegradado, parte da sua cadeia polimérica deve provir ou ser similar às substâncias naturalmente presentes no ambiente de modo a que as enzimas microbianas sejam capazes de decompor o polímero (Kasirajan & Ngouajio, 2012). Estes polímeros podem ter como matéria-prima recursos renováveis e biológicos como o milho (PlasticsEurope *et al.*, 2016) de onde é extraído o amido

do qual os microrganismos obtêm a glucose que utilizam depois como fonte de energia (Kasirajan & Ngouajio, 2012).

A cinética de degradação dos FCB no solo pode variar consideravelmente dependendo da composição do material, mas também dos fatores bióticos e abióticos. Por este facto, diferentes normas foram estabelecidas para testar a biodegradação de materiais plásticos no solo em condições particulares (Briassoulis *et al.*, 2014).

A ASTM na publicação “ASTM D 5988-96/2003-Standard test method”, define os procedimentos para se determinar a degradação aeróbica no solo de materiais plásticos compostáveis enquanto que a ISO na norma DIN EN ISO 17556 apresenta a metodologia para se testar a biodegradabilidade dos plásticos no solo em condições aeróbicas (ISO 17556:2003; Briassoulis & Dejean, 2010).

Para um plástico ser considerado biodegradável no solo, em condições reais de campo, não deve ocorrer apenas a sua desintegração, mas este também deve sofrer biodegradação que deverá ser superior a 90%, sem efeitos prejudiciais no solo (Briassoulis & Dejean, 2010).

O fato de um plástico ser degradável não significa que seja biodegradável, que por sua vez pode não ser compostável (Briassoulis & Dejean, 2010).

2.2.7.5 Tipos de plásticos biodegradáveis

Os plásticos biodegradáveis podem ser classificados segundo a matéria-prima com que são manufaturados os polímeros que os constituem:

I. À base de recursos renováveis

- a. Polímeros naturais extraídos diretamente de organismos vivos como polissacarídeos (ex: amido, celulose, lenhina e quitina), proteínas (ex: gelatina, caseína, glúten de trigo, seda e lã), lípidos (óleos vegetais e gordura animal), borracha natural e polihidroxialcanoatos como o poli-3-hidroxiubuturato, dois polímeros que pertencem à classe dos poliésteres. Estes polímeros são na sua maioria biodegradáveis ou compostáveis (Briassoulis & Dejean, 2010; Briassoulis *et al.*, 2014).
- b. Polímeros de síntese química como é o caso do poliácido láctico (PLA) que é derivado de matérias-primas naturais como o amido de milho a partir do qual o ácido láctico é produzido sendo este utilizado na síntese química do PLA, polímeros sintéticos de base natural que é biodegradável e compostável (Briassoulis & Dejean, 2010; Briassoulis *et al.*, 2014).

II. À base de recursos não renováveis

Incluí os poliésteres alifáticos que incluem o ácido poliglicólico, polibutileno de succinato e a policaprolactona e os copoliésteres aromáticos como o poli(álcool vinílico) sendo todos produzidos sinteticamente a partir de monómeros com base petroquímica. Estes álcoois e ácidos podem ser metabolizados pelos microrganismos, no entanto muitos dos polímeros que têm recursos fósseis como matéria-prima, na sua maioria não são compostáveis nem biodegradáveis (Briassoulis & Dejean, 2010; Briassoulis *et al.*, 2014).

2.2.8 Processo de biodegradação no solo

Os filmes de cobertura do solo biodegradáveis são projetados para serem degradados quer por hidrólise quer por ação microbiana, mas a partir do momento em que estes são instalados no terreno, a exposição solar desempenha um papel igualmente significativo. A exposição deste material à luz UV (fotodegradação) provoca cisões na cadeia polimérica principal, o que reduz o peso molecular do polímero facilitando o acesso dos microrganismos e a entrada de humidade (Kyrikou & Briassoulis, 2007; Kasirajan & Ngouajio, 2012). Após a sua desintegração, o material sofre degradação biológica por via aeróbia ou anaeróbia o que conduz à produção de água, sais minerais, biomassa e dióxido de carbono (CO₂) na presença de oxigénio (O₂) ou de metano (CH₄) na ausência de O₂ (Briassoulis & Dejean, 2010; BioBag Americas Inc., 2016). O processo de degradação destes materiais é gradual e o seu controlo não se realiza facilmente (Kyrikou & Briassoulis, 2007), isto porque fatores como a humidade, o pH e a temperatura do solo e se o meio é aeróbio ou anaeróbio influenciam a taxa de biodegradação. As características físicas do plástico como a sua espessura, forma e tamanho são igualmente relevantes (Kale *et al.*, 2007; Kijchavengkul *et al.*, 2008). O peso molecular, a morfologia, o grau de cristalinidade, a presença de cadeias laterais e a temperatura de fusão do polímero são determinantes para o sucesso da biodegradação bem como o tipo de população microbiana e de enzimas presentes no solo (Liu *et al.*, 2010; Khan, *et al.*, 2016).

2.2.8.1 Fatores que influenciam a atividade microbiana

Os microrganismos têm um papel central na biodegradação dos compostos orgânicos sendo capazes de decompor polímeros naturais como o amido e a celulose que são convertidos em compostos mais simples que são mineralizados e redistribuídos no ambiente pelos ciclos do azoto, carbono e enxofre (Chandra & Rustgi, 1998; Kale *et al.*, 2007). A presença de água é indispensável para que os microrganismos possam crescer e multiplicarem-se. Para além disso, a hidrólise desempenha um papel importante na biodegradação dos polímeros, pelo que em ambientes com humidade, as reações de hidrólise são favorecidas o que provoca

mais cisões nas cadeias poliméricas, aumentando desse modo os locais disponíveis para ataque microbiológico pelo que é de esperar que a biodegradação decorra mais lentamente em ambientes secos e seja mais rápida em ambientes húmidos. O pH também afeta o desenvolvimento dos microrganismos bem como as reações de hidrólise que decorrem em polímeros hidrolisáveis (Kale *et al.*, 2007).

A população microbiana é, em grande parte, controlada pela temperatura sendo que quanto mais elevada esta for (desde que não atinja níveis fatais para os microrganismos), mais cresce e mais rápida é a taxa de biodegradação do polímero. Em condições aeróbias, os microrganismos aeróbios através de oxidação enzimática usam o oxigénio e consomem o carbono presente no polímero convertendo-o em CO₂ e água. Isto significa que em meios com depleção ou com baixa concentração de O₂, espera-se uma redução na taxa de biodegradação. As reações de degradação por parte dos microrganismos são conduzidas por enzimas que decompõem substratos orgânicos. Os mecanismos enzimáticos podem ser divididos em duas categoriais: oxidação enzimática (realizada apenas por microrganismos aeróbios) e hidrólise enzimática (realizada por microrganismos aeróbios e anaeróbios) (Kale *et al.*, 2007) o que revela a importância do arejamento e de suficiente humidade no solo para que a biodegradação ocorra como previsto.

2.2.9 Vantagens na utilização de filmes de cobertura de solo biodegradáveis

A utilização de filmes de cobertura do solo à base de polímeros biodegradáveis remove os custos da recolha, do transporte e do destino a dar a estes materiais já que é esperada a sua degradação no solo, podendo também optar-se pela sua compostagem, em instalações próprias, em conjunto com outros materiais orgânicos como resíduos vegetais ou estrume (Moreno & Moreno, 2008; Saponaro *et al.*, 2008; Scarascia-Mugnozza *et al.*, 2011; Kasirajan & Ngouajio, 2012; Agrobiofilm, 2013; European Bioplastics e.V., 2016b).

O uso do plástico de PE na cobertura de solo é autorizado em agricultura biológica, nos termos do Regulamento da Diretiva europeia 2092/91, revogado pelo Regulamento (CE) nº 834/2007, devido à escassez de alternativas no mercado (Kasirajan & Ngouajio, 2012) e porque essas implicam um maior custo de investimento, “o filme de cobertura de solo biodegradável é em média 3% mais caro do que o de PE convencional” (Estevão, B., 2017, junho). Por essa razão, ao abrigo da Estratégia Nacional para Programas Operacionais Sustentáveis, os agricultores, membros de organizações de produtores de frutas e de produtos hortícolas, podem atualmente beneficiar de uma comparticipação até 52,2% na compra de filme de cobertura de solo biodegradável, como mencionado na medida “7.6 – Utilização de plásticos biodegradáveis” (“Silvex avança”, 2015). Numa cultura de pimento, Santos (2014) demonstrou

que os agricultores em condições de beneficiar destes incentivos se contemplassem no seu plano operacional, o uso do filme biodegradável ao invés de um filme plástico de cobertura de solo convencional teriam maiores ganhos económicos.

O FCB tem melhor desempenho ambiental do que o filme plástico de cobertura de solo convencional em termos de emissões de CO₂ produzindo menos 500 kg de CO₂ equivalente num hectare coberto por filme de cobertura de solo biodegradável (considerando que 60% de 1 hectare se encontra coberto por FCS) em comparação com o de tipo convencional, o que se traduz num menor impacto ambiental (Razza *et al.*, 2010 *in* Guerrini, 2015, p. 12-13).

2.2.10 Mercado dos plásticos biodegradáveis

No que diz respeito aos filmes de cobertura do solo comercializados atualmente, apenas 5% são certificados como biodegradáveis representando ainda uma ínfima fatia do mercado mundial (Lange, 2016). Contudo, MarketsandMarkets (2016) projetam um crescimento significativo do mercado do filme de cobertura de solo biodegradável em cerca de 47% entre 2016 e 2021, com o segmento dos termoplásticos à base de amido a reter a maior quota de mercado. Isto sucede porque o amido é uma matéria-prima abundante, proveniente de culturas como batata (*Solanum tuberosum*), milho e arroz (*Oryza sativa*) (Chandra & Rustgi, 1998), renovável e de baixo custo, para além de conter na sua composição um elevado teor em amilose que confere maior resistência e flexibilidade aos filmes biodegradáveis e cuja degradação biótica no solo não representa uma ameaça para o ambiente (MarketsandMarkets, 2016). Os biopolímeros mais conhecidos atualmente no mercado são comercializados pelas respetivas companhias com os nomes comerciais ECOVIO, BIOLICE, Mater-Bi e BiOFLEX (Guerrini, 2015).

Uma revisão à European Fertilisers Regulation está em curso, pretendendo-se classificar os filmes biodegradáveis como corretivos do solo para estimular a procura destes produtos no mercado europeu (European Bioplastics e.V., 2016c).

2.2.11 Mater-Bi ®

No âmbito do consórcio europeu AGROBIOFILM, vários plásticos biodegradáveis têm sido desenvolvidos, como é o caso do Mater-Bi ®, um biopolímero patenteado pela Novamont SpA (Agrobiofilm, 2013). Agrobiofilm ® é o nome comercial atribuído ao filme de cobertura de solo biodegradável à base de Mater-Bi ®, tendo este sido projetado para ser incorporado no solo no fim do ciclo cultural em conjunto com os resíduos das culturas (“Silvex avança”, 2015). Quimicamente, o Mater-Bi ®, é um copoliéster alifático/aromático com matriz de amido de milho, isento de OGM (Agrobiofilm, 2013). A génese deste material implica a ruptura da

estrutura original da molécula de amido e sua posterior reordenação em complexos, formados entre amiloses e outras moléculas naturais que aumentam a resistência à água e originam alterações na estrutura mecânica do amido (Graci, *et al.*, 2008). Apesar de serem impermeáveis à água, os FCB à base de amido de milho, batata ou arroz são permeáveis ao vapor de água (Chandra & Rustgi, 1998). O Mater-Bi® é processado por extrusão (Novamont, 2013) para produzir um filme biodegradável com propriedades similares às dos polímeros sintéticos de PE (Filippi *et al.*, 2011) pelo que é uma boa alternativa aos filmes plásticos convencionais (Briassoulis, 2006; Kasirajan & Ngouajio, 2012). Este material está certificado como biodegradável e compostável, não lhe sendo conhecidos efeitos ecotóxicos (Briassoulis, 2006), estando por isso em conformidade com as normas europeias EN 13432: 2002 e EN 14995: 2007 e a americana ASTM 6400: 04. Foi-lhe também atribuída a certificação “Ok Compost” que atesta a sua não-toxicidade para o solo e para o ambiente (Novamont, 2013), pelo que este produto é compatível com o modo de produção biológica (Filippi *et al.*, 2011). Assim sendo, os filmes de cobertura de solo à base de Mater-Bi® podem ser incorporados no solo durante a lavoura o que se pode fazer com a freza e/ou a charrua de discos, recomendando-se que tal deva acontecer logo a seguir à colheita, de preferência em conjunto com os resíduos da cultura, de modo a também veicular matéria orgânica ao solo, o que torna a biodegradação mais fácil de realizar uma vez que a atividade microbológica e a humidade serão mais elevadas nestas condições (Agrobiofilm, 2013). É expectável que antes de se iniciar o próximo ciclo cultural, o filme biodegradável acabe por ser totalmente mineralizado pelos microrganismos do solo (bactérias, fungos e algas) (Briassoulis & Dejean, 2010).

2.2.12 Desempenho esperado do filme de cobertura de solo à base de Mater-Bi® durante o ciclo cultural

Para que os filmes biodegradáveis sejam uma alternativa credível àqueles à base de PE, devem cumprir certos requisitos (Touchaleaume *et al.*, 2016):

- Suficiente resistência à tração que permita que a aplicação mecânica deste FCB no solo seja concretizada com o mesmo equipamento utilizado na aplicação do filme plástico de PE;
- Seja capaz de manter as suas propriedades funcionais durante a sua utilização, para que a cultura obtenha os efeitos pretendidos e que sejam pelo menos equivalentes aos obtidos com os FCS convencionais de PE;
- Os plásticos biodegradáveis devem sofrer uma biodegradação completa (90% do material inicial) passados 6 meses, sem se registarem efeitos adversos na qualidade do solo e no ambiente (Briassoulis & Dejean, 2010; BioBag Americas Inc., 2016).

A sua durabilidade em condições reais de campo pode ser muito variável podendo ir de 3 a 9 meses dependendo das condições ambientais existentes (Briassoulis, 2006). Em condições mediterrânicas, numa região de Espanha, López *et al.* (2007) constataram que 6 meses foram suficientes para completar a decomposição de um filme biodegradável à base de Mater-Bi®, tendo este sido incorporado no solo, na sequência de uma cultura de melão (*Cucumis melo*).

Estudos realizados por Briassoulis (2007) com filmes biodegradáveis à base de Mater-Bi® demonstraram que a principal razão para a perda das propriedades mecânicas deve-se em grande parte à radiação solar UV que quando elevada tem um efeito deteriorante no alongamento até à rutura neste tipo de material. O oxigénio em conjunto com temperatura e humidade elevadas no solo por seu lado, são considerados pelo mesmo autor como fatores determinantes para o processo de biodegradação dos filmes biodegradáveis no solo.

Martín-Closas *et al.* (2008) demonstraram que o filme de cobertura de solo biodegradável preto à base de Mater-Bi ® pode ser uma alternativa credível aos filmes plásticos convencionais de PE em modo de produção biológica de hortícolas em clima mediterrânico-continental.

A produtividade e a qualidade de frutos e hortaliças obtidas em solos cobertos com filme biodegradável, no geral, equiparam-se às alcançadas em solo coberto por FCS à base de PE. Isto foi constatado em várias culturas tais como tomate (*Lycopersicon esculentum*) (Martín-Closas *et al.*, 2008; Moreno & Moreno, 2008), escarola (*Cichorium endivia*) (Dias, 2015), alface (*Lactuca sativa*) (Coutinho, 2016), melão (*Cucumis melo*) (López *et al.*, 2007; Cordeiro, 2011; Filippi *et al.*, 2011; Saraiva, 2012), morango (*Fragaria x ananassa*) (Bilck *et al.*, 2010, Costa, 2012a; Costa, 2012b; Costa *et al.*, 2014; Morra *et al.*, 2016), pimento (*Capsicum annuum*) (Costa *et al.*, 2013; Barata, 2014), cebola (*Allium cepa*) (Coutinho, 2016), milho doce (*Zea mays*) (Mirshekari *et al.*, 2012) e em vinha (*Vitis vinifera* cvs.) (Touchaleaume *et al.*, 2016).

O estudo desenvolvido e que aqui se apresenta, pretende alargar a utilização do FCB à base de Mater-Bi ®, numa outra condição edafo-climática, a uma cultura de pimento picante (*Capsicum annuum* var. Santaka).

2.3 A cultura do pimento

2.3.1 Origem da cultura

O género *Capsicum* é nativo das regiões tropicais e temperadas da América, concretamente na região do Perú-Bolívia, sendo o México tido como o centro de diversidade da espécie. A espécie foi introduzida na Europa por Colombo por volta de 1493 (Almeida, 2006), estando nos dias de hoje presente em praticamente todas as zonas temperadas e quentes do mundo (Nuez *et al.*, 1996).

2.3.2 Importância económica

Geograficamente, o cultivo dos distintos tipos de *Capsicum* varia em função dos costumes de cada país. Nos países de clima temperado predomina o consumo de variedades doces (caso da paprika e do pimentão muito utilizados na Europa Oriental) enquanto que nas regiões de clima mais quentes (Ásia e África) há preferência pelas variedades picantes (Nuez *et al.*, 1996; Almeida, 2006).

A produção de *Capsicum* supera atualmente as 32 milhões de toneladas, com a área dedicada a esta produção a nível mundial a atingir os 2 milhões de hectares. Mais de metade da produção mundial concentra-se no continente asiático, sendo a China o principal produtor mundial. O México, a Turquia e a Indonésia são a seguir os produtores mais relevantes, seguindo-se a Espanha que se trata do maior produtor a nível europeu. No que diz respeito a Portugal, em termos da produção esta hortícola não tem uma expressão com impacto significativo a nível europeu, contudo, esta cultura tem vindo a crescer em importância económica no nosso país, tendo-se verificado uma subida de cerca de 15% na produção, desde 2000 até ao ano de 2014 (FAOSTAT, 2017) (Figura 2.1).

As estatísticas mais recentes apontam para uma produção de 23.306 toneladas de pimento em 2015 e uma área dedicada a esta produção de 579 hectares (Estatísticas Agrícolas, 2015). O Ribatejo é a região que detém a maior área com este aproveitamento (Almeida, 2006).

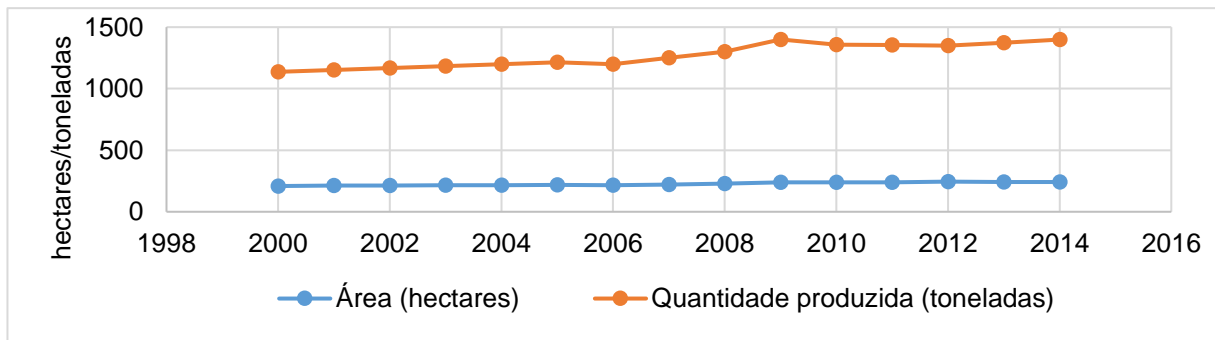


Figura 2.1 Evolução da área ocupada e produção de pimento em Portugal entre 2000 e 2014. Adaptado de FAOSTAT (2017)

2.3.3 Utilizações

As plantas do género *Capsicum* são cultivadas pelos seus frutos que podem chegar ao consumidor frescos ou cozinhados, verdes ou maduros. No caso das variedades doces como o pimento, a produção à escala horto-industrial destina-se principalmente ao fabrico de produtos congelados ou desidratados. Muitos tipos de pimentos também constituem preparações comerciais que servem de corantes e aromatizantes como é o caso do colorau e do caril. No que diz respeito aos pimentos picantes, estes são consumidos em fresco, desidratados ou como especiaria. Os mais picantes são sobretudo utilizados para extração de oleorresinas ricas em capsaicina tanto utilizadas na indústria alimentar como na farmacêutica e cosmética. Muitas cultivares do género *Capsicum* têm interesse para a indústria farmacêutica por causa da capsaicina, composto que atua sobre os mecanismos da perceção da dor, aliviando os sintomas de dor crónica como a artrite, funcionando como um carminativo com efeito analgésico quando aplicado topicamente. Para além da utilização alimentar e medicinal, alguns pimenteiros também são cultivados para fins ornamentais (Ferrão, 1993; Bosland & Votava, 2000; Almeida, 2006).

2.3.4 Classificação das cultivares

As várias cultivares de pimento são difíceis de agrupar numa classificação homogénea. De acordo com Almeida (2006), as cultivares de *C. annuum* distribuem-se em dois grandes grupos: os pungentes: grupo *Longum* representado pelas malaguetas (sinónimo de jindungo) e os doces: grupo *Grossum*, com destaque para o pimento, o pimentão e a paprika. Contudo, este sistema de classificação já não é utilizado (Bosland & Votava, 2000). Devido à grande variedade fenotípica na morfologia da planta e dos seus frutos, no sistema atual de classificação considera-se o agrupamento em género, espécie, variedade, tipo de fruto e cultivar (Bosland *et al.*, 1988 *in* Bosland & Votava, 2000, p. 24).

A classificação destas plantas sempre foi muito debatida dentro da comunidade científica, no entanto o consenso atual aponta para a existência de 30 espécies identificadas de *Capsicum* (Bosland & Votava, 2000) das quais 5 foram domesticadas (Almeida, 2006): *C. annuum*, *C. frutescens*, *C. baccatum*, *C. chinense* e *C. pubescens* sendo que a estes dois últimos é atribuída menor importância pelo facto de apenas serem cultivadas nas regiões tropicais (Bosland & Votava, 2000).

As espécies domesticadas, do género *Capsicum*, distinguem-se entre si primariamente através dos caracteres morfológicos dos frutos, flores e sementes (DeWitt & Bosland, 2014) e a sua caracterização baseia-se na lista de descritores estabelecida pelo International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI *et al.*, 1995).

Pelo fato de se conseguirem realizar trocas genéticas entre algumas espécies devido à sua proximidade genética, estas plantas podem também ser agrupadas em complexos de espécies sendo considerados três no presente: o complexo *C. annuum*, o complexo *C. pubescens* e o complexo *C. baccatum* (Bosland & Votava, 2000).

Do ponto de vista da horticultura, as várias variedades de pimento diferenciam-se entre si pelos frutos que produzem (Bosland & Votava, 2000) pois apresentam grande diversidade de tamanhos e de formas, mas também outras qualidades são tidas em conta como a cor, a pungência, o aroma e o sabor e o tipo de utilização (Bosland & Votava, 2000; DeWitt & Bosland, 2014).

Segundo Almeida (2006), são reconhecidos 50 a 70 tipos de frutos no género *Capsicum* atribuindo-se maior relevância às variedades doces como é o caso da Bell e da Pimiento e às variedades mais pungentes como a Jalapeño, a Tabasco e a De Cayene.

Bosland & Votava (2000) apresentaram uma figura ilustrativa das formas mais comuns encontradas nos frutos das espécies domesticadas de *Capsicum* (Figura 2.2).

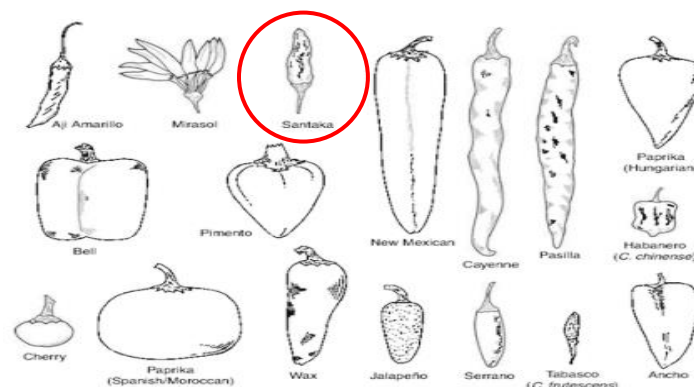


Figura 2.2 Formas mais comuns dos frutos de *Capsicum*. Fonte: Bosland & Votava (2010)

2.3.5 Descrição botânica do *Capsicum annuum* L.

O pimenteiro é membro da família das *Solanaceae* onde se destacam várias espécies hortícolas com grande importância económica, como a batata, o tomate e a beringela (Almeida, 2006). O Enquadramento Taxonómico desta espécie é descrito no Quadro 2.1.

Quadro 2.1 Classificação botânica do *Capsicum annuum* L.

Reino	<i>Plantae</i>
Divisão	<i>Magnoliophyta</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Ordem	<i>Solanales</i>
Família	<i>Solanaceae</i>
Género	<i>Capsicum</i>
Espécie	<i>Capsicum annuum</i>
Variedades botânicas	<i>Var aviculare</i> <i>Var annuum</i>

Fonte: Bosland & Votava (2000)

O *C. annuum* é a espécie mais cultivada e com maior área de dispersão (Ferrão, 1993) e inclui as variedades *C. annuum* L. var. *annuum*, *C. annuum* L. var. *aviculare* (Dierb.), *C. annuum* L. var. *grossum* Sendtn e *C. annuum* L. var. *longum* Sendt (Nuez et al., 1996).

2.3.6 Características morfológicas

A planta é herbácea apesar da base do caule adquirir uma consistência quase lenhosa com a idade (Ferrão, 1993). Trata-se de uma planta perene, contudo, esta é cultivada como anual nas regiões de clima temperado. Possui um sistema radicular apurado que representa cerca de 10% do peso total da planta, em que a maioria das raízes se desenvolvem na camada superficial do solo, com uma extensão na horizontal de cerca 30 a 50 cm, podendo atingir uma profundidade de 30 a 60 cm (Ferrão, 1993; Bosland & Votava, 2000).

O ciclo vegetativo do pimenteiro atravessa 4 fases, embora exista sobreposição entre elas (Almeida, 2006). A duração de cada fase de desenvolvimento apresenta-se no Quadro 2. 2.

Quadro 2.2 Duração normal de cada fase de desenvolvimento do *Capsicum annuum* L.

Estágios de desenvolvimento da cultura	Duração
da sementeira à germinação	5 a 21 dias
da emergência à transplantação	4 a 8 semanas
da transplantação à primeira flor	3 semanas
da primeira flor à colheita	9 a 14 semanas
duração da colheita	3 a 6 semanas

Fonte: Meurant *et al.* (1999)

As plantas no geral têm um porte ereto e um tipo de crescimento indeterminado podendo atingir os 1,5 metros de altura, as folhas, de inserção alterna, são inteiras, peninérveas, ovadas ou lanceoladas e glabras (Almeida, 2006).

As flores (Figura 2.3) são completas, hermafroditas, com corola simpétala rodada, com 5 a 7 pétalas e a sua polinização é predominantemente autogâmica (Almeida, 2006). Estas são geralmente solitárias e ocasionalmente fasciculadas, possuindo pedicelos pendentes à ântese sendo mais frequente terem corola branca (leitosa) mas em algumas variedades podem surgir tonalidades púrpuras (Nuez *et al.*, 1996).

Para ocorrer a floração, para além das condições climáticas adequadas é necessário que a planta atinja uma certa maturidade o que no caso da *C. annuum* se materializa com a presença mínima de 8 a 15 folhas antes de aparecer a primeira flor (Bosland & Votava, 2000; Maroto, 2002; DeWitt & Bosland, 2014).

Na maioria das cultivares de *C. annuum*, após o aparecimento do primeiro botão floral, emergem do ápice dois ou mais ramos laterais onde se desenvolvem uma ou duas folhas e o crescimento do ramo continua até à formação de novas flores, repetindo-se a ramificação até a planta completar o seu desenvolvimento. No caso da variedade Santaka, à semelhança da Mirasol, os ramos terminam num fascículo de flores (Figura 2.4a) produzindo um ramalhete de frutos de porte ereto (Figura 2.4b) (Bosland & Votava, 2000; DeWitt & Bosland, 2014).

Os ramos na espécie *C. annuum* podem apresentar antocianina (pigmento responsável pela cor púrpura, violeta, azul, lilás e preta) ao longo da sua extensão ou junto aos nós (DeWitt & Bosland, 2014).

O fruto é classificado como uma baya, com a particularidade de ser oco por dentro pelo fato do crescimento do pericarpo ser bastante mais rápido do que o da placenta, tendo polpa geralmente de consistência firme. Não se verifica constrição anelar na união entre o pedúnculo e o pedicelo no cálice dos frutos maduros (Nuez *et al.*,1996; Almeida, 2006). O cálice tem margem dentada e é campanulado e persistente na base do fruto (Ferrão, 1993; Bosland & Votava, 2000). Por norma, os frutos terminam o seu desenvolvimento 35 a 50 dias após a polinização da flor (Bosland & Votava, 2000; DeWitt & Bosland, 2014). Nesta espécie, os frutos podem atingir os mais diversos tamanhos e assumir diversas formas: esférica, globosa, cónica, alongada com extremidade deprimida, truncada ou saliente em bico, podendo ser direitos ou curvos. A cor do fruto altera-se de acordo com o estado de desenvolvimento da planta sendo geralmente verdes, mais claros ou mais escuros, antes de amadurecerem e quando atingem a maturação podem assumir cor amarela, verde, vermelha, purpúrea ou acastanhada conforme a variedade (Ferrão, 1993). O tecido da placenta é seco e não envolve as sementes, tendo estas uma forma achatada e ovóide característica das Solanáceas, possuindo 3 a 5 mm de comprimento (Almeida, 2006).

Os frutos das primeiras flores geralmente atingem maiores dimensões e a cor vermelha e pungência são mais pronunciadas quando atingem a maturação (Bosland & Votava, 2000; DeWitt & Bosland, 2014).

Quando a produção de frutos na planta atinge um número considerável, isto torna-se pouco produtivo para a produção pois o aparecimento de novas flores é interrompido pelo que a colheita se realiza de forma escalonada (DeWitt & Bosland, 2014).

2.3.7 Variedade Santaka

Classificada como *Capsicum annuum* var. *fasciculatum*, a variedade Santaka é originária do Japão, sendo também denominada “Hot asiático”, “Hontaka” ou “Tochigi mitaka”. Trata-se de uma planta muito produtiva que atinge em média os 60-90 cm de altura e os 45-60 cm de largura (Figura 2.5a). As suas flores e frutos crescem eretos e formam um ramalhete. O fruto (Figura 2.5b) pode atingir entre os 5 a 7 cm de comprimento e os 0,75 cm a 1,5 cm de diâmetro e possui forma cónica e a sua superfície é ligeiramente enrugada, mudando de verde para vermelho quando maduro (Figura 2.5c). Este é muito pungente, atingindo os 30.000-50.000 unidades de calor de Scoville, contudo, na sua degustação o picante dissipa-se rapidamente na boca. Por norma, os frutos são colhidos vermelhos (maduros) e são utilizados na forma desidratada pois têm parede fina, o que permite preservar melhor o sabor e o aroma após a sua secagem (Bosland & Votava, 2000; DeWitt & Bosland, 2014; Accademia Italiana del Peperoncino, 2016).

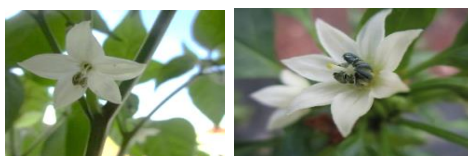


Figura 2.3 Aspecto visual da flor de *C. annuum* L. Fotos da autora (06/09/2016)



Figura 2.4 Inflorescência (a) e cluster de frutos do *Capsicum annuum* da variedade Santaka (b). Fotos da autora (08/09/2016)

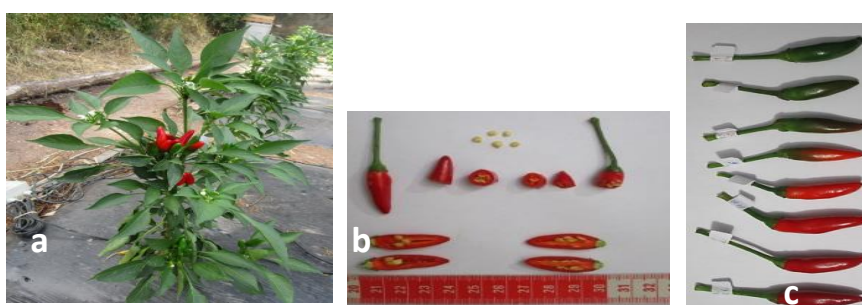


Figura 2.5 Aspecto do pimenteiro da variedade Santaka (a), corte longitudinal do fruto (b) e evolução da maturação do fruto da variedade Santaka (c). Fotos da autora (22/09/2016)

2.3.8 Composição química

Em termos nutricionais, os pimentos são pobres em calorias, tendo na sua composição água, hidratos de carbono, lípidos, proteínas, aminoácidos, fibra e oligoelementos como potássio, fósforo, magnésio e ácido fólico. São também uma importante fonte de fibra, de óleos essenciais e também de vitaminas. Os pimentos verdes têm o dobro da vitamina C presente numa laranja comum e os pimentos vermelhos têm mais vitamina A do que as cenouras (Bosland & Votava, 2000; Almeida, 2006; Raghaven, 2006).

No Quadro 2.3 consta a composição nutricional do pimento em valores médios percentuais para proteínas, hidratos de carbono, fibras e outros componentes, apresentados pela USDA na National Nutrient Database for Standard Reference.

Quadro 2.3 Composição média dos frutos de pimento picante verde e vermelho. Valores expressos em unidades por 100 g de parte comestível

Compostos nutricionais	Verde	Vermelho
Água (%)	87,74	88,02
Energia (Kcal)	40	40
Proteína (%)	2,00	1,87
Gordura (%)	0,20	0,44
Hidratos de carbono (%)	9,46	8,81
Fibra (%)	1,50	1,50
Açúcares (%)	5,10	5,30
Vitamina C (ácido ascórbico) (%)	2,43	1,44

Fonte: USDA National Nutrient Database for Standard Reference Release 28 (<https://ndb.nal.usda.gov/>)

2.3.9 Princípios ativos

Os carotenóides e os capsaicinóides são os princípios ativos mais valorizados na espécie do género *Capsicum* (Ferrão, 1993; Bosland & Votava, 2000).

Os capsaicinóides como a capsaicina ($C_{18}H_{27}NO_3$) e a dihidrocapsaicina ($C_{18}H_{29}NO_3$) são os principais alcalóides que dão aos pimentos picantes a sua pungência característica, sendo únicos ao género *Capsicum* e são produzidos no tecido da placenta do fruto onde estão as sementes (Bosland & Votava, 2000; Almeida, 2006).

Após a ingestão do fruto, a pungência manifesta-se por uma sensação de ardor que resulta da irritação das células trigeminais que são recetores localizados na boca, nariz e estômago (Silver & Maruniak, 1981 *in* Bosland & Votava, 2000, p.91-93)

As razões para a existência de capsaicinóides nos pimentos prende-se com a necessidade de proteger as sementes de predadores indesejados como mamíferos, de modo a garantir a dispersão de sementes exclusivamente por pássaros, estes imunes à pungência. Isto confere uma vantagem evolutiva à planta já que a semente quando é ingerida, não é danificada no trato digestivo dos pássaros, pelo que mantém a sua capacidade germinativa (Bosland & Votava, 2000).

O grau de pungência pode variar quando a planta é sujeita a fatores de stresse ambiental como o stresse hídrico que conduz ao aumento da capsaicina e da pungência (Bosland &

Votava, 2000). Possivelmente, a pungência é mais influenciada por fatores ambientais do que pela componente genética da planta (Harvell & Bosland, 1997).

A manifestação da cor no fruto deve-se à presença de pigmentos carotenóides que contribuem para a cor e para o valor nutricional dos pimentos sendo a capsatina, a capsorubina e a criptoxantina responsáveis pela cor vermelha e o β -caroteno e a violaxantina estão associados à cor amarela (Almeida, 2006).

Os caretonóides são sintetizados nos cloroplastos das células vegetais e nos cromoplastos das flores, frutos e raízes e têm função antioxidante, protegendo a planta contra os raios solares, mas também ajudam a atrair os pássaros (dispersores de sementes) graças às suas cores vivas (Bosland & Votava, 2000). A concentração de carotenóides no fruto é função da cultivar, do estado de maturação e das condições ambientais onde se desenvolve a cultura (Bosland & Votava, 2000).

2.3.10 Condições climáticas

O género *Capsicum* inclui culturas megatérmicas bastante sensíveis a geadas e que não se adaptam de forma satisfatória a regiões onde as temperaturas médias rondem os 5-15 °C (Bosland & Votava, 2000) já que abaixo de 15 °C o seu crescimento é reduzido (Almeida 2006). A menos de 10 °C, o frio causa danos na cultura (Almeida, 2006) e a temperaturas abaixo dos 4 °C a folhagem pode congelar (Meurant *et al.*, 1999).

Uma germinação e emergência rápidas são importantes para que a produção seja satisfatória. A temperatura do solo é um fator determinante, considerando-se os 30 °C como a temperatura ótima para a germinação. De igual modo, a emergência das plantas é acelerada se o solo estiver a temperaturas entre os 24 e os 30 °C. (Bosland & Votava, 2000).

Para se estabelecerem as condições de cultivo ideais à cultura do pimento, Maroto (2002) refere que são necessárias temperaturas diurnas entre os 20-25 °C e noturnas entre os 16-18 °C. As temperaturas noturnas são consideradas o fator exógeno mais importante para a floração podendo-se verificar queda de flores se estas se mantiverem acima dos 24 °C à noite (Meurant *et al.*, 1999; Bosland & Votava, 2000).

Durante os meses mais quentes do ano, o número de flores por planta pode sofrer um declínio pois condições de secura (baixa humidade relativa) combinadas com altas temperaturas (> 32 °C) favorecem o abortamento das flores (Almeida, 2006) devido à excessiva transpiração (Maroto, 2002), sendo a principal causa da diminuição na produção de frutos (Bosland & Votava, 2000). Em condições em que a humidade relativa é mais elevada, a cultura é mais

tolerante sendo capaz de suportar temperaturas superiores a 40 °C (Almeida, 2006). No entanto, se as temperaturas médias forem excessivamente altas (> 35 °C) a formação de frutos de tamanho reduzido e/ou deformados torna-se mais evidente (Almeida, 2006).

Maiores produtividades são possíveis quando as temperaturas médias diárias do ar variam entre os 18 e os 32 °C durante a fase do vigamento do fruto (Bosland & Votava, 2000), posteriormente, se a temperatura ambiente se mantiver entre os 15 e 35 °C é esperada uma adequada maturação do fruto (Nuez *et al.*, 1996).

No Quadro 2.4 apresentam-se a preferência e a tolerância térmica do pimenteiro.

A humidade relativa do ar deve rondar idealmente, entre os 50 e os 70%, especialmente durante a floração e o vigamento da cultura (Maroto, 2002; Almeida, 2006).

De acordo com Almeida (2006), a cultura do pimento é indiferente ao fotoperíodo, mas exigente em intensidade luminosa verificando-se o estiolamento e redução da floração (ocorre o abortamento das flores) em situação de fraca luminosidade e uma redução da produtividade quando esta é excessiva (entre os 25 e 30 MJ/ (m².dia) o que pode acontecer durante o Verão em Portugal.

Quadro 2.4 Preferência e tolerância térmica do pimenteiro

Parâmetros		Preferência/ Tolerância	
Temperatura do ar	floração	emissão máxima de flores	21 °C (dia) 16 °C (noite)
		gama ótimas germinação do pólen	20 a 25 °C
		limite máximo	35 °C
		ótima	25 °C
		limite mínimo	18 °C
	desenvolvimento vegetativo	intervalo ótimo	20-25 °C (dia) 16-18 °C (noite)
	frutificação	intervalo médio diário necessário para o vigamento do fruto	16-32 °C
		ótima	21 °C
	limites de tolerância da cultura	limite máximo	35 °C
		limite mínimo	10 °C
	condições ideais de desenvolvimento da cultura	intervalo médio diário	20-25 °C (dia) e 16-18 °C (noite)
	germinação	limite mínimo	13 °C
ótima		25 °C	
limite máximo		37-40 °C	
ótima		30 °C	
Temperatura do solo	emergência	intervalo ótimo	24-30 °C
	maior produtividade	intervalo ótimo a 10 cm de profundidade	25-27,5 °C
	plantação	Intervalo ótimo	22-24 °C

Fonte: FAO (1990); Nuez *et al.* (1996); Bosland & Votava (2000); Maroto (2002), Almeida (2006) e Díaz-Pérez (2010)

2.3.11 Condições edáficas

A maioria das plantas do género *Capsicum* tem preferência por solos férteis, profundos, bem arejados e drenados (Maroto, 2002), adaptando-se melhor a solos com textura franca ou arenosa, estes últimos por favorecerem a precocidade, contudo, esta cultura tem uma grande plasticidade em relação ao tipo de solo (Almeida, 2006).

Esta cultura tem preferência por solos ligeiramente ácidos no intervalo entre os 6 a 6,5 (Meurant *et al.*, 1999) mas consegue adaptar-se a pH mais ácido até 5,5 (Maroto, 2002; Almeida, 2006) e resistir à alcalinidade até 8,5 (Bosland & Votava, 2000).

A cultura do pimento tem uma sensibilidade moderada à salinidade do solo. Quando a condutividade média do solo regista 5 dS/m, verifica-se uma redução da produtividade em 50% (Bosland & Votava, 2000), sendo o valor de 1,5 dS/m tido como o nível crítico máximo sem que ocorram quebras de produção (Nuez *et al.*, 1996; Almeida, 2006).

2.3.12 Instalação da cultura

O vigor e a produtividade da cultura estão dependentes do desenvolvimento radicular por isso o manejo da rega e da fertilização, o controlo de ervas daninhas e de doenças e pragas merecem atenção especial (Nuez *et al.*, 1996).

I. Irrigação

Como o pimenteiro é suscetível ao stresse hídrico, a rega deve ser realizada regularmente em todo o ciclo da planta devendo ser intensificada no período de floração e de frutificação. Isto porque a disponibilidade hídrica influencia o número de flores, o vrigamento dos frutos e as dimensões que estes acabam por atingir (Ferrão, 1993) por outro lado, plantas sob stresse hídrico adquirem maior pungência (Bosland & Votava, 2000).

Em condições mediterrânicas, estima-se que a cultura do pimento necessite de 400 a 800 mm de água durante o ciclo cultural (Almeida, 2006). Por seu lado, Meurant *et al.* (1999) estabelecem que esta cultura requer 30 a 40 mm de água por semana. Contudo, a frequência da rega está dependente das condições climáticas existentes (humidade, vento, temperatura média do ar e radiação solar), do sistema cultural, da altura da planta e da fase de desenvolvimento em que se encontra (Bosland & Votava, 2000).

A textura do solo também determina a frequência de rega que tende a ser maior no caso dos solos arenosos já que têm uma menor capacidade de retenção de água em comparação com os solos argilosos (Meurant *et al.*, 1999).

Relativamente à qualidade da água, quebras na produtividade podem surgir quando a condutividade da água ultrapassar os 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, do mesmo modo, o apodrecimento apical do fruto pode potencialmente ocorrer a partir de condutividades superiores a 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Meurant *et al.*, 1999).

Em sistemas de cultivo que envolvem a cobertura do solo, o uso de fitas de rega que funcionam como gotejadores é um método de irrigação bastante usual nesta cultura (Almeida, 2006). A rega gota-a-gota, particularmente nas regiões mais áridas, otimiza o consumo de água por parte da cultura. Esta, combinada com cobertura de solo com filme plástico, resulta num aumento da produtividade (Bosland & Votava, 2000).

II. Fertilização

Para que a cultura tenha um bom desenvolvimento é fundamental uma fertilização adequada às necessidades da planta. A quantidade de nutrientes a incorporar, nomeadamente de N, P, K, Mg e Ca é calculada em função das características físico-químicas do solo, da disponibilidade de nutrientes no solo e na água de rega e da produção esperada da cultura (Nuez *et al.*, 1996).

Recomenda-se o fracionamento da adubação em duas metades: uma primeira de fundo, realizada durante a lavoura e preparação da parcela para o cultivo e uma segunda de cobertura que se materializa quando surgem os primeiros frutos que é a fase de maiores exigências nutricionais da cultura (Nuez *et al.*, 1996).

A aplicação excessiva de azoto conduz a um excessivo vigor da planta, principalmente da parte aérea, podendo também conduzir à podridão apical dos frutos especialmente nos períodos mais quentes (Nuez *et al.*, 1996). É por isso importante haver uma gestão racional da fertilização.

III. Armação do terreno

A cultura do pimento é relativamente sensível ao excesso de água (Almeida, 2006) havendo inclusive algumas doenças favorecidas pelo encharcamento como é o caso da *Phytophthora* responsável pela podridão radicular (Bosland & Votava, 2000). Por ser exigente no controlo da drenagem, a armação do terreno é recomendada para este tipo de cultura (Ferrão, 1993)

O terreno pode ser armado em camalhões de 15 a 20 cm de altura para melhor proteger as raízes das plantas do encharcamento, contribuindo também para um maior aquecimento (Nuez, *et al.*, 1996; Almeida, 2006).

IV. Plantação

Devido às exigências térmicas da cultura do pimento, impõe-se que nos climas temperados, como é o caso de Portugal, a plantação se inicie no início da estação quente (fins de abril-maio) para que colheita se realize no limite até novembro já que é uma cultura sensível ao frio e às geadas (Ferrão, 1993).

Por se tratar de uma cultura muito exigente a nível térmico e devido ao elevado custo das sementes, é preferível optar pela transplantação em vez da sementeira direta no terreno. A transplantação da planta com raiz protegida permite reduzir significativamente a crise de transplantação, encurtar o ciclo cultural e aumentar a produtividade da cultura (Bosland & Votava, 2000; Almeida, 2006).

Por norma, as plântulas já endurecidas, são transplantadas para a parcela quando apresentam 6 ou 7 folhas verdadeiras (Nuez *et al.*, 1996) e quando atingem os 15-20 cm (Bosland & Votava, 2000).

Em Portugal, no caso da produção de pimento para a indústria, são habituais plantações com densidades que podem variar entre 30.000 e 38.000 plantas por hectare em camalhões com duas linhas com compasso de 35 a 40 cm na entrelinha e de 40 a 44 cm na linha (Almeida, 2006).

2.3.13 Colheita

A colheita manual do pimento é preferida à colheita mecânica pois permite um melhor controlo da qualidade do fruto (Bosland & Votava, 2000). A colheita é realizada de forma escalonada na qual os colhedores realizam passagens sucessivas pelas plantações recolhendo os frutos (mantendo o pedúnculo) à medida que estes atingem o desenvolvimento desejado. No caso de algumas variedades, como a Santaka cujos frutos são consumidos desidratados, estes são apenas colhidos quando atingem a maturação (DeWitt & Bosland, 2014).

A colheita escanolada é vantajosa pois estimula a emissão de mais flores, o que resulta numa maior produção de frutos por planta (Ferrão, 1993). O escalonamento da cultura pode prolongar-se por 2 a 3 meses e se as condições se mantiverem favoráveis pode durar 5 a 6 meses (Nuez *et al.*, 1996).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do ensaio experimental

O ensaio decorreu entre os meses de junho e novembro de 2016 e foi instalado numa parcela de terreno situada junto do Chalé de Agricultura do Instituto Superior de Agronomia (ISA) na Tapada da Ajuda, distrito de Lisboa (38° 42' 45.7128" N, 9° 11' 3.1812" O) (Figura 3.1).



Figura 3.1 Localização da parcela, no Instituto Superior de Agronomia, Tapada da Ajuda, no concelho de Alcântara, distrito de Lisboa. Fonte: Google Earth (2016)

3.2 Caracterização climática

A descrição climática da região onde decorreu o ensaio experimental foi realizada com recurso às normais climatológicas da série de 1971 a 2000, cujos dados foram recolhidos na estação meteorológica da Tapada da Ajuda que está instalada nos terrenos do Instituto Superior de Agronomia, a uma altitude de 60 m, tendo as seguintes coordenadas geográficas: Lat. 38°42'N Long. 9°10'O. Estes dados foram alvo de análise comparativa com os parâmetros climáticos correspondentes ao período em que decorreu o ensaio, constando ambos no Anexo B.

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima de Lisboa/Ajuda é mesotérmico húmido, com um Verão quente e seco (temperatura média do ar no mês mais quente > 22 °C e temperaturas médias do ar nos 4 meses mais quentes > 10 °C) característico de um clima mediterrânico do tipo Csa (Andrade & Abreu, 2008).

Segundo a classificação climática de Thornthwaite, a Tapada da Ajuda, no período entre 1971 e 2000, caracteriza-se por ter um clima sub-húmido seco (C1), mesotérmico (B'3), com moderado excesso de água no Inverno (s) e pequena concentração estival da eficiência térmica (a') – Classificação C₁ B'3 s a' (Oliveira, 2013).

Por observação do diagrama ombrotérmico representado na Figura 3.2 é perceptível que nesta região o Verão é tipicamente quente e seco, sendo este o período mais crítico para as plantas em termos de exigência hídrica, devido à insuficiente humidade no solo (Oliveira, 2013). Nesta fase é fundamental existir uma gestão adequada da rega podendo-se também recorrer a estratégias de conservação água no solo (ex: *mulching*) de modo a que a produtividade e o rendimento da cultura não sejam afetados.

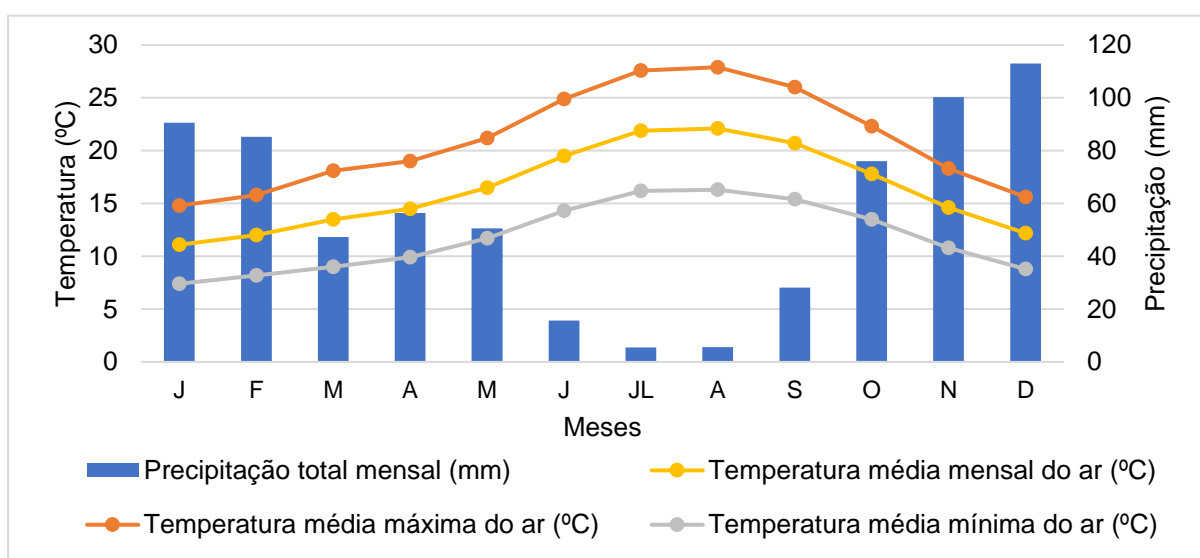


Figura 3.2 Diagrama Ombrotérmico de Gaussen para a Tapada da Ajuda. Adaptado de Normais Climáticas da Tapada da Ajuda, 1971/2000 (Anexo B)

A precipitação concentra-se fundamentalmente no Outono/Inverno, pelo que é necessário assegurar uma boa drenagem neste período (Oliveira, 2013).

A quantidade total de precipitação anual atinge em média os 674,4 mm, registando-se 113 mm no mês de dezembro, que corresponde ao maior valor médio de quantidade total de precipitação, enquanto que em julho se verifica o valor mínimo de 5,5 mm.

Em relação à temperatura do ar, o valor médio mensal regista os 16,4 °C, com uma amplitude térmica anual de 11 °C. Os valores de temperatura média mais elevados verificam-se nos meses de julho e agosto registando-se em julho o máximo absoluto com o valor de 41,2 °C, por outro lado, os menores valores de temperatura média mínima registam-se no Inverno, nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro.

A observação das normais climatológicas do período 1971-2000, permite verificar que na Tapada da Ajuda a humidade relativa é mais elevada no Inverno atingindo valores de 81% em janeiro e em dezembro, respetivamente, descendo para o valor mínimo de 64% em julho e em agosto.

A região onde se localiza o ensaio atinge valores altos de insolação ao longo do ano (Oliveira, 2013), acumulando um número médio de horas de sol por ano de 2.513 horas, atingindo o maior número de horas em julho (316 horas) e em agosto (314 horas) como se pode observar na Figura 3.3. Já nos meses de dezembro e janeiro, a insolação atinge um mínimo, sendo dezembro o mês com menor duração total de horas de sol, com apenas 116 horas e janeiro com 130 horas.

Em relação a outros meteoros não há registo de neve, nem de granizo nem de geada no Inverno (Oliveira, 2013).

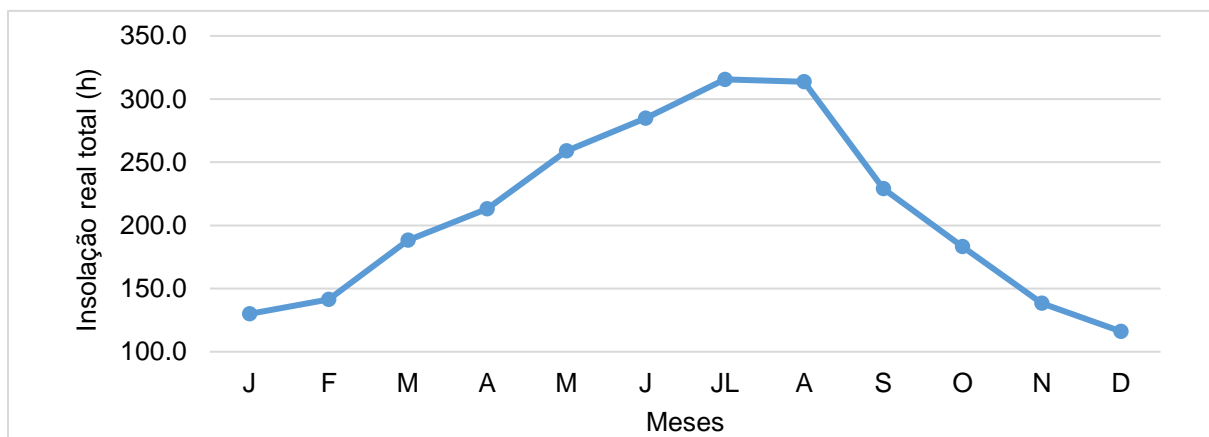


Figura 3.3 Evolução da insolação real total (h) na Tapada da Ajuda. Adaptado de Normais Climáticas da Tapada da Ajuda, 1971/2000 (Anexo B)

3.2.1 Registos meteorológicos da Tapada da Ajuda no ano de 2016

Os dados meteorológicos, relativos ao período do ensaio de campo, foram obtidos de igual modo a partir da estação meteorológica da Tapada da Ajuda.

I. Precipitação

Comparativamente à normal climatológica do período de 1971 a 2000, maio de 2016 foi um mês atípico, verificando-se quase o dobro da precipitação relativamente à média da normal enquanto que nos restantes meses de junho a novembro se registaram sempre menores pluviosidades comparativamente à média da normal climatológica (Quadro 3.1). Em média, a quantidade total de precipitação de junho a novembro foi cerca de 60% do normal e a

precipitação foi praticamente inexistente no Verão. Importa referir que o Outono de 2016 (setembro, outubro, novembro) em Portugal Continental foi classificado como quente e seco pelo IPMA (2016).

Quadro 3.1 Evolução da precipitação (mm) no período 1971-2000 relativo às Normais Climatológicas (NC) e do ano de 2016 desde o mês de maio a novembro. Adaptado de Normais Climáticas da Tapada da Ajuda, 1971/2000 (Anexo B)

Precipitação Total (mm)		
Meses	NC (1971-2000)	Ano 2016
Maio	50,6	96,7
Junho	15,6	2,6
Julho	5,5	1,5
Agosto	5,6	0,1
Setembro	28,2	11,4
Outubro	76	49,3
Novembro	100,3	73,4

II. Temperatura do ar

As temperaturas médias do ar dos meses de junho a outubro de 2016 assumiram valores ligeiramente superiores aos valores médios mensais registados no período entre 1971-2000, com uma anomalia média de + 1,02 ° C, enquanto que em novembro, se registou o inverso com uma anomalia de – 0,68 em relação à normal (Figura 3.4).

O Verão de 2016 em Portugal Continental foi considerado o segundo mais quente desde 1931 (IPMA, 2016), o que explica o facto de o valor médio da temperatura máxima do ar na Tapada da Ajuda, ter sido superior ao registado nas normais climatológicas, apresentando um desvio de + 2,27 ° C em junho, + 3,16 ° C em julho, + 3,82 ° C em agosto e + 3,16 ° C em setembro como se pode verificar na Figura 3.4. Por seu lado, as temperaturas mínimas do ar mensais não diferiram significativamente dos valores das normais climatológicas.

A temperatura média do ar máxima registou-se no mês de agosto (31,7 ° C) seguindo-se o mês de julho (30,8 ° C) e setembro (29,2 ° C), e as médias mínimas verificaram-se em novembro (9,82 ° C). Relativamente à temperatura média, esta registou o valor máximo no mês de agosto (23,7 ° C) e o mínimo em novembro (13,92 ° C).

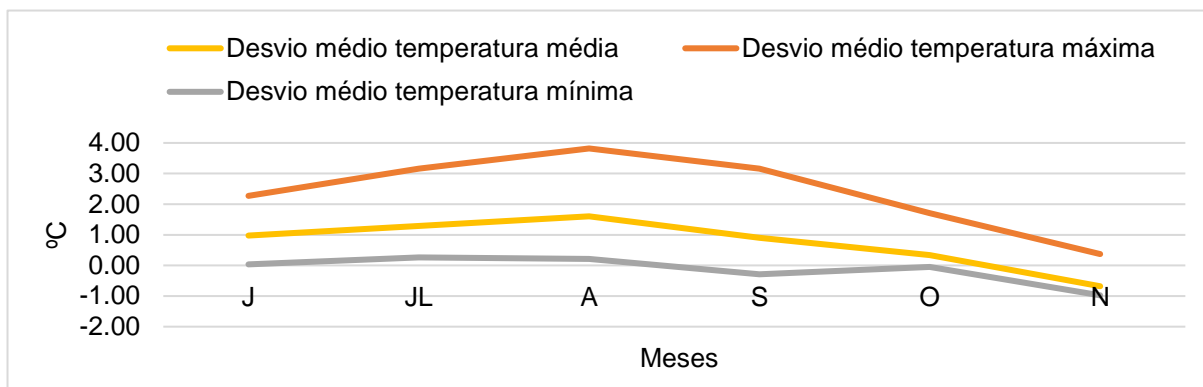


Figura 3.4 Desvios médios entre os valores da temperatura média mensal do ar, mínimo e máximo entre NC 1971-2000 e o ano de 2016. Fonte: Anexo B

III. Radiação solar

A radiação solar acumulada durante o período do ensaio experimental apresenta-se na Figura 3.5. A radiação solar acumulada registou um valor total de 43.872 W/m² durante o período da cobertura do solo com o filme biodegradável.

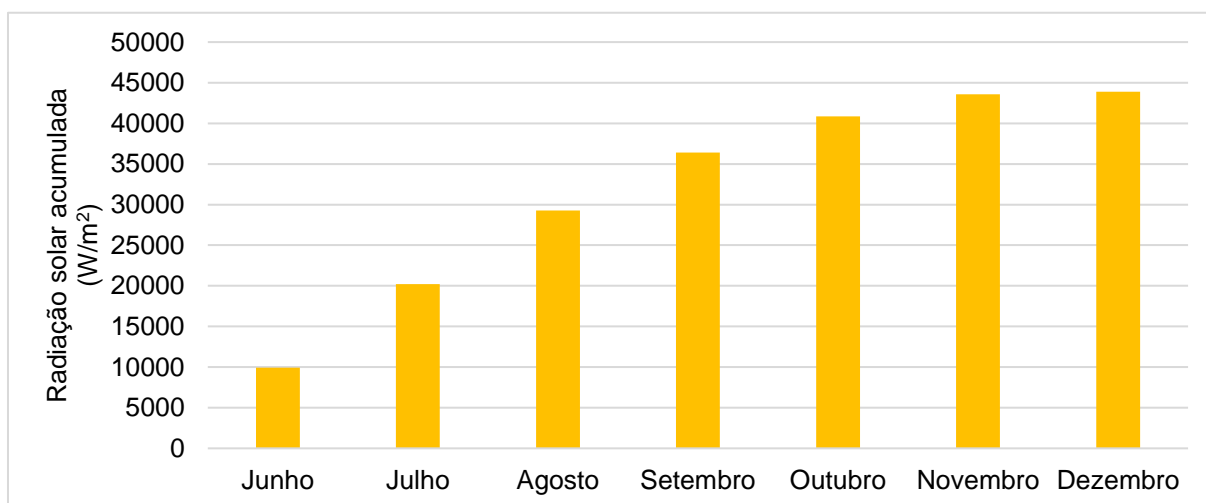


Figura 3.5 Radiação solar acumulada (W/m²) ao longo do ensaio (de 1 de junho de 2016 a 5 de dezembro de 2016). Fonte: Anexo B

3.3 Caracterização edáfica

De acordo com Madeira (1973), a litologia da zona onde está localizada a parcela onde decorreu o ensaio experimental é essencialmente constituída por “calcários do Cenomaniano e Turomaniano pertencentes a formações do Cretácico médio”.

Segundo a Carta de Solos de Portugal à escala 1:1.000.000, a parcela em estudo encontra-se numa mancha de solos do tipo vertissolos crómicos (Cardoso *et al.*, 1971). Os vertissolos

caracterizam-se por terem um elevado teor em argilas e devido às características da esmectite, quando secos ficam duros e apresentam fendas de retração e quando húmidos apresentam viscosidade e comportamento plástico. Estes são ricos em componentes químicos e contém teores moderados de matéria orgânica (Ferreira, 2000). No entanto, através da análise do solo da parcela em estudo, constatou-se que as suas características não são, em termos de textura e de matéria orgânica, as expectáveis num vertissolo. É por isso possível que o solo do ensaio experimental tenha sofrido adições de outros tipos de solo.

No Quadro 3.2 apresentam-se os resultados da análise físico-química de amostras de solo representativas da parcela onde decorreu o ensaio de campo, tendo em vista o conhecimento das características do solo necessário à realização do ensaio de biodegradação já que esta é influenciada por diversos parâmetros do solo.

Quadro 3.2 Análise físico-química da amostra de solo colhida antes da instalação da cultura

Parâmetro*	Resultado	Teor
Textura	Grosseira	-
Densidade aparente (g/cm ³)	1,12	-
Capacidade de retenção de água (g/g)	0,63	-
pH (H ₂ O)	7,80	Pouco alcalino
Matéria orgânica (%)	0,89	Muito Baixo
Condutividade elétrica (mS/cm)	0,30	Não salino
P ₂ O ₅ (mg/kg)	2.364	Muito Alto
K ₂ O (mg/kg)	562	Muito Alto
Mg (mg/kg)	589	Muito Alto

*De acordo com os métodos analíticos em uso no Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva, INIAV

3.4 Delineamento experimental

3.4.1 Esquema experimental

Com o objetivo de estudar o efeito da cobertura de solo com filme biodegradável, foi instalado ao ar livre no início de junho um ensaio experimental. Numa parcela com uma área de 15 m² foram preparados 4 talhões, orientados na direção NE-SW, de modo a se estabelecerem 4 repetições. A dimensão de cada talhão experimental correspondeu a uma área de 1,4 m², o que equivale a uma área total de 5,6 m². Os talhões foram armados em camalhões seguindo as recomendações de Almeida (2006) de modo a facilitar a drenagem e o aquecimento do solo. A ilustração do delineamento experimental do ensaio, apresenta-se na Figura 3.6.

Instalaram-se sondas Decagon na parcela, do tipo 5TE e 5TM, de modo a monitorizar os parâmetros de temperatura e de humidade do solo no decorrer do ensaio, estando o respetivo *layout* ilustrado na Figura 3.6. De acordo com o fabricante, as sondas apresentam uma precisão de $\pm 3\%$ na medição da humidade e $\pm 1^\circ \text{C}$ na medição da temperatura. No Quadro 3.3 apresentam-se os elementos do ensaio experimental conduzido no campo.

Quadro 3.3 Elementos do ensaio experimental seguido no campo

Elemento	Descrição
Dimensão do camalhão	175 cm (comprimento) x 80 cm (largura) = 1,40 m ² altura = 15 cm espaçamento entre camalhões = 20 cm
Número de talhões	4
Tratamento	Aplicação de filme de cobertura de solo biodegradável
40 plantas com código: X_i	X: A, B, C, D – identificação do camalhão i: 1 a 40 – identificação da planta
Identificação das sondas	I, II, III – código das sondas a, c – Decagon 5TE b – Decagon 5TM

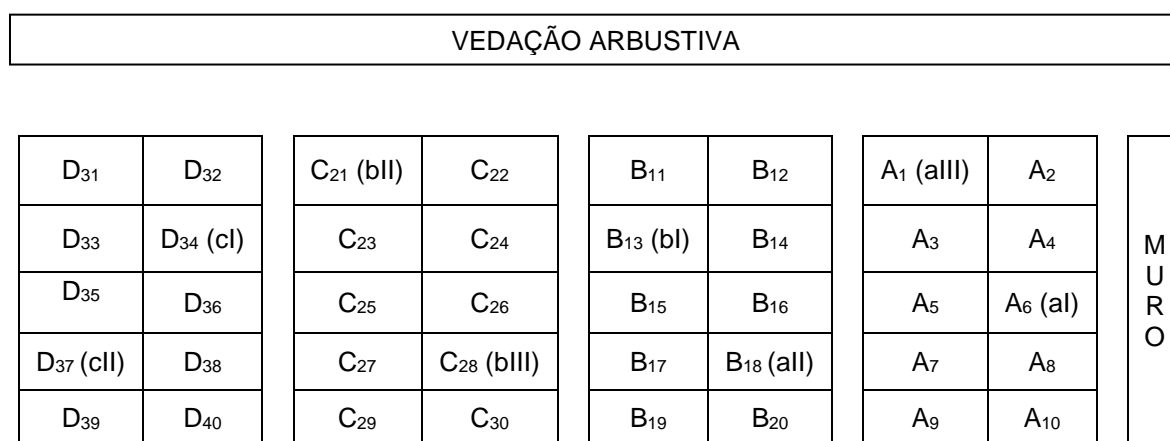


Figura 3.6 Desenho experimental do ensaio de campo (2016)

3.4.2. Preparação do solo

Na parcela de terreno selecionada, por estar em pousio durante o ano anterior, foi necessário remover as infestantes o que se verificou no fim de maio de 2016, tendo-se feito posteriormente uma falsa sementeira para uma eliminação mais eficiente das ervas daninhas e evitar o uso de herbicidas. Nos dias antecedentes à armação do terreno, foi efetuada uma homogeneização do solo de modo a que este ficasse mais solto e para remover pedras e outros inertes, mas também resíduos de plantas, utilizando um sacho para esse efeito. Ressalva-se que todas as operações efetuadas são técnicas culturais compatíveis com o modo de produção biológico. Posteriormente, a 28 de maio de 2016, o terreno foi armado em 4 camalhões de 15 cm de altura, 0,80 m de largura e 1,75 m de comprimento e com 20 cm de distância entre si.

3.4.3 Fertilização

A fertilização foi feita segundo os valores de referência indicados na recomendação de fertilização para a cultura do pimento apresentados em Almeida (2006).

Realizou-se uma adubação de fundo com um adubo organo-mineral com microelementos em forma de pellets, designado comercialmente por “HUMIFERTAK 54 NPK (Mg-S)” comercializado pela Fertinagro, Nutrientes, S.L. com a seguinte composição: 5 % de azoto (N), 8 % de fósforo (P_2O_5), 15 % de potássio (K_2O), 2,1% de magnésio (MgO) e 8% de enxofre (SO_3).

No dia 31 de maio de 2016, foram distribuídos homogeneamente à superfície de cada camalhão e posteriormente incorporados a cerca de 15 cm de profundidade, 140 g do adubo organo-mineral, correspondente a 1000 kg/ha. Deste modo, foram aplicados 50 kg/ha de N, 80 kg/ha de P_2O_5 , 150 kg/ha de K_2O , 21 kg/ha de MgO e 80 kg/ha de SO_3 .

3.4.4 Aplicação do filme de cobertura de solo biodegradável

No dia 31 de maio de 2016 aplicou-se manualmente o FCB sobre cada camalhão de forma a ficar bem esticado e bem preso nas bordaduras dos camalhões para evitar o seu desprendimento e a acumulação de água à superfície (Figura 3.7a).

O filme biodegradável, utilizado na cobertura de solo foi fornecido pela empresa Silvex, um produto certificado como biodegradável e compostável e que tem na sua formulação o Mater-Bi ®. Este material designado por Agrobiofilm ®, apresenta as seguintes características: cor preta, espessura de 12 µm, 2,50 m de comprimento e 1,75 m de largura.

Neste estudo foi utilizado o filme biodegradável de cor negra por ter um bom desempenho na conservação da humidade no solo ao longo do verão (Barata, 2014) e por permitir um controlo mais eficaz das infestantes (Coutinho, 2016), eliminando a necessidade de aplicar herbicidas.

3.4.5 Plantação

O material vegetal utilizado teve proveniência da “BrasPlantas-Viveiros de Plantas Lda” consistindo num lote de 40 plantas, tendo estas sido transplantadas no dia 2 de junho de 2016 (Figura 3.7b) e dispostas em linhas duplas por camalhão, com uma distância na linha de 40 cm e na entrelinha de 35 cm seguindo as recomendações de Almeida (2006). Assim, cada camalhão de 1,4 m² apresentou numa densidade de plantação de 10 plantas.

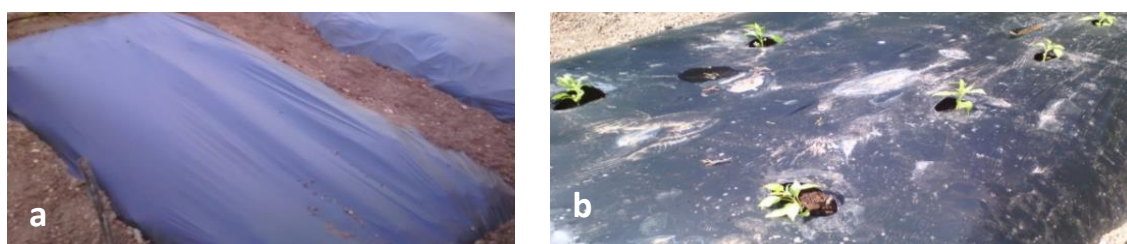


Figura 3.7 Aplicação do Agrobiofilm ® no talhão (a) e transplantação das plantas (b). Fotos da autora (31/05/2016 e 02/06/2016)

3.4.6 Tratamentos fitossanitários

A ocorrência de pragas e doenças foi monitorizada semanalmente. Relativamente a pragas, apenas se registou o aparecimento de formigas com alguma frequência pelo que nas bordaduras da parcela aplicaram-se borras de café sempre que se achou necessário de modo a repeli-las, tratamento que mostrou ser bastante eficaz. No que diz respeito a doenças, detetaram-se problemas na planta A52 o que conduziu à sua morte, pelo que a 13 julho de 2016 foi substituída por uma planta extra devido a suspeitas de virose, mas esta última não se desenvolveu de forma satisfatória. Mais tarde, as plantas A51 e B51 começaram a apresentar sintomas semelhantes à doença registada na planta A52, o que resultou em alguns frutos deformados e folhas mal desenvolvidas, mas como estas só foram afetadas parcialmente, as plantas ofereceram maior resistência à doença pelo que não foram removidas (Figura 3.8).

No dia 22 junho de 2016 a queda accidental de uma folha de palmeira provocou danos na planta B41 e B52 e, em resultado disso, as plantas perderam parte das folhas e das inflorescências, o que atrasou a produção de flores.

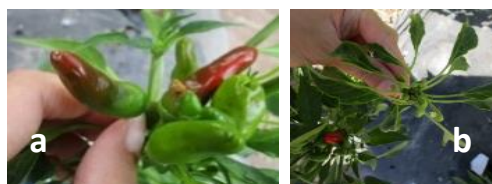


Figura 3.8 Sintomas de doença nas plantas A51 (a) e B51 (b). Fotos da autora (03/09/2016)

3.4.7 Rega

A rega foi conduzida de forma manual com dotação equitativa em todas as plantas recorrendo a uma proveta. A água usada teve proveniência de um furo sendo a sua origem as Minas de água da Tapada da Ajuda (Figura 3.9), tendo esta sido analisada do ponto de vista químico. Os resultados são apresentados no Quadro 3.4. A qualidade da água mostrou ser suficientemente adequada para ser utilizada na rega da cultura.

Quadro 3.4 Qualidade da água de rega

Parâmetro*	Resultado	Observações
pH	7,40	Sem restrições (Grau 1)
Condutividade elétrica (mS/cm)	0,99	Restrições ligeiras (Grau 2)
Cloretos (mg/L)	85,10	Sem restrições (Grau 1)
Bicarbonatos (mg/L)	364	Restrições ligeiras a moderadas (Grau 2)
Carbonatos (mg/L)	< 0,30	Não detectado
Sódio (mg/L)	38,70	Sem restrições (Grau 1)
Cálcio (mg/L)	112,30	-
Magnésio (mg/L)	57,20	-
Dureza total (mg/L)	515,96	-

*De acordo com os métodos analíticos em uso no Laboratório de Química do ISA



Figura 3.9 Origem da água usada na rega. Foto da autora (06/02/2017)

As necessidades de rega foram acompanhadas pelo site www.field.climate.org onde a informação relativa à humidade do solo foi transmitida. A observação visual do estado das plantas e a informação transmitida pelas previsões meteorológicas também foram tidas em

conta no critério de decisão de rega. Foram efetuadas um total de 129 regas com as dotações totais mensais apresentadas no Quadro 3.5. O volume total de água aplicado foi de 1,658 m³, o que corresponde a 296,07 mm.

Quadro 3.5 Datas e dotações (mL) das regas aplicadas à cultura no ensaio experimental

Data	Dotação (mL)
2 junho 2016- 30 junho 2016	176.000
1 julho 2016-31 julho 2016	388.000
1 agosto 2016-31 agosto 2016	552.000
1 setembro 2016-30 setembro 2016	410.000
1 outubro 2016-31 outubro 2016	126.000
1 novembro 2016-10 novembro 2016	6.000

3.4.8 Colheita e Pós-colheita

A colheita dos frutos nas plantas de cada talhão foi realizada manualmente, de forma escalonada, assim que os frutos atingiam a maturação adequada e a produtividade e as dimensões dos frutos foram posteriormente determinadas.

A colheita efetuou-se uma vez por semana a partir do dia 2 de setembro até ao dia 17 de novembro de 2016.

No dia 6 de dezembro de 2016 as sondas foram retiradas do solo e deu-se início ao destroçamento das plantas bem como à sua incorporação no solo juntamente com os resíduos do Agrobiofilm® (Figura 3.10). A mobilização do solo realizou-se uma vez por semana a partir desta altura até ao dia 10 janeiro 2017, para acelerar o processo de biodegradação do Agrobiofilm® no solo.



Figura 3.10 Talhões antes (a) e depois (b) da incorporação no solo dos resíduos vegetais e dos resíduos do Agrobiofilm®. Fotos da autora (06/12/2016)

3.4.9 Monitorização da temperatura e humidade do solo

A medição simultânea da temperatura e da humidade do solo foi realizada com recurso a 8 sondas Decagon 5TE e 5TM (Figura 3.11a e 3.11b), distribuídas aleatoriamente na parcela e instaladas a uma profundidade de 10 cm, cada uma próxima das raízes de um pimenteiro. No entanto, devido a falha técnica, as sondas all e bIII foram descartadas deste estudo.

Os valores de humidade e de temperatura instantâneos medidos nos sensores foram armazenados num *datalogger* programado para fazer o registo dos dados em intervalos sucessivos de 5 minutos com a ajuda de um sistema de aquisição de dados (Figura 3.11c) da marca Pessl Instruments ® equipado com um painel fotovoltaico para fornecimento de energia. Estes dados foram posteriormente extraídos e compilados a partir do site www.fieldclimate.com, apresentando-se no Anexo C.



Figura 3.11 Pormenor da sonda Decagon 5TE (a), 5 TM (b) e sistema de aquisição de dados (c). Fotos da autora (06/12/2016)

No Quadro 3.6 apresenta-se sucintamente a cronologia das atividades desenvolvidas durante o ensaio experimental.

Quadro 3.6 Cronologia das atividades desenvolvidas durante o ensaio de campo

Data	Atividades
28/05/2016	Armação do terreno em camalhões
31/05/2016	Adubação de fundo e cobertura do solo com Agrobiofilm ®
02/06/2016	Transplantação das plantas para o ensaio de campo
06/06/2016	Instalação das sondas no solo
02/09/2016 a 17/11/2016	Período de colheita
	Remoção das sondas do solo
06/12/2016	Destroçamento das plantas Incorporação dos resíduos da cultura e do Agrobiofilm ® no solo

3.4.10 Resistência do Agrobiofilm®

Ao longo do ciclo cultural monitorizou-se visualmente a resistência física e mecânica do Agrobiofilm® de modo a conhecer a sua capacidade em resistir às intempéries o que possibilita à cultura desenvolver-se de forma satisfatória. A degradação da parte exposta do Agrobiofilm® foi avaliada de acordo com uma escala visual quantitativa variando de 0 a 5 (Warner & Zandstra, 2004).

0 - solo 100% coberto (FCB sem fendas);

1 - quase 100% solo coberto (pequenos furos à superfície do FCB);

2 - >90% de solo coberto (FCB com um ou mais rasgos com mais de 30 cm);

3 - 75 a 90% de solo coberto (múltiplos furos e rasgos no FCB);

4 - 50 a 75% de solo coberto (múltiplos furos e rasgos no FCB);

5 - < 50% de solo coberto (FCB muito degradado).

Como este se tratou de um dado visual, não foi realizada análise estatística.

3.4.11 Dimensões e Produtividade dos frutos

93 dias após a instalação da cultura na parcela, deu-se início à colheita dos pimentos picantes, que se realizou uma vez por semana, tendo cada um dos frutos sido colhido manualmente e colocado dentro de um saco de plástico, devidamente identificado com o código da planta originária e a respetiva data de recolha.

No laboratório, em cada pimento colhido mediu-se o comprimento, desde o ápice até ao cálice e o diâmetro na zona mais larga do fruto, recorrendo a um paquímetro digital da marca Powerfix, modelo Profi. Efetuou-se ainda a determinação do peso fresco dos frutos, imediatamente após a sua colheita, recorrendo a uma balança de precisão da marca Kern® modelo 440-45 com aproximação à décima, de modo a estimar a produtividade. Por sua vez, o calibre médio dos frutos foi obtido a partir da média aritmética do calibre individual (diâmetro) de cada fruto, por planta e o mesmo procedimento foi efetuado na determinação do comprimento.

3.5 Ensaio de biodegradação

O ensaio de biodegradação foi realizado para ser possível prever de que modo se desenrola e qual a extensão da biodegradação do FCB, nas condições reais de campo e também para que esta experiência possa facilmente ser replicada.

A norma DIN EN ISO 17556 foi a metodologia utilizada neste ensaio experimental, tendo esta sido idealizada para estimar a taxa de biodegradação de um material plástico num solo de teste, através do controlo da humidade do solo e para determinar a sua biodegradabilidade aeróbia final no solo através de um teste respirométrico que consistiu na medição da quantidade de dióxido de carbono libertado (ISO 17556:2003).

3.5.1 Cálculo da percentagem de biodegradação a partir do CO₂ libertado

- I. Quantidade teórica de dióxido de carbono libertado (ThCO₂) pelo material de teste:
O ThCO₂ é determinado relacionando a massa do material de teste (m) com a quantidade de carbono presente na sua composição química (wc) e com a massa molecular do dióxido de carbono e a massa atómica do carbono, como expresso na equação 3.1.

$$\text{ThCO}_2 = m \times wc \times 44/12 \quad (\text{Equação 3.1})$$

- II. Percentagem de biodegradação (D_t):
Para o cálculo da D_t num determinado intervalo de tempo, são necessárias: a quantidade acumulada de CO₂ libertado pelo solo misturado com o material de teste ou com o material de referência ($\sum m_T$), a quantidade acumulada de CO₂ emitido apenas pelo solo ($\sum m_B$) e o valor de ThCO₂ do filme biodegradável e da celulose, como expresso na equação 3.2.

$$D_t = m \frac{\sum m_T - \sum m_B}{\text{ThCO}_2} \times 100 \quad (\text{Equação 3.2})$$

3.5.2 Preparação do material em teste

O material de teste a utilizar deve ser de massa conhecida e existir em quantidade suficiente, no que diz respeito ao seu conteúdo em carbono, para que o CO₂ produzido seja medido adequadamente pelo equipamento analítico selecionado e para compensar as variações do consumo de oxigénio ou do dióxido de carbono libertado pela biomassa microbiana presente

no solo (ISO 17556:2003). Assim sendo, seguindo a proporção recomendada pela norma, decidiu-se que seria utilizada a proporção de 1000 mg plástico /1000 g solo.

O material de teste correspondeu ao Agrobiofilm®, do mesmo lote do utilizado no ensaio de campo, ao qual foi atribuído a designação MB (Figura 3.12a). Este foi cortado em fragmentos inferiores a 5 mm x 5 mm (Figura 3.12b), o mais homogêneos possível pois foi observado em experiências anteriores que a velocidade da biodegradação depende da forma e tamanho do material de teste, o que demonstra a importância dos fragmentos apresentarem dimensões e formas similares. Em contraste, a biodegradação deste no solo é considerada como independente da forma e tamanho do material em teste (ISO 17556:2003).

Por último, procedeu-se à pesagem de 1 g de fragmentos de MB numa balança analítica da marca METTLER® do modelo AE 200 com valor arredondado para as 4 casas decimais.

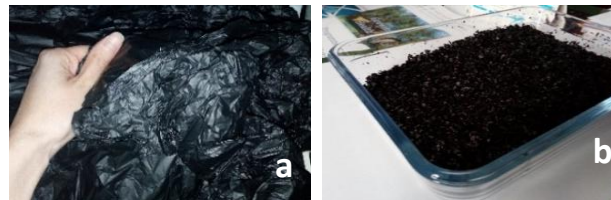


Figura 3.12 Aspeto do MB intacto (a) e MB em pequenos fragmentos (b). Fotos da autora (01/12/2016)

3.5.3 Preparação do material de referência

Um papel de filtro à base de celulose sem cinzas em forma de disco da marca Whatman® da classe 541 com diâmetro de 150 mm foi o material de referência escolhido e que serviu como controlo positivo durante o ensaio e ao qual foi atribuído o nome celulose (controlo positivo).

O material de referência foi preparado de forma idêntica ao material de teste tendo sido adicionado ao solo na mesma proporção de 1:1000.

3.5.4 Preparação do solo

Amostras de solo foram recolhidas de forma aleatória antes de se iniciar o ensaio de campo, tendo estas sido secas ao ar e crivadas num crivo com malha de 2 mm de diâmetro de modo a remover as pedras, material vegetal e outros inertes (ISO 17556:2003).

No dia 13 de dezembro de 2016, procedeu-se ao ajustamento do teor de água, como recomendado pela norma, adicionando-se um volume de água suficiente para o solo atingir os 60% de capacidade de campo, tendo sido este volume estimado a partir da humidade residual e da capacidade de retenção de água do solo. Simultaneamente, misturou-se o solo

vigorosamente de modo a torná-lo o mais homogêneo possível (Figura 3.13). Relativamente ao pH do solo, este situava-se no intervalo recomendado pela norma (6-8) pelo que não foi necessário ajustá-lo. O cumprimento destes requisitos permite assegurar a obtenção de uma taxa de biodegradação ótima durante a realização do ensaio de incubação (Briassoulis & Dejean, 2010). Finalmente, numa balança eletrónica da marca Shimadzu® com modelo BL-2200H com aproximação ao centígrama, foram pesadas 9 amostras de solo com 1000 g cada.



Figura 3.13 Homogeneização do solo após adição de água. Foto da autora (13/12/2016)

3.5.5 Montagem e início do ensaio de biodegradação

Os frascos de vidro selecionados para o ensaio e seus assessórios foram lavados e limpos antecipadamente. O ensaio de biodegradação teve uma duração de cerca de 6,24 meses, iniciando-se no dia 13 de dezembro de 2016 e deu-se por terminado a 20 de junho de 2017.

Em cada frasco (1 a 9), com capacidade de 1000 mL cada, adicionaram-se 1000 g do solo e aleatoriamente selecionaram-se 3 frascos para servirem de controlo positivo, 3 reservados para o material de teste e outros 3 apenas contendo o solo. O Quadro 3.7 apresenta as modalidades usadas no ensaio de biodegradação.

Quadro 3.7 Distribuição das modalidades do ensaio de biodegradação pelos frascos de teste

Frasco	Descrição	Conteúdo
1	Branco	Solo
2	Teste	Solo + MB
3	Branco	Solo
4	Controlo Positivo	Solo + Celulose
5	Teste	Solo+ MB
6	Controlo Positivo	Solo + Celulose
7	Branco	Solo
8	Controlo Positivo	Solo + Celulose
9	Teste	Solo + MB

3.5.6 Condições do ensaio

A norma DIN EN ISO 17556 estipula que a incubação do material em teste deve ser conduzida no escuro ou sob luz difusa num equipamento livre de vapores que sejam tóxicos para os microrganismos e com temperaturas mantidas constantes $\pm 1^{\circ}\text{C}$, de preferência entre os 20°C e os 25°C (ISO 17556:2003).

A incubação foi realizada num equipamento denominado UMIC Lab (Figura 3.14) que compreende uma estufa com controlo de temperatura (mantida a $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) onde foram colocados 9 frascos de ensaio estanques contendo amostras de solo misturado com celulose (controlo positivo), ou misturado com MB (material de teste) e os restantes apenas com amostras de solo (branco), todos em triplicado. Cada um dos frascos incluía um difusor de ar (Figura 3.15), com a taxa de fluxo do ar regulado a 150 mL/min , de modo a distribuir ar húmido pelo solo evitando deste modo a sua dessecação, mantendo o meio favorável à atividade microbiana. Cada difusor de ar estava conectado, por um tubo impermeável, a um frasco com água desionizada, servindo como humidificador do ar que circula para os frascos de ensaio a fluxo constante. O ar era transmitido aos difusores através de compressores de ar com potência de $1,5\text{ kW}$ que se apresentam na Figura 3.16. Por seu lado, o CO_2 libertado no interior dos frascos era recolhido por outro tubo também impermeável ligado a um analisador de gases onde o dióxido de carbono emitido foi quantificado (Figura 3.14)

O UMIC Lab possui um sistema que ao longo do ensaio monitoriza em tempo real a concentração de CO_2 emitido (ppm) em cada frasco, em simultâneo com a temperatura ($^{\circ}\text{C}$), a humidade relativa (%), a concentração de oxigénio no meio (%), bem como o fluxo de ar que atravessa o solo (mL/min), através de sensores que realizam medições bastante precisas. Os resultados destas medições são armazenados automaticamente no software do equipamento e podem posteriormente ser exportados para uma folha de cálculo (Figura 3.17).

A norma ISO 17556 não estipula um limiar para a taxa de biodegradação, no entanto esta estabelece que o teste respirométrico se dá por terminado quando a biodegradação estabiliza ou quando o ensaio atinge os 183 dias, o correspondente a 6 meses (ISO 17556:2003). Contudo, este período pode ser alargado até 1 ano no caso de culturas de ciclo curto (hortícolas) e dois anos no caso de o filme de cobertura de solo ser destinado a resistir durante mais tempo (culturas perenes). Sublinha-se, que para os resultados do teste respirométrico serem considerados válidos, o grau de biodegradação do material de referência (celulose) deve ultrapassar os 60% durante a fase estacionária ou no fim do teste (Agrobiofilm, 2013).



Figura 3.14 Perspectiva do ensaio de incubação. Foto da autora (13/12/2016)



Figura 3.15 Difusor de ar. Foto da autora (13/12/2016)



Figura 3.16 Compressores de ar. Foto da autora (13/12/2016)

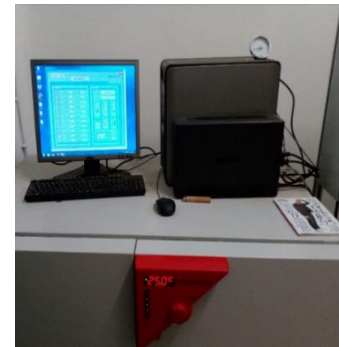


Figura 3.17 Software de aquisição de dados. Foto da autora (13/12/2016)

3.6 Tratamento estatístico

A avaliação da correlação de caracteres relacionados com a produção de pimento foi realizada através da estimativa do coeficiente de correlação de Pearson, utilizando-se o programa Statgraphics, versão 5.1.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo reportam-se os resultados obtidos no ensaio de biodegradação em ambiente controlado e os referentes ao ensaio experimental conduzido ao ar livre.

4.1 Resultados da biodegradação

No decorrer do ensaio de incubação, conduzido a temperatura constante de 25 °C e em condições aeróbias, a quantidade de CO₂ libertada em cada frasco foi medida diretamente por um sistema de software onde os resultados obtidos foram acumulados ao longo do tempo estando estes valores representados no Anexo D. Acompanhando a evolução do CO₂ libertado ao longo do tempo, no decorrer do teste respirométrico, foi possível posteriormente quantificar a biodegradação final (mineralização) do material plástico.

A cinética da biodegradação atingida pela celulose (Cel) e pelo filme biodegradável (MB) foi calculada com base na norma DIN EN ISO 17556 e está ilustrada na Figura 4.1 e os seus resultados no Quadro 4.1.

4.1.1 Problemas identificados durante o ensaio de incubação

No frasco 5 contendo o material de teste MB, a incubação não decorreu como previsto, pelo que foi descartado do ensaio. Isto porque desde o início do teste que a respiração biológica aeróbia neste frasco foi sempre inferior à respiração de referência do ensaio em branco (contendo apenas o solo). Durante o ensaio, todos os frascos em teste estiveram sujeitos às mesmas condições de arejamento, humidade e temperatura, parâmetros monitorizados em contínuo pelo UMIC Lab, pelo que uma possível contaminação externa de origem indeterminada pode ter sido a causa para este problema.

O frasco 4 contendo celulose foi também descartado deste estudo pelo facto de no fim do ensaio apresentar um desvio de $\pm 34,65\%$ em relação ao valor médio de biodegradação da celulose aos 190 dias de incubação, não cumprindo por isso os critérios estipulados pela norma DIN EN ISO 17556 no que diz respeito ao controlo positivo já que neste caso a biodegradação foi inferior a 60% ($\approx 35\%$ aos 190 dias).

O frasco 7 (branco) foi também descartado pelo facto de produzir maior quantidade de CO₂ do que os frascos que corresponderam ao controlo positivo (Cel+Solo). Assim sendo, para o cálculo da percentagem de biodegradação aeróbia final do filme biodegradável no solo, consideraram-se apenas 2 repetições em cada modalidade (ensaio em branco, controlo positivo e material de teste MB).

4.1.2 Discussão dos resultados

Após 35 dias de incubação, sob condições controladas, o MB no frasco 9 atingiu um os 25% de biodegradação, chegando a um patamar, e a partir deste momento, a biodegradação passou a decorrer a uma cinética mais lenta, com uma constante de velocidade menor, como se pode constatar na Figura 4.1. Para além disso, do 36^o até ao 185^o dia de incubação, o material MB presente no frasco 9 contribuiu de forma residual ou mesmo nula, na produção de CO₂, como se pode verificar na Figura 4.2. Contudo, verificou-se que a partir do 186^o dia a respiração microbiana aumentou consideravelmente a sua atividade, conduzindo a uma subida na taxa de biodegradação quer no controlo positivo quer nos frascos contendo MB, pelo que a extensão do teste respirométrico por um período de tempo mais longo ajudaria a compreender melhor as alterações na cinética de biodegradação.

Por sua vez, no frasco 2 a biodegradação do material de teste MB decorreu inicialmente a uma cinética mais lenta do que no frasco 9, registando menos de metade (10,07%) da biodegradação atingida no frasco 9 ao fim de 35 dias, apresentando a sua curva de biodegradação uma tendência similar à verificada noutros estudos de biodegradação semelhantes (Barragán *et al.*, 2010; Saraiva *et al.*, 2012, Costa *et al.*, 2014; Dias, 2015).

Através da análise dos resultados, verifica-se que os 190 dias de incubação não foram suficientes para degradar completamente o MB, no fim deste período, o MB apresentou 34,37 % de biodegradação no frasco 2 e 28,78% no frasco 9. Estes resultados revelaram ser superiores aos registados por Dias (2015), num teste respirométrico conduzido com um solo também pobre em matéria orgânica (MO) (1,09%) e com pH alcalino, utilizando um filme biodegradável de maior espessura (15 µm) do que o utilizado no presente estudo (12 µm) mas de mesma formulação. A maior espessura do material e o facto de este ter sofrido um desgaste prévio no terreno, fruto da exposição à fotodegradação, durante um ciclo cultural, poderá justificar o menor valor de biodegradação registado por Dias (2015) comparando com os obtidos neste trabalho. Assim sendo, é possível afirmar que estes resultados são coerentes com os obtidos por Dias (2015) ao fim de 190 dias de incubação.

Os vários estudos de biodegradação no solo realizados com filme biodegradável à base de Mater-Bi® (Barragán *et al.*, 2010; Saraiva *et al.*, 2012; Costa *et al.*, 2014; Dias, 2015), parecem sugerir que o conteúdo em MO tem uma grande influência na capacidade do solo em promover a biodegradação deste tipo de material quando enterrado, no entanto verificou-se que os resultados do presente trabalho foram superiores aos obtidos por Barragán *et al.* (2010) ao fim de 90 dias, apesar do teor mais elevado de matéria orgânica (3,8%) registada

o que indica que a biodegradação não depende apenas da quantidade de MO presente no solo.

Sabe-se que inúmeros fatores bióticos e abióticos regulam a atividade microbiana do solo (Han *et al.*, 2007) e que esta pode responder de modo distinto de acordo com a disponibilidade de nutrientes, a humidade, a temperatura e as características edáficas particulares dos solos em teste (Ferreira *et al.*, 2013; Dias, 2015). O fato de as amostras de solo terem sido retiradas de uma parcela onde não se verificou intensa atividade agrícola, ao contrário do que sucedeu nos estudos de biodegradação realizados por Barragán *et al.* (2010) e Dias (2015), poderá ajudar a explicar a diferença entre estes resultados e os obtidos neste estudo, já que se demonstrou que em solos com agricultura intensiva se observa um declínio na biodiversidade do solo principalmente devido ao *input* de agroquímicos que também podem ter um efeito inibitório na atividade microbiana (Hussain *et al.*, 2009; Liiri *et al.*, 2012), o que pode explicar a menor taxa de biodegradação aeróbia obtida nesses casos.

No entanto, mesmo em condições muito adversas como solos pobres em MO (1,35%), com baixa biomassa microbiana e com pH de 8,6, Touchaleaume *et al.* (2016), numa vinha em clima mediterrânico, mostraram ser possível a biodegradação de um filme biodegradável à base de Mater-Bi®, tendo sido estimado que 2 anos seriam suficientes para este atingir uma taxa de biodegradação no solo próxima dos 90%.

Os resultados obtidos confirmam assim a existência de uma população de microrganismos no solo capaz de alcançar um nível aceitável de biodegradação do Agrobiofilm®, pelo que este pode ser incorporado no solo juntamente com os resíduos da cultura (Agrobiofilm, 2013).

Quadro 4.1 Resultado da % de Biodegradação, média (M) e desvio padrão amostral (Dp) da celulose (Cel) e do filme biodegradável (MB) após 35 dias e 190 dias

Tipo de material	Fracos de incubação	% Biodegradação					
		35 dias	M	Dp	190 dias	M	Dp
Cel	Cel 6	57,90	54,90	±4,25	92,06	83,86	±11,60
	Cel 8	51,89			75,66		
MB	MB 2	10,07	17,53	±10,56	34,37	31,58	±3,96
	MB 9	25,00			28,78		

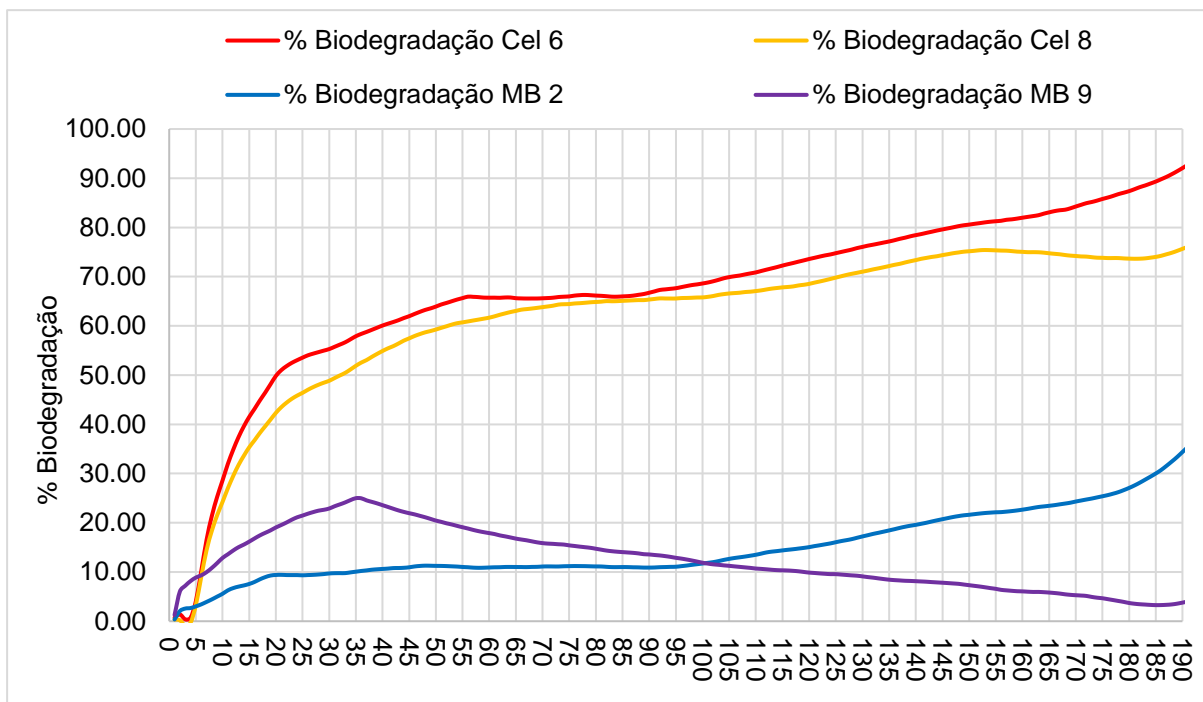


Figura 4.1 Evolução da percentagem de biodegradação da celulose (Cel) e do filme biodegradável (MB) durante 190 dias de incubação

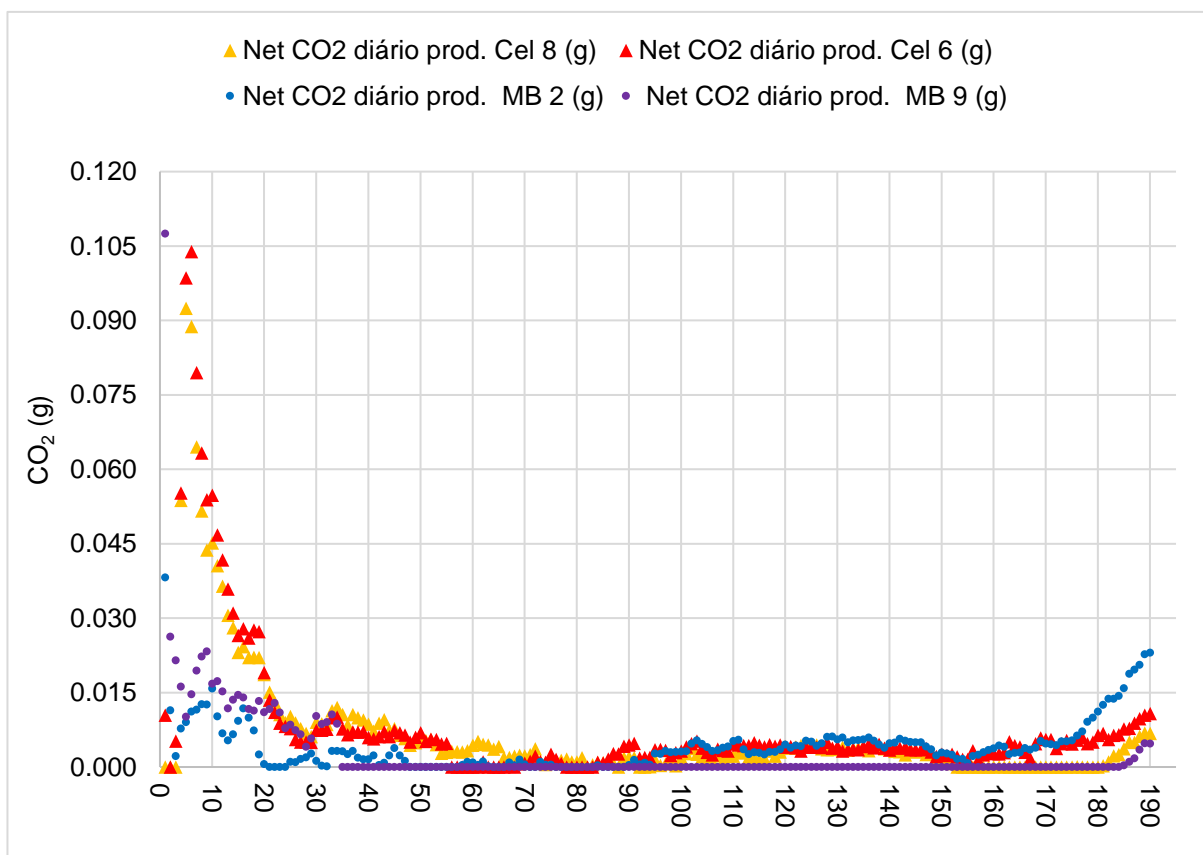


Figura 4.2 CO₂ libertado pela celulose (Cel) e pelo filme durante 190 dias biodegradável (MB)

4.2 Resistência física e mecânica do Agrobiofilm®

4.2.1 Controle de infestantes

Antes da instalação da cultura, como referido anteriormente, a parcela foi sachada manualmente, realizando-se posteriormente uma falsa sementeira como medida preventiva de modo a minorar a proliferação de infestantes. A cobertura de solo com o Agrobiofilm® mostrou ser eficaz na supressão da emergência de infestantes durante o ciclo produtivo da cultura corroborando o observado por Weber (2003), Cordeiro (2011), Cirujeda *et al.* (2012) e Coutinho (2016) com filmes biodegradáveis à base de Mater-Bi®. Não foi necessário recorrer ao uso de herbicidas para o controle de infestantes, quer antes quer depois da plantação o que se torna especialmente vantajoso em modo de produção biológico onde a proliferação de infestantes constitui um grande constrangimento (Rodriguez *et al.* 2009).

A única exceção verificou-se com as sementes de palmeira (*Phoenix spp.*) em que as plântulas mostraram ser capazes de furar o Agrobiofilm® em alguns casos pontuais.

4.2.2. Primeiros indícios de degradação

A 10 de agosto de 2016 no talhão A surgiu o primeiro sinal de degradação, mas só a 21 agosto é que o Agrobiofilm® aplicado no talhão C começou a apresentar rasgões cujo foco de origem foi o orifício da plantação onde foi instalada a sonda bIII, operação que poderá ter fragilizado o material nesta zona. No talhão B, a 24 de agosto surgiu um corte diagonal na superfície do Agrobiofilm® e pequenos cortes laterais na extremidade esquerda deste talhão. A 30 de agosto, o talhão D mostrou pela primeira vez evidências de degradação física na sua extremidade inferior (Anexo A).

4.2.3 Durabilidade e resistência nas condições reais de campo

A resistência mecânica do Agrobiofilm®, avaliada visualmente, mostrou ser adequada e perdurou durante um período suficiente para permitir o normal desenvolvimento da cultura. A perda de integridade do Agrobiofilm® após 3 meses no terreno, revelou ser mais tardia do que a reportada por Bilck *et al.* (2010) numa cultura de morango conduzida de maio a julho, em que o filme biodegradável com 22 µm começou a apresentar danos ao fim de um mês e o mesmo observaram López *et al.* (2007) na produção de melão com um filme biodegradável transparente de 15 µm. A preservação mais prolongada do filme biodegradável à superfície do solo neste estudo poderá ser justificada pela presença de uma vedação arbustiva que terá conferido uma maior proteção contra os elementos, mas também pelo ensombramento causado pela folhagem das árvores presentes nas proximidades (*Cupressus spp.* e *Phoenix*

spp.), o que poderá ter reduzido o efeito da radiação solar na degradação inicial do Agrobiofilm® (Scarascia-Mugnozza *et al.* 2006; Briassoulis, 2007).

Após 91 dias da aplicação, com 29.037 W/m² de radiação acumulada (Figura 4.3), a degradação do Agrobiofilm® passou a ser considerável em todos os talhões, situação aliás desejada para facilitar a sua biodegradação quando incorporado no solo. A evolução da degradação do Agrobiofilm® durante o ensaio experimental é apresentada em sequência no Anexo A.

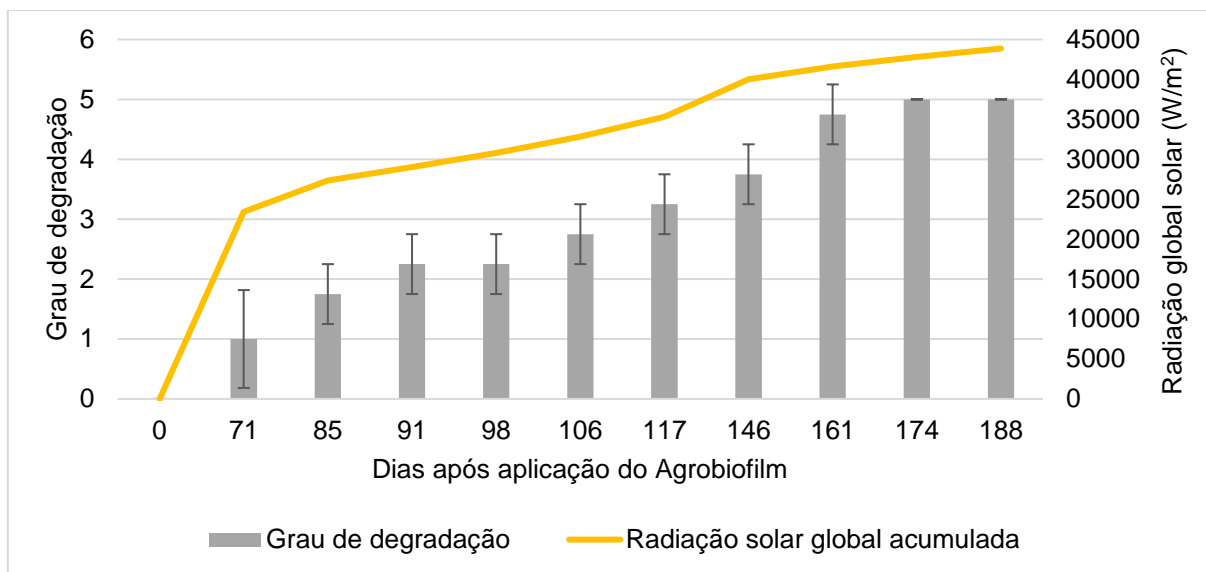


Figura 4.3 Efeito da radiação solar acumulada no período em que se observou a degradação da superfície do filme biodegradável testado

4.3 Parâmetros meteorológicos

4.3.1 Temperatura do ar e precipitação

Observa-se na Figura 4.4 que a fase mais importante do desenvolvimento da cultura decorreu num período em que as temperaturas médias diárias se situaram num intervalo de temperatura favorável à floração e à frutificação. Em outubro começou a verificar-se um pequeno desvio desta faixa de temperatura, no entanto no fim deste mês, a temperatura média do ar sofreu um aumento por efeito da subida da temperatura média máxima que no mês de outubro foi 1,7 °C superior à normal. Isto possivelmente reduziu o impacto da precipitação que se registou com maior intensidade neste período, possibilitando deste modo a maturação dos últimos frutos, colhidos a 17 de novembro.

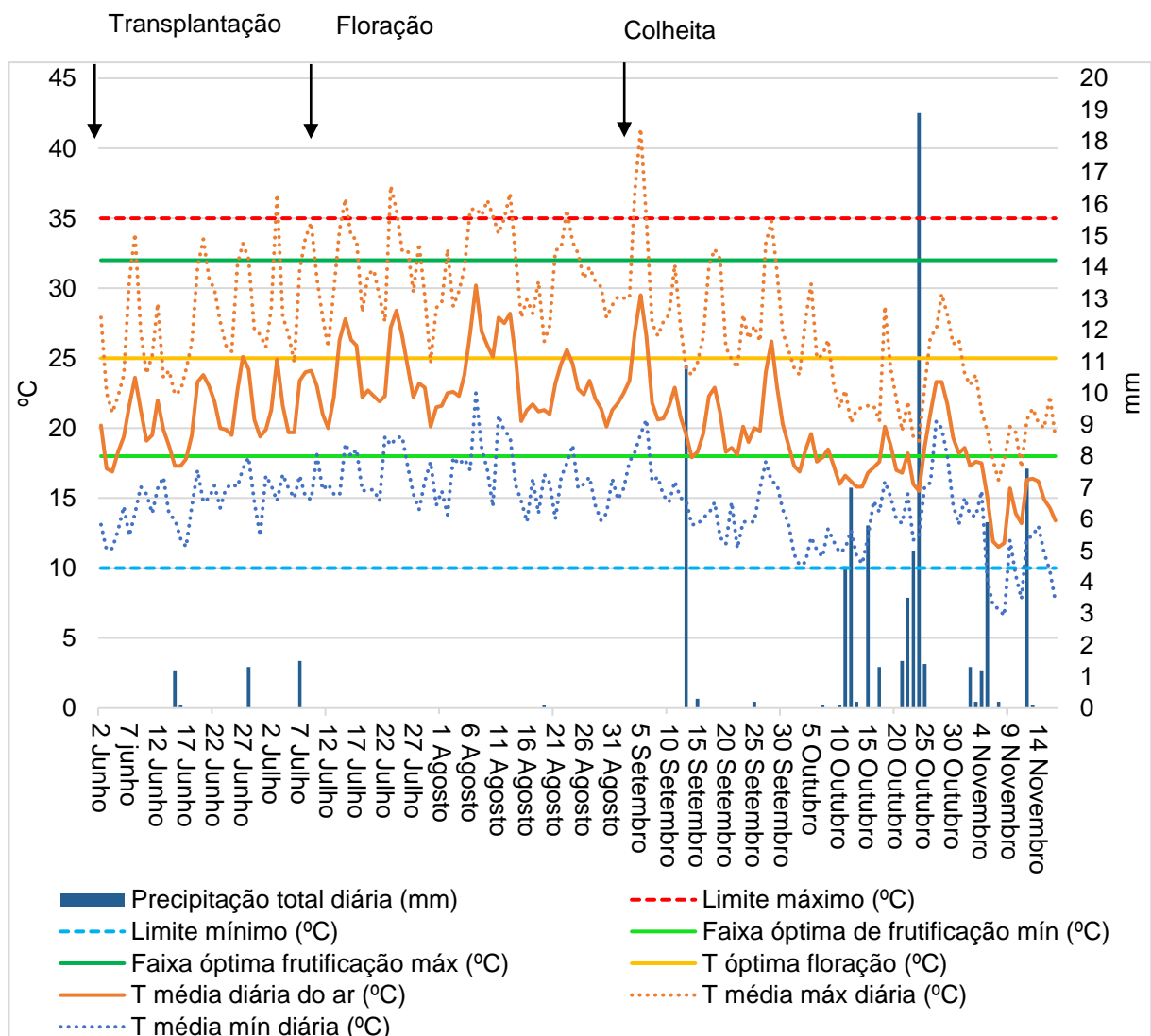


Figura 4.4 Temperaturas médias do ar (°C), intervalo de temperaturas ótimas para a cultura (°C) e precipitação (mm) durante o ciclo cultural

4.3.2 Temperatura do solo

O gráfico apresentado na Figura 4.5. e os Quadros 4.2 e 4.3 mostram que até ao início da fase de colheita, no geral, a temperatura média do solo manteve-se na faixa que possibilita um aumento na produtividade da cultura de acordo com Díaz-Pérez (2010) e naquela que promove o desenvolvimento da raiz, o que por sua vez tem influência no crescimento e na fertilidade das plantas (FAO, 1990).

Geralmente, é esperada uma maior subida da temperatura do solo na cobertura de solo com filme plástico à base de PE do que no caso do filme biodegradável (Cordeiro, 2011; Saraiva, 2012; Barata, 2014; Dias, 2015) o que pode ser explicado pela maior permeabilidade deste último (Chandra & Rustgi, 1998; Weber, 2003) que permite uma maior permuta gasosa com o ar atmosférico, o que vai aumentando com a sua degradação progressiva (Moreno & Moreno, 2008). Este fato é particularmente importante para esta cultura que tem uma elevada exigência térmica (Bosland & Votava, 2000). Neste caso, a cobertura do solo com o Agrobiofilm® permitiu manter uma temperatura média do solo suficiente para satisfazer as necessidades da cultura em termos da sua exigência térmica, pelo que foi possível estender a colheita até 17 de novembro.

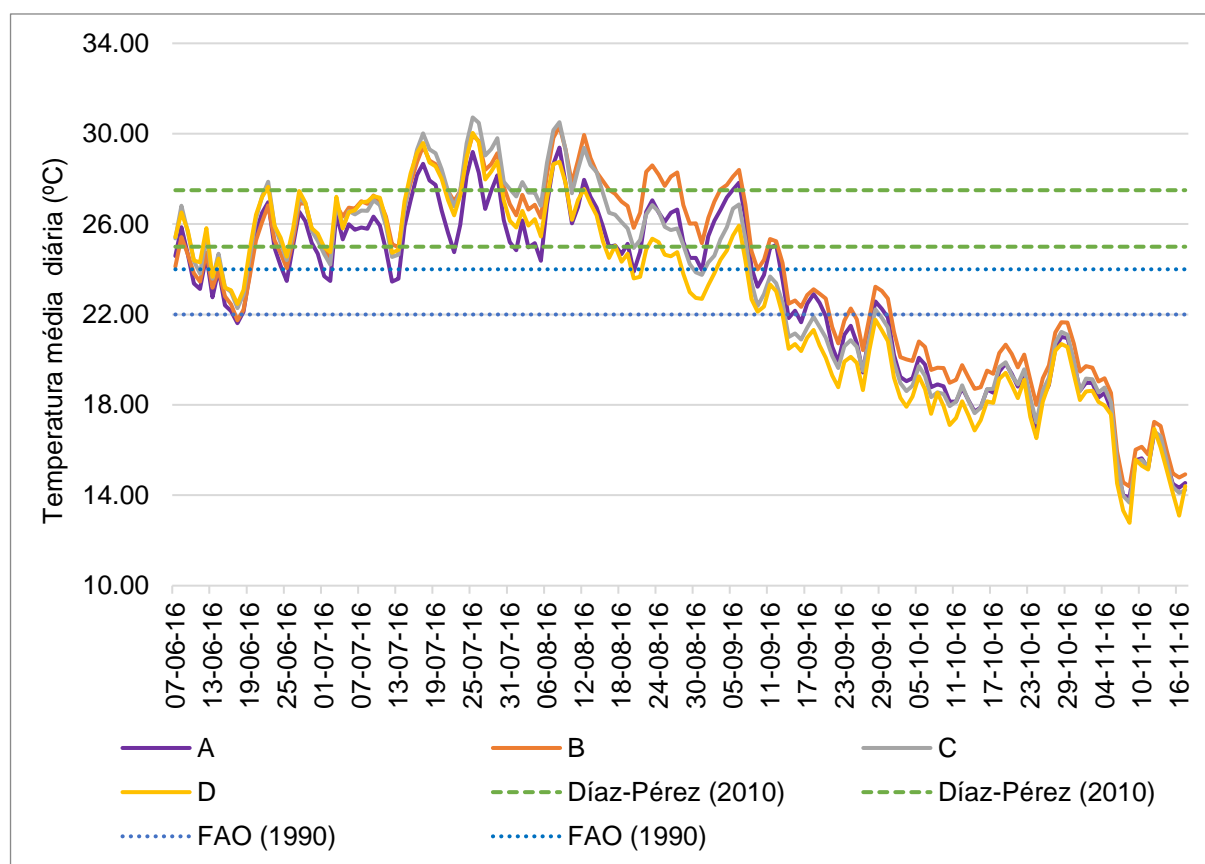


Figura 4.5 Evolução da temperatura média do solo (°C) a 10 cm de profundidade em cada talhão

Quadro 4.2 Valores médios mensais (M) da temperatura do solo (°C), registados pelas sondas nos 4 camalhões, a 10 cm de profundidade e respetivo desvio padrão amostral (Dp)

Camalhão	A		B		C		D	
Meses	M	Dp	M	Dp	M	Dp	M	Dp
Junho	24,35	1,51	24,53	1,46	25,13	1,51	25,24	1,46
Julho	26,27	1,57	27,42	1,43	27,54	1,81	27,32	1,47
Agosto	25,96	1,37	27,65	1,28	26,90	1,73	25,46	1,62
Setembro	23,27	2,34	23,94	2,29	22,46	2,06	21,77	1,98
Outubro	19,04	0,94	19,89	0,87	19,00	0,95	18,44	1,03
Novembro	16,13	1,78	16,70	1,86	16,17	1,93	15,73	1,95

Quadro 4.3 Valores mensais da temperatura máxima (Max) e mínima (Min) do solo (°C), registado pelas sondas nos 4 talhões, a 10 cm de profundidade

Camalhão	A		B		C		D	
Meses	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Junho	26,98	21,62	26,93	21,74	27,87	22,28	27,65	22,47
Julho	29,20	23,46	29,94	24,50	30,72	24,20	30,04	24,73
Agosto	29,39	23,90	30,33	25,15	30,51	23,75	28,75	22,70
Setembro	27,84	19,44	28,40	20,42	26,87	19,50	25,94	18,65
Outubro	21,01	16,98	21,65	18,00	21,23	17,22	20,70	16,54
Novembro	18,98	13,92	19,72	14,39	19,16	13,67	18,63	12,78

4.3.3 Humidade do solo

A observação da Figura 4.6 e dos Quadros 4.4 e 4.5 permite constatar a existência de uma maior dispersão dos dados do teor de humidade do solo nos meses de junho e julho, mas esta tendência inverteu-se a partir de setembro, altura a partir da qual se verificou uma maior homogeneidade dos valores do teor de humidade do solo nos diferentes talhões.

As irregularidades na edificação manual dos 4 talhões na parcela poderão ter resultado em camalhões com profundidades não uniformes o que poderá explicar a discrepância nos valores de humidade no solo. Para além disso, a ligeira inclinação do terreno poderá ter promovido transferências de água entre talhões, particularmente entre o talhão A e B e B e C, durante os eventos pluviométricos. Inclusivamente, a presença de um *Cupressus* spp. junto ao ensaio experimental poderá ter influenciado a distribuição da precipitação na parcela quando esta ocorreu. A escorrência de água pelos ramos da árvore poderá ter sido intercetada maioritariamente pelo talhão B que por seu lado, devido ao pequeno desnível do terreno, realizou transferências para o talhão C. Em contraste, o talhão A esteve mais abrigado da

chuva com a copa da árvore a interceptar parte da precipitação. O talhão D foi a única fração da parcela suficientemente afastado da área de influência da copa da árvore.

A observação da Figura 4.6, permite constatar a influência da precipitação no teor de humidade no solo, o que poderá dever-se ao fato do Agrobiofilm® possibilitar a passagem de água devido à permeabilidade que o caracteriza (Chandra & Rustgi, 1998; Weber, 2003, Bilck *et al.*, 2010; Barata, 2014; Dias, 2015; Touchaleaume *et al.*, 2016).

Sublinha-se que as sondas utilizadas para medir a humidade e temperatura do solo têm uma precisão de $\pm 3\%$ e $\pm 1^\circ \text{C}$, respetivamente, o que atenua as diferenças entre os resultados obtidos nos diferentes talhões.

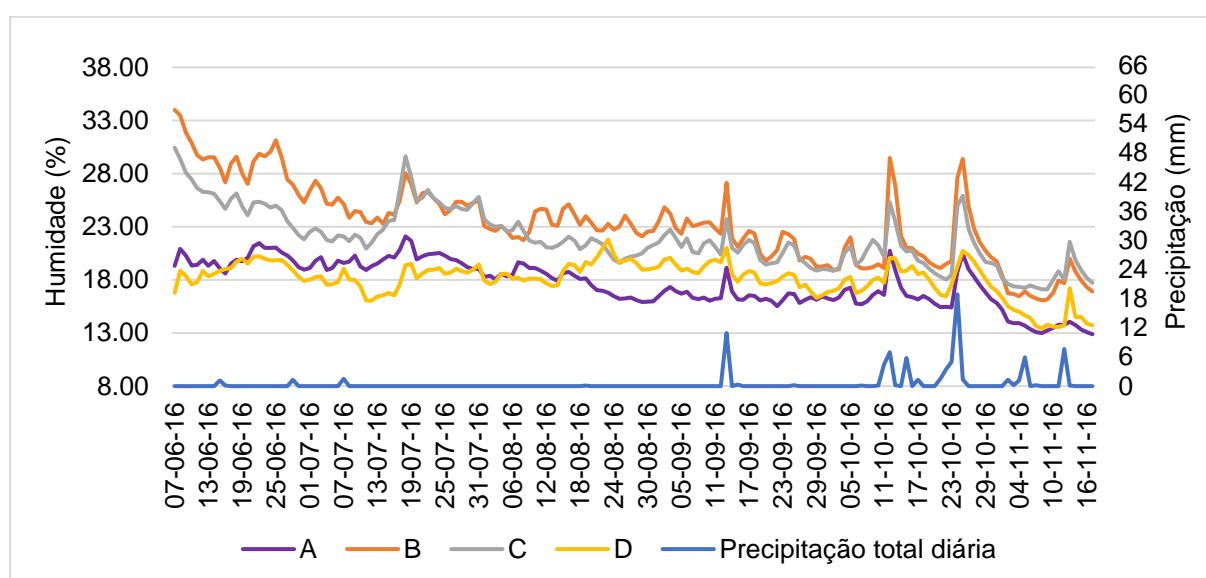


Figura 4.6 Influência da precipitação acumulada diariamente (mm), na evolução da humidade média do solo (%) a 10 cm de profundidade em cada talhão

Quadro 4.4 Valores médios mensais (M) do teor de humidade do solo (%), registados pelas sondas nos 4 camalhões, a 10 cm de profundidade e respetivo desvio padrão amostral (Dp)

Camalhão	A		B		C		D	
	M	Dp	M	Dp	M	Dp	M	Dp
Junho	19,99	0,79	29,28	2,10	25,50	2,01	18,99	0,91
Julho	19,90	0,75	25,18	1,17	23,96	2,09	18,09	1,02
Agosto	17,76	1,16	23,16	0,89	21,55	1,09	18,92	1,08
Setembro	16,48	0,63	22,10	1,79	20,85	1,16	18,55	1,10
Outubro	16,91	1,39	21,33	3,08	20,63	2,03	18,19	1,18
Novembro	13,63	0,56	17,27	1,07	18,10	1,17	14,51	1,06

Quadro 4.5 Valores mensais do teor de humidade (%) máxima (Max) e mínima (Min) do solo, registados pelas sondas nos 4 talhões, a 10 cm de profundidade

Camalhão	A		B		C		D	
Meses	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min
Junho	21,45	18,60	33,99	25,29	30,44	21,81	20,21	16,79
Julho	22,10	18,92	28,04	23,28	29,61	20,95	19,52	16,03
Agosto	19,65	15,93	25,11	21,72	23,73	19,63	21,79	17,41
Setembro	19,13	15,53	27,11	19,22	23,73	18,86	21,02	16,30
Outubro	20,73	15,42	29,46	18,94	25,93	18,04	20,75	16,43
Novembro	15,20	12,89	19,99	16,07	21,58	17,11	17,20	13,42

4.4 Análise da produção

4.4.1 Produtividade

A produtividade da cultura de pimento picante, variedade Santaka, usada no ensaio de campo, foi obtida através das produções (g) acumuladas das 12 colheitas realizadas, tendo sido a primeira efetuada a 2 de setembro e a última a 17 de novembro de 2016, apresentando-se os resultados no Quadro 4.6.

A produtividade final foi estimada através da seguinte fórmula:

$$\text{Produtividade (ton/ha)} = \sum \text{Produção final por planta} / \text{Área total da parcela}$$

Com a produção final por planta representada pelo somatório do peso individual de cada fruto colhido por planta

Os valores da produtividade obtidos para esta variedade, 3,64 ton/ha, aproximam-se das registados por Pérez *et al.* (2008), entre as 3 as 4,4 ton/ha, em pimento da variedade Mirasol cuja frutificação é similar à da Santaka, num ensaio que decorreu no México, tendo sido realizada adubação verde.

A nível nacional, esta variedade de pimento é muito pouco divulgada. O valor médio de referência nacional de 6,41 ton/ha reportadas pela FAOSTAT (2017) em 2014 é pouco fidedigno pois nesta estimativa não são mencionados o sistema de produção empregue nem as variedades utilizadas.

Complementando a aplicação do filme de cobertura de solo a um sistema de rega gota-a-gota ao invés da rega manual provavelmente possibilitaria atingir maiores produtividades (Choudhary *et al.*, 2012).

Quadro 4.6 Produtividade estimada do ciclo cultural de pimento picante

Produção/planta (g)	51,02 ± 22,70
Produção total (g)	2040,93
Produtividade (ton/ha)	3,64

4.4.2 Correlação entre caracteres relacionados com a produção de pimento

Na produção de pimento, o conhecimento das correlações entre vários caracteres da planta permite medir a magnitude e a significância da relação entre estes, de modo a recomendar práticas culturais e estratégias de seleção, que aumentem a sua produtividade (Lúcio *et al.*, 2006). Tendo isto em vista, a medida do grau de correlação entre as variáveis número total de frutos (NTF), produção por planta (PPP), obtida pelo somatório dos pesos dos frutos colhidos em cada planta, peso médio dos frutos (PMF), obtido pelo quociente entre a produção por planta e o número total de frutos colhidos, comprimento (CM) e diâmetro médio dos frutos (DM) por planta nos meses de setembro, outubro e novembro foi realizada através do Coeficiente de Correlação de Pearson apesar da assimetria das variáveis em alguns meses ser um pouco elevada (>2 ou < -2) o que poderá estar relacionado com a pequena dimensão da amostra. No Anexo E são apresentados os resultados que foram produto da análise de correlação de Pearson em maior detalhe.

Verificou-se uma correlação positiva estatisticamente significativa, dada através do valor de r para um intervalo de confiança de 95%, entre a produção e o número de frutos colhidos. No caso desta variedade, a produção dependeu fundamentalmente do número de frutos colhidos por planta o que está em concordância com o relatado por Lúcio *et al.* (2006). O mesmo se verificou nas dimensões dos frutos, entre o calibre (diâmetro) e o comprimento médio.

A correlação entre as variáveis PMF e CM e PMF e DM no mês de novembro não foi válida e não mostrou significância estatística ao contrário do que sucedeu no mês de setembro e outubro. Isto poderá estar relacionado com a influência de fatores externos nestas variáveis como é o caso das temperaturas baixas e da precipitação, em níveis desfavoráveis ao adequado desenvolvimento dos frutos colhidos em novembro.

5. CONCLUSÕES

A cultura do pimento picante (*Capsicum annuum*), variedade Santaka, foi objeto de estudo no decorrer de um ensaio experimental onde a cobertura de solo foi realizada com filme biodegradável à base de Mater-Bi® por se tratar de uma cultura muito exigente a nível térmico. Com base nos resultados obtidos e para as condições testadas, verificou-se que do ponto de vista da durabilidade e da resistência, o Agrobiofilm® suportou bem as operações culturais e teve um bom desempenho no controlo das infestantes, conseguindo também promover valores de humidade e de temperatura do solo suficientemente satisfatórios sem comprometer a cultura que atingiu uma produtividade de 3,64 ton/ha no fim do seu ciclo.

Seguindo a norma DIN EN ISO 17556, a biodegradabilidade no solo deste filme biodegradável foi conferida através de um teste respirométrico, em que ao fim de 190 dias de incubação atingiu um valor médio próximo de 32% de biodegradação.

Os resultados obtidos mostram que o Agrobiofilm® parece ser uma solução promissora para o cultivo do pimento, que por ser exigente em temperatura, a cobertura de solo nesta cultura é quase imprescindível. Para além disso, a degradação natural deste material no terreno elimina os custos resultantes da remoção e limpeza ao contrário do que sucede quando se utilizam os FPCS. Existem atualmente incentivos económicos disponíveis para os agricultores que sejam membros de Organizações de Produtores e que no seu Plano Operacional contemplem como medida o uso de filmes de cobertura de solo biodegradáveis que podem testar num grande espectro de culturas com poucos custos adicionais.

O desafio atual do uso de FCB passa por demonstrar a sustentabilidade destes materiais, por comparação aos tradicionais quando aplicados em culturas cujos ciclos culturais se estendam para além de um ano. Neste contexto, os resultados obtidos por Touchaleaume *et al.* (2016), são muito encorajadores, contudo é necessária maior investigação e experimentação que permita conhecer melhor os efeitos do envelhecimento e da degradação, durante a fase de desenvolvimento da cultura, no caso de aplicações de longa duração, de modo a reduzir as limitações do uso destes materiais quando sofrem quebras prematuras. Deste modo, será possível desenvolver FCB que atendam às necessidades específicas das culturas permitindo assim tornar a atividade agrícola cada vez mais sustentável.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Accademia italiana del Peperoncino. (2016). <http://www.peperoncino.org/il-peperoncino/botanica/le-varietas/varietas-domesticate/capsicum-annuum/santaka>, acessado em Janeiro 2017.
- Agrobiofilm. (2013). Plásticos Biodegradáveis para cobertura do solo. 17-152 pp.
- Almeida, D. (2006). *Manual de culturas hortícolas-Volume II*. 1ª Edição. Editorial Presença, Lisboa. 72-95 pp.
- Amidon Recycling. (1994). *Use and disposal of plastics in agriculture*. Prepared by Amidon Recycling for the American Plastics Council. 5-11, 21 pp. In http://www.wastexchange.org/upload_publications/UseandDisposalofPlasticsinAgriculture.pdf, acessado em Janeiro 2017.
- Andrade, J.A., Abreu, F.G. (2008). *Effects of climatic changes on the establishment of Mediterranean crops*. In <https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/8058/1/WSCRA08%20-%20J.%20Andrade.pdf>, acessado em Janeiro de 2017.
- Ashrafuzzaman, M., Abdul Halim, M., Razi Ismail, M., Shahidullah, S.M., Alamgir Hossain, M. (2011). Effect of plastic mulch on growth and yield of chilli (*Capsicum annuum L.*). *Brazilian Archives of Biology and Technology* **54**: 321-330.
- Barata, M.C.C.F.T. (2014). *Estudo da gestão eficiente da água na cultura do pimento com filmes de cobertura do solo*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, Portugal. 41-55 pp.
- Barragán, H., Pelacho, A.M., Martín-Closas, L. (2010). A Respirometric Test for Assessing the Biodegradability of Mulch Films in the Soil. *Acta horticulturae* **938**: 369-372. 28th International Horticultural Congress.
- Barrales-Rienda J. M. (2002). *Energy recovery from plastic materials - Handbook of Plastic Recycling*, La Mantia, F. (ed.), 346 pp. Rapra Technology, Shawbury, U. K.
- Bhardwaj, R., Kumar, S. (2013). Effect of mulching on crop production under rainfed condition - A review. *Agricultural Reviews* **34**:188-197.

Bilck, A., P., Grossmann, M. V.E., Yamashita, F. (2010). Biodegradable mulch films for strawberry production. *Polymer Testing* **29**: 471–476.

BioBag Americas, Inc. (2016). *Environment - Compostable vs Biodegradable*, <http://biobagusa.com/environment/compostable-and-biodegradable/>, acessado em Janeiro 2017.

BioBag International AS. (2017). *Biodegradable and Compostable*. In <https://biobagworld.com/environment/biodegradable-and-compostable/>, acessado em Janeiro 2017.

Bosland, P.W., Votava, E. J. (2000). *Peppers: vegetable and spice Capsicum*. CABI Publishing, Oxfordshire, UK, 14-37, 40-55, 84-122 pp.

Briassoulis, D. (2006). Mechanical behaviour of biodegradable agricultural films under real field conditions. *Polymer Degradation and Stability* **91**:1256-1272.

Briassoulis, D. (2007). Analysis of the mechanical and degradation performance of optimised agricultural biodegradable films. *Polymer Degradation and Stability* **92**: 1115–1132.

Briassoulis, D., Babou, E., Hiskakis, M., Kyrikou, I. (2015). Analysis of long-term degradation behaviour of polyethylene mulching films with pro-oxidants under real cultivation and soil burial conditions. *Environmental Science and Pollution Research International* **22**: 2584–2598.

Briassoulis, D., Dejean, C. J. (2010). Critical Review of Norms and Standards for Biodegradable Agricultural Plastics Part I Biodegradation in Soil. *Journal of Polymers and the Environment* **18**: 384-400.

Briassoulis, D., Hiskakis, M., Babou, E., Antiohos, S.K., Papadi, C. (2012). Experimental investigation of the quality characteristics of agricultural plastic wastes regarding their recycling and energy recovery potential. *Waste Management* **32**: 1075-1090.

Briassoulis, D., Mistriotis, A. Mortier, N., De Wilde, B. (2014). *Standard testing methods & specifications for biodegradation of bio-based materials in soil – a comparative analysis*. Proceedings International Conference of Agricultural Engineering. In <http://www.geyseco.es/geystiona/adjs/comunicaciones/304/C06680001.pdf>, acessado em Janeiro 2017.

Cardoso, J. C., Bessa, M. T., Marado, M. B. (1971). *Carta dos solos de Portugal, 1: 1000000. Secretaria de Estado da Agricultura-Serviço de Reconhecimento e de Ordenamento Agrário*. In http://esdac.jrc.ec.europa.eu/images/Eudasm/PT/port_x22.jpg, acessado em Janeiro de 2017.

Chandra, R., Rustgi, R. (1998) Biodegradable polymers. *Progress in Polymer Science* **23**: 1273-1335.

Choudhary, V. K., Bhambri M. C., Pandey, N., Sharma, H. G. (2012). Effect of drip irrigation and mulches on physiological parameters, soil temperature, picking patterns and yield in capsicum (*Capsicum annuum L.*). *Archives of Agronomy and Soil Science* **58**:277-292.

Cirujeda, A., Aibar, J., Anzalone, Á., Martín-Closas, L., Meco, R., Moreno, M.M., Pardo, A., Pelacho, A. M., Rojo, F., Royo-Esnal, A., Suso, M. L., Zaragoza, C. (2012). Biodegradable mulch instead of polyethylene for weed control of processing tomato production. *Agronomy for Sustainable Development* **32**: 889–897.

Clarke, S. P. (1996). *Recycling farm plastic films, ISSN 1198-712x*. In <http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/95-019.htm>, acessado em Janeiro 2017.

Comăniță, E.D., Hlihor, R.M., Ghinea, C., Gavrilescu, M. (2016). Occurrence of plastic waste in the environment: Ecological and health risks. *Environmental Engineering and Management Journal* **15**: 675-685.

Cordeiro, T. D. (2011). *Influência dos plásticos biodegradáveis na produtividade, precocidade e qualidade do melão "Lusitano" (Cucumis melo var. inodorus)*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Agrónomica Lisboa. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, Portugal. 8-46 pp.

Costa, A. C. L. (2012a). *Influência de dois tipos de cobertura do solo na produtividade e na fitossanidade do morangueiro*. Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em Engenharia Agrónomica. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, Portugal. 10-26 pp.

Costa, A., Morais, I., Santos, D., Costa, R., Saraiva, A., de Carvalho, L., Lima, A., Oliveira, M., Moldão, M., Monteiro, A. A., Duarte, E. (2013). *Desempenho de filmes biodegradáveis em dois ciclos da cultura de pimento para fins industriais em Portugal*. VII Congresso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas, Madrid, España.

Costa, R. A. C. (2012b). *Estudo da biodegradabilidade de bioplásticos numa cultura de ciclo longo – morango*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, Portugal. 7-45 pp.

Costa, R., Saraiva, A., Carvalho L., Duarte, E. (2014). The use of biodegradable mulch films on strawberry crop in Portugal. *Scientia Horticulturae* **173**: 65–70.

Coutinho, N. (2016). *Monda de infestantes em Agricultura Biológica Avaliação de diferentes técnicas em alface (Lactuca sativa) e cebola (Allium cepa)*. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Agronómica, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, Portugal. 44-60 pp.

Deconinck, S., De Wilde, B. (2013). *Recent developments in standardisation & certification of oxo-degradable plastics-Do they bring more clarity?* - 8th European Bioplastics conference. In <http://www.ows.be/wp-content/uploads/2014/05/Recent-developments-in-standardisation-certification-of-oxo-degradable-plastics.pdf>, acedido em Janeiro 2017.

Decoteau, D.R., Kasperbauer, M.J., Hunt, P.G. (1989). Mulch surface color affects yield of fresh-market tomatoes. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **114**:216-219.

Decoteau, D.R., Kasperbauer, M.J., Hunt, P.G. (1990). Bell pepper plant development over mulches of diverse colors. *HortScience* **25**:460-462.

DeWitt, D., Bosland, P. W. (2014). *The Complete Chile Pepper Book: A Gardener's Guide to Choosing, Growing, Preserving and Cooking*. Timber Press, Portland, London. 10-15, 24, 33-58 pp.

Dias, M. A. V. (2015). *Estudo do desempenho de filmes biodegradáveis numa cultura de ciclo curto - Escarola (Cichorium endivia L.)*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, Portugal. 21-49 pp.

Díaz-Pérez, J.C. (2010). Bell pepper (*Capsicum annum L.*) grown on plastic film mulches: effects on crop microenvironment, physiological attributes, and fruit yield. *HortScience* **45**:1196–1204.

Dickerson, G. (2002). *Commercial vegetable production with plastic mulches, Guide H-245*. Cooperative Extension Service. College of Agriculture and Home Economics. In http://aces.nmsu.edu/pubs/_h/H245.pdf, acedido em Janeiro 2017.

Directiva 1999/31/CE do Conselho, de 26 de Abril de 1999, relativa à deposição de resíduos em aterros. Jornal Oficial L 182, 16 de Julho.

Directiva 2000/76/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de Dezembro de 2000, relativa à incineração de resíduos. Jornal Oficial L 332, 28 de Dezembro.

Directiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Novembro de 2008, relativa aos resíduos e que revoga certas directivas (Texto relevante para efeitos do EEE). Jornal Oficial L 312, 22 de Novembro.

Ekinci, M., Dursun, A. (2009). Effects of different mulch materials on plant growth, some quality parameters and yield in melon (*Cucumis Melo L.*) cultivars in high altitude environmental condition. *Pakistan Journal of Botany* **41**:1891-1901.

Espi E., Salméron A., Fontecha, A., Garcia Y., Real, A.I. (2006). Plastic films for agricultural applications. *Journal of Plastic Film & Sheeting* **22**: 85 -102.

Estatísticas Agrícolas. (2015). Instituto Nacional de Estatística, I.P (ed.), Lisboa. 24 pp. In https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESTipo=ea&PUBLICACOEScoleccion=107660&selTab=tab0&xlang=pt, acedido em Janeiro 2017.

Estevão, B. (2017, junho). *Bioplásticos e Rega Subterrânea*. Comunicação apresentada no Workshop FILMAGREGA, AGROMAIS. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.

European Bioplastics e.V. (2015). "Oxo-biodegradable" plastics and other plastics with additives for degradation. In http://docs.european-bioplastics.org/2016/publications/bp/EUBP_bp_additive-mediated_plastics.pdf, acedido em Janeiro 2017.

European Bioplastics e.V. (2016a). *Composting*. In <http://www.european-bioplastics.org/bioplastics/waste-management/composting/>, acedido em Janeiro 2017.

European bioplastics e.V. (2016b). *Applications for bioplastics*. In <http://www.european-bioplastics.org/market/applications-sectors/>, acedido em Janeiro 2017.

European Bioplastics e.V. (2016c). The upcoming revision of the EU Fertilisers Regulation and the benefits of biodegradable plastic mulch films. In <http://www.european-bioplastics.org/the-upcoming-revision-of-the-eu-fertilisers-regulation-and-the-benefits-of-biodegradable-plastic-mulch-films/>, acedido em Janeiro 2017.

European Commission. (2016). *Review of waste policy and legislation*. In http://ec.europa.eu/environment/waste/target_review.htm, acessido em Janeiro 2017.

FAO. (1990). *Protected Cultivation in the Mediterranean Climate*. Plant production and protection paper. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 205-214 pp.

FAOSTAT. (2017). In <http://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acessido em Janeiro 2017.

Ferrão, J.E. (1993). *Especiarias. Cultura, tecnologia, comércio*. Ministério do Planeamento e da Administração do Território, Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia, Instituto de Investigação Científica Tropical. Lisboa, Portugal. 353-379 pp.

Ferreira, A. S., Dos Santos, M. A., Corrêa, G. F. (2013). Soil microbial response to glucose and phosphorus addition under agricultural systems in the Brazilian *Cerrado*. *Annals of the Brazilian Academy of Science* **85**: 395-403.

Ferreira, A.M.P.J (2000). *Caraterização de Portugal Continental*, 58 pp. In <http://www.Ineg.pt/download/3259/cap2.pdf>, acessido em Janeiro de 2017.

Feuilloley, P., Cesar, G., Benguigui, L., Grohens, Y., Pillin, I., Bewa, H., Lefaux, S., Jamal, M. (2005). Degradation of Polyethylene Designed for Agricultural Purposes. *Journal of Polymers and the Environment* **13**: 349-355.

Filippi, F., Magnani, G., Guerrini, S., & Ranghino, F. (2011). Agronomic evaluation of green biodegradable mulch on melon crop. *Italian Journal of Agronomy* **6**: 111-116.

Frazão, B., Reis, J. (1975). *A petroquímica de olefinas e a plasticultura em Portugal*. Associação portuguesa de plásticos para a agricultura. Jornadas de Plasticultura Comunicações, Junho de 1975, 113-119 pp.

Godfray, H.C.J., Beddington, J.R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S.M., Toulmin, C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science* **327**: 812 – 818.

Graci, A., Luciano, A., Zaragoza, C. L., e Aibar, J. L. (2008). *Evaluación de alternativas al uso del polietileno como cubierta del suelo para el manejo de malas hierbas y otros aspectos agronómicos en el cultivo del tomate*. Tese de Doutoramento. Universidad de Zaragoza. 39 pp.

Guerrini, S. (2015). *Plastiche Biodegradabili: Alleati per Agricoltura e Ambiente*. In Risultati del progetto di sostituzione delle pacciamature in polietilene con quelle biodegradabili in Mater-Bi per colture orticole e frutticole sotto serra: valutazioni agronomiche ed economiche. Publ. ADV Sinopia scarl, Caserta. 10-15 pp.

Han, G., Zhou, G., Xu, Z., Ya, Y., Liu, J., Shi, K. (2007). Biotic and abiotic factors controlling the spatial and temporal variation of soil respiration in an agricultural ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry* **39**: 418-425.

Harvell, K.P., Bosland, P.W. (1997). The environment produces a significant effect on pungency of chiles. *HortScience* **32**: 1292.

Hussain, S., Siddique, T., Saleem, M., Arshad, M., Khalid, A. (2009). Impact of pesticides on soil microbial diversity, enzymes, and biochemical reactions. *Advances in Agronomy* **102**: 159–200.

Innocenti, F.D. (2004). *Short description of the norm EN 13432:2000 “Requirements for packaging recoverable through composting and biodegradation- Test scheme and evaluation criteria for the final acceptance of packaging”*. In http://www.biobags.co.uk/resouces_certific/description.pdf, acedido em Janeiro 2017.

IPGRI, AVRDC, CATIE. (1995). Descriptors for Capsicum (*Capsicum* spp.). International Plant Genetic Resources Institute, Asian Vegetable Research and Development Center, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 23-38 pp.

IPMA. (2016). *Boletim climatológico, ano 2016, Portugal continental*. In <http://www.ipma.pt/pt/publicacoes/boletins.jsp?cmbDep=cli&cmbTema=pcl&cmbAno=2016&idDep=cli&idTema=pcl&curAno=2016>, acedido em Janeiro de 2017.

ISO 17556:2003. *Plastics-Determination of the ultimate aerobic biodegradability in soil by measuring the oxygen demand in a respirometer or the amount of carbon dioxide evolved*. International Organization for Standardization.

Kale, G., Kijchavengkul, T., Auras, R., Rubino, M., Selke, S.E., Singh, S.P. (2007) Compostability of Bioplastic Packaging Materials: An Overview. *Macromolecular Bioscience* **7**:255–277.

Kasirajan S., Ngouajio, M. (2012). Polyethylene and biodegradable mulches for agriculture applications: a review. *Agronomy for Sustainable Development* **32**: 501–529.

Khan, M. K. A., Trivedi, P., Hasan, A., Akhtar, S., Siddiqui, M. H., Sayeed, U. (2016). Role of microbes in degradation of synthetic plastics and manufacture of bioplastics. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research* **8**: 211-216.

Kijchavengkul, T., Auras, R., Rubino, M., Ngouajio, M., Fernandez, R.T. (2008) Assessment of aliphatic-aromatic copolyester biodegradable mulch films. Part I: Field study. *Chemosphere* **71**:942–953.

Kotrba, R. (2008). *What to do with the remnants of a plastic culture*. Biomass Magazine. In <http://www.biomassmagazine.com/articles/1532/what-to-do-with-the-remnants-of-a-plastic-culture>, acedido em Janeiro 2017.

Koutny M., Lemaire J, Delort A. M. (2006). Biodegradation of polyethylene films with prooxidant additives. *Chemosphere* **64**:1243-1252.

Kyrikou, I., Briassoulis D. (2007). Biodegradation of Agricultural Plastic Films: A Critical Review. *Journal of Polymers and the Environment* **15**:125-150.

Lamont, W. J. (1993). Plastic mulches for the production of vegetable crops. *American Society for Horticultural Science* **3**:35-39.

Lamont, W.J. (1999). *Vegetable production using plasticulture*. In http://www.agnet.org/htmlarea_file/library/20110808093747/eb476.pdf, acedido em Dezembro de 2016.

Lange, Kristy-Barbara. (2016). *Revision of the Fertilisers Regulation – Benefits of biodegradable mulch films*. European Bioplastics. In <https://polcms.secure.europarl.europa.eu/cmsdata/upload/1f675d99-5666-4ce8-8bbf-0fa5c5e1af96/Kristy%20Barbara%20Lange%20EUBP%20PPT.pdf>, acedido em Janeiro 2017.

Levitan, L.C., Barros, A. (2003). *Recycling Agricultural Plastics in New York State*. Environmental Risk Analysis Program. Cornell University. 2-7 pp. In <http://cwmi.css.cornell.edu/recyclingagplastics.pdf>, acedido em Janeiro 2017.

Liiri, M., Häsä M., Haimi, J., Setälä, H. (2012). History of land-use intensity can modify the relationship between functional complexity of the soil fauna and soil ecosystem services – A microcosm study. *Applied Soil Ecology* **55**: 53–61.

Liu, M., Huang, Z., Yang, Y. (2010). Analysis of biodegradability of three biodegradable mulching films. *Journal of Polymers and the Environment* **18**: 148-154.

López, J., González, A., Fernández, J. A., Bañón, S. (2007). Behaviour of biodegradable films used for mulching in melon cultivation. *Acta Horticulturae* **747**: 125-130.

Lúcio, A.D.C; Lorentz, L.H; Boligon, A.A; Lopes S.J; Storck, L; Carpes, R.H. (2006). Variação temporal da produção de pimentão influenciada pela posição e características morfológicas das plantas em ambiente protegido. *Horticultura Brasileira* **24**: 31-35.

Madeira, J.M.B. (1973). *Os solos da Tapada da Ajuda sob utilização agrícola*. 1973. 3 pp.

MarketsandMarkets. (2016). *Biodegradable Mulch Film Market by Biodegradable Plastic (TPS, AAC, Controlled Degradable Masterbatches), by Type (Starch, Starch Blended With PLA, Starch Blended With PHA), by Crop Type (Fruits & Veg, Grains, Plants) & by Region - Global Forecast to 2021*. In <http://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/biodegradable-mulch-film-market-74546369.html>, acessado em Fevereiro 2017.

Maroto, J.V. (2002). *Horticultura Herbaceae Especial*. 5ª Edição. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 458, 463-465 pp.

Martín-Closas, L., Bach, M.A., Pelacho, A.M. (2008). Biodegradable mulching in an organic tomato production system. *Acta horticulturae* **767**: 267-274.

Mendizabal, M. (1975). *Aplicaciones de los filmes plásticos en viticulture*. Associação portuguesa de plásticos para a agricultura, Jornadas de Plasticultura Comunicações. 49-51 pp.

Meurant, N., Wright, R., Olsen, J., Fullelove, G., Lovatt, J. (1999). *Capsicum and chilli information kit: Growing the crop*. Agrilink Series QAL9905. Department of Primary Industries, Queensland Horticulture Institute. Brisbane, Queensland. 4-9, 13, 19, 25 pp.

Mirshekari, B., Rajablarjani, H. R., Alikhani, M.A., Farahvash, F., Rashid, V. (2012). Evaluation of biodegradable and polyethylene mulches in sweet corn production. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* **4**: 1540-1545.

Moreno, M.M., Moreno, A. (2008). Effect of different biodegradable and polyethylene mulches on soil properties and production in a tomato crop. *Scientia Horticulturae* **116**: 256-263.

Morra, L., Bilotto, M., Cerrato, D., Coppola, R., Leone, V., Mignoli, E., Pasquariello, M. S., Petriccione, M., Cozzolino, E. (2016). The Mater-Bi ® biodegradable film for strawberry (*Fragaria x ananassa Duch.*) mulching: effects on fruit yield and quality. *Italian Journal of Agronomy* **11**: 203-206.

Novamont. (2013). *Mater-Bi ® mulching film the solution for biodegradability in the soil*. In http://www.patilux.com/wp-content/uploads/2015/01/Mater-Bi_EN_v1-2.pdf, acedido em Janeiro 2017

Nuez, F., Ortega, R.G., Costa, J. (1996). *El cultivo de pimientos, chiles y ajjes*. 1ª Edição. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.15-38, 61-69, 84-94, 108, 450-496 pp.

Oliveira, N.F.S. (2013). *Laboratório de paisagem: metodologia aplicada ao ensino da Arquitetura Paisagista. Caso de estudo: Terra da Mata de Baixo, Tapada da Ajuda, Lisboa, Portugal*. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura Paisagista. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, Portugal. 35-40 pp.

Pablos, J.L, Abrusci, C., Corrales, T., Catalina, F., Gonzáles, A., López-Marin, J., Marín, I. (2009). Biodegradación de filmes agrícolas basados em polietileno y aditivos pro-oxidantes. *Revista de Plásticos Modernos* **98**:198-203.

Pakyürek, A, Y., Abak, K., Sari, N., Güler, Y. (1991).The effects of soil mulch usage on the early season yield and total yield as well as quality of tomato, pepper and eggplant under the Harran plain conditions of Turkey. *Turkey First National Horticultural Congress Volume II*. Ege University Agriculture Faculty. Bornova, Ğzmir, Turkey. 165 pp.

Pérez, A. S., Zegbe, J. A., Covarrubias, J. M., Díaz, S.R. (2008). *Sistemas de manejo para la producción sustentable de chile seco cv. 'mirasol'*. Revista Fitotecnia Mexicana, vol. 31, número especial 3. Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C, México. 41-44 pp.

Philp, J.C., Bartsev, A., Ritchie, R.J., Baucher, M.A., Guy, K. (2013). Bioplastics science from a policy vantage point. *Biotechnology for the Bio and Green Economy* **30**:635–646.

PlasticEurope, EPRO, PEMRG and Consultic. (2015). *Plastics – the Facts 2015, An analysis of European plastics production, demand and waste data*. In http://www.plasticseurope.org/documents/document/20150227150049-final_plastics_the_facts_2014_2015_260215.pdf, acedido em Setembro de 2016.

PlasticsEurope, EPRO, PEMRG and Consultic. (2016). *Plastics – the Facts 2016, An analysis of European plastics production, demand and waste data*. In http://www.plasticseurope.org/documents/document/20161014113313-plastics_the_facts_2016_final_version.pdf, acessido em Setembro de 2016.

Raghaven, S. (2006). *Handbook of spices, seasonings, and flavorings*. Second Edition, CRC Press, USA. 85-91 pp.

Regulamento (CE) nº 834/2007 DO CONSELHO de 28 de Junho de 2007 relativo à produção biológica e à rotulagem dos produtos biológicos e que revoga o Regulamento (CEE) nº 2092/91. Jornal Oficial L 189, 20 de Julho.

Rodriguez, J.M., Molnar, J.J., Fazio, R. A, Sydnor, E., Lowe, M.J. (2009). Barriers to adoption of sustainable agriculture practices: change agent perspectives. *Renewable Agriculture and Food Systems* **24**:60–71.

Sanders, D. (2001). *Using Plastic Mulches and Drip Irrigation for Vegetables*. NC Cooperative Extension Resources, North Carolina State University and North Carolina A&T State University. In <https://content.ces.ncsu.edu/using-plastic-mulches-and-drip-irrigation-for-vegetables>, acessido em Janeiro 2017

Sanders, D., Granberry, D., Cook, W. P. (1996). *Plasticulture for commercial vegetables*. NC Cooperative Extension Resources, North Carolina State University and North Carolina A&T State University. In https://content.ces.ncsu.edu/plasticulture-for-commercial-vegetables#section_heading_5149, acessido em Janeiro 2017.

Santos, M.E.P. (2014). *Análise custo-benefício da utilização de filmes biodegradáveis vs filmes de polietileno: uma aplicação concreta a uma cultura de ciclo curto*. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Agronómica, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, Portugal. 28-43 pp.

Saponaro, S., Sezenna, E., Degli, I. F., Mezzanotte, V., Bonomo, L. (2008). A screening model for fate and transport of biodegradable polyesters in soil. *Journal of Environmental Management* **88**:1078-1087.

Saraiva, A., Costa, R., Carvalho, L., Duarte, E. (2012). The use of biodegradable mulch films in muskmelon crop production. *Basic Research Journal of Agriculture Science and Review* **14**: 88-95.

Saturnino, C.S.S. (2014). *Influência da técnica de cobertura directa com um filme de polietileno perfurado na produtividade e precocidade de três cultivares de cenoura*. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Agrónoma, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, Portugal. 60-66 pp.

Scarascia-Mugnozza, G., Schettini, E., Vox, G., Malinconico, M., Immirzi, B., Pagliara, S. (2006). Mechanical properties decay and morphological behavior of biodegradable films for agricultural mulching in real scale experiment. *Polymer Degradation and Stability* **91**: 2801-2808.

Scarascia-Mugnozza, G., Sica, C., Russo, G. (2011). Plastic materials in European agriculture: actual use and perspectives. *Journal of Agricultural Engineering* **42**: 15-28.

Schut, J. (2001). Mulch Film Goes High-Tech. *Plastics Technology*. In <http://www.ptonline.com/articles/mulch-film-goes-high-tech>, acedido em Janeiro de 2017.

“Silvex avança com o Agrobiofilm ® para inúmeras culturas”. (2015, 15 Maio). *Voz do campo*, Edição nº 183,12-13 pp. In <http://en.calameo.com/read/000821192402047725534>, acedido em Janeiro 2017.

Song, J.H., Murphy, R.J., Narayan, R., Davies, G.B.H. (2009). Biodegradable and compostable alternatives to conventional plastics. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological* **364**:2127– 2139.

Steinmetz, Z., Wollmann C., Schaefer M., Buchmann, C., David J., Tröger, J., Muñoz, K., Frör, O., Schaumann, G.E. (2016). Plastic mulching in agriculture. Trading short-term agronomic benefits for long-term soil degradation? *Science of the Total Environment* **550**: 690–705.

Tarara, J.M. (2000). Microclimate modification with plastic mulch. *HortScience* **35**:169–180.

Touchaleaume, F., Martin-Closas, L., Angellier-Coussy, H., Chevillard, A., Cesar, G., Gontard, N., Gastaldi, E. (2016). Performance and environmental impact of biodegradable polymers as agricultural mulching films. *Chemosphere* **144**: 433-439.

United States Department (USDA) of Agriculture Agricultural Research Service. (2017) <https://ndb.nal.usda.gov/ndb>, acedido em Janeiro 2017.

Wang, J., Luo, Y., Teng, Y., Ma, W., Christie, P., Li, Z. (2013). Soil contamination by phthalate esters in Chinese intensive vegetable production systems with different modes of use of plastic film. *Environmental Pollution* **180**: 265– 273.

Warner, J., Zandstra, J.W. (2004). *Biodegradable Polymer Mulches in Bell Pepper Production*. In <https://atrium.lib.uoguelph.ca/xmlui/handle/10214/6419>, acedido em Fevereiro de 2017.

Weber, C. A. (2003). Biodegradable Mulch Films for Weed Suppression in the Establishment Year of Matted-row Strawberries. *HortTechnology*. **13**:665-668.

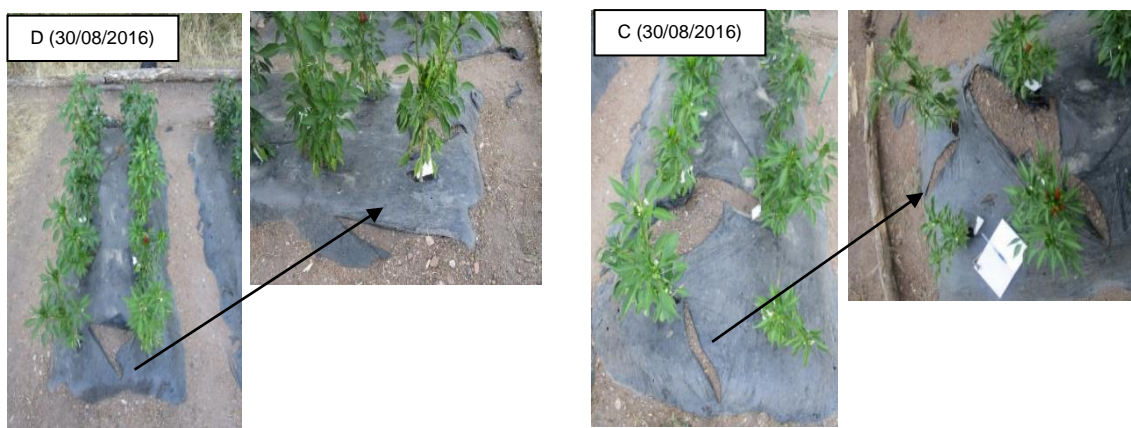
WHO. (2016). *Dioxins and their effects on human health*. Fact sheet, Media centre. In <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs225/en/>, acedido em Janeiro 2017.

William J., Lamont Jr. (1991). *The use of plastic mulches for vegetable production*. FFTC Document Database, Food and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region. In <http://www.agnet.org/library.php?func=view&id=20110815112145>, acedido em Dezembro 2016.

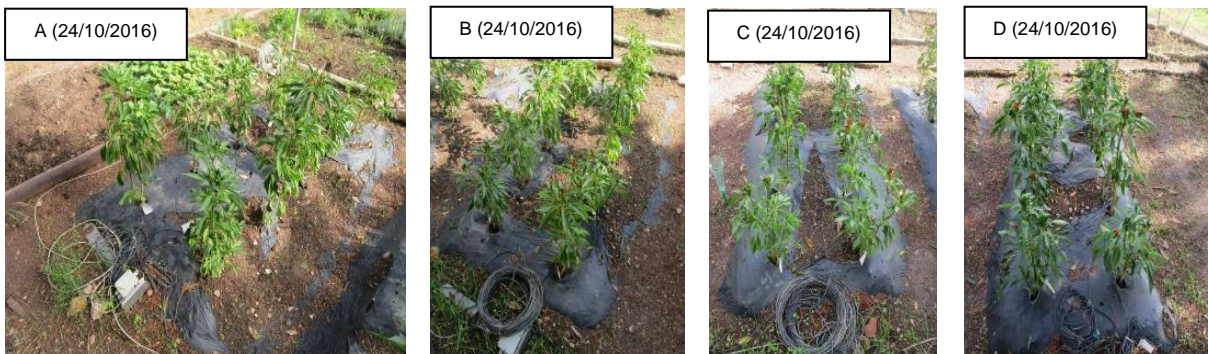
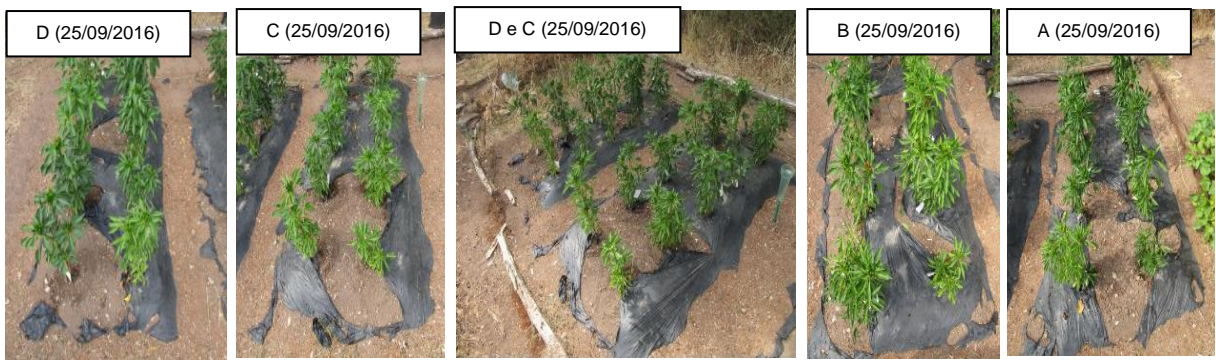
Yin, R., Lin, X.G., Wang, S.G., Zhang, H.Y. (2003). Effect of DBP/DEHP in vegetable planted soil on the quality of capsicum fruit. *Chemosphere* **50**: 801–805.

**Anexo A Observações no campo da degradação do
Agrobiofilm ®**

Anexo 1. Primeiros indícios da degradação do Agrobiofilm® nos vários talhões



Anexo 2. Evolução da degradação do Agrobiofilm ® ao longo do tempo





Anexo 3. Efeito da radiação solar acumulada no período em que se observou a degradação da superfície do filme biodegradável testado

Data	Dias após aplicação	Radiação solar acumulada (W/m ²)	Degradação do Agrobiofilm ® exposto (Escala 0-5)				Média	Desvio padrão
			D	C	B	A		
31-Mai	0	0	0	0	0	0	0	0
10-Ago	71	23.404	0	1	1	2	1	0,82
24-Ago	85	27.346	1	2	2	2	1,75	0,5
30-Ago	91	29.037	2	2	3	2	2,25	0,5
06-Set	98	30.813	2	2	3	2	2,25	0,5
14-Set	106	32.823	2	3	3	3	2,75	0,5
25-Set	117	35.336	3	3	4	3	3,25	0,5
24-Out	146	40.018	4	4	4	3	3,75	0,5
08-Nov	161	41.617	5	5	5	4	4,75	0,5
21-Nov	174	42.839	5	5	5	5	5	0
5-Dez	188	43.872	5	5	5	5	5	0

Degradação do filme biodegradável (FCB): Escala de 0 a 5: 0 - solo 100% coberto (FCB sem fendas); 1 - quase 100% solo coberto (pequenos furos à superfície do FCB); 2 - >90% de solo coberto (FCB com um ou mais rasgos com mais de 30 cm); 3 - 75 a 90% de solo coberto (múltiplos furos e rasgos no FCB); 4 - 50 a 75% de solo coberto (múltiplos furos e rasgos no FCB); 5 - < 50% de solo coberto (FCB muito degradado)

Anexo B Caraterísticas climáticas Tapada da Ajuda

Anexo 4. Dados meteorológicos obtidos a partir da estação meteorológica da Tapada da Ajuda no ano de 2016

Dia	T média do ar	T média máx do ar	T média mín ar	R total (mm)
1 Maio	18,1	24,5	12,2	0
2 Maio	19,8	27,2	14,7	0
3 Maio	22,5	30,6	11,7	0
4 Maio	19,8	27,4	14,3	0
5 Maio	15,6	18,5	13,8	11,8
6 Maio	14	16,3	10,4	2,8
7 Maio	13,3	14,5	11,2	38,1
8 Maio	15,2	17,9	13,2	1,6
9 Maio	14	16,6	10,8	8,5
10 Maio	14,3	17,9	10,7	8,1
11 Maio	13,7	17,9	11	9
12 Maio	13,8	17,8	10	5,7
13 Maio	14,1	19,2	9,8	1,3
14 Maio	14,6	18,2	10,8	0
15 Maio	16,2	21,6	12	0
16 Maio	16,4	24,1	9,8	0
17 Maio	15,9	21,1	10,5	0
18 Maio	16,2	22	10,2	0
19 Maio	17,9	24,5	10,9	0
20 Maio	20,7	29,5	12,1	0
21 Maio	16,8	21,9	13,2	0
22 Maio	17,2	22,5	11,7	0
23 Maio	16,2	24	8	0
24 Maio	16,5	19,7	14,2	0,6
25 Maio	16,6	21	13,5	0,2
26 Maio	16,2	20,9	10,6	1,4
27 Maio	17,2	20,8	13	0
28 Maio	16,5	20	12,3	7,6
29 Maio	16,2	19,9	11,7	0
30 Maio	16,3	22,6	10,2	0
31 Maio	18,9	25,6	12,6	0
1 Junho	21,3	29,8	11,9	0
2 Junho	20,2	27,9	13,1	0
3 Junho	17,1	22,5	11,3	0
4 Junho	16,9	21,1	11,4	0
5 Junho	18,3	22,3	12,7	0
6 Junho	19,4	23,8	14,4	0
7 junho	21,6	30,5	12,3	0
8 Junho	23,6	33,9	13,9	0
9 Junho	21,3	26,9	15,8	0
10 Junho	19,1	23,9	15,3	0

11 Junho	19,5	25,2	13,9	0
12 Junho	22	28,9	15,7	0
13 Junho	19,9	23,6	16,5	0
14 Junho	18,7	24,1	13,8	0
15 Junho	17,3	22,4	13,5	1,2
16 Junho	17,3	22,7	12,1	0,1
17 Junho	17,8	24,2	11,5	0
18 Junho	19,5	26,1	14,4	0
19 Junho	23,3	31,5	17	0
20 Junho	23,8	33,5	14,7	0
21 Junho	23	30,7	15	0
22 Junho	21,9	29,9	15,9	0
23 Junho	20	27,6	14,3	0
24 Junho	19,9	25,9	15,7	0
25 Junho	19,5	25,5	16	0
26 Junho	22,7	31,7	15,8	0
27 Junho	25,1	33,2	17,1	0
28 Junho	24,2	32,1	17,9	1,3
29 Junho	20,6	27	14,7	0
30 Junho	19,4	26,7	12,3	0
1 Julho	19,9	25,8	16,6	0
2 Julho	21,3	28,6	15,9	0
3 Julho	24,9	36,7	14,8	0
4 Julho	21,6	28	16,7	0
5 Julho	19,7	26,7	15,7	0
6 Julho	19,7	24,7	15	0
7 Julho	23,4	31,3	16,6	1,5
8 Julho	24	33,6	15,1	0
9 Julho	24,1	34,7	14,9	0
10 Julho	23	30,7	18,1	0
11 Julho	21	27,9	15,6	0
12 Julho	20	25,8	16	0
13 Julho	22,2	29,9	15,3	0
14 Julho	26,3	34,2	15,2	0
15 Julho	27,8	36,4	18,9	0
16 Julho	26,3	33,7	18	0
17 Julho	25,9	33,5	18,5	0
18 Julho	22,2	28,3	15,5	0
19 Julho	22,7	31	15,6	0
20 Julho	22,3	31,3	15,6	0
21 Julho	21,9	29,4	14,8	0
22 Julho	22,3	27,6	19,4	0
23 Julho	27,2	37,3	18,8	0
24 Julho	28,4	35,6	19,3	0
25 Julho	26,6	32,7	19,4	0

26 Julho	24,3	32,7	17,2	0
27 Julho	22,2	29,7	15,3	0
28 Julho	23,2	33,2	14,2	0
29 Julho	22,9	29,4	16,2	0
30 Julho	20,1	24,7	17,6	0
31 Julho	21,5	28,6	14,5	0
1 Agosto	21,6	29	15,5	0
2 Agosto	22,5	32,8	13,8	0
3 Agosto	22,6	28,7	17,9	0
4 Agosto	22,3	29,8	17,4	0
5 Agosto	23,8	31,4	17,8	0
6 Agosto	26,8	35,6	17	0
7 Agosto	30,2	35,7	22,5	0
8 Agosto	26,9	35,2	18,6	0
9 Agosto	25,9	36,3	17	0
10 Agosto	25,1	35,2	14,4	0
11 Agosto	27,9	33,9	20,9	0
12 Agosto	27,5	35	19,8	0
13 Agosto	28,2	36,8	19,4	0
14 Agosto	25	32,1	15,9	0
15 Agosto	20,5	27,9	14,8	0
16 Agosto	21,3	29,2	13,3	0
17 Agosto	21,7	28,2	16,4	0
18 Agosto	21,2	30,5	13,9	0
19 Agosto	21,3	26,2	16,7	0,1
20 Agosto	21	27,3	16,1	0
21 Agosto	23,2	32,7	13,5	0
22 Agosto	24,6	32,9	16,5	0
23 Agosto	25,6	35,6	17,5	0
24 Agosto	24,6	33,3	18,8	0
25 Agosto	22,8	32,5	15,7	0
26 Agosto	22,4	30,7	16	0
27 Agosto	23,4	31,5	16,5	0
28 Agosto	22,1	30,5	14,5	0
29 Agosto	21,4	30,1	13,4	0
30 Agosto	20,1	27,9	13,9	0
31 Agosto	21,3	28,8	16,4	0
1 Setembro	21,8	29,4	14,9	0
2 Setembro	22,5	29,3	15,7	0
3 Setembro	23,4	29,3	17,6	0
4 Setembro	26,9	37	18,3	0
5 Setembro	29,5	41,4	19,6	0
6 Setembro	26,6	34,9	20,6	0
7 Setembro	21,8	27,5	16,2	0
8 Setembro	20,6	26,6	16,5	0

9 Setembro	20,7	27,6	15,2	0
10 Setembro	21,6	28,1	14,7	0
11 Setembro	22,9	31,7	16,2	0
12 Setembro	20,8	27,2	15	0
13 Setembro	19,5	24,2	14,8	10,9
14 Setembro	17,9	23,8	13,1	0
15 Setembro	18,3	24,7	13,1	0,3
16 Setembro	19,6	26,5	13,6	0
17 Setembro	22,3	31,6	13,9	0
18 Setembro	22,9	32,8	14,7	0
19 Setembro	21,1	32,1	12,2	0
20 Setembro	18,3	25,8	11,7	0
21 Setembro	18,6	24,9	14,7	0
22 Setembro	18,1	24,3	11,4	0
23 Setembro	20,1	28,1	13,3	0
24 Setembro	19	26,4	13,3	0
25 Setembro	20	27,3	13,3	0,2
26 Setembro	19,8	26,2	15,7	0
27 Setembro	24	33,2	17,6	0
28 Setembro	26,2	34,8	16,2	0
29 Setembro	23	31,2	16	0
30 Setembro	20,3	26,9	14,2	0
1 Outubro	18,8	25,6	13,2	0
2 Outubro	17,3	24,3	11	0
3 Outubro	16,9	23,8	10,2	0
4 Outubro	18,4	27,7	10,4	0
5 Outubro	19,6	30,3	12,2	0
6 Outubro	17,6	25	11,3	0
7 Outubro	17,9	25,2	10,8	0,1
8 Outubro	18,5	26,3	12,8	0
9 Outubro	17,3	23,1	11,9	0
10 Outubro	16	21,5	11,1	0,1
11 Outubro	16,6	22,7	11,4	4,5
12 Outubro	16,2	20,4	12,7	7
13 Outubro	15,8	21,3	10,9	0,2
14 Outubro	15,8	21,5	10,3	0
15 Outubro	16,8	21,6	12,2	5,8
16 Outubro	17,2	21,6	14,8	0
17 Outubro	17,6	20,5	14	1,3
18 Outubro	20,1	28,7	16,2	0
19 Outubro	18,8	24,3	15,1	0
20 Outubro	17	22,1	13,5	0
21 Outubro	16,8	19,8	13,2	1,5
22 Outubro	18,2	21,9	15,3	3,5
23 Outubro	16	19,4	12	5

24 Outubro	15,5	19,1	12,3	18,9
25 Outubro	18,7	23	15,9	1,4
26 Outubro	21,1	26,6	16,1	0
27 Outubro	23,3	27	20,5	0
28 Outubro	23,3	29,6	20	0
29 Outubro	21,7	28,1	18	0
30 Outubro	19,3	26	14,5	0
31 Outubro	18,2	26,3	13,1	0
1 Novembro	18,6	23,9	15	0
2 Novembro	17,3	23,1	13,8	1,3
3 Novembro	17,6	23,8	13,7	0,2
4 Novembro	17,5	21,2	15,5	1,2
5 Novembro	15,1	19,8	9,2	5,9
6 Novembro	11,9	17,7	7,3	0
7 Novembro	11,5	16,3	7,1	0,2
8 Novembro	11,8	17,7	6,6	0
9 Novembro	15,7	20,1	12	0
10 Novembro	13,9	19,7	9,5	0
11 Novembro	13,2	17,2	7,8	0
12 Novembro	16,3	20,6	12,1	7,6
13 Novembro	16,4	21,4	12,3	0,1
14 Novembro	16,2	20,4	13	0
15 Novembro	14,9	20	11,1	0
16 Novembro	14,3	22,3	9,8	0
17 Novembro	13,4	19,3	7,6	0
18 Novembro	14,3	18,1	10	1,3
19 Novembro	13,6	18	7,3	F
20 Novembro	16,1	17	14,2	F
21 Novembro	12,6	17,2	7,1	F
22 Novembro	9,8	15,1	5,9	0,5
23 Novembro	10,9	15,4	5,3	0
24 Novembro	10,7	15,4	6,1	10
25 Novembro	12,8	15,5	9,1	22,9
26 Novembro	11	15,8	7,8	14,7
27 Novembro	11,8	17,4	8,9	0,5
28 Novembro	12,5	18,7	8,8	0
29 Novembro	12,3	16,7	8,5	0,1
30 Novembro	13,6	15,3	12,3	6,9

*F – falha no registo dos dados

Anexo 5. Dados da Radiação solar global diária (S) obtidos na estação meteorológica da Tapada da Ajuda no ano de 2016

Dia	S (MJ/(m ² .dia))	S (W/m ²)	Dia	S (MJ/(m ² .dia))	S (W/m ²)
1 Maio	28,7	331,8	11 Junho	31,8	368,4
2 Maio	28,6	330,8	12 Junho	30,6	353,7
3 Maio	28,8	333,2	13 Junho	13,2	152,7
4 Maio	21,5	248,5	14 Junho	23,6	273,6
5 Maio	5,3	61,3	15 Junho	22,8	263,4
6 Maio	9,1	105,7	16 Junho	27,6	319,3
7 Maio	3,3	37,9	17 Junho	27,4	316,8
8 Maio	20,8	241,2	18 Junho	31,8	367,9
9 Maio	15,2	175,9	19 Junho	31,6	365,7
10 Maio	25,5	295,5	20 Junho	31,0	359,0
11 Maio	15,1	174,7	21 Junho	31,0	358,7
12 Maio	17,0	197,1	22 Junho	30,7	355,6
13 Maio	19,9	230,4	23 Junho	27,2	314,6
14 Maio	10,7	124,0	24 Junho	31,6	365,2
15 Maio	25,7	297,0	25 Junho	31,1	359,4
16 Maio	28,2	326,0	26 Junho	30,0	347,6
17 Maio	30,4	351,8	27 Junho	30,4	351,9
18 Maio	30,5	352,8	28 Junho	29,4	340,0
19 Maio	30,1	348,0	29 Junho	31,9	369,8
20 Maio	29,9	345,9	30 Junho	31,3	362,2
21 Maio	24,3	281,0	1 Julho	27,0	312,2
22 Maio	29,7	343,8	2 Julho	31,8	367,7
23 Maio	24,0	278,1	3 Julho	29,3	338,6
24 Maio	20,1	232,5	4 Julho	13,4	154,9
25 Maio	26,7	309,6	5 Julho	29,0	335,4
26 Maio	29,9	345,6	6 Julho	28,0	323,7
27 Maio	17,1	197,8	7 Julho	24,2	280,5
28 Maio	25,0	289,1	8 Julho	30,9	357,2
29 Maio	29,4	340,2	9 Julho	30,0	347,6
30 Maio	25,9	300,0	10 Julho	31,1	360,0
31 Maio	29,2	338,1	11 Julho	31,0	358,9
1 Junho	31,1	359,7	12 Julho	31,0	358,4
2 Junho	23,6	273,2	13 Julho	31,6	366,1
3 Junho	28,9	334,2	14 Julho	30,8	356,1
4 Junho	21,7	250,9	15 Julho	30,2	349,2
5 Junho	30,4	352,2	16 Julho	29,6	342,5
6 Junho	28,8	333,8	17 Julho	29,4	340,8
7 junho	30,9	358,1	18 Julho	29,6	342,0
8 Junho	30,0	347,7	19 Julho	28,0	324,4
9 Junho	29,2	338,4	20 Julho	29,9	345,8
10 Junho	27,1	313,7	21 Julho	30,2	349,5

22 Julho	28,8	333,1	5 Setembro	21,1	244,4
23 Julho	29,5	341,5	6 Setembro	20,7	239,6
24 Julho	29,3	339,4	7 Setembro	21,9	253,4
25 Julho	28,6	331,6	8 Setembro	23,1	267,5
26 Julho	29,5	341,7	9 Setembro	23,4	271,3
27 Julho	29,1	336,7	10 Setembro	23,1	267,1
28 Julho	28,4	329,2	11 Setembro	22,3	257,5
29 Julho	28,2	326,0	12 Setembro	21,5	248,7
30 Julho	23,7	274,4	13 Setembro	19,8	228,7
31 Julho	28,9	334,4	14 Setembro	18,6	215,5
1 Agosto	28,6	330,7	15 Setembro	16,1	186,6
2 Agosto	28,3	327,4	16 Setembro	21,5	248,5
3 Agosto	29,0	336,0	17 Setembro	21,3	246,1
4 Agosto	26,8	309,9	18 Setembro	21,5	249,4
5 Agosto	28,5	329,8	19 Setembro	21,3	246,0
6 Agosto	27,8	321,3	20 Setembro	21,1	243,7
7 Agosto	27,9	322,5	21 Setembro	19,7	227,7
8 Agosto	27,4	317,3	22 Setembro	18,0	207,9
9 Agosto	24,2	280,4	23 Setembro	20,1	232,6
10 Agosto	26,0	301,4	24 Setembro	19,6	227,0
11 Agosto	25,7	297,0	25 Setembro	17,0	197,1
12 Agosto	26,2	303,3	26 Setembro	17,6	204,1
13 Agosto	23,6	273,6	27 Setembro	19,4	225,0
14 Agosto	25,2	291,6	28 Setembro	19,2	222,3
15 Agosto	26,7	309,4	29 Setembro	18,7	216,7
16 Agosto	26,1	301,7	30 Setembro	18,2	210,2
17 Agosto	20,6	238,0	1 Outubro	18,4	213,0
18 Agosto	26,1	301,5	2 Outubro	16,3	188,9
19 Agosto	16,3	188,7	3 Outubro	18,1	209,1
20 Agosto	26,8	310,1	4 Outubro	16,9	195,4
21 Agosto	26,2	303,2	5 Outubro	18,1	209,1
22 Agosto	25,6	295,8	6 Outubro	18,1	208,9
23 Agosto	23,3	269,9	7 Outubro	17,0	197,0
24 Agosto	22,3	258,5	8 Outubro	17,2	198,6
25 Agosto	23,8	275,0	9 Outubro	16,9	195,9
26 Agosto	24,0	277,8	10 Outubro	15,1	174,7
27 Agosto	24,1	279,3	11 Outubro	11,0	127,2
28 Agosto	24,9	288,4	12 Outubro	8,9	102,8
29 Agosto	25,1	290,2	13 Outubro	11,5	133,1
30 Agosto	24,2	280,1	14 Outubro	15,3	176,5
31 Agosto	21,9	253,2	15 Outubro	13,8	159,8
1 Setembro	23,4	270,6	16 Outubro	9,6	110,8
2 Setembro	22,6	261,0	17 Outubro	2,9	33,3
3 Setembro	22,4	259,5	18 Outubro	12,8	148,0
4 Setembro	21,5	248,5	19 Outubro	12,5	144,5

20 Outubro	14,8	171,4	14 Novembro	11,2	130,0
21 Outubro	5,1	59,5	15 Novembro	11,2	129,9
22 Outubro	8,2	94,9	16 Novembro	10,9	126,1
23 Outubro	7,5	86,3	17 Novembro	10,0	115,7
24 Outubro	5,6	64,9	18 Novembro	4,0	45,8
25 Outubro	6,9	80,0	19 Novembro	10,4	120,7
26 Outubro	10,0	115,6	20 Novembro	1,8	21,2
27 Outubro	8,0	92,7	21 Novembro	8,0	92,9
28 Outubro	10,0	115,2	22 Novembro	9,2	105,9
29 Outubro	10,9	125,8	23 Novembro	10,2	118,3
30 Outubro	13,0	150,2	24 Novembro	8,0	93,0
31 Outubro	12,3	142,9	25 Novembro	6,9	79,9
1 Novembro	8,3	96,1	26 Novembro	5,4	63,0
2 Novembro	8,1	93,8	27 Novembro	8,0	93,2
3 Novembro	10,1	117,0	28 Novembro	7,5	86,5
4 Novembro	6,1	70,2	29 Novembro	7,7	88,9
5 Novembro	6,1	70,2	30 Novembro	2,2	25,8
6 Novembro	8,6	99,5	1 Dezembro	5,1	59,0
7 Novembro	10,4	119,9	2 Dezembro	3,2	36,6
8 Novembro	9,5	109,8	3 Dezembro	1,0	11,8
9 Novembro	6,7	77,9	4 Dezembro	6,0	69,5
10 Novembro	8,2	94,6	5 Dezembro	8,8	101,6
11 Novembro	4,9	57,0			
12 Novembro	7,2	83,6			
13 Novembro	11,0	127,4			

Anexo 6. Dados das normais climatológicas na Tapada da Ajuda no período 1971-2000

Normais climatológicas da Tapada da Ajuda, 1971/2000

Lat. 36° 42' N Long. 9° 10' W ARL 60 m T ar a 1,5 m Anemómetro a 2 m

	T máx ar (°C)		T mín ar (°C)		T média	T mínima relva (°C)		Temperatura do solo (°C)			Insolação	
	média	max absol	média	min absol	(°C)	média	min absol	10 cm	20 cm	120 cm	total horas	(%)
Janeiro	14.8	20.1	7.4	-1.5	11.1	3.2		9.6	11.7	15.1	130.0	43.0
Fevereiro	15.8	24.5	8.2	-0.5	12.0	4.8		10.7	12.3	14.4	141.5	47.4
Março	18.1	29.0	9.0	0.5	13.5	4.7		12.5	14.0	14.8	188.2	52.7
Abril	19.0	33.2	9.9	2.5	14.5	5.9		14.9	16.0	15.9	213.2	54.6
Maio	21.2	35.6	11.7	5.0	16.5	7.7		18.0	18.7	17.3	258.9	59.3
Junho	24.9	41.0	14.3	8.0	19.5	10.2		21.3	21.8	19.3	284.7	64.7
Julho	27.6	41.2	16.2	10.2	21.9	11.7		23.5	24.0	21.1	315.6	70.0
Agosto	27.9	37.6	16.3	7.5	22.1	12.3		23.6	24.3	22.3	313.6	74.1
Setembro	26.0	37.5	15.4	9.5	20.7	11.4		20.7	22.4	21.3	229.2	62.3
Outubro	22.3	32.5	13.5	6.0	17.8	10.0		17.1	19.3	21.0	183.1	53.8
Novembro	18.3	25.7	10.8	3.4	14.6	9.8		13.5	15.8	18.5	138.4	46.6
Dezembro	15.8	23.1	8.8	1.0	12.2	5.4		11.1	13.2	16.2	116.1	40.5
Ano	21.0	41.2	11.8	-1.5	16.4	8.1		16.4	17.8	18.1	2512.4	55.8

	HR (%)	Precipitação (mm)		Vento (km/h)	Evapor tina total (mm)	ETP, P/M total (mm)	Número de dias		Ra0,1 mm	Ra1 mm	Ra10 mm	Geadas
		total	máx diário				TMáx>25°	TMín>20°				
Janeiro	81	90.6		5.7	49.8	35.3	0.0	0.0	11.9	9.8	3.3	
Fevereiro	78	85.3		6.2	54.6	50.4	0.0	0.0	11.9	9.6	2.9	
Março	72	47.3		5.9	91.4	85.8	1.0	0.0	9.6	7.0	7.1	
Abril	70	56.4		6.1	109.1	109.7	1.7	0.0	10.9	8.3	1.8	
Maio	70	50.6		6.4	129.0	141.8	4.9	0.1	8.1	6.3	1.6	
Junho	68	15.6		6.6	197.7	167.5	12.4	0.6	3.7	2.4	0.5	
Julho	64	5.5		6.8	247.9	171.9	23.7	1.9	1.8	1.1	0.2	
Agosto	64	5.6		6.5	218.3	115.1	16.1	0.6	5.0	3.7	0.9	
Setembro	69	28.2		5.8	100.5	77.4	5.4	0.0	9.0	7.2	2.4	
Outubro	74	76.0		5.4	59.7	42.3	0.1	0.3	11.1	9.2	3.3	
Novembro	78	100.3		6.1	50.1	31.6	0.0	0.0	13.4	11.1	4.1	
Dezembro	81	113.0		6.2	1466.2	1213.8	87.1	5.0	97.4	76.3	28.2	
Ano	72	674.5										

Estação agrometeorológica do ISA/IM. Secção de Agrometeorologia, Dep. Ciências do Ambiente, ISA, 2006.

**Anexo C Valores obtidos pelas sondas no registo da
temperatura e da humidade do solo**

Anexo 7. Registo da humidade (%) e da temperatura média diária (°C) nos 4 camalhões

Data	Humidade (%)				Temperatura (°C)			
	A	B	C	D	A	B	C	D
07/06/2016	19,33	33,99	30,44	16,79	24,59	24,12	25,37	25,42
08/06/2016	20,93	33,49	29,39	18,83	25,86	25,42	26,81	26,52
09/06/2016	20,29	31,85	28,10	18,37	24,66	24,66	25,64	25,71
10/06/2016	19,34	30,89	27,45	17,59	23,37	23,83	24,36	24,40
11/06/2016	19,43	29,75	26,65	17,78	23,13	23,45	23,81	24,30
12/06/2016	19,91	29,32	26,28	18,84	24,62	24,74	25,47	25,83
13/06/2016	19,32	29,53	26,25	18,34	22,76	23,19	23,59	23,67
14/06/2016	19,78	29,54	26,11	18,56	23,98	23,96	24,69	24,48
15/06/2016	19,09	28,53	25,40	18,84	22,41	22,81	23,20	23,19
16/06/2016	18,60	27,18	24,68	19,01	22,15	22,45	23,00	23,08
17/06/2016	19,53	28,97	25,66	19,10	21,62	21,74	22,28	22,47
18/06/2016	19,89	29,58	26,12	19,71	22,12	22,21	22,88	23,09
19/06/2016	19,76	28,00	24,89	19,99	23,80	23,65	24,49	24,87
20/06/2016	20,07	27,04	24,09	19,54	25,65	25,28	26,25	26,42
21/06/2016	21,17	29,13	25,28	20,16	26,50	26,09	27,23	27,20
22/06/2016	21,45	29,85	25,36	20,21	26,98	26,82	27,87	27,65
23/06/2016	21,00	29,62	25,15	19,99	24,95	25,29	25,92	25,92
24/06/2016	21,00	30,04	24,81	19,84	24,15	24,70	25,17	25,39
25/06/2016	21,03	31,13	24,99	19,84	23,49	24,05	24,41	24,56
26/06/2016	20,60	29,52	24,55	19,85	25,08	25,32	25,64	25,81
27/06/2016	20,27	27,43	23,52	19,42	26,54	26,90	27,18	27,47
28/06/2016	19,85	26,97	22,90	18,90	26,14	26,93	26,93	26,96
29/06/2016	19,21	26,02	22,22	18,29	25,17	25,79	25,71	25,83
30/06/2016	18,95	25,29	21,81	17,91	24,69	25,32	25,26	25,58
01/07/2016	19,13	26,39	22,52	18,03	23,70	24,84	24,68	24,97
02/07/2016	19,82	27,32	22,86	18,28	23,48	24,50	24,20	24,76
03/07/2016	20,14	26,61	22,50	18,32	26,47	26,86	26,94	27,21
04/07/2016	18,92	25,17	21,76	17,54	25,32	26,33	25,85	25,81
05/07/2016	19,11	25,07	21,61	17,60	25,99	26,73	26,57	26,54
06/07/2016	19,80	25,75	22,17	17,78	25,76	26,69	26,43	26,62
07/07/2016	19,59	25,14	22,09	19,05	25,86	27,01	26,60	26,97
08/07/2016	19,73	23,83	21,65	18,04	25,80	26,90	26,58	27,00
09/07/2016	20,27	24,47	22,24	18,00	26,33	27,26	27,06	27,24
10/07/2016	19,27	24,37	21,96	17,39	25,93	26,99	26,84	27,16
11/07/2016	18,93	23,44	20,95	16,08	24,87	26,33	25,91	26,21
12/07/2016	19,28	23,33	21,50	16,03	23,46	25,11	24,54	24,73
13/07/2016	19,53	23,87	22,29	16,44	23,58	24,97	24,64	24,86
14/07/2016	19,92	23,28	22,71	16,55	25,91	26,76	26,68	27,01
15/07/2016	20,27	24,28	23,56	16,77	27,06	27,82	28,04	28,25

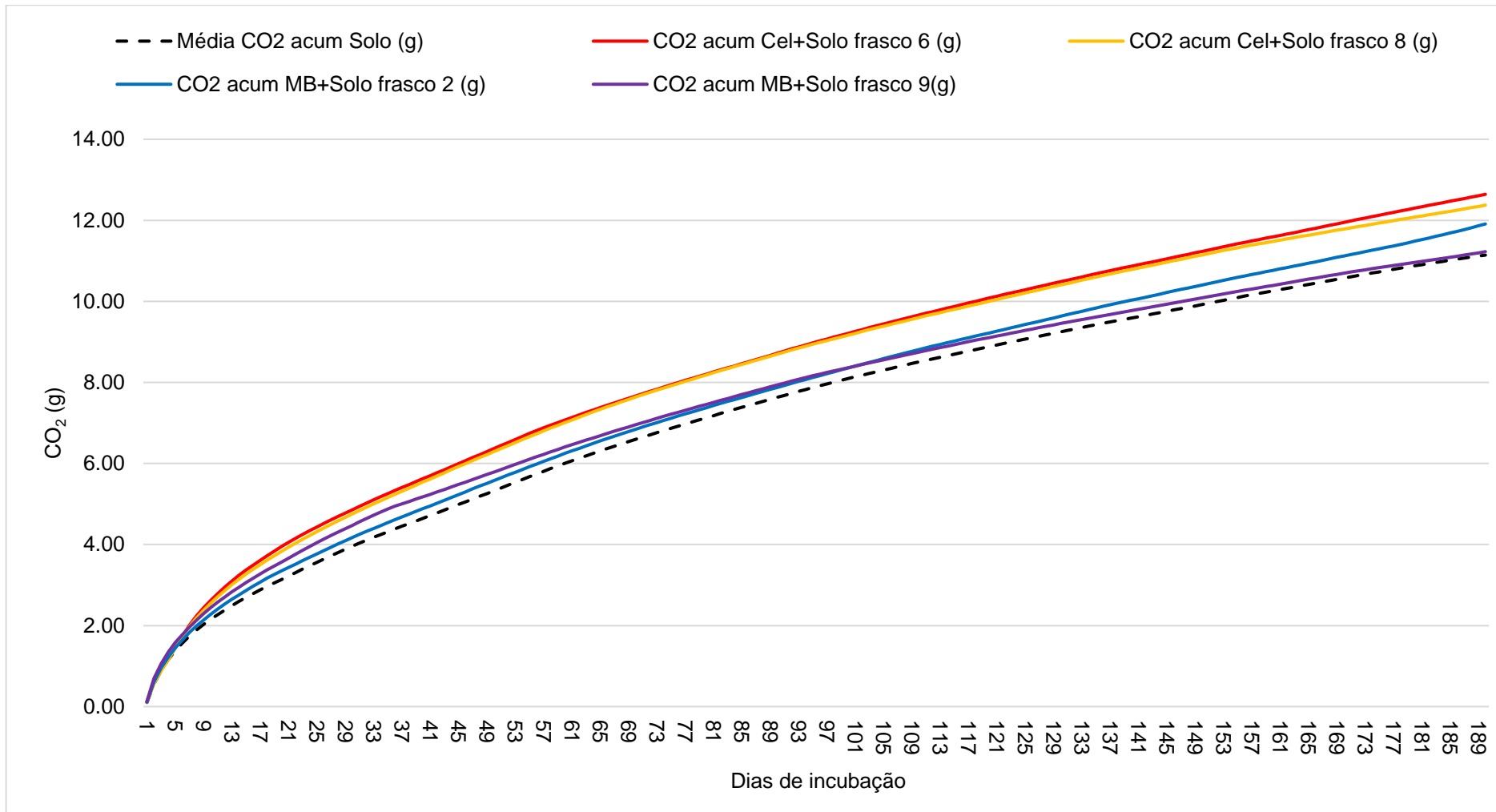
16/07/2016	20,09	24,13	23,63	16,55	28,18	28,74	29,29	29,15
17/07/2016	20,83	25,51	26,43	17,56	28,67	29,45	30,02	29,59
18/07/2016	22,10	28,04	29,61	19,37	27,94	28,81	29,30	28,73
19/07/2016	21,67	27,01	27,65	19,52	27,74	28,66	29,13	28,55
20/07/2016	19,93	25,30	25,40	18,16	26,60	28,12	28,43	28,00
21/07/2016	20,22	26,17	25,74	18,61	25,62	27,45	27,45	27,06
22/07/2016	20,41	26,29	26,46	18,93	24,76	27,01	26,79	26,39
23/07/2016	20,47	25,68	25,69	18,96	25,96	27,46	27,47	27,26
24/07/2016	20,54	25,13	25,29	19,11	28,14	29,02	29,57	28,95
25/07/2016	20,29	24,17	24,77	18,56	29,20	29,94	30,72	30,04
26/07/2016	19,97	24,60	24,64	18,68	28,27	29,67	30,48	29,62
27/07/2016	19,88	25,34	24,96	19,06	26,67	28,40	29,04	27,97
28/07/2016	19,56	25,35	24,66	18,81	27,49	28,65	29,32	28,34
29/07/2016	19,20	24,94	24,58	18,69	28,17	29,14	29,80	28,78
30/07/2016	19,02	25,26	25,22	18,95	26,18	27,66	27,88	27,06
31/07/2016	19,06	25,46	25,80	19,44	25,20	26,88	27,55	26,15
01/08/2016	18,27	23,06	23,73	17,93	24,84	26,39	27,22	25,85
02/08/2016	18,40	22,78	23,20	17,60	26,16	27,29	27,86	26,59
03/08/2016	18,05	22,59	22,99	17,80	24,97	26,65	27,40	25,94
04/08/2016	18,57	23,05	23,08	18,57	25,15	26,86	27,40	26,22
05/08/2016	18,34	22,56	22,54	18,57	24,38	26,29	26,81	25,46
06/08/2016	18,45	21,94	22,67	18,11	26,86	28,19	28,71	27,17
07/08/2016	19,65	22,04	23,49	18,20	28,65	29,82	30,16	28,66
08/08/2016	19,52	21,72	22,59	17,95	29,39	30,33	30,51	28,75
09/08/2016	19,11	22,55	21,71	18,11	27,82	29,31	29,29	27,82
10/08/2016	19,12	24,44	21,50	18,13	26,03	27,80	27,37	26,19
11/08/2016	18,87	24,69	21,57	18,06	26,76	28,82	28,43	27,07
12/08/2016	18,58	24,61	21,06	17,66	27,96	29,94	29,37	27,56
13/08/2016	18,17	23,22	21,01	17,41	27,21	28,92	28,61	26,92
14/08/2016	17,91	23,09	21,22	17,48	26,73	28,30	28,30	26,40
15/08/2016	18,62	24,68	21,59	18,85	25,90	27,91	27,36	25,23
16/08/2016	18,76	25,11	22,07	19,51	25,01	27,52	26,50	24,51
17/08/2016	18,38	24,13	21,69	19,40	25,06	27,34	26,42	25,04
18/08/2016	18,10	23,18	20,89	18,74	24,67	26,99	26,09	24,33
19/08/2016	18,15	23,99	21,24	19,68	25,13	26,80	25,81	24,69
20/08/2016	17,51	23,39	21,91	19,44	23,90	25,83	24,95	23,60
21/08/2016	17,04	22,65	21,68	20,15	24,78	26,50	25,30	23,67
22/08/2016	16,98	22,63	21,34	20,99	26,55	28,32	26,43	24,88
23/08/2016	16,80	23,26	20,63	21,79	27,06	28,60	26,84	25,35
24/08/2016	16,47	22,74	19,88	20,37	26,52	28,18	26,55	25,21
25/08/2016	16,22	23,03	19,63	19,58	26,11	27,69	25,88	24,64
26/08/2016	16,24	24,06	19,98	19,82	26,50	28,10	25,74	24,57
27/08/2016	16,34	23,27	20,18	19,99	26,65	28,28	25,81	24,76
28/08/2016	16,11	22,41	20,27	19,59	25,22	26,84	25,07	23,79
29/08/2016	15,93	22,09	20,51	18,96	24,51	26,02	24,24	22,99

30/08/2016	15,96	22,54	21,01	18,98	24,51	26,04	23,86	22,74
31/08/2016	15,99	22,60	21,29	19,09	23,96	25,15	23,75	22,70
01/09/2016	16,46	23,51	21,52	19,23	25,47	26,28	24,31	23,30
02/09/2016	16,97	24,82	22,22	19,91	26,15	27,00	24,61	23,83
03/09/2016	17,34	24,22	22,72	20,08	26,63	27,53	25,33	24,42
04/09/2016	16,94	22,87	21,93	19,46	27,19	27,74	25,86	24,83
05/09/2016	16,70	22,33	21,11	18,86	27,52	28,10	26,68	25,49
06/09/2016	16,90	23,79	21,91	19,05	27,84	28,40	26,87	25,94
07/09/2016	16,31	23,05	20,61	18,75	26,27	26,85	25,31	24,38
08/09/2016	16,18	23,21	20,50	18,63	24,06	24,80	23,41	22,68
09/09/2016	16,33	23,38	21,43	19,25	23,23	24,00	22,38	22,13
10/09/2016	16,03	23,43	21,73	19,74	23,75	24,42	22,91	22,36
11/09/2016	16,21	22,86	21,12	19,90	24,95	25,34	23,68	23,33
12/09/2016	16,29	22,32	20,37	19,67	25,09	25,24	23,38	23,04
13/09/2016	19,13	27,11	23,73	21,02	23,53	24,28	22,52	22,00
14/09/2016	16,92	21,93	21,00	18,50	21,84	22,48	21,00	20,49
15/09/2016	16,17	21,09	20,56	17,81	22,16	22,62	21,16	20,70
16/09/2016	16,14	21,87	21,27	18,47	21,66	22,34	20,89	20,38
17/09/2016	16,56	22,59	21,77	18,85	22,48	22,86	21,42	20,98
18/09/2016	16,49	22,36	21,45	18,68	22,90	23,12	21,90	21,32
19/09/2016	16,06	20,43	19,87	17,65	22,51	22,92	21,44	20,62
20/09/2016	16,23	19,81	19,44	17,58	21,93	22,71	20,97	20,09
21/09/2016	16,05	20,19	19,57	17,70	20,58	21,44	20,17	19,31
22/09/2016	15,53	20,79	19,66	17,89	19,90	20,72	19,63	18,78
23/09/2016	16,07	22,50	20,52	18,30	21,10	21,73	20,60	19,92
24/09/2016	16,74	22,29	21,51	18,62	21,50	22,26	20,87	20,12
25/09/2016	16,68	21,84	21,25	18,47	20,74	21,78	20,57	19,86
26/09/2016	15,82	19,84	20,02	17,31	19,44	20,42	19,50	18,65
27/09/2016	16,14	20,17	19,55	17,56	21,15	21,85	20,93	20,42
28/09/2016	16,38	19,98	19,12	16,91	22,58	23,23	22,22	21,77
29/09/2016	16,12	19,22	18,86	16,30	22,25	23,04	21,85	21,31
30/09/2016	16,45	19,27	19,03	16,55	21,87	22,70	21,43	20,82
01/10/2016	16,26	19,37	18,99	16,84	20,21	21,23	19,89	19,21
02/10/2016	16,10	18,94	18,85	16,98	19,24	20,11	18,96	18,32
03/10/2016	16,35	18,99	19,13	17,20	19,05	20,01	18,61	17,92
04/10/2016	17,08	21,04	20,56	18,03	19,18	19,94	18,85	18,37
05/10/2016	17,28	22,01	21,14	18,27	20,09	20,80	19,72	19,26
06/10/2016	15,78	19,41	19,42	16,78	19,79	20,56	19,28	18,70
07/10/2016	15,72	19,09	19,89	16,98	18,78	19,54	18,34	17,61
08/10/2016	15,97	19,07	20,86	17,40	18,91	19,65	18,55	18,54
09/10/2016	16,57	19,20	21,77	18,01	18,83	19,63	18,49	17,95
10/10/2016	16,96	19,46	21,24	18,22	18,14	18,98	17,94	17,12
11/10/2016	16,59	19,10	20,18	17,72	18,15	19,10	18,15	17,42
12/10/2016	20,73	29,46	25,29	20,09	18,76	19,76	18,87	18,16
13/10/2016	18,91	26,88	23,51	20,02	18,20	19,20	18,17	17,54

14/10/2016	17,28	22,13	21,23	18,77	17,70	18,71	17,63	16,87
15/10/2016	16,48	21,01	20,67	18,87	17,89	18,78	17,87	17,32
16/10/2016	16,38	20,97	20,73	19,28	18,68	19,52	18,69	18,16
17/10/2016	16,17	20,47	19,81	18,54	18,54	19,37	18,71	18,09
18/10/2016	16,50	20,22	19,58	18,70	19,48	20,30	19,67	19,15
19/10/2016	16,20	19,66	19,04	18,02	19,83	20,66	19,88	19,42
20/10/2016	15,77	19,33	18,63	17,23	19,38	20,26	19,30	18,88
21/10/2016	15,45	19,12	18,30	16,63	18,81	19,66	18,91	18,30
22/10/2016	15,48	19,50	18,04	16,43	19,37	20,23	19,57	19,11
23/10/2016	15,42	19,77	18,46	17,59	18,02	19,09	18,30	17,47
24/10/2016	18,75	27,60	24,96	19,25	16,98	18,00	17,22	16,54
25/10/2016	20,43	29,39	25,93	20,75	18,31	19,18	18,63	18,14
26/10/2016	19,01	24,95	22,79	20,32	18,89	19,75	19,20	18,92
27/10/2016	18,30	22,85	21,50	19,71	20,50	21,20	20,74	20,40
28/10/2016	17,51	21,56	20,51	18,89	21,01	21,65	21,23	20,70
29/10/2016	16,82	20,74	19,67	18,09	20,97	21,64	21,11	20,57
30/10/2016	16,20	20,14	19,60	17,37	19,90	20,71	19,93	19,35
31/10/2016	15,84	19,73	19,38	16,94	18,63	19,47	18,60	18,22
01/11/2016	15,20	18,46	18,18	16,31	18,98	19,72	19,16	18,59
02/11/2016	14,07	16,74	17,59	15,54	18,97	19,65	19,13	18,63
03/11/2016	13,92	16,66	17,38	15,17	18,33	19,03	18,55	18,14
04/11/2016	13,92	16,45	17,32	15,00	18,53	19,18	18,76	17,98
05/11/2016	13,69	16,92	17,23	14,64	17,82	18,53	18,12	17,57
06/11/2016	13,35	16,50	17,48	14,42	15,30	15,93	15,47	14,53
07/11/2016	13,10	16,24	17,27	13,65	14,00	14,58	13,98	13,33
08/11/2016	13,00	16,07	17,11	13,42	13,92	14,39	13,67	12,78
09/11/2016	13,24	16,16	17,11	13,78	15,55	16,02	15,48	15,59
10/11/2016	13,49	16,76	17,99	13,61	15,64	16,14	15,57	15,31
11/11/2016	13,78	17,93	18,80	13,57	15,20	15,81	15,26	15,14
12/11/2016	13,78	17,69	18,01	13,71	16,75	17,25	16,82	16,95
13/11/2016	14,06	19,99	21,58	17,20	16,43	17,06	16,61	16,12
14/11/2016	13,76	18,78	19,87	14,51	15,51	15,98	15,53	15,13
15/11/2016	13,33	17,94	18,91	14,52	14,51	14,97	14,38	14,11
16/11/2016	13,09	17,34	18,22	13,90	14,34	14,79	14,10	13,10
17/11/2016	12,89	16,91	17,71	13,71	14,54	14,93	14,24	14,40

Anexo D Resultados do ensaio de biodegradação

Anexo 8. Quantidade de CO₂ diário acumulado (em g) durante o teste respirométrico (190 dias)



Anexo 9. Quantidade de CO₂ produzido pela celulose (Cel) e pelo filme biodegradável (MB) durante o teste respirométrico (190 dias)

Dia	Net CO ₂ diário prod. Cel 6	Net CO ₂ diária prod. Cel 8	Net CO ₂ diária prod. MB 2	Net CO ₂ diária prod. MB 9
1	0,010	-0,003	0,038	0,108
2	-0,016	-0,003	0,011	0,026
3	0,005	0,000	0,002	0,021
4	0,055	0,054	0,008	0,016
5	0,099	0,092	0,009	0,010
6	0,104	0,089	0,011	0,015
7	0,080	0,065	0,012	0,019
8	0,063	0,052	0,013	0,022
9	0,054	0,044	0,013	0,023
10	0,055	0,045	0,016	0,017
11	0,047	0,041	0,010	0,017
12	0,042	0,036	0,007	0,015
13	0,036	0,031	0,005	0,012
14	0,031	0,028	0,007	0,014
15	0,027	0,023	0,009	0,015
16	0,028	0,024	0,012	0,014
17	0,026	0,022	0,010	0,012
18	0,028	0,022	0,007	0,011
19	0,027	0,022	0,003	0,013
20	0,019	0,019	0,001	0,011
21	0,014	0,015	-0,001	0,012
22	0,011	0,013	0,000	0,013
23	0,009	0,011	0,000	0,011
24	0,008	0,009	-0,001	0,008
25	0,008	0,010	0,001	0,008
26	0,006	0,009	0,001	0,007
27	0,005	0,008	0,002	0,007
28	0,005	0,007	0,002	0,004
29	0,005	0,006	0,003	0,006
30	0,007	0,009	0,001	0,010
31	0,007	0,009	0,000	0,009
32	0,008	0,009	0,000	0,009
33	0,010	0,011	0,003	0,011
34	0,010	0,012	0,003	0,009
35	0,008	0,011	0,003	0,000
36	0,007	0,008	0,003	-0,010
37	0,007	0,011	0,003	-0,007
38	0,007	0,010	0,002	-0,007
39	0,007	0,009	0,002	-0,008
40	0,006	0,009	0,002	-0,008

41	0,006	0,007	0,002	-0,008
42	0,006	0,009	0,000	-0,008
43	0,007	0,010	0,001	-0,007
44	0,006	0,007	0,002	-0,006
45	0,007	0,008	0,004	-0,005
46	0,007	0,006	0,002	-0,007
47	0,006	0,006	0,001	-0,007
48	0,005	0,004	0,000	-0,008
49	0,006	0,005	-0,001	-0,008
50	0,007	0,006	0,000	-0,006
51	0,005	0,005	-0,001	-0,007
52	0,006	0,006	-0,001	-0,005
53	0,006	0,005	-0,001	-0,007
54	0,005	0,003	-0,002	-0,006
55	0,005	0,003	-0,001	-0,006
56	0,000	0,003	-0,002	-0,006
57	-0,001	0,003	-0,001	-0,006
58	-0,002	0,003	0,000	-0,005
59	0,000	0,003	0,001	-0,004
60	0,000	0,004	0,001	-0,004
61	0,000	0,005	0,000	-0,006
62	0,001	0,005	0,001	-0,005
63	0,000	0,004	0,000	-0,005
64	-0,002	0,004	0,000	-0,005
65	-0,001	0,004	0,000	-0,004
66	0,000	0,002	0,000	-0,004
67	0,000	0,002	0,001	-0,005
68	0,000	0,002	0,000	-0,005
69	0,001	0,002	0,001	-0,003
70	0,001	0,002	0,001	-0,002
71	0,001	0,003	0,000	-0,001
72	0,002	0,004	0,000	-0,002
73	0,001	0,001	0,001	-0,001
74	0,001	0,001	0,000	-0,004
75	0,003	0,002	0,000	-0,003
76	0,002	0,001	0,000	-0,003
77	0,001	0,001	0,000	-0,003
78	-0,001	0,002	-0,001	-0,003
79	-0,001	0,001	-0,001	-0,004
80	-0,001	0,001	0,000	-0,004
81	-0,001	0,002	-0,002	-0,004
82	-0,001	-0,001	-0,001	-0,003
83	0,000	0,000	0,000	-0,002
84	0,001	0,001	0,000	-0,002
85	0,001	0,001	0,000	-0,002

86	0,002	0,001	-0,001	-0,002
87	0,003	0,001	0,000	-0,003
88	0,003	0,000	-0,001	-0,003
89	0,004	0,002	0,000	-0,001
90	0,004	0,002	0,000	-0,002
91	0,005	0,002	0,001	-0,002
92	0,002	0,000	0,001	-0,003
93	0,002	0,000	0,001	-0,004
94	0,002	0,000	0,000	-0,004
95	0,003	0,001	0,003	-0,004
96	0,004	0,000	0,003	-0,004
97	0,003	0,001	0,003	-0,005
98	0,002	0,001	0,003	-0,005
99	0,003	0,000	0,003	-0,005
100	0,003	0,002	0,003	-0,004
101	0,004	0,003	0,003	-0,003
102	0,005	0,004	0,005	-0,002
103	0,005	0,003	0,005	-0,003
104	0,004	0,002	0,005	-0,002
105	0,003	0,001	0,004	-0,003
106	0,002	0,001	0,003	-0,002
107	0,004	0,002	0,003	-0,002
108	0,003	0,001	0,004	-0,002
109	0,003	0,002	0,004	-0,003
110	0,005	0,002	0,005	-0,002
111	0,004	0,003	0,005	-0,002
112	0,004	0,003	0,004	-0,002
113	0,004	0,002	0,003	-0,002
114	0,005	0,002	0,003	-0,001
115	0,004	0,001	0,003	-0,001
116	0,004	0,002	0,003	-0,002
117	0,005	0,003	0,003	-0,002
118	0,004	0,002	0,003	-0,003
119	0,004	0,003	0,004	-0,003
120	0,004	0,004	0,005	-0,002
121	0,004	0,004	0,004	-0,002
122	0,004	0,004	0,004	-0,002
123	0,003	0,004	0,004	-0,001
124	0,004	0,004	0,005	0,000
125	0,004	0,004	0,005	-0,002
126	0,004	0,004	0,004	-0,002
127	0,004	0,004	0,005	-0,002
128	0,005	0,003	0,006	-0,002
129	0,004	0,004	0,006	-0,003
130	0,004	0,004	0,006	-0,003

131	0,003	0,004	0,006	-0,003
132	0,004	0,003	0,005	-0,003
133	0,004	0,004	0,005	-0,003
134	0,004	0,004	0,005	-0,003
135	0,004	0,004	0,006	-0,002
136	0,005	0,003	0,006	-0,002
137	0,004	0,004	0,005	-0,002
138	0,005	0,004	0,005	-0,001
139	0,004	0,004	0,004	-0,001
140	0,003	0,004	0,005	-0,001
141	0,004	0,003	0,005	-0,001
142	0,004	0,003	0,006	-0,002
143	0,004	0,002	0,005	-0,002
144	0,003	0,004	0,005	-0,001
145	0,004	0,003	0,005	-0,002
146	0,003	0,003	0,005	-0,002
147	0,004	0,003	0,004	-0,002
148	0,003	0,003	0,004	-0,003
149	0,002	0,001	0,002	-0,003
150	0,003	0,002	0,003	-0,003
151	0,002	0,002	0,003	-0,003
152	0,003	0,001	0,002	-0,003
153	0,002	0,000	0,002	-0,004
154	0,002	-0,001	0,002	-0,003
155	0,002	-0,001	0,001	-0,005
156	0,003	0,000	0,002	-0,002
157	0,001	-0,001	0,002	-0,002
158	0,002	-0,002	0,003	-0,002
159	0,003	-0,001	0,003	-0,001
160	0,003	-0,001	0,004	-0,001
161	0,003	0,000	0,004	-0,001
162	0,003	0,000	0,004	0,000
163	0,005	-0,001	0,003	-0,001
164	0,004	-0,002	0,003	-0,002
165	0,004	-0,002	0,003	-0,002
166	0,003	-0,002	0,004	-0,003
167	0,002	-0,003	0,003	-0,003
168	0,005	-0,002	0,004	-0,002
169	0,006	-0,001	0,005	-0,002
170	0,006	-0,001	0,005	-0,001
171	0,006	-0,001	0,005	-0,002
172	0,004	-0,002	0,004	-0,005
173	0,005	-0,002	0,005	-0,003
174	0,005	0,000	0,005	-0,003
175	0,005	-0,001	0,005	-0,004

176	0,005	0,000	0,006	-0,004
177	0,006	0,000	0,007	-0,004
178	0,005	-0,001	0,009	-0,004
179	0,005	-0,001	0,010	-0,005
180	0,006	0,000	0,011	-0,003
181	0,007	0,000	0,013	-0,002
182	0,006	0,001	0,014	-0,002
183	0,006	0,002	0,014	-0,002
184	0,007	0,003	0,014	-0,001
185	0,008	0,004	0,016	0,000
186	0,008	0,005	0,019	0,001
187	0,009	0,005	0,020	0,002
188	0,010	0,006	0,021	0,004
189	0,010	0,007	0,023	0,005
190	0,011	0,007	0,023	0,005

Anexo 10. Valores de biodegradação atingidos (%) da celulose (Cel) e do filme biodegradável (MB) durante o teste respirométrico (190 dias)

Dia	% Biodegradação Cel 6	% Biodegradação Cel 8	% Biodegradação MB 2	% Biodegradação MB 9
1	0,74	0,36	0,36	1,27
2	1,38	0,20	2,07	6,04
3	0,38	-0,91	2,58	7,20
4	0,70	-0,32	2,68	8,16
5	4,09	3,30	3,02	8,87
6	10,15	8,98	3,43	9,32
7	16,53	14,43	3,92	9,97
8	21,41	18,39	4,44	10,84
9	25,29	21,56	5,01	11,82
10	28,60	24,24	5,57	12,86
11	31,96	27,01	6,28	13,60
12	34,84	29,51	6,73	14,37
13	37,40	31,74	7,04	15,04
14	39,60	33,62	7,27	15,57
15	41,51	35,34	7,57	16,17
16	43,14	36,76	7,99	16,82
17	44,85	38,25	8,51	17,44
18	46,45	39,61	8,96	17,96
19	48,15	40,97	9,29	18,46
20	49,82	42,32	9,40	19,05
21	50,99	43,47	9,43	19,54
22	51,82	44,40	9,38	20,06
23	52,50	45,20	9,37	20,63
24	53,04	45,85	9,37	21,12
25	53,55	46,40	9,33	21,47
26	54,02	47,02	9,38	21,84
27	54,37	47,57	9,42	22,17
28	54,67	48,05	9,50	22,46
29	54,99	48,47	9,58	22,64
30	55,29	48,84	9,70	22,90
31	55,75	49,40	9,76	23,35
32	56,20	49,93	9,77	23,74
33	56,67	50,46	9,78	24,14
34	57,28	51,15	9,92	24,61
35	57,90	51,89	10,07	25,00
36	58,37	52,54	10,21	24,98
37	58,77	53,06	10,32	24,55
38	59,21	53,71	10,47	24,25
39	59,64	54,32	10,55	23,94
40	60,08	54,90	10,62	23,58

41	60,44	55,43	10,69	23,22
42	60,79	55,88	10,80	22,86
43	61,16	56,42	10,81	22,51
44	61,60	57,01	10,85	22,21
45	61,97	57,47	10,96	21,94
46	62,43	57,94	11,13	21,71
47	62,85	58,34	11,23	21,41
48	63,25	58,69	11,29	21,12
49	63,56	58,96	11,27	20,79
50	63,93	59,26	11,24	20,45
51	64,35	59,60	11,23	20,19
52	64,67	59,93	11,20	19,89
53	65,01	60,27	11,15	19,65
54	65,36	60,55	11,10	19,36
55	65,64	60,72	11,02	19,10
56	65,94	60,90	10,97	18,84
57	65,91	61,09	10,89	18,55
58	65,84	61,28	10,85	18,30
59	65,75	61,47	10,87	18,09
60	65,73	61,67	10,92	17,90
61	65,73	61,95	10,96	17,71
62	65,71	62,26	10,97	17,44
63	65,78	62,54	11,02	17,24
64	65,77	62,82	11,03	17,02
65	65,63	63,04	11,02	16,79
66	65,59	63,29	11,01	16,61
67	65,56	63,41	10,99	16,44
68	65,57	63,53	11,03	16,23
69	65,57	63,67	11,05	16,02
70	65,61	63,81	11,12	15,87
71	65,66	63,95	11,14	15,77
72	65,73	64,11	11,13	15,72
73	65,86	64,34	11,12	15,64
74	65,93	64,40	11,17	15,58
75	65,99	64,44	11,19	15,41
76	66,15	64,55	11,21	15,29
77	66,25	64,62	11,20	15,15
78	66,29	64,70	11,19	15,04
79	66,23	64,80	11,16	14,91
80	66,16	64,86	11,13	14,73
81	66,11	64,92	11,12	14,54
82	66,03	65,04	11,05	14,35
83	65,94	65,01	11,00	14,23
84	65,93	65,03	10,99	14,12
85	65,99	65,09	11,01	14,04

86	66,05	65,14	11,00	13,97
87	66,15	65,20	10,96	13,89
88	66,32	65,24	10,94	13,77
89	66,48	65,24	10,90	13,62
90	66,74	65,36	10,90	13,57
91	67,01	65,48	10,92	13,46
92	67,31	65,59	10,98	13,36
93	67,42	65,57	11,01	13,23
94	67,54	65,56	11,04	13,07
95	67,66	65,57	11,07	12,88
96	67,87	65,66	11,19	12,73
97	68,09	65,68	11,31	12,55
98	68,30	65,72	11,45	12,34
99	68,44	65,77	11,59	12,12
100	68,62	65,79	11,72	11,88
101	68,81	65,90	11,86	11,71
102	69,06	66,07	12,00	11,56
103	69,36	66,30	12,22	11,46
104	69,68	66,46	12,46	11,35
105	69,91	66,59	12,66	11,26
106	70,09	66,67	12,84	11,14
107	70,24	66,74	12,99	11,04
108	70,46	66,88	13,14	10,94
109	70,67	66,95	13,31	10,83
110	70,87	67,08	13,50	10,70
111	71,15	67,21	13,73	10,63
112	71,43	67,40	13,98	10,55
113	71,69	67,58	14,14	10,45
114	71,96	67,70	14,25	10,38
115	72,26	67,83	14,39	10,34
116	72,53	67,91	14,51	10,31
117	72,78	68,02	14,63	10,24
118	73,05	68,22	14,76	10,14
119	73,31	68,36	14,90	10,01
120	73,59	68,54	15,06	9,88
121	73,83	68,80	15,26	9,80
122	74,09	69,03	15,43	9,71
123	74,33	69,28	15,63	9,63
124	74,52	69,54	15,81	9,57
125	74,77	69,81	16,05	9,57
126	75,02	70,08	16,28	9,48
127	75,26	70,36	16,47	9,40
128	75,51	70,58	16,68	9,31
129	75,81	70,80	16,96	9,25
130	76,05	71,01	17,23	9,11

131	76,30	71,24	17,48	8,97
132	76,50	71,48	17,74	8,85
133	76,72	71,69	17,97	8,71
134	76,94	71,92	18,21	8,56
135	77,15	72,16	18,45	8,44
136	77,41	72,41	18,70	8,35
137	77,69	72,61	18,97	8,29
138	77,93	72,89	19,20	8,22
139	78,21	73,14	19,41	8,18
140	78,44	73,37	19,58	8,13
141	78,65	73,63	19,79	8,08
142	78,90	73,82	20,01	8,02
143	79,14	74,01	20,27	7,95
144	79,38	74,16	20,50	7,88
145	79,60	74,38	20,73	7,82
146	79,81	74,57	20,95	7,75
147	80,03	74,77	21,18	7,67
148	80,26	74,92	21,36	7,60
149	80,45	75,08	21,52	7,46
150	80,58	75,16	21,63	7,32
151	80,74	75,26	21,76	7,19
152	80,88	75,37	21,88	7,05
153	81,04	75,42	21,99	6,90
154	81,17	75,39	22,06	6,73
155	81,26	75,35	22,13	6,58
156	81,36	75,30	22,17	6,37
157	81,56	75,28	22,27	6,27
158	81,65	75,20	22,38	6,18
159	81,80	75,09	22,51	6,10
160	81,98	75,05	22,66	6,06
161	82,15	74,98	22,83	6,00
162	82,31	74,98	23,03	5,95
163	82,49	74,96	23,21	5,95
164	82,81	74,88	23,32	5,90
165	83,07	74,75	23,45	5,82
166	83,32	74,65	23,58	5,73
167	83,50	74,55	23,75	5,62
168	83,61	74,40	23,91	5,47
169	83,90	74,28	24,08	5,36
170	84,26	74,20	24,32	5,28
171	84,60	74,11	24,53	5,22
172	84,94	74,08	24,73	5,14
173	85,17	73,96	24,93	4,94
174	85,46	73,86	25,16	4,78
175	85,79	73,84	25,39	4,67

176	86,08	73,78	25,63	4,49
177	86,41	73,79	25,91	4,30
178	86,77	73,78	26,23	4,12
179	87,07	73,71	26,64	3,92
180	87,38	73,66	27,08	3,70
181	87,77	73,64	27,58	3,56
182	88,19	73,66	28,14	3,45
183	88,53	73,72	28,76	3,38
184	88,92	73,86	29,37	3,32
185	89,32	74,02	30,01	3,27
186	89,79	74,24	30,72	3,29
187	90,27	74,55	31,56	3,33
188	90,82	74,86	32,44	3,41
189	91,41	75,24	33,36	3,57
190	92,06	75,66	34,37	3,78

Anexo 11. Conteúdo em carbono (wc) dos materiais usados no teste respirométrico

Material	Conteúdo em carbono (wc)
Celulose	44,4 %
MB	60,9 %

Anexo 12. Quantidade em gramas de material adicionado (m) em cada frasco usado no teste respirométrico

Material	Frasco 2	Frasco 6	Frasco 8	Frasco 9
m MB	1,0014	-	-	1,0093
m Celulose	-	1,00039	1,00079	-

**Anexo E Registo das dimensões e da quantidade total
de frutos produzidos por planta em cada mês e
resultados da correlação de Pearson**

Anexo 13. Correlação de Pearson entre o número de frutos e a quantidade produzida (em g) nos meses de setembro, outubro e novembro

		PPP (g) <i>n=40</i>					
Mês	SET		OUT		NOV		
NTF <i>n=40</i>	r	p-value	r	p-value	r	p-value	
	0,9548	0,0000	0,9636	0,0000	0,9440	0,0000	

Anexo 14. Correlação de Pearson entre o comprimento e diâmetro médio (cm) nos meses de setembro, outubro e novembro

		DM (cm) <i>n=40</i>					
Mês	SET		OUT		NOV		
CM (cm) <i>n=40</i>	r	p-value	r	p-value	r	p-value	
	0,9465	0,0000	0,4287	0,0058	0,9807	0,0000	

Anexo 15. Correlação de Pearson entre o peso médio dos frutos (g) e o comprimento médio (cm) nos meses de setembro, outubro e novembro

		CM (cm) <i>n=40</i>					
Mês	SET		OUT		NOV		
PMF (g) <i>n=40</i>	r	p-value	r	p-value	r	p-value	
	0,9397	0,0000	0,7582	0,0000	0,1673	0,3021	

Anexo 16. Correlação de Pearson entre as variáveis Peso médio dos frutos (g) e Diâmetro médio (cm) nos meses de setembro, outubro e novembro

		DM (cm) <i>n=40</i>					
Mês	SET		OUT		NOV		
PMF (g) <i>n=40</i>	r	p-value	r	p-value	r	p-value	
	0,8794	0,0000	0,8693	0,0000	0,0059	0,9710	

Analysis Summary

Data variables:

Produção por planta SET _g_
 Número Total de frutos SET
 Peso médio frutos SET _g_
 Comprimento médio _cm_ SET
 Diâmetro dos frutos _cm_ SET

There are 40 complete cases for use in the calculations.

The StatAdvisor

This procedure is designed to summarize several columns of quantitative data. It will calculate various statistics, including correlations, covariances, and partial correlations. Also included in the procedure are a number of multivariate graphs, which give interesting views into the data. Use the Tabular Options and Graphical Options buttons on the analysis toolbar to access these different procedures.

Summary Statistics

Sample 1: Produção por planta SET _g_
 Sample 2: Número Total de frutos SET
 Sample 3: Peso médio frutos SET _g_
 Sample 4: Comprimento médio _cm_ SET
 Sample 5: Diâmetro dos frutos _cm_ SET

	Sample 1:	Sample 2:	Sample 3:	Sample 4:	Sample 5:
Count	40	40	40	40	40
Average	16,2843	11,225	1,34425	2,536	0,90475
Variance	136,255	58,5891	0,261784	0,651881	0,0733948
Standard deviation	11,6728	7,65435	0,511648	0,807391	0,270915
Standard error	1,84564	1,21026	0,0808987	0,12766	0,0428354
Minimum	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Maximum	50,5	30,0	2,13	3,41	1,13
Range	50,5	30,0	2,13	3,41	1,13
Std. skewness	2,05574	0,994255	-2,84604	-6,07767	-7,56933
Std. kurtosis	1,01693	-0,699902	2,25066	7,30757	10,3014

The StatAdvisor

This table shows summary statistics for each of the selected data variables. It includes measures of central tendency, measures of variability, and measures of shape. Of particular interest here are the standardized skewness and standardized kurtosis, which can be used to determine whether the sample comes from a normal distribution. Values of these statistics outside the range of -2 to +2 indicate significant departures from normality, which would tend to invalidate many of the statistical procedures normally applied to this data. In this case, the following variables show standardized skewness values outside the expected range:
 Produção por planta SET _g_
 Peso médio frutos SET _g_
 Comprimento médio _cm_ SET
 Diâmetro dos frutos _cm_ SET
 The following variables show standardized kurtosis values outside the expected range:
 Peso médio frutos SET _g_
 Comprimento médio _cm_ SET
 Diâmetro dos frutos _cm_ SET
 To make the variables more normal, you might try a transformation such as LOG(Y), SQRT(Y), or 1/Y.

95,0 percent confidence intervals

	Mean	Std. error	Lower limit	Upper limit
Produção por planta	16,2843	1,84564	12,5511	20,0174
Número Total de frut	11,225	1,21026	8,77701	13,673
Peso médio frutos SE	1,34425	0,0808987	1,18062	1,50788
Comprimento médio _c	2,536	0,12766	2,27778	2,79422
Diâmetro dos frutos	0,90475	0,0428354	0,818107	0,991393

	Sigma	Lower limit	Upper limit
Produção por planta	11,6728	9,56193	14,9883
Número Total de frut	7,65435	6,27015	9,82846
Peso médio frutos SE	0,511648	0,419122	0,656975
Comprimento médio _c	0,807391	0,661384	1,03672
Diâmetro dos frutos	0,270915	0,221923	0,347864

The StatAdvisor

This table shows 95,0% confidence intervals for the means and standard deviations of each of the variables. These intervals bound the sampling error in the estimates of the parameters of the populations from which the data come. They can be used to help judge how precisely the population means and standard deviations have been estimated. The intervals assume that the populations from which the samples come can be represented by normal distributions. While the confidence intervals for the means are quite robust and not very sensitive to violations of this assumption, the confidence intervals for the standard deviations are quite sensitive. You can check the assumption of normality in the One Variable Analysis procedure.

Correlations

	Produção por planta	Número Total de frut	Peso médio frutos SE	Comprimento médio _c	Diâmetro dos frutos
Produção por planta	0,9548 (40) 0,0000	0,4508 (40) 0,0035	0,5066 (40) 0,0009	0,4112 (40) 0,0084	
Número Total de frut	0,9548 (40) 0,0000	0,3127 (40) 0,0495	0,4297 (40) 0,0057	0,3840 (40) 0,0144	
Peso médio frutos SE	0,4508 (40) 0,0035	0,3127 (40) 0,0495	0,9397 (40) 0,0000	0,8794 (40) 0,0000	
Comprimento médio _c	0,5066 (40) 0,0009	0,4297 (40) 0,0057	0,9397 (40) 0,0000	0,9465 (40) 0,0000	
Diâmetro dos frutos	0,4112 (40) 0,0084	0,3840 (40) 0,0144	0,8794 (40) 0,0000	0,9465 (40) 0,0000	

Correlation
(Sample Size)
P-value

The StatAdvisor

This table shows Pearson product moment correlations between each pair of variables. These correlation coefficients range between -1 and +1 and measure the strength of the linear relationship between the variables. Also shown in parentheses is the number of pairs of data values used to compute each coefficient. The third number in each location of the table is a P-value which tests the statistical significance of the estimated correlations. P-values below 0.05 indicate statistically significant non-zero correlations at the 95% confidence level. The following pairs of variables have P-values below 0.05:

- Produção por planta SET _g_ and Número Total de frutos SET
- Produção por planta SET _g_ and Peso médio frutos SET _g_
- Produção por planta SET _g_ and Comprimento médio _cm_ SET
- Produção por planta SET _g_ and Diâmetro dos frutos _cm_ SET
- Número Total de frutos SET and Peso médio frutos SET _g_
- Número Total de frutos SET and Comprimento médio _cm_ SET
- Número Total de frutos SET and Diâmetro dos frutos _cm_ SET
- Peso médio frutos SET _g_ and Comprimento médio _cm_ SET
- Peso médio frutos SET _g_ and Diâmetro dos frutos _cm_ SET
- Comprimento médio _cm_ SET and Diâmetro dos frutos _cm_ SET

Analysis Summary

Data variables:

Produção por planta OUT _g_
 Número Total de frutos OUT
 Peso médio frutos OUT _g_
 Comprimento médio _cm_ OUT
 Diâmetro dos frutos _cm_ OUT

There are 40 complete cases for use in the calculations.

The StatAdvisor

This procedure is designed to summarize several columns of quantitative data. It will calculate various statistics, including correlations, covariances, and partial correlations. Also included in the procedure are a number of multivariate graphs, which give interesting views into the data. Use the Tabular Options and Graphical Options buttons on the analysis toolbar to access these different procedures.

Summary Statistics

Sample 1: Produção por planta OUT _g_
 Sample 2: Número Total de frutos OUT
 Sample 3: Peso médio frutos OUT _g_
 Sample 4: Comprimento médio _cm_ OUT
 Sample 5: Diâmetro dos frutos _cm_ OUT

	Sample 1:	Sample 2:	Sample 3:	Sample 4:	Sample 5:
Count	40	40	40	40	40
Average	20,6273	19,75	1,04225	2,2995	0,9095
Variance	160,852	134,449	0,0405153	0,0628408	0,00461
Standard deviation	12,6827	11,5952	0,201284	0,250681	0,067897
Standard error	2,00532	1,83336	0,0318258	0,0396361	0,0107355
Minimum	2,0	2,0	0,67	1,61	0,78
Maximum	62,47	55,0	1,6	2,76	1,15
Range	60,47	53,0	0,93	1,15	0,37
Std. skewness	1,739	1,08141	2,15315	-0,78047	3,81742
Std. kurtosis	2,07444	0,971777	1,43538	0,327638	5,18651

The StatAdvisor

This table shows summary statistics for each of the selected data variables. It includes measures of central tendency, measures of variability, and measures of shape. Of particular interest here are the standardized skewness and standardized kurtosis, which can be used to determine whether the sample comes from a normal distribution. Values of these statistics outside the range of -2 to +2 indicate significant departures from normality, which would tend to invalidate many of the statistical procedures normally applied to this data. In this case, the following variables show standardized skewness values outside the expected range:

Peso médio frutos OUT _g_
 Diâmetro dos frutos _cm_ OUT

The following variables show standardized kurtosis values outside the expected range:

Produção por planta OUT _g_
 Diâmetro dos frutos _cm_ OUT

To make the variables more normal, you might try a transformation such as LOG(Y), SQRT(Y), or 1/Y.

95,0 percent confidence intervals

	Mean	Std. error	Lower limit	Upper limit
Produção por planta	20,6273	2,00532	16,5711	24,6834
Número Total de frut	19,75	1,83336	16,0417	23,4583
Peso médio frutos OU	1,04225	0,0318258	0,977876	1,10662
Comprimento médio _c	2,2995	0,0396361	2,21933	2,37967
Diâmetro dos frutos	0,9095	0,0107355	0,887785	0,931215

	Sigma	Lower limit	Upper limit
Produção por planta	12,6827	10,3892	16,2851
Número Total de frut	11,5952	9,49834	14,8887
Peso médio frutos OU	0,201284	0,164884	0,258456
Comprimento médio _c	0,250681	0,205348	0,321883
Diâmetro dos frutos	0,067897	0,0556186	0,0871821

The StatAdvisor

This table shows 95,0% confidence intervals for the means and standard deviations of each of the variables. These intervals bound the sampling error in the estimates of the parameters of the populations from which the data come. They can be used to help judge how precisely the population means and standard deviations have been estimated. The intervals assume that the populations from which the samples come can be represented by normal distributions. While the confidence intervals for the means are quite robust and not very sensitive to violations of this assumption, the confidence intervals for the standard deviations are quite sensitive. You can check the assumption of normality in the One Variable Analysis procedure.

Analysis Summary

Data variables:

Produção por planta _g_ NOV
 Número Total de frutos NOV
 Peso médio frutos NOV _g_
 Comprimento médio _cm_ NOV
 Diâmetro dos frutos _cm_ NOV

There are 40 complete cases for use in the calculations.

The StatAdvisor

This procedure is designed to summarize several columns of quantitative data. It will calculate various statistics, including correlations, covariances, and partial correlations. Also included in the procedure are a number of multivariate graphs, which give interesting views into the data. Use the Tabular Options and Graphical Options buttons on the analysis toolbar to access these different procedures.

Correlations

	Produção por planta	Número Total de frutos	Peso médio frutos OU	Comprimento médio _c_	Diâmetro dos frutos
Produção por planta	0,9636 (40) 0,0000	0,2539 (40) 0,1139	0,1560 (40) 0,3363	0,2570 (40) 0,1094	0,2570 (40) 0,1094
Número Total de frutos	0,9636 (40) 0,0000	0,0263 (40) 0,8721	-0,0270 (40) 0,8685	0,0842 (40) 0,6055	0,0842 (40) 0,6055
Peso médio frutos OU	0,2539 (40) 0,1139	0,0263 (40) 0,8721	0,7582 (40) 0,0000	0,8693 (40) 0,0000	0,8693 (40) 0,0000
Comprimento médio _c_	0,1560 (40) 0,3363	-0,0270 (40) 0,8685	0,7582 (40) 0,0000	0,4287 (40) 0,0058	0,4287 (40) 0,0058
Diâmetro dos frutos	0,2570 (40) 0,1094	0,0842 (40) 0,6055	0,8693 (40) 0,0000	0,4287 (40) 0,0058	0,4287 (40) 0,0058

Correlation
 (Sample Size)
 P-Value

The StatAdvisor

This table shows Pearson product moment correlations between each pair of variables. These correlation coefficients range between -1 and +1 and measure the strength of the linear relationship between the variables. Also shown in parentheses is the number of pairs of data values used to compute each coefficient. The third number in each location of the table is a P-value which tests the statistical significance of the estimated correlations. P-values below 0.05 indicate statistically significant non-zero correlations at the 95% confidence level. The following pairs of variables have P-values below 0.05:

Produção por planta OUT _g_ and Número Total de frutos OUT
 Peso médio frutos OUT _g_ and Comprimento médio _cm_ OUT
 Peso médio frutos OUT _g_ and Diâmetro dos frutos _cm_ OUT
 Comprimento médio _cm_ OUT and Diâmetro dos frutos _cm_ OUT

Summary Statistics

Sample 1: Produção por planta _g_ NOV
 Sample 2: Número Total de frutos NOV
 Sample 3: Peso médio frutos NOV _g_
 Sample 4: Comprimento médio _cm_ NOV
 Sample 5: Diâmetro dos frutos _cm_ NOV

	Sample 1:	Sample 2:	Sample 3:	Sample 4:	Sample 5:
Count	40	40	40	40	40
Average	14,112	14,2	0,97425	2,378	1,1215
Variance	80,897	71,1897	0,0410558	1,60246	2,07672
Standard deviation	8,99428	8,4374	0,202622	1,26588	1,44108
Standard error	1,42212	1,33407	0,0320374	0,200154	0,227855
Minimum	0,7	1,0	0,5	1,57	0,69
Maximum	43,17	35,0	1,53	10,0	10,0
Range	42,47	34,0	1,03	8,43	9,31
Std. skewness	2,24825	1,05996	0,491118	15,1389	16,2842
Std. kurtosis	1,7312	-0,679786	0,83047	46,5806	51,4434

The StatAdvisor

This table shows summary statistics for each of the selected data variables. It includes measures of central tendency, measures of variability, and measures of shape. Of particular interest here are the standardized skewness and standardized kurtosis, which can be used to determine whether the sample comes from a normal distribution. Values of these statistics outside the range of -2 to +2 indicate significant departures from normality, which would tend to invalidate many of the statistical procedures normally applied to this data. In this case, the following variables show standardized skewness values outside the expected range:

Produção por planta _g_ NOV
 Comprimento médio _cm_ NOV
 Diâmetro dos frutos _cm_ NOV

The following variables show standardized kurtosis values outside the expected range:

Comprimento médio _cm_ NOV
 Diâmetro dos frutos _cm_ NOV

To make the variables more normal, you might try a transformation such as LOG(Y), SQRT(Y), or 1/Y.

95,0 percent confidence intervals

	Mean	Stnd. error	Lower limit	Upper limit
Produção por planta	14,112	1,42212	11,2355	16,9885
Número Total de frut	14,2	1,33407	11,5016	16,8984
Peso médio frutos NO	0,97425	0,0320374	0,909448	1,03905
Comprimento médio _c	2,378	0,200154	1,97315	2,78285
Diâmetro dos frutos	1,1215	0,227855	0,660619	1,58238

	Sigma	Lower limit	Upper limit
Produção por planta	8,99428	7,36776	11,549
Número Total de frut	8,4374	6,91159	10,8339
Peso médio frutos NO	0,202622	0,16598	0,260174
Comprimento médio _c	1,26588	1,03696	1,62544
Diâmetro dos frutos	1,44108	1,18048	1,8504

The StatAdvisor

This table shows 95,0% confidence intervals for the means and standard deviations of each of the variables. These intervals bound the sampling error in the estimates of the parameters of the populations from which the data come. They can be used to help judge how precisely the population means and standard deviations have been estimated. The intervals assume that the populations from which the samples come can be represented by normal distributions. While the confidence intervals for the means are quite robust and not very sensitive to violations of this assumption, the confidence intervals for the standard deviations are quite sensitive. You can check the assumption of normality in the One Variable Analysis procedure.

Correlations

	Produção por planta	Número Total de frut	Peso médio frutos NO	Comprimento médio _c	Diâmetro dos frutos
Produção por planta	0,9440 (40) 0,0000	0,4186 (40) 0,0072	0,0092 (40) 0,9552	-0,0724 (40) 0,6569	
Número Total de frut	0,9440 (40) 0,0000	0,1637 (40) 0,3128	-0,0395 (40) 0,8088	-0,0765 (40) 0,6388	
Peso médio frutos NO	0,4186 (40) 0,0072	0,1637 (40) 0,3128	0,1673 (40) 0,3021	0,0059 (40) 0,9710	
Comprimento médio _c	0,0092 (40) 0,9552	-0,0395 (40) 0,8088	0,1673 (40) 0,3021	0,9807 (40) 0,0000	
Diâmetro dos frutos	-0,0724 (40) 0,6569	-0,0765 (40) 0,6388	0,0059 (40) 0,9710	0,9807 (40) 0,0000	

Correlation
(Sample Size)
P-Value

The StatAdvisor

This table shows Pearson product moment correlations between each pair of variables. These correlation coefficients range between -1 and +1 and measure the strength of the linear relationship between the variables. Also shown in parentheses is the number of pairs of data values used to compute each coefficient. The third number in each location of the table is a P-value which tests the statistical significance of the estimated correlations. P-values below 0.05 indicate statistically significant non-zero correlations at the 95% confidence level. The following pairs of variables have P-values below 0.05:

- Produção por planta _g_ NOV and Número Total de frutos NOV
- Produção por planta _g_ NOV and Peso médio frutos NOV _g_
- Comprimento médio _cm_ NOV and Diâmetro dos frutos _cm_ NOV

P	PPP SET	NTF SET	PMF SET	CM SET	DM SET	PPP OUT	NTF OUT	PMF OUT	CM OUT	DM OUT	PPP NOV	NTF NOV	PMF NOV	CM NOV	DM NOV
A1	18,30	13,00	1,41	2,61	0,98	2,60	2,00	1,30	2,71	0,96	10,27	10	1,03	2,08	0,94
A2	0,90	1,00	0,90	2,18	0,81	10,23	9,00	1,14	2,30	0,96	9,43	10	0,94	10,00	10,00
A3	16,57	11,00	1,51	2,90	0,98	2,00	2,00	1,00	2,61	0,80	28,33	23	1,23	2,63	0,93
A4	22,87	19,00	1,20	2,63	0,89	31,20	27,00	1,16	2,51	0,93	14,87	16	0,93	2,02	0,90
A5	13,17	8,00	1,65	3,03	0,98	62,47	55,00	1,14	2,48	0,93	23,83	24	0,99	2,21	0,92
A6	5,63	3,00	1,88	3,05	1,10	28,73	22,00	1,31	2,26	1,02	5,30	7	0,76	1,57	0,92
A7	29,57	22,00	1,34	2,83	0,95	21,00	20,00	1,05	2,45	0,93	11,47	9	1,27	2,57	0,97
A8	13,23	8,00	1,65	3,09	0,99	30,00	24,00	1,25	2,61	0,94	7,80	7	1,11	2,22	0,97
A9	14,33	9,00	1,59	2,47	1,11	17,47	20,00	0,87	2,05	0,91	1,60	2	0,80	1,87	0,94
A10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20	2,00	1,10	2,73	0,88	1,00	2	0,50	1,68	0,74
B11	19,87	14,00	1,42	2,80	0,92	21,93	24,00	0,91	2,12	0,86	12,20	13	0,94	2,13	0,89
B12	14,90	10,00	1,49	2,92	0,97	4,40	5,00	0,88	2,19	0,83	21,70	20	1,09	2,40	0,90
B13	28,90	20,00	1,45	2,71	0,98	32,40	26,00	1,25	2,55	0,94	14,20	13	1,09	2,33	0,92
B14	2,77	3,00	0,92	2,33	0,84	3,30	4,00	0,83	2,00	0,85	12,93	20	0,65	1,91	0,79
B15	18,63	15,00	1,24	2,65	0,91	22,60	23,00	0,98	2,25	0,89	24,43	25	0,98	2,33	0,89
B16	1,10	1,00	1,10	2,54	0,89	19,93	15,00	1,33	2,29	1,00	25,90	28	0,93	2,13	0,87
B17	8,33	8,00	1,04	2,32	0,88	27,47	27,00	1,02	2,17	0,93	0,70	1	0,70	1,94	0,86
B18	50,50	30,00	1,68	3,07	1,00	30,73	32,00	0,96	2,10	0,91	11,13	11	1,01	2,13	0,89
B19	10,13	8,00	1,27	2,40	0,97	14,47	20,00	0,72	1,61	0,87	13,50	21	0,64	1,57	0,83
B20	21,37	21,00	1,02	2,26	0,94	7,33	9,00	0,81	2,00	0,90	9,37	9	1,04	2,53	0,91
C21	21,60	19,00	1,14	2,31	0,95	35,20	32,00	1,10	2,49	0,92	11,97	13	0,92	2,13	0,90
C22	6,10	4,00	1,53	2,74	1,07	14,40	9,00	1,60	2,76	1,15	19,63	24	0,82	2,07	0,84

C23	10,60	5,00	2,12	3,41	1,11	28,63	30,00	0,95	2,32	0,88	14,13	17	0,83	2,00	0,87
C24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,00	14,00	1,57	2,44	1,09	19,87	13	1,53	2,80	1,01
C25	21,30	17,00	1,25	2,66	0,94	41,37	39,00	1,06	2,40	0,91	6,97	8	0,87	2,23	0,86
C26	22,77	11,00	2,07	3,39	1,06	3,80	4,00	0,95	2,22	0,89	20,93	18	1,16	2,50	0,92
C27	22,20	16,00	1,39	2,72	0,96	17,20	18,00	0,96	2,22	0,89	5,23	4	1,31	2,49	0,99
C28	26,40	16,00	1,65	2,89	1,02	25,97	33,00	0,79	2,01	0,85	21,87	24	0,91	2,04	0,88
C29	10,30	5,00	2,06	3,11	1,10	19,60	20,00	0,98	2,24	0,86	16,00	13	1,23	2,44	0,94
C30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00	3,00	0,67	1,84	0,78	1,50	2	0,75	2,02	0,69
D31	32,53	19,00	1,71	3,09	1,01	17,10	16,00	1,07	2,47	0,89	22,57	22	1,03	2,18	0,90
D32	17,30	10,00	1,73	2,88	1,01	15,33	16,00	0,96	2,32	0,87	15,37	15	1,02	2,29	0,89
D33	9,97	11,00	0,91	2,01	0,91	22,23	24,00	0,93	2,05	0,90	17,07	21	0,81	1,90	0,89
D34	40,90	24,00	1,70	3,13	0,99	24,70	21,00	1,18	2,65	0,91	43,17	35	1,23	2,49	0,95
D35	37,63	24,00	1,57	3,00	1,00	7,70	8,00	0,96	2,38	0,86	28,80	29	0,99	2,28	0,89
D36	8,50	4,00	2,13	3,35	1,13	29,57	28,00	1,06	2,34	0,89	7,37	7	1,05	2,30	0,87
D37	20,53	16,00	1,28	2,63	0,95	35,10	31,00	1,13	2,35	0,94	12,30	11	1,12	2,18	0,97
D38	16,87	10,00	1,69	2,69	0,99	20,33	24,00	0,85	2,11	0,86	4,67	5	0,93	2,13	0,88
D39	10,80	10,00	1,08	2,51	0,89	31,47	30,00	1,05	2,34	0,89	10,30	10	1,03	2,44	0,88
D40	4,00	4,00	1,00	2,13	1,01	18,93	22,00	0,86	2,04	0,91	4,80	6	0,80	1,96	0,86

P – Planta; PPP – Produção por planta (g); NTF – Número Total de frutos; PMF – Peso médio dos frutos (g); CM – Comprimento médio dos frutos (cm);

DM – Diâmetro médio dos frutos (cm); SET – setembro, OUT – outubro, NOV – novembro

