

Redução de herbicidas de pré-emergência na cultura do milho (*Zea mays* L.) combinando estratégias de aplicação em faixa com meios mecânicos numa ótica de agricultura de precisão

Henrique Ramos Silva

Mestrado em Engenharia Agronómica

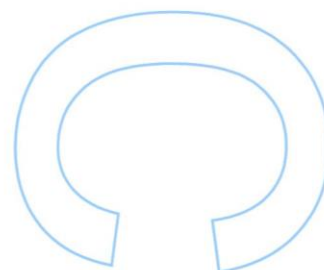
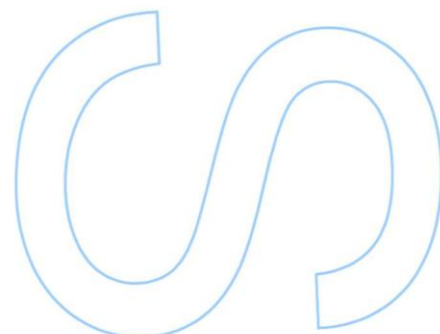
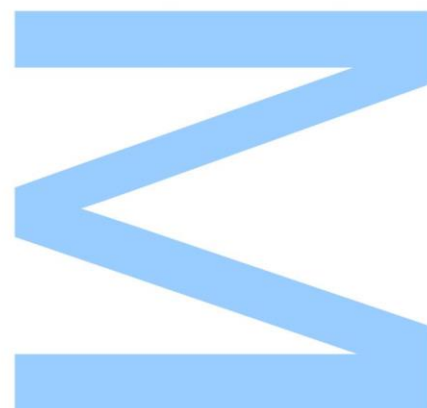
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território
2021

Orientador

Professor Doutor Mário Campos Cunha, Professor Associado, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Supervisor

Engenheiro João Monteiro Coimbra, Administrador da Quinta da Cholda

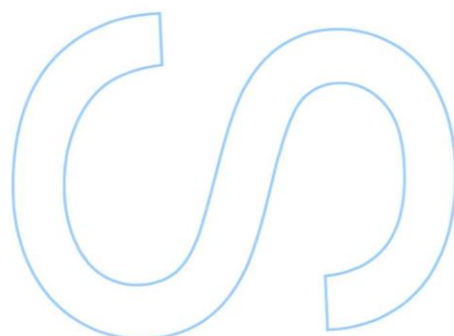
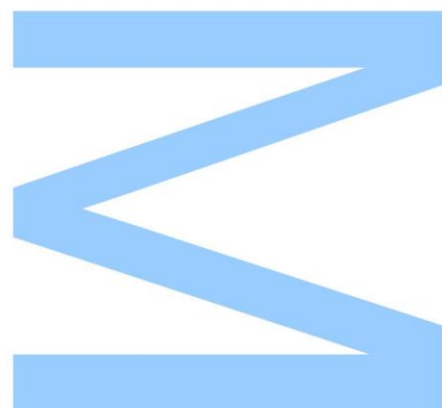




Todas as correções determinadas pelo júri, e só essas, foram efetuadas.

O Presidente do Júri,

Porto, ____/____/____



Agradecimentos

O presente trabalho não teria sido possível sem a colaboração de pessoas e instituições, para quem expresso os meus sinceros agradecimentos.

Ao Professor Mário Campos Cunha por toda a ajuda disponibilizada ao longo de toda a dissertação e por todo o empenho e disponibilidade demonstradas.

Ao Engenheiro João Coimbra pela disponibilidade e cedência dos terrenos e maquinaria utilizada neste estudo, bem como a disponibilidade em me receber na Quinta da Cholda durante dois meses onde acompanhei o dia a dia da empresa.

A todos aqueles que me incentivaram durante este período deixo o meu agradecimento.

E um agradecimento especial a toda a família que sempre me ajudou a tornar a realização desta dissertação possível.

Resumo

O uso de herbicidas pré-emergência na cultura do milho é a solução mais divulgada e eficaz para o controlo de infestantes, mas o seu uso pode levar a efeitos negativos no meio ambiente. Torna-se assim prioridade reduzir a sua utilização, sendo a sua aplicação em faixa ao longo da linha do milho um dos métodos possíveis para diminuir os impactos negativos no meio ambiente provocados pela utilização excessiva de herbicidas. O ensaio foi realizado em Portugal, na Quinta da Cholda, no distrito de Santa-rém, sendo a experiência conduzida em duas parcelas com características de solo distintas, onde foi avaliada a aplicação de herbicida pré-emergência em faixa seguida de sacha, numa cultura de milho destinada à produção de grão. A aplicação de herbicida numa faixa de 45 cm (60% da área) foi comparada com a aplicação de herbicida convencional com cobertura total da entre-linha (75 cm), sendo esta aplicação convencional para a aplicação de herbicida na cultura do milho em Portugal e no Mundo. Para que a pulverização em faixa fosse possível procedeu-se à alteração dos bicos de pulverização convencional por bicos de pulverização em faixa (Teejet TJ60-4004EVS) distanciados a 75 cm na barra do pulverizador para que coincidissem com as linhas do milho. Foram utilizados em todas as operações agronómicas tratores equipados com sistema RTK-GPS de posicionamento e direção automática para que todas as operações como a pulverização em faixa e a sacha para que estas sejam precisas. A diversidade (n° de espécies infestantes/ m^{-2}) e a densidade (n° de infestantes/ m^{-2}) foi avaliada em vários momentos ao longo do desenvolvimento da cultura. Nas duas parcelas não foram encontradas diferenças significativas na diversidade e densidade de infestantes na linha do milho ao longo do ensaio e também não foram encontradas diferenças significativas na entre-linha após a sacha, pelo que é possível concluir que a aplicação de herbicida pré-emergência em faixa ao longo da linha é um método tão eficaz no controlo de infestantes no milho quanto a aplicação de herbicida pré-emergência convencional, permitindo este novo método uma redução de 40% da utilização de herbicidas na cultura do milho. Estes resultados são um contributo relevante para os produtores de milho fundamentarem práticas culturais alinhadas com as novas orientações da União Europeia, nomeadamente do “Green Deal”.

Palavras-chave:

Agricultura de Precisão | Controlo de Infestantes | Milho | Agricultura Sustentável | Herbicidas Pré-emergência | Aplicação em Faixa | “Green Deal”

Abstract

The use of pre-emergence herbicides in maize crops is the easiest and most effective solution for controlling weeds, but their use can negatively affects the environment. Therefore, it is a priority to reduce its use, and its application in strips along the corn line is one of the used methods to minimise the negative impacts on the environment caused by the excessive use of herbicides. The trial was carried out in Portugal, at Quinta da Cholda, in the district of Santarém, and the experiment was conducted in two plots with different soil characteristics, where the application of pre-emergence herbicide in strip followed by weeding was evaluated on a maize crop destined for the production of grain. The herbicide application in a 45 cm range (60% of the area) was compared with the conventional herbicide application (75 cm). This conventional application is the standard herbicide application in maize crops in Portugal and in the world. For spraying to be possible, the conventional spray nozzles were changed to strip spray nozzles (Teejet TJ60-4004EVS) spaced by 75 cm on the sprayer bar so that they coincided with the corn lines tractors equipped with RTK-GPS positioning and automatic steering system were used in all agronomic operations so that all operations such as spraying and weeding to be accurate. Diversity (number of weeds/m²) and density (number of weeds/m²) were evaluated at various times throughout the development of the culture. In the two plots, no significant differences were found in the diversity and density of weeds in the corn row throughout the trial and no significant differences were found in the inter-row after weeding, so it is possible to conclude that the application of pre-emergence herbicide in strip along the line is as effective a method in controlling weeds in corn as conventional pre-emergence herbicide application, allowing this new method to reduce the use of herbicides in the maize crop by 40%. These results are a relevant contribution for maize producers to base cultural practices in line with the new guidelines of the European Union, namely the “Green Deal”.

Keywords:

Precision Agriculture | Weed Control | Maize | Sustainable Agriculture | Pre-emergence Herbicides | Band Application | “Green Deal”

Índice

Agradecimentos.....	ii
Resumo	iii
Lista de abreviaturas.....	vii
Índice de figuras	viii
Índice de tabelas.....	x
1. Introdução	1
2. Estado da Arte	3
2.1. A cultura do Milho	3
2.1.1. Cultura do milho em Portugal	3
2.1.2. Importância do milho no Mundo	4
2.1.3. Efeito das infestantes na cultura do milho	5
2.1.4. Principais infestantes do milho em Portugal	7
2.2. Controlo das infestantes no milho	7
2.2.1. Métodos preventivos e culturais para o controlo de infestantes	7
2.2.2. Medidas de intervenção direta	9
2.2.2.1. Métodos Químicos	9
2.2.2.1.1. Impacto ambiental dos herbicidas	10
2.2.2.2. Métodos Mecânicos	13
2.3. Agricultura de Precisão	14
3. Materiais e Métodos	17
3.1. Caracterização e localização da Quinta da Cholda	17
3.2. Parcelas do ensaio	18
3.3. Caracterização climática da região	19
3.4. Operações agronómicas	21
3.4.1. Sistemas de Cultura, preparação do solo e instalação da cultura do milho	21
3.4.2. Controlo das infestantes	23
3.4.2.1. Pulverização	23
3.4.2.2. Sacha	24
3.5. Descrição e implementação da experiência	26
3.5.1. Modalidades e delineamento experimental	26

3.6.	Cálculo de custos associados ao controlo das infestantes.....	34
4.	Resultados	35
4.1.	Estudo de eficácia do controlo de infestantes na parcela Lourenço.....	35
5.	Discussão	44
6.	Conclusão	47
7.	Referencias bibliográficas	49
8.	Anexos	54

Lista de abreviaturas

GEE- Gases Efeito de Estufa

AP- Agricultura de Precisão

GNSS- Global Navigation Satellite System

RTK- Real Time Kinematic

GPS-Global Position Sistem

ha- Hectare

ton- Tonelada

NDVI- Normalized Difference Vegetation Index

DAS- Dias Após Sementeira

Índice de figuras

Figura 1- Evolução da tendência da cultura de milho grão em Portugal.....	4
Figura 2- Os maiores produtores de milho no Mundo e na União Europeia no ano de 2019 (resultados em 1000 toneladas).....	4
Figura 3- Sachador com dentes em S (Monosem, 2021).	13
Figura 4- Funcionamento do sistema RTK-GPS.	16
Figura 5- Localização da Quinta da Cholda no mapa de Portugal (A); Localização das duas parcelas do ensaio no mapa (B).....	17
Figura 6- Mapa da condutividade elétrica e do tipo de solo da parcela “Pessegueiros”.Imagens fornecidas por Agro Analítica.	18
Figura 7- Mapa da condutividade elétrica e do tipo de solo da parcela “Lourenço”. Imagens fornecidas por Agro Analítica.....	19
Figura 8- Diagrama ombrotérmico. Dados meteorológicos de Santarém/Escola Agrária (média 1971/2000) e para o ano de 2021 (período do ensaio).....	21
Figura 9- Grade de discos de fresa de eixo horizontal utilizadas na preparação do solo para a instalação da cultura do milho.....	22
Figura 10- Pulverizadores de jato projetado (montado e rebocado) utilizados no ensaio.	23
Figura 11- Sachador com dentes em S usado no ensaio. Este equipamento está também equipado com tremonha para fazer a aplicação de fertilizantes.	25
Figura 12- Esquema do Tratamento 2: aplicação de herbicida em faixa.	26
Figura 13- Desenho experimental para as duas parcelas.	27
Figura 14- Quadricula usada nas observações da evolução das infestantes na linha (Local 1) e na entre-linha (Local 2) do milho.	28
Figura 15- Marcação de pontos dentro de cada repetição para garantir a monitorização sempre no mesmo local.....	29
Figura 16- Bicos Teejet TJ60-4004EVS e montagem na secção da barra do pulverizador utilizada na aplicação localizada de herbicida (Tratamento 2).	31
Figura 17- Esquema da montagem dos bicos Teejet TJ60-4004EVS na barra do pulverizador.....	32
Figura 18- Calha com “papéis hidrossensíveis” colocada perpendicular à rota do trator no local de passagem dos bicos para análise da precisão do sistema RTK-GPS.....	33
Figura 19- Resultados obtidos no ensaio da calibração dos bicos Teejet TJ60-4004EVS onde se observa um deslocamento de 5 cm para a direita da faixa de pulverização.	34

Figura 20- Evolução da média da densidade de infestantes por m ⁻² nos tratamentos T0 (até DAS 35), T1 e T2 na linha relativos à parcela “Lourenço”. Na mesma data médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente de acordo com o teste F (p>0,05), “ns” não diferem significativamente.	36
Figura 21- Evolução da média da densidade de infestantes por m ⁻² nos tratamentos T0 (até DAS 35), T1 e T2 na entre-linha relativos à parcela “Lourenço”. Na mesma data médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente de acordo com o teste F (p>0,05), “ns” não diferem significativamente.	37
Figura 22- Evolução da média da densidade de infestantes por m ⁻² nos tratamentos T0 (até DAS 35), T1 e T2 na linha relativos à parcela “Pessegueiros”. Na mesma data médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente de acordo com o teste F (p>0,05), “ns” não diferem significativamente.	40
Figura 23- Evolução da média da densidade de infestantes por m ⁻² nos tratamentos T0 (até DAS 35), T1 e T2 na entre-linha relativos à parcela “Pessegueiros”. Na mesma data médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente de acordo com o teste F (p>0,05), “ns” não diferem significativamente.....	41
Figura 24- Comparação da densidade de infestantes na entre-linha na Parcela “Pessegueiros”. À esquerda T2 e à direita T1.....	42
Figura 25- Antes da passagem do sachador à esquerda e após a passagem do sachador à direita. Fotografias tiradas no mesmo local no T2 na Parcela “Pessegueiros”.....	42
Figura 26- Custos associados á utilização das máquinas e consumíveis nas operações da sacha, aplicação de herbicida e custo total de controlo de infestantes em valor absoluto dos custos totais operacionais no sistema de cultura de milho da Quinta da Cholda.	43

Índice de Tabelas

Tabela 1- Dados sobre a aplicação de herbicida nas duas parcelas.....	24
<i>Tabela 2- Resumo das operações agronómicas realizadas em cada parcela.</i>	<i>25</i>
Tabela 3- Dias após a sementeira em que foram realizadas as observação da densidade e diversidade de infestantes em cada parcela.	29
Tabela 4- Efeito do tratamento de controlo das infestantes na evolução temporal após sementeira (DAS) dos valores médios da diversidade e densidade de infestantes na linha e entre linha do milho da parcela 'Lourenço'. Valores médios e do desvio padrão entre parenteses.....	35
Tabela 5- Efeito do tratamento de controlo das infestantes na evolução temporal após sementeira (DAS) dos valores médios da diversidade e densidade de infestantes na linha e entre linha do milho da parcela 'Pessegueiros'. Valores médios e do desvio padrão entre parenteses.....	39

1. Introdução

O milho, cultura arvense com maior expressão em Portugal e no Mundo (FAO, 2020), experimentou na última década inovações de grande relevância. Como arvense ou integrada em sistemas forrageiros, a cultura do milho afirma-se hoje como um dos casos demonstrativos das potencialidades produtivas da agricultura de regadio, gerando importantes contributos para a vitalidade da economia nacional e mundial.

Nesta cultura de primavera verão, o controlo das infestantes é, ainda, um fator decisivo da sua eficiência económica e ambiental. Até ao aparecimento dos herbicidas a inexistência de soluções alternativas para o controlo das infestantes, conferiu à sacha um carácter imprescindível no processo produtivo. Todavia, nos últimos anos as intervenções mecânicas têm vindo a ser consideradas obsoletas, levando há utilização repetitiva de herbicidas de pré e pós-emergência.

Os herbicidas contribuem significativamente para o controlo mais eficiente e eficaz das infestantes e o seu uso facilitou o manejo da cultura e aumento da sua produtividade e rentabilidade. No entanto, o uso muitas vezes incorreto de herbicidas pode levar à contaminação de águas superficiais e de lençóis freáticos por meio de lixiviação, deriva de pulverização e volatilização. A contaminação por herbicida representa assim uma séria ameaça aos recursos de água potável e aos ecossistemas aquáticos; contaminação ambiental e impactos em diferentes organismos têm sido frequentemente relatados em vários sistemas de cultivo em todo o mundo (Boutin et al., 2014; Narushima et al., 2014; Rohr & McCoy, 2010). A necessidade de reduzir a dependência do uso de herbicidas foi declarada repetidamente (Barzman et al., 2015; Liebman et al., 2016) e a sociedade em geral mostra uma crescente preocupação e consciência sobre os riscos para a saúde e os impactos ambientais relacionados com o uso de herbicidas.

Reconhecendo que a importância de uma agricultura economicamente competitiva, ambientalmente eficaz e societalmente responsável, também em linha com as normativas da União Europeia, a Comissão Europeia emanados do novo pacote de reformas da PAC pós-2020. Neste âmbito é de realçar o “Green Deal” e da temática do “Do Prado ao Prato” tendo como objetivo a redução de 50% do uso de produtos fitofarmacêuticos e de fertilizantes, até 2030. Contudo, não é ainda especificado como os agricultores conseguirão atingir estes objetivos. Com a redução drástica da quantidade de produtos fitofármacos, os produtores temem que esta cultura perca eficiência económica devido ao problema da competição das infestantes com o milho.

Para enfrentar este desafio a resposta tem de passar definitivamente pela inovação e pela integração de técnicas complementares à aplicação de herbicidas como por exemplo o controlo mecânico e cultural das infestantes (Liebman et al., 2016), uma vez que a redução das doses de herbicidas aplicadas, por si só, deve ser evitada devido ao facto de esta levar a uma diminuição da eficácia do controlo e a um aumento do risco de resistência das infestantes aos herbicidas (Manalil et al., 2011). Importa, por isso, a aposta no conhecimento e na instrumentação alinhados com os sistemas de cultura orientados com a agricultura de precisão.

Sendo o milho uma cultura sachada é possível o controlo mecânico na entre-linha permitindo assim a redução do uso de herbicidas. Uma redução importante na quantidade de herbicidas usados e, conseqüentemente, uma diminuição notável dos riscos de contaminação por herbicidas no solo e na água, pode ser alcançada alterando de uma aplicação convencional para a aplicação em faixa de herbicidas ao longo da linha da cultura combinando com o controlo mecânico na entre-linha (sacha). Alguns estudos semelhantes com a aplicação de herbicida de pré-emergência ou pós-emergência para culturas como milho, girassol e soja, Vasileiadis et al., (2016); Pannacci & Tei, (2014); Keene & Curran, (2016); Loddo et al., (2020), obtiveram níveis de controlo de infestantes e rendimentos das culturas semelhantes aos obtidos com a aplicação de herbicida convencional, mas com uma redução significativa no uso de herbicidas.

Apesar de vários estudos com resultados positivos, a aplicação de herbicida em faixas ainda não é ainda aplicada na generalidade porque pode apresentar alguns constrangimentos e desvantagens, como a necessidade de condições pedoclimáticas adequadas, bem como a falta de pulverizadores equipados para a aplicação de herbicida em faixa no mercado. Outra questão relevante é a necessidade de manter um posicionamento preciso das máquinas em relação à linha do milho durante a pulverização em faixa. A recente disponibilidade de sistemas de posicionamento e direção automática de tratores baseados na tecnologia Real-Time Kinematic (RTK-GPS) trouxe enormes facilidades nesta tarefa, permitindo operações de pulverização e sacha altamente precisas. A principal intensão de momento é projetar sistemas fáceis de usar e económicos, mas ao mesmo tempo capazes de garantir a precisão necessária para a pulverização em faixa.

Neste contexto, este trabalho pretende testar uma diferente abordagem de controlo de infestantes para diminuir a aplicação de herbicida pré-emergência com técnicas alinhadas com a agricultura de precisão e que possam ir de encontro às referidas diretivas europeias. Assim, pretende testar as seguintes hipóteses: i) a redução de herbicidas na cultura do milho pode ser conseguida pela sua aplicação precisa, em faixa, em combinação com meios mecânicos, ii) a tecnologia de aplicação com taxa variável e os sistemas de georreferenciação disponíveis permitem níveis de precisão elevados na gestão da variabilidade associada o controlo das infestantes e iii) as soluções inovadoras propostas, para além de responderem às diretrizes da política europeia, são economicamente competitivas, ambientalmente eficientes e socialmente responsáveis.

2. Estado da Arte

2.1. A cultura do Milho

2.1.1. Cultura do milho em Portugal

A cultura do milho apresenta-se como uma das mais importantes culturas arvenses da atualidade, tanto no mundo como a nível nacional. Sendo produzida optativamente para grão ou silagem, esta cultura demonstra as elevadas potencialidades produtivas da agricultura de regadio.

Este cereal é aquele que mais explorações agrícolas envolve a nível Nacional. Atualmente estima-se que a sua produção se estende por mais de 64 mil unidades produtivas distribuídas por todo o país com uma área cultivada a ocupar um valor acerbado de 83 mil hectares (Fig. 1) correspondente a 36,8% da totalidade de culturas arvenses (total arvense cerca de 227.000 hectares) (FAO, 2020).

Embora a região centro seja onde exista maior área semeada, a região do Alentejo é a que maior quantidade de milho produz em toneladas. O município da Golegã (caso de estudo) é o terceiro município mais produtivo no país (IFAP, 2020).

Segundo a ANPROMIS (2020), a descida da área dedicada ao cultivo de milho desde 2014 pode dever-se à volatilidade e descida de preços desta commodity nos mercados nacionais e internacionais (o preço corrente caiu quase 50% de julho de 2012 para setembro de 2020) em conjunto com o rigor orçamental e os constrangimentos financeiros. Outra das causas pode estar também relacionada com a obrigatoriedade de cumprimento de diversificação de culturas para acesso aos pagamentos da componente ambiental dos pagamentos diretos (greening) e o surgimento de culturas menos exigentes em água e mais rentáveis.

Foram produzidas em Portugal no ano de 2020 cerca de 682 085 toneladas de milho grão (FAO, 2020) observando assim uma tendência na melhoria das rentabilidades por hectare desta cultura.

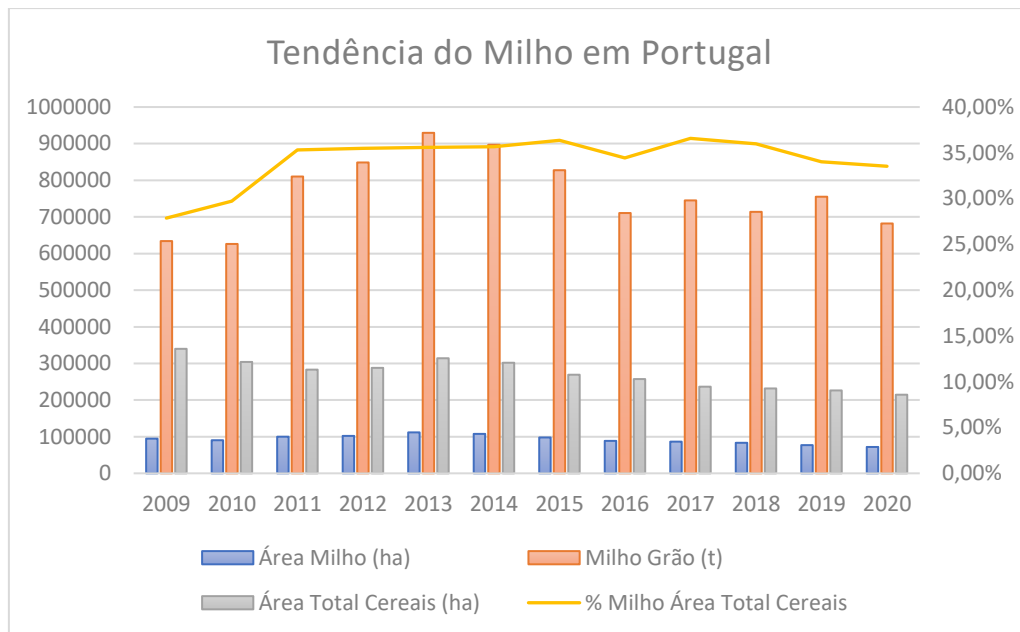


Figura 1- Evolução da tendência da cultura de milho grão em Portugal.

2.1.2.Importância do milho no Mundo

No ano agrícola 2019, foram produzidas 197 204 milhões de toneladas de milho. Os cinco maiores produtores mundiais de milho (Fig. 2) são os Estados Unidos (36% da produção mundial), China (21%), Brasil (8%), UE 28 (6%) e Argentina (3%). Na União Europeia destacam-se França, Roménia, Hungria, Itália, Polónia e Espanha. Portugal é o décimo quinto maior produtor da União Europeia (FAO, 2020).

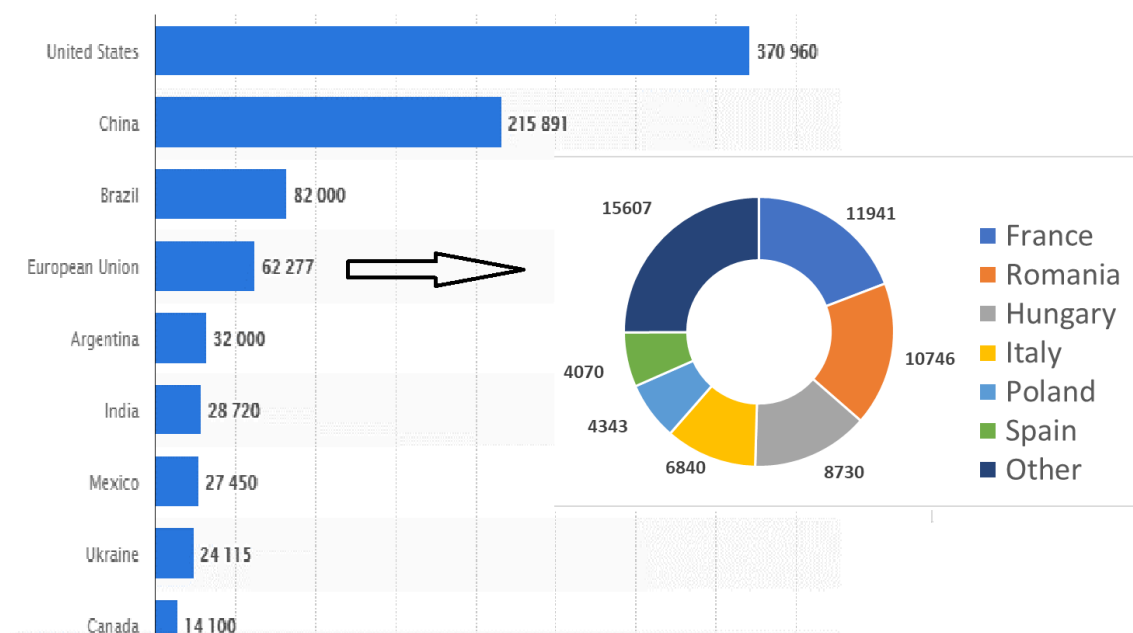


Figura 2- Os maiores produtores de milho no Mundo e na União Europeia no ano de 2019 (resultados em 1000 toneladas).

2.1.3. Efeito das infestantes na cultura do milho

A produtividade do milho é muito sensível à ocorrência de infestantes, sobretudo na fase inicial do seu desenvolvimento. As infestantes competem com o milho em relação ao espaço, luz, água e nutrientes, promovendo condições para o aparecimento de pragas e doenças. Todos estes fatores podem originar perdas de produtividade elevadas, comprometendo a rentabilidade económica da cultura, sendo o controlo das infestantes uma das atividades mais importantes na cultura do milho. Ainda, a presença de infestantes que se desenvolvam no final do ciclo produtivo do milho pode também dificultar o processo mecânico de colheita e, no caso da cultura se destinar a silagem, alterar a sua qualidade devido à toxicidade de algumas espécies para os animais (ANPROMIS, 2020), tais como brechos (*Amaranthus retroflexus*), e figueira-do-inferno (*Datura stramonium*) (Barros, 2020).

O milho é uma cultura sachada semeada com um espaçamento entre-linha que pode variar entre 65 e 75 cm. A descontinuidade da cobertura do solo pela cultura do milho, sobretudo nos estados fenológicos iniciais de desenvolvimento da cultura favorece o aparecimento de infestantes.

As infestantes interferem no desenvolvimento das plantas do milho com intensidade variável em função da época de ocorrência, da população e das espécies presentes. A ocorrência de uma elevada população de infestantes no início do desenvolvimento da cultura é frequentemente observada nos sistemas de sementeira direta, quando o solo se encontra seco ou nos sistemas convencionais, quando a gradagem do solo é efetuada alguns dias antes da sementeira. Nestas situações, quando a cultura emerge, as infestantes estão em estágios mais avançados de desenvolvimento (Zagonel et al., 2000), devendo o seu controlo ser iniciado mais cedo.

São vários os estudos que têm procurado saber qual o período de maior impacto das infestantes na cultura do milho.

Kozlowski, (2002) verificou um baixo impacto das infestantes na produtividade da cultura do milho até ao estado fenológico V2. No entanto, este autor, refere também que as infestantes podem atingir um desenvolvimento que impossibilite o seu controlo, devendo as práticas de controlo ser realizadas no máximo até ao estado fenológico V2. Assim, a cultura deve ficar livre de infestantes da emergência até ao estado fenológico V7.

Swanton et al., (2009) defendem que a cultura do milho pode conviver com as infestantes até aos 14 dias após a emergência, sem perda de produtividade (nesta altura as plantas do milho estarão na fase de desenvolvimento V1/V2) e que a produtividade do milho não será afetada pelas emergências de infestantes que ocorram após os 42 dias da emergência do milho (estádio de desenvolvimento próximo de V10).

Swanton et al. (2009) consideram também que as perdas por concorrência com as infestantes são irreversíveis e não se podem recuperar através da eliminação das infestantes numa fase mais avançada do ciclo cultura.

Swanton et al. (2009), realizaram investigações para avaliar o impacto da ocorrência precoce de infestantes na produtividade do milho, após terem observado perdas de produção em campos de milho sem restrições de água e nutrientes no solo e em situações em que as infestantes não eram suficientemente altas para competir pela luz verificando que a presença de infestantes reduz o desenvolvimento das raízes do milho, com consequências na sua produção. Swanton et al. (2009) sugerem que o desenvolvimento normal das raízes é inibido por uma mudança nas características da luz, causada pelas infestantes que emergem ao mesmo tempo que o milho. O mesmo autor verificou que as plantas de milho são 17% mais altas, têm 45% mais de superfície foliar, 40% mais peso seco das folhas e mais 12% relação parte aérea/raiz, em zonas do terreno sem infestantes relativamente a zonas do mesmo terreno com infestantes. O milho na presença das infestantes, diminui o desenvolvimento da raiz e desenvolve a parte aérea, para evitar a sombra. Um forte sistema radicular é essencial para o desenvolvimento da planta do milho. A energia gasta para produzir folhas compromete a sua máxima produtividade, pelo que se revela crucial o controlo precoce das infestantes (Syngenta, 2011).

Nas culturas em linha como é o caso do milho, embora as infestantes existentes na entre-linha possam ser facilmente controladas através do controlo mecânico devido ao facto de não ser necessária seletividade no controlo, as infestantes que crescem na linha, que são as que provocam um maior impacto na produção, constituem um grande problema para o controlo seletivos das infestantes em relação ao milho (Melander et al., 2012).

2.1.4. Principais infestantes do milho em Portugal

As principais infestantes do milho, em Portugal, são referenciadas pelo INIAV através de Calha, (2021) referindo 28 espécies como sendo as principais infestantes do milho: milhã-digitada (*Digitaria sanguinalis*), milhã pé-de-galo (*Echinochloa crus-galli*), milhã-verde (*Setaria viridis*), sempre-noiva (*Poligonum aviculare*), erva-pessegueira (*Polygonum persicária*), beldroega (*Portulaca oleracea*), pega-saias (*Setaria verticillata*), bre-dos (*Amaranthus retroflexus*), bolsa-de-pastor (*Capsella bursa-pastoris*), folhas-de-veludo (*Abutilon theophrasti*) catassol (*Chenopodium album*), figueira-do-inferno (*Datura stramonium*), erva-da-moda (*Galinsoga parviflora*), saramago (*Raphanus raphanistrum*), erva-moira (*Solanum nigrum*), mostarda-dos-campos (*Sinapis arvenses*), graminhão (*Paspalum paspalodes*), juncinha (*Cyperus esculentus*), junça (*Cyperus rotundus*), serralha-macia (*Sonchus oleraceus*), ervilhaca (*Vicia sativa*), malvão (*Abutilon theophrasti*), bardana-menor (*Xanthium strumarium*), corriola (*Convolvulus arvensis*), grama (*Cynodon dactylon*), labças (*Rumex spp.*) o sorgo bravo (*Sorghum halepense*); o azevém (*Lolium rigidum*) e o cabelo de cão (*Poa annua*).

2.2. Controlo das infestantes no milho

2.2.1. Métodos preventivos e culturais para o controlo de infestantes

Os métodos culturais e preventivos referem-se a qualquer método usado para manter as condições de campo para que as infestantes sejam menos propensas a estabelecerem-se, ou para fortalecer as culturas e facilitar a competição destas com as infestantes. O controlo cultural de infestantes inclui uma ampla diversidade de práticas, como rotações, uso de culturas de cobertura, preparação do terreno (mobilizações de superfície vs. mobilizações profundas), escolha de espécies a semear mais competitivas do ponto de vista ecológico e técnicas de sementeira (por exemplo, espaçamento entre linhas). Todas estas técnicas culturais são preventivas, estas não controlam infestantes que já se estabeleceram na parcela, mas evitam que estas se estabeleçam primeiro que a cultura de interesse. Além disso, como em muitos outros aspetos da agricultura, a prevenção é muito melhor caminho sendo muito mais eficaz e com um melhor custo-benefício do que as técnicas convencionais para destruir infestantes já estabelecidas na parcela (Liebman et al., 2016).

Rotações

As rotações são uma das mais antigas e eficazes técnicas para o controlo cultural de infestantes. As rotações controlam as infestantes, introduzindo diversidade nas parcelas. Para qualquer cultura, existem infestantes que crescem e reproduzem particularmente bem, ou pelo menos não são extintas, mas se a mesma cultura é cultivada ano após ano na mesma parcela de terra, então as populações dessas infestantes acumulam-se ano após ano tornando-se muito difíceis de combater futuramente. Ao fazer uma rotação de culturas, as infestantes que crescem numa cultura serão suprimidas pela próxima cultura, como um conjunto de espécies infestantes nunca domina estas não se tornam problemáticas. Portanto, rotação entre culturas com condições contrastantes para as infestantes têm o maior efeito negativo sobre estas (Branco & Merfield, 2018).

Cultura de cobertura

As culturas de cobertura não têm interesse comercial para o agricultor, em vez disso, estas são semeadas para, em primeiro lugar combater a erosão do solo provocada durante o inverno; aumentar a matéria orgânica do solo, o que aumenta disponibilidade de diversos nutrientes para a cultura seguinte e também para o controlo de infestante. Ao semear a cultura de cobertura, faz com que haja a germinação das sementes das infestantes, mas as plântulas de infestantes são logo superadas na competição pela cultura de cobertura, que também é eliminada antes das infestantes gerarem sementes, esgotando assim o banco de sementes na parcela. Para infestantes particularmente problemáticas, são usadas culturas de cobertura altamente competitivas como centeio, cevada, trigo e algumas leguminosas como a tremocilha que irão competir com as infestantes tanto pela luz como pelos nutrientes do solo (Sustainable Agriculture Network., 2007).

Competição entre a cultura e as infestantes

Para culturas arvenses, a competição que a cultura exerce contra as infestantes pode ter maior eficácia no controlo eficaz destas. A competitividade da cultura pode ser melhorada por meio de uma série de abordagens como o melhoramento e uso de cultivares que são mais competitivas, por exemplo, aqueles que crescem mais alto ou que têm uma maior estrutura horizontal que sombreia o solo mais rápido, ou então, a densidade de sementeira, que pode ser variável, tendo grande impacto no controlo das infestantes, usando maiores densidades pode resultar num aumento significativo da competição entre a cultura e as infestantes no ponto crítico, ou seja, nos estágios iniciais de crescimento. Para as culturas arvenses, alterando os padrões de sementeira, por exemplo, reduzindo o espaçamento entre linhas ou sementeiras em “pé de galo” aumenta significativamente a competitividade entre a cultura e as infestantes, não permitindo assim o desenvolvimento das infestantes em detrimento da cultura semeada (Andrew et al., 2015).

2.2.2. Medidas de intervenção direta

Estabelecendo-se as infestantes na cultura, estas devem ser tratadas pelo controle direto, que pode incluir métodos químicos, mecânicos, térmicos e electrocução ou utilização de radiações letais.

2.2.2.1. Métodos Químicos

Os herbicidas seletivos são a solução mais eficiente e eficaz para o controlo de infestantes, atuando por toda a área de cultivo, na linha e entre a linha. Estes podem ser de contacto, ou seja, atuam na superfície das plantas infestantes; sistémicos, penetrando nas plantas percorrendo o seu xilema e floema até atingirem o local de ação desejado levando assim à morte da planta; e residuais, que quando aplicados têm um efeito residual no solo, atuando nas plantas na sua emergência quando entram em contacto com o produto. No milho, o controle químico de infestantes é geralmente realizado usando herbicidas de pré-emergência, deixando para os herbicidas de pós-emergência o controle de infestantes que escapam ao primeiro tratamento (Meissle et al., 2010; Vasileiadis et al., 2011, 2013)

A pulverização é a técnica mais utilizada para a aplicação de herbicidas na cultura do milho. Os pulverizadores de jato projetado, que são os mais divulgados nesta cultura podem ser utilizados montados ou rebocados no trator. Estes pulverizadores geralmente utilizam uma barra horizontal equipada com bicos hidráulicos que são posicio-

nados a cerca de 75 cm acima do solo. Estes pulverizadores geralmente fazem uma distribuição da calda uniforme por toda a parcela para que toda a área fique tratada uniformemente com a substância ativa indicada para controlo das infestantes que o agricultor quer eliminar.

A cobertura generalizada do terreno pode não ser necessária para o controlo eficiente das infestantes. Alguns autores referem a possibilidade de que aplicações localizadas de herbicidas serem suficientes para o controlo das infestantes, existindo assim um menor impacto ambiental (Keene & Curran, 2016; Loddo et al., 2020; Pannacci & Tei, 2014; Vasileiadis et al., 2015, 2016).

2.2.2.1.1. Impacto ambiental dos herbicidas

Este uso generalizado e incorreto de herbicidas leva à contaminação e degradação do meio ambiente por meio da lixiviação, escoamento e deriva durante a pulverização (Loddo et al., 2020). A contaminação por herbicidas apresenta uma grande ameaça aos recursos de água potável e ecossistemas aquáticos, contaminação ambiental e impactos negativos em diferentes organismos (Boutin et al., 2014; Narushima et al., 2014; Rohr & McCoy, 2010).

Posto isto, a necessidade de diminuir os desperdícios e a poluição ambiental impulsionou o desenvolvimento de métodos de pulverização em faixa e localizado passando pelo desenvolvimento de pulverizadores inteligentes.

A proposta dos pulverizadores inteligentes, nome que advém do termo em inglês “smartsprayers”, consiste no uso de tecnologias de sensorização para deteção de infestantes ou parcelas com danos causados por pragas e/ou doenças sendo a pulverização localizada em tempo real, o que não acontece com as pulverizações convencionais. Em linhas gerais, os pulverizadores inteligentes caracterizam-se pela correta utilização do produto no alvo, na quantidade requerida, de forma económica e com o mínimo de contaminação humana e ambiental. Logo, estes pulverizadores representam uma modalidade de intervenção fitossanitária mais sustentável, sendo uma solução para o uso excessivo de herbicidas, fungicidas, acaricidas e inseticidas na agricultura e, consequentemente, reduzindo os impactos ambientais.

2.2.2.1.2. “Grean Deal”; “Prado ao Prato”

O Pacto Ecológico Europeu (Grean Deal) define a forma de tornar a Europa o primeiro continente com impacto neutro no clima até 2050. Traça uma nova estratégia de crescimento sustentável e inclusivo para impulsionar a economia, melhorar a saúde e a qualidade de vida das pessoas, cuidar da natureza e não deixar ninguém para trás. A estratégia é também essencial na agenda da Comissão para atingir os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas.

A estratégia do Prado ao Prato é uma nova abordagem abrangente da forma como os europeus valorizam a sustentabilidade alimentar, sendo uma oportunidade para melhorar os estilos de vida, a saúde e o ambiente. A criação de um ambiente alimentar favorável que facilite a escolha de regimes alimentares saudáveis e sustentáveis beneficiará a saúde e a qualidade de vida dos consumidores e reduzirá os custos para a sociedade relacionados com a saúde. As pessoas estão cada vez mais atentas às questões ambientais, de saúde, sociais e éticas, querem alimentos frescos, menos transformados e obtidos de forma sustentável. Estas preocupações societais são conhecidas do produtor, que as procura incutir no design do seu sistema de produção.

A presente estratégia visa recompensar os agricultores, os pescadores e outros operadores da cadeia alimentar que já fizeram a transição para práticas sustentáveis, permitir que outros façam a transição e criar oportunidades adicionais para as suas empresas. A agricultura da UE é o único sistema de grande dimensão do mundo que reduziu as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) (em 20 % desde 1994). No entanto, mesmo na UE, este caminho não tem sido linear nem homogêneo em todos os Estados-Membros. Além disso, o fabrico, a transformação, o retalho, a embalagem e o transporte de alimentos contribuem de forma significativa para a poluição do ar, do solo e da água e para as emissões de GEE e têm um impacto profundo na biodiversidade. Como tal, embora a transição da UE para sistemas alimentares sustentáveis tenha começado em muitos domínios, os sistemas alimentares continuam a ser uma das principais causas das alterações climáticas e da degradação ambiental. É, assim urgente reduzir a dependência dos pesticidas e dos agentes antimicrobianos, reduzir o excesso de fertilização, aumentar a agricultura biológica, melhorar o bem-estar dos animais e inverter a perda da biodiversidade.

A utilização de pesticidas na agricultura, dentro dos quais se inserem os herbicidas, contribui para a poluição do solo, da água e do ar e para a perda de biodiversidade e pode prejudicar plantas, insetos, aves, mamíferos e anfíbios não visados. A Comissão já estabeleceu um indicador de risco harmonizado para quantificar os progressos na redução dos riscos associados aos pesticidas. Este indicador demonstra uma diminuição de 20 % do risco decorrente da utilização de pesticidas nos últimos cinco anos. A Comissão irá tomar medidas adicionais para reduzir a utilização e o risco dos pesticidas químicos em 50 % e a utilização dos pesticidas mais perigosos em 50 % até 2030. Assim, a Comissão Europeia irá rever a diretiva relativa à utilização sustentável dos pesticidas, reforçar as disposições relativas à proteção integrada e promover uma maior utilização de formas alternativas seguras de proteção das colheitas contra pragas e doenças. A proteção integrada incentivará a utilização de técnicas de controlo alternativas, como a rotação de culturas e o controlo mecânico para o controlo de infestantes nas culturas, sendo estas técnicas um dos principais instrumentos para reduzir a utilização e a dependência de pesticidas químicos. As práticas agrícolas que reduzem a utilização de pesticidas através da PAC serão da importância crucial e os planos estratégicos devem refletir esta transição e promover o acesso ao aconselhamento. A Comissão Europeia irá facilitar também a colocação no mercado de pesticidas que contenham substâncias ativas biológicas e reforçará a avaliação dos riscos ambientais dos pesticidas (European Commission, 2020).

2.2.2.2. Métodos Mecânicos

As alfaías podem atuar na linha de cultura (controlo na linha)(Rasmussen et al., 2012) , nos espaços entre-linhas de culturas (controlo entre a linha) realizada principalmente por sachadores, ou fazendo a superfície total (Van Der Weide et al., 2008).

Controlo entre-linhas

Os sachadores entre linhas têm sido amplamente usados em culturas semeadas em linha espaçadas entre 45 a 80 cm como o milho, girassol, soja, a beterraba sacarina e algumas hortícolas. Existem diferentes modalidades, mas todos são construídos para destruir as infestantes e promover a descompactação do solo promovido pelas chuvas ou pelo transito de máquinas no centro da linha (o que significa que operam de forma não seletiva entre as linhas) tendo alguns sachadores incorporado tremonhas para uma distribuição de adubo na cultura aquando da sua passagem como podemos observar na figura 3, sendo este o sachador usado na presente dissertação.

As lâminas de sachadores comuns (por exemplo, “pés de pato” ou “pés de ganso”) são montadas em hastes rígidas ou vibratória (Fig. 3).

Normalmente, três a cinco corpos que fazem um conjunto que é montado numa barra, e cada conjunto cultiva um espaçamento entre linhas (Fig. 3) (Melander, 2006).



Figura 3- Sachador com dentes em S (Monosem, 2021).

A sementeira precisa das linhas facilita a orientação deste tipo de alfaia entre as linhas para que estas não causem danos nas culturas. A condução manual tem sido o método mais usado para conduzir tratores com as alfaia montadas, estando atualmente em franca expansão a utilização de mecanismos de condução autónoma a fim de reduzir erros humanos na condução do trator dentro da linha e, assim reduzir os danos causados na cultura (Griepentrog & Nielsen, 2006).

2.3. Agricultura de Precisão

2.3.1. Conceito

A Agricultura de Precisão (AP) é um sistema de cultura que tem como objetivo a gestão da informação e do conhecimento agronómico baseado em tecnologias e sistemas de suporte para avaliar, de modo expedito, a variabilidade espaço-temporal dos recursos, dos fatores de produção e de atributos das culturas e solos relacionados com a produtividade, qualidade e uso eficiente de recursos para atuar, de forma precisa, na gestão dessa variabilidade, para promover melhores indicadores agronómicos, económicos e ambientais de modo sustentável (Braga & Pinto, 2013).

Segundo Braga and Pinto (2013) na maioria das vezes, a AP recorre à utilização mais ou menos intensa de tecnologias geo-espaciais (Global Positioning Systems, Sistema de Informação Geográfica, Monitores de produtividade, Variable Rate Technology, Deteção Remota, entre outras).

De uma forma geral, este conceito baseia-se na aplicação da quantidade correta de um certo fator de produção, no momento adequado e no lugar exato (García & Flego, 2008).

Assim sendo, as duas principais vantagens da Agricultura de Precisão são:

1. Possível aumento dos rendimentos do agricultor;
2. Redução dos impactes ambientais;

Baseando-se na filosofia de se conseguir produzir mais com menos, aplicando apenas o necessário às culturas, a AP disponibiliza ao pequeno, médio e grande agricultor uma ferramenta de gestão da sua propriedade, objetivando um aumento da produtividade e sustentabilidade ambiental e económica.

2.3.2. Sistemas de direção autónoma de tratores

A orientação automática na agricultura pode ser dividida em duas categorias principais, as que utilizam uma barra de luzes, mas com direção manual e as com direção automática.

Um sistema de direção automática depende do sinal de navegação global por satélite (GNSS) para determinar com precisão e exatidão a posição do recetor. Esses recetores devem ser precisamente posicionados e orientados no equipamento agrícola para garantir o maior grau de precisão ao realizar uma operação. Com base na posição GNSS do recetor e nas medições do equipamento agrícola, o piloto automático pode conduzir o equipamento automaticamente com base no padrão de linha de orientação selecionado pelo operador.

Independentemente do padrão da linha de orientação, o sistema traça as linhas de orientação e percebe o local adequado onde o equipamento deve estar. De seguida, este corrige a direção para garantir que a máquina permaneça o mais próximo possível da linha de orientação adequada. Os sistemas de direção automática podem ser instalados no sistema hidráulico da direção do equipamento existente do ou montados na coluna de direção do trator. Modelos mais antigos de tratores podem atualizar seu sistema de direção hidráulica para ter a funcionalidade de direção automática ou um motor de direção eletrónico pode ser incorporado à coluna de direção como um meio mecânico de controlar o posicionamento do trator (Ortiz et al., 2013) numa variedade de operações agronómicas, como a sementeira ou a pulverização;

Para sistemas mais precisos, com um erro máximo de 2,5 cm, a disponibilidade de sistemas de posicionamento de trator e direção automática com base na tecnologia Real Time Kinematic GPS (Fig. 4) facilitou significativamente esta tarefa permitindo operações altamente precisas (Shockley et al., 2011).

No entanto, o alto custo inicial necessário para adquirir esta tecnologia ainda limita a sua ampla adoção. O principal problema atual é projetar sistemas económicos e fáceis de usar, mas ao mesmo tempo capaz de garantir a precisão necessária para pulverização de herbicida em faixa (usado no ensaio).

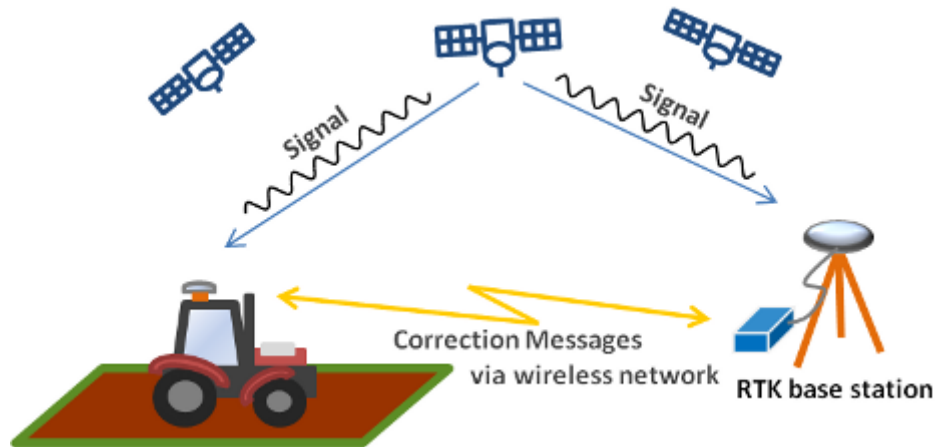


Figura 4- Funcionamento do sistema RTK-GPS.

3. Materiais e Métodos

3.1. Caracterização e localização da Quinta da Cholda

A exploração agrícola Quinta da Cholda é especializada na produção de milho-grão situando-se na região do Vale do Tejo, no concelho de Golegã, freguesia de Azinhaga do Ribatejo (39°21'48.0"N; 8°32'25.9"W) (Fig.5). A exploração inclui 2 grandes áreas, a Quinta da Cholda (solos tipicamente argilosos) e Moitas (solos de textura arenosa). Tendo cerca de 560 hectares dedicados á produção de milho-grão em regadio, é, atualmente, um dos maiores produtores nacionais de milho. Em 2020 a produtividade média foi de 16,7 ton ha⁻¹, contrastando com a média nacional de 10,5 ton ha⁻¹, sendo considerada uma das explorações mais eficientes na Europa.

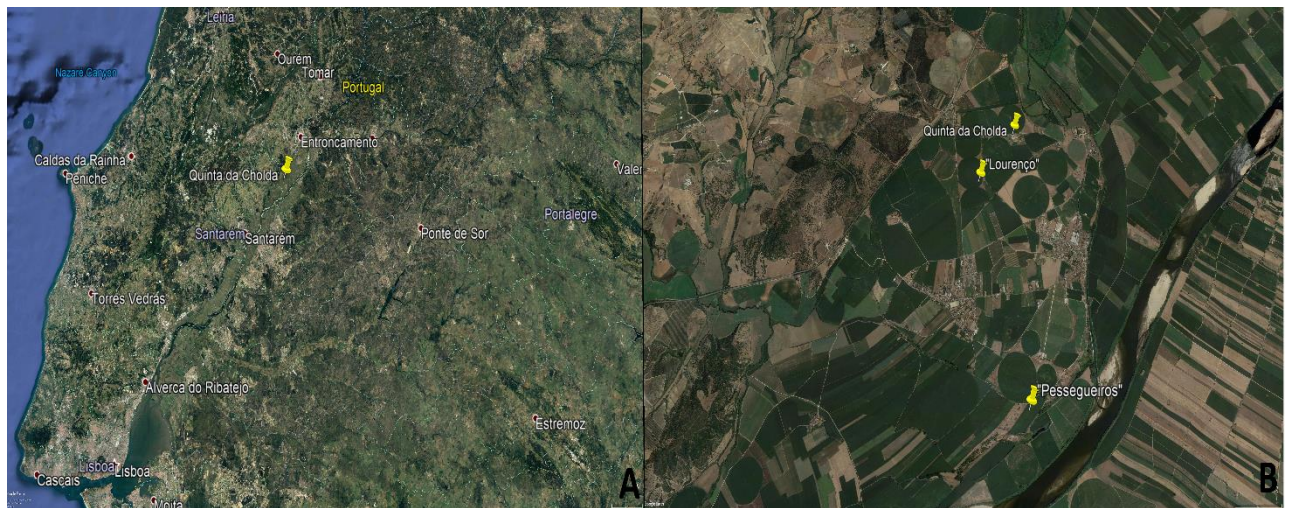


Figura 5- Localização da Quinta da Cholda no mapa de Portugal (A); Localização das duas parcelas do ensaio no mapa (B).

A Quinta tem crescido ao longo dos anos, quer em termos de produção, quer de produtividade, através da implementação de tecnologias inovadoras na agricultura “Agricultura de Precisão” como sistemas de posicionamento e navegação das máquinas agrícolas por GNSS-GPS; uso de drones (visualização do estado de vigor da cultura e identificação de zonas onde é necessário aplicar herbicidas de pós-emergência); tecnologias de aplicação com taxa variável (aplicação de adubos, sementeira, aplicação de herbicidas, rega); mapas de produtividade; sensores de humidade e temperatura do solo; mapas NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Simultaneamente, esta empresa agrícola tem desenvolvido inúmeras ações orientadas para a proteção dos recursos naturais diretamente associados às atividades agrícolas, nomeadamente no que diz respeito à proteção do solo agrícola, promoção dos recursos florísticos e

faunísticos adjacentes às zonas de cultivo, entre outras práticas mitigadoras de práticas agrícolas.

3.2. Parcelas do ensaio

Este estudo foi realizado em duas parcelas distintas, “Pessegueiros” e “Lourenço” com uma área de 10 e 18 hectares respetivamente. A parcela “Pessegueiros” é caracterizada por solos franco-arenosos com uma condutividade de 5 a 15 mS/m (Fig. 6), apresenta pH (H₂O) entre 7,5-8,5 (pouco alcalino) e cerca de 2,0% de matéria orgânica, tendo nos últimos 6 anos (2015-2020) atingido uma média de 15,8 ton ha⁻¹ de milho-grão. Devido às características do solo, a sementeira é realizada no final de março. A parcela “Lourenço” é caracterizada por ter solos predominantemente franco-argilosos com uma condutividade de superior a 15 mS/m (Fig. 7) apresentando um pH (H₂O) entre 7,30-7,50 (neutro) e cerca de 2,9% de matéria orgânica, atingindo uma média de 17,40 ton ha⁻¹ nos últimos 6 anos (2015-2020). Devido às características do solo desta parcela a sementeira foi realizada no início de maio.

Foram escolhidas duas parcelas com características de solo diferentes pois o controlo de infestantes é muito mais complexo em solos arenosos do que em solos argilosos, por isso é de grande interesse realizar o ensaio nestes dois tipos de solo para assim, validarmos o nosso ensaio nestas duas variantes de solo.

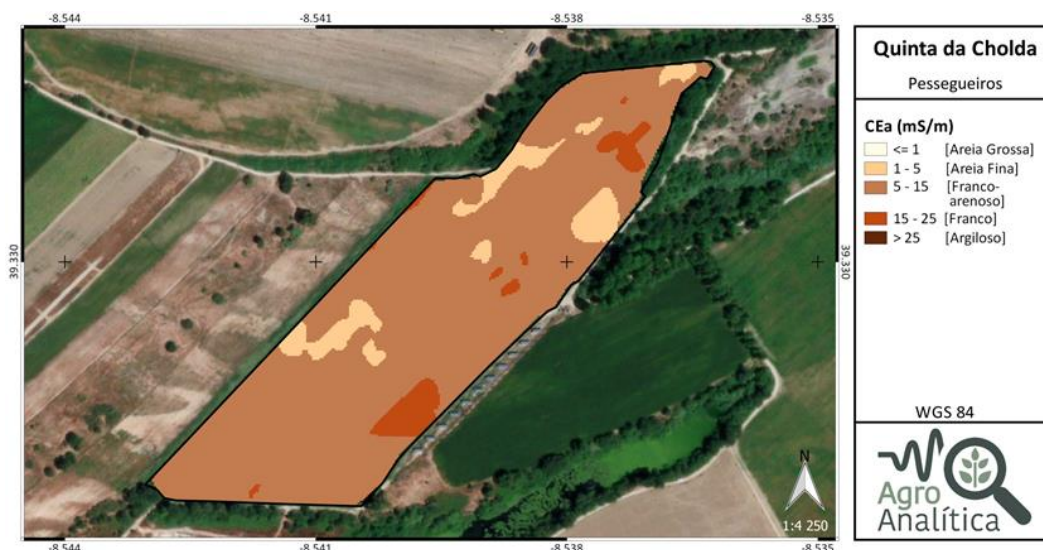


Figura 6- Mapa da condutividade elétrica e do tipo de solo da parcela “Pessegueiros”.Imagens fornecidas por Agro Analítica.

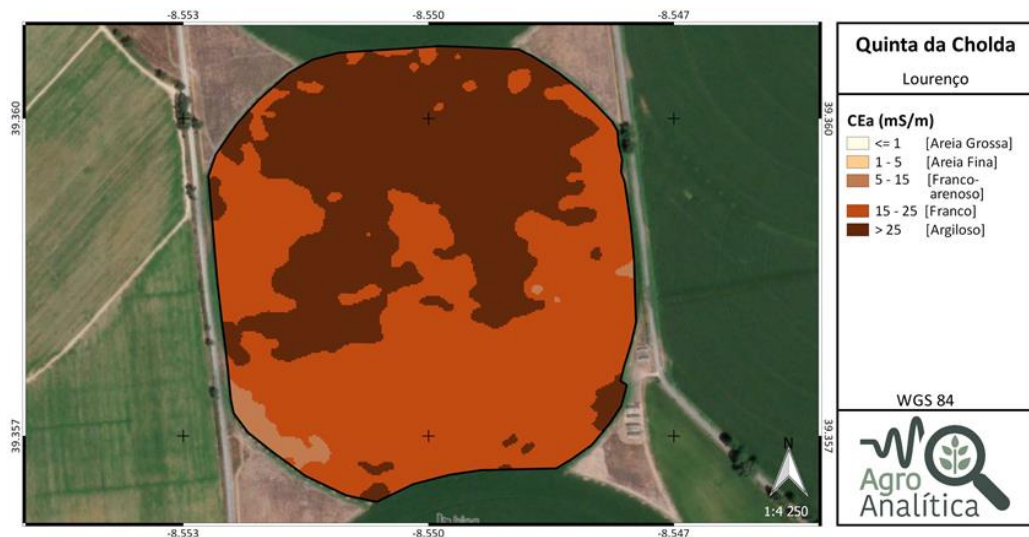


Figura 7- Mapa da condutividade elétrica e do tipo de solo da parcela "Lourenço". Imagens fornecidas por Agro Analítica.

3.3. Caracterização climática da região

Para a realização da caracterização de indicadores e classificações climáticas recorremos a dados climáticos recolhidos na estação de Santarém/Escola Agrária para a média de 30 anos (1971/2000) publicados pelo Instituto do Mar e da Atmosfera: Clima: Normais Climatológicos. A estação tem as coordenadas 39°15'N; 08°42'W e está a uma altitude de 54m ficando situada a uma distância de cerca de 17 km das parcelas em ensaio. Os dados meteorológicos dos meses em que decorreu o ensaio foram comparados com os dados obtidos para a média 1971/2000.

O clima da exploração em estudo, de acordo com a classificação climática de Thornthwaite (1948), classifica-se como sendo um clima sub-húmido seco (mesotérmico B4). De acordo com a classificação de Köppen (1928), este clima é classificado como temperado porque é chuvoso e moderadamente quente, com chuvas intensas de inverno (tipo Cs), e por possuir valores médios do mês mais quente acima de 22°C, enquadra-se no subtipo Csa: mesotérmico húmido, com verão quente e seco e um inverno frio e chuvoso.

De modo específico, o local em estudo apresenta uma precipitação média de cerca de 695,5 mm por ano, concentrados no Outono e Inverno. As temperaturas mínimas variam entre -1,4°C (janeiro) e 16,1°C (julho) (Fig. 8). As temperaturas máximas ocorrem em julho e agosto e atingem valores de cerca de 30°C.

Relativamente às condições meteorológicas que se verificaram em 2021, para além dos dados referentes aos meses em que o estudo decorreu, importa também referir as

condições que se verificaram nos meses anteriores, uma vez que estes desempenham um fator importante nas condições de humidade que as sementes de milho e infestantes encontraram, aquando do momento da germinação e também nos primeiros estados vegetativos.

Através da análise da figura 8, podemos ver que desde o início do ano até ao dia da sementeira da parcela “Pessegueiros” (28 de março), ocorreu um total de apenas 4,6 mm de precipitação a menos, em relação aos valores médios entre o intervalo de anos de 1971 a 2000; até ao dia da sementeira da parcela “Lourenço” (8 de maio) ocorreu um total de apenas 41,2 mm de precipitação a mais, em relação aos valores médios entre o intervalo de anos de 1971 a 2000. Durante o período em que o ensaio, os meses de abril, maio, junho e julho de 2021 registou-se maior precipitação no mês de abril em relação ao período de tempo 1971/2000 (111,5 e 65,7 mm, respetivamente), nos restantes meses registou-se uma menor precipitação em relação à média desses meses durante o período 1971/2000 sendo a do ano 2021 23,3; 12,6 e 0,3 mm em comparação com 56,2; 22,5; 7,3 mm nos meses de maio, junho e julho entre o período 1971/2000. Assim sendo nos meses de instalação do ensaio de instalação do ensaio ocorreu um total de precipitação de 147,7 mm e nos mesmos meses no período 1971/2000 houve uma precipitação de 151,7 mm, ou seja, houve uma redução de 2,7% em 2021 em relação á media entre os anos 1971-2000.

Relativamente às temperaturas que se fizeram sentir durante os meses em que decorreu o ensaio, existem variações comparativamente à média registada entre os anos de 1971/2000, registando durante os meses de abril, maio, junho e julho uma temperatura superior entre 1 e 2,5 °C em comparação à média registada entre os anos de 1971/2000 durante os mesmos meses.

Sendo um ano mais quente e também mais húmido que o normal, torna assim este um ótimo ano para testar esta técnica devido ao facto de ser um ano com as condições ideais para o surgimento de infestantes.

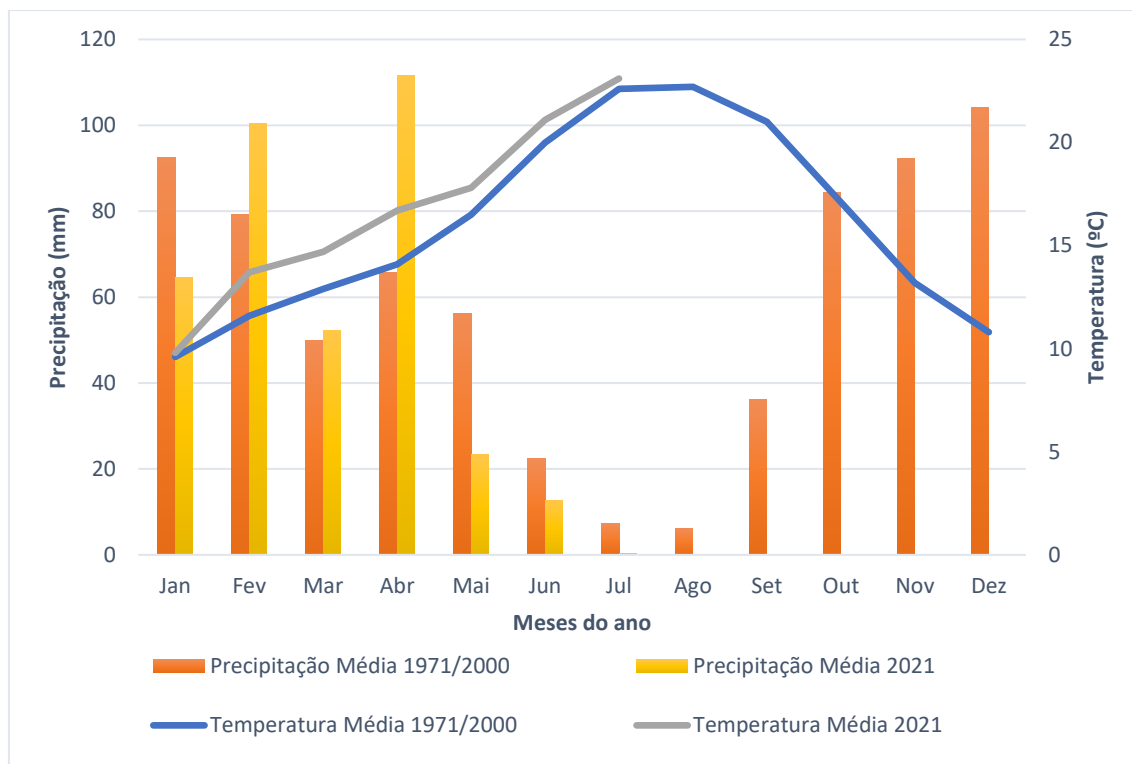


Figura 8- Diagrama ombrotérmico. Dados meteorológicos de Santarém/Escola Agrária (média 1971/2000) e para o ano de 2021 (período do ensaio).

3.4. Operações agronómicas

3.4.1. Sistemas de Cultura, preparação do solo e instalação da cultura do milho

Todas as operações agronómicas foram efetuadas de igual forma em todos os tratamentos nas duas parcelas. Nas parcelas do ensaio “Pessegueiros” e “Lourenço”, durante os últimos 30 anos foi efetuada uma sucessão de culturas baseado no milho (*Zea mays* L.) destinado à produção de grão a que se segue, no outono-inverno, uma cultura de cobertura (dose de sementeira de 10kg de trigo por ha) que é destruída e incorporada no solo antes da sementeira do milho.

A preparação do solo para a instalação da cultura do milho foi feita com duas passagens de uma grade de discos *off-set* rebocada, que mobiliza o solo a uma profundidade de cerca de 20 cm, tendo uma largura de trabalho de 3 m (Fig. 9). A velocidade de trabalho com a grade foi de 10 km h⁻¹, seguiu-se uma deslavra com uma fresa de eixo horizontal com “facas direitas” tendo uma largura de trabalho de 3 m (Fig. 9) (mobiliza-

ção de aproximadamente 35cm de espessura). Esta fresa está equipada com “ferros extirpadores” frontais.

Um mês antes do início da preparação da cama de sementeira é feita a destruição da cultura de cobertura (trigo), aplicando 2l por ha de “Roudup Flex” (substância ativa: glifosato) que provoca a destruição da cultura do trigo juntamente com algumas infestantes. Quinze dias após a aplicação de herbicida, é feito o destroçamento mecânico da cultura de cobertura com um destroçador e dá-se início à preparação do solo.



Figura 9- Grade de discos de fresa de eixo horizontal utilizadas na preparação do solo para a instalação da cultura do milho.

A fertilização foi baseada na distribuição (antes da gradagem) de estrume de galinha maturado e a fertilizante mineral foi feita com o semeador aplicando o adubo em linha, posteriormente durante a sacha e também duas fertirregas para um total de aproximadamente 180 Kg N ha⁻¹.

A sementeira do milho foi feita com um semeador pneumático da marca “Monosem”, de 6 corpos de sementeira com tremonha de adubo incorporada. Na parcela “Pesse-

gueiros” foi iniciada a gradagem no dia 23 de março de 2021 e a sementeira realizada no dia 28 de março de 2021, sendo semeada a variedade DEKALB DKC 7492 FAO 600 com uma densidade de 88 000 plantas por hectare. Na parcela “Lourenço” foi iniciada a gradagem no dia 1 de maio de 2021 e a sementeira realizada no dia 8 de maio de 2021, sendo semeada a variedade Pioneer 0937 FAO 500 com uma densidade de 90 000 plantas por hectare.

Os tratores utilizados nas diferentes operações estão equipados com sistema Real-Time Kinematic (RTK-GPS) de posicionamento e direção automática, construindo mapas precisos de linhas de milho que foram usados em todas as operações seguintes (aplicação de herbicida e sacha).

3.4.2. Controlo das infestantes

3.4.2.1. Pulverização

A aplicação de herbicida na parcela “Pessegueiros” foi realizada com um pulverizador de pressão de jato projetado montado com uma capacidade de 1000L e na parcela “Lourenço” foi usado um pulverizador de pressão de jato projetado rebocável com uma capacidade de 4000L (Fig. 10).



Figura 10- Pulverizadores de jato projetado (montado e rebocado) utilizados no ensaio.

Nos dois pulverizadores a barra horizontal tinha uma largura de trabalho de 18 m, onde foi substituída uma secção independente da mesma (3 m de largura) com bicos de pulverização convencional (por toda a área) por 4 bicos Teejet TJ60-4004EVS, distanciados por 75 cm para coincidirem com o distanciamento entre as linhas do milho.

Para os dois casos, a pressão foi calculada para obtermos os débitos pretendidos de 200 L ha⁻¹.

Foi aplicado um herbicida de pós-emergência (Lumax®, Syngenta) com as plantas no estado fenológico V1/V2. A substância ativa deste herbicida é a mesotriona (Mesotriona: 37,5 g/L, S-metolacoloro: 312,5 g/L, Terbutilazina: 187,5 g/L), sendo que a concentração do herbicida foi de 4 L ha⁻¹.

Tabela 1- Dados sobre a aplicação de herbicida nas duas parcelas

	Pessegueiros	Lourenço
Data de Aplicação (DAS)	8	13
Velocidade de avanço	7 km h ⁻¹	7 km h ⁻¹
Velocidade do vento	1,3 km h ⁻¹	0,6 km h ⁻¹
Direção do vento	Nordeste	Sul

3.4.2.2. Sacha

A sacha realizou-se no estado fenológicos V6/V7 do milho com um sachador de 7 corpos com dentes em S (Fig. 11). A passagem desta alfaia permite que o solo na entrelinha seja mobilizado e assim haja um arejamento do solo e por conseguinte a destruição de infestantes que emergiram na entrelinha em consequência da não aplicação numa faixa de 30cm decorrente da implementação do novo tratamento.

Cada corpo com dentes em S tem uma largura de trabalho de 45cm e esta operação é realizada usando tratores com sistema RTK-GPS de posicionamento e direção auto-

mática, coincidindo a rota do trator com as linhas do milho, não havendo desvios que poderiam causar a destruição das plantas.

Na passagem do sachador é também feita a aplicação da adubação azotada.



Figura 11- Sachador com dentes em S usado no ensaio. Este equipamento está também equipado com tremonha para fazer a aplicação de fertilizantes.

Tabela 2- Resumo das operações agronômicas realizadas em cada parcela.

Operação	Pessegueiros		Lourenço	
	Equipamento	Data	Equipamento	Data
Aplicação de Glifosato	Pulverizador de pressão de jato projetado rebocável	01/03/21	Pulverizador de pressão de jato projetado rebocável	05/04/21
Preparação do solo	Grade de discos de frese de eixo horizontal	23/03/21	Grade de discos de frese de eixo horizontal	01/04/21
Sementeira	Semeador pneumático	28/03/21	Semeador pneumático	08/05/21
Aplicação de herbicida	Pulverizador de pressão de jato projetado montado	05/04/21	Pulverizador de pressão de jato projetado rebocável	20/05/21
Sacha	Sachador com dentes em S	13/04/21	Sachador com dentes em S	13/06/21

3.5. Descrição e implementação da experiência

3.5.1. Modalidades e delineamento experimental

O trabalho experimental consistiu em duas modalidades de controle de infestantes baseados em aplicações em diferentes datas de herbicidas (localizada ou não) e com posterior uso de meios mecânicos e uma modalidade testemunha em que não é feito qualquer tratamento para o controle de infestantes.

Foram instalados três diferentes tratamentos durante a pulverização de herbicida pós-emergência estado (V1/V2), combinando posteriormente com a sacha do solo entre as linhas do milho no estado (V6/V7). O primeiro tratamento (T0) foi a não aplicação de qualquer tipo de herbicida a fim de provar que o herbicida teve algum efeito na densidade de infestantes existentes na parcela; o segundo tratamento (T1) baseia-se numa pulverização convencional, ou seja, é feita uma pulverização por toda a área, sendo este tipo de pulverização a que o agricultor usa na sua exploração todos os anos. O terceiro tratamento (T2) consiste na aplicação do herbicida em faixa ao longo da linha do milho, sendo adaptado na barra dos pulverizadores bicos desenvolvidos especialmente para este efeito. Estas faixas têm 45 cm de largura perfazendo 22,5 cm para cada lado da linha do milho, deixando 30 cm na entrelinha sem qualquer aplicação de herbicida (Fig. 12), havendo assim uma poupança teórica de 40% em relação ao método convencional (T1).

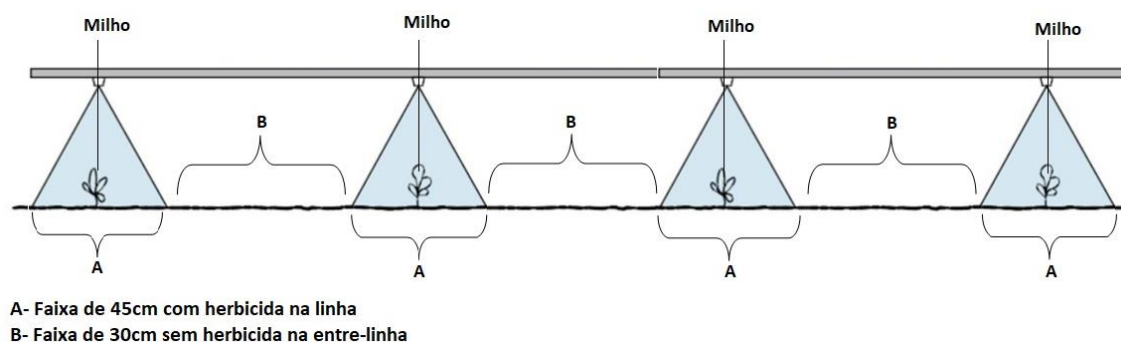


Figura 12- Esquema do Tratamento 2: aplicação de herbicida em faixa.

Os diferentes tratamentos de controlo das infestantes foram analisados de acordo com um delineamento em blocos casualizados. A conformação da parcela e as operações mecânicas, nomeadamente a pulverização necessária para os três tratamentos (pulverização em faixa; pulverização total da área; sem qualquer pulverização), condicionou o estabelecimento de delineamentos experimentais convencionais, nomeadamente a casualização dos tratamentos em cada bloco. O estabelecimento do ensaio numa exploração comercial também condicionou a seleção do delineamento utilizado, devido ao banco de sementes que poderia ser disseminado por toda a parcela, nomeadamente na instalação do tratamento “sem qualquer pulverização”, onde só foi permitida a instalação deste tratamento numa pequena área da parcela.

Posto isto, o ensaio para análise do impacto das diferentes modalidades de pulverização em faixa de herbicida na produção de milho grão foi delineado em blocos subdivididos com 3 repetições de cada tratamento dentro de cada bloco (Fig. 13)

Nesta variação do delineamento experimental designado Strip-Block, os dois tratamentos são aplicados ao longo de cada bloco. Este delineamento facilita as operações como sementeira, pulverização, fertilização e colheita de culturas saídas semeadas em linhas. Contudo, quando comparado com os delineamentos blocos casualizados ocorre uma diminuição da precisão na medição dos dois tratamentos.

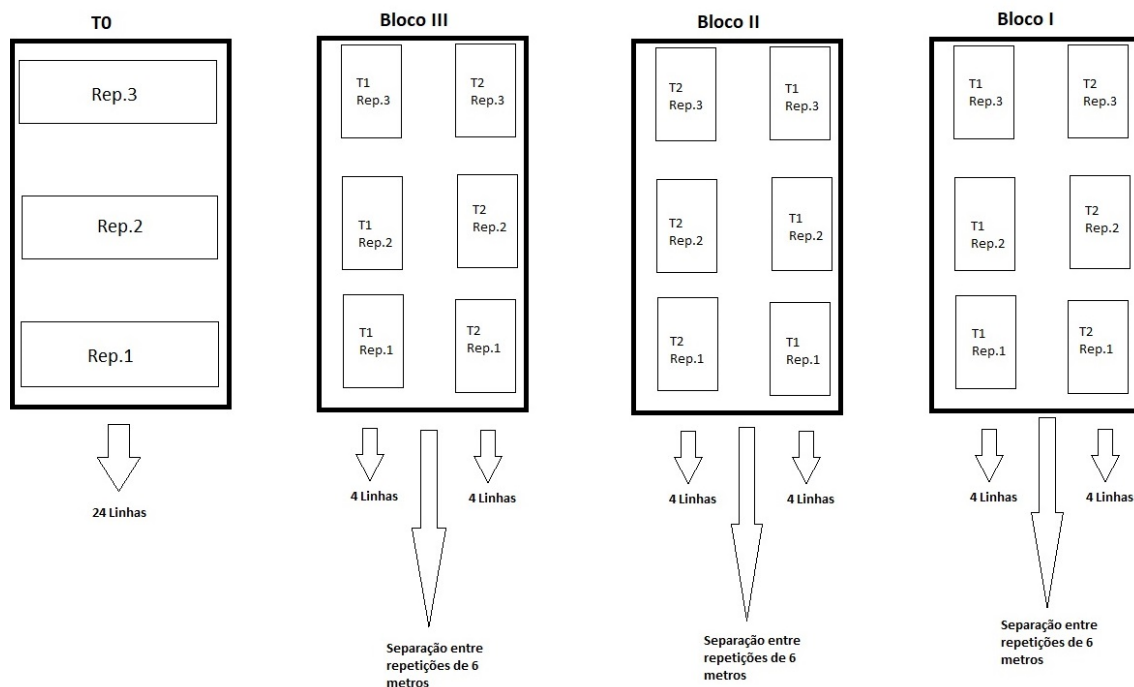


Figura 13- Desenho experimental para as duas parcelas.

3.5.2. Observações e medições da diversidade e densidade de infestantes

A avaliação do impacto dos diferentes tratamentos na evolução temporal das infestantes foi efetuado através dos seguintes parâmetros: densidade (nº de plantas emergidas) e a diversidade (nº de espécies infestantes). Estes parâmetros foram registados numa quadricula com 75cm, subdividido em 22,5cm do lado esquerdo da linha do milho e 22,5cm do lado direito da linha do milho, sendo considerada a linha (Local1), ficando no centro um espaço com 30cm de largura e 75cm de comprimento considerada a entre-linha (Local 2) (Fig. 14).

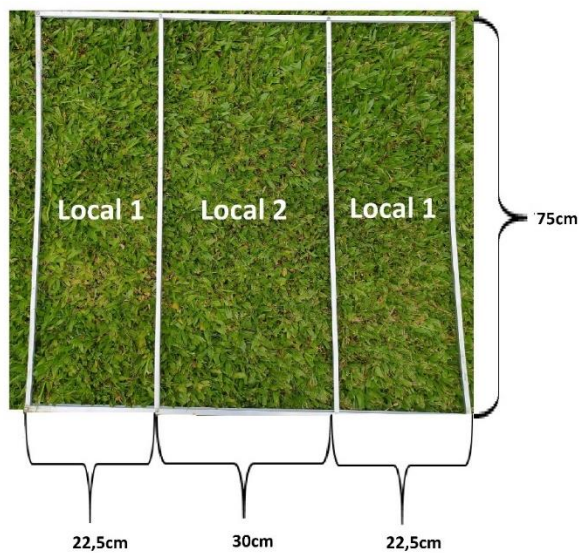


Figura 14- Quadricula usada nas observações da evolução das infestantes na linha (Local 1) e na entre-linha (Local 2) do milho.

Dentro de cada repetição foram marcados 3 pontos para que as observações fossem feitas sempre no mesmo ponto ao longo do ensaio (Fig. 15), onde se fez o levantamento temporal da densidade e diversidade em cada “DAS” (dia após sementeira) definido ao longo do tempo em que a cultura esteve instalada.



Figura 15- Marcação de pontos dentro de cada repetição para garantir a monitorização sempre no mesmo local.

Tabela 3- Dias após a sementeira em que foram realizadas as observação da densidade e diversidade de infestantes em cada parcela.

Pessegueiros			Lourenço		
Observações	DAS	Operação	Observações	DAS	Operação
1 ^a	8	Aplicação de herbicida	1 ^a	13	Aplicação de herbicida
2 ^a	29	-	2 ^a	35	Dia anterior à sacha
3 ^a	45	Dia anterior à sacha	3 ^a	52	-
4 ^a	60	-	4 ^a	83	-
5 ^a	93	-			
6 ^a	124	-			

Na parcela “Pessegueiros” foram realizadas mais observações do que na parcela “Lourenço” devido ao facto esta foi semeada mais cedo, e por isso como as temperaturas são menores durante o mês de abril, o milho tem uma maior dificuldade em desenvolver-se, sendo o seu ciclo cultural mais longo. Assim sendo, na parcela “Pessegueiros” foram feitas 6 observações e na parcela “Lourenço” foram feitas 4 observações.

3.5.3. Análise estatística

As médias de tratamentos e erros padrão foram calculados para cada variável (densidade e diversidade de infestantes em cada local da quadricula (Local 1 e Local 2).

Para analisar o efeito da pulverização em faixa (Tratamento 2) procedeu-se à análise de variância (ANOVA) que foi realizada para as variáveis densidade e diversidade de infestantes. A ANOVA separadamente para o Local 1 (linha) e para o Local 2 (entrelinha) e por fim uma ANOVA para cada "DAS", separadamente.

A significância dos valores de F (Fisher) calculados para os parâmetros em análise, foi estabelecida para probabilidades inferiores a 5(*), 1 (**) e 0,1(***) %. Considerando-se respetivamente como significativos, muito significativos e altamente significativos. Nos casos em que os fatores em análise apresentam resultados estatisticamente significativos ($p < 0,05$) para o teste de F (Fisher, ANOVA), procedeu-se à comparação das médias através de contrastes planeados, nomeadamente contrastes ortogonais.

A execução da ANOVA foi precedida dos pressupostos de um teste de normalidade para verificar se a distribuição das médias segue uma distribuição normal e para verificar a homogeneidade das variâncias é utilizado o teste de Levene para verificar se a variância do erro da variável dependente é igual entre os grupos.

Foi realizada a transformação das variáveis densidade e diversidade utilizando a função $X = \text{Raiz quadrada de } (x + 0,5)$, isto para que observações com o valor de "0" sejam elegíveis.

Para algumas variáveis foi analisado a sua tendência temporal.

3.5.4. Dispositivo para pulverização em faixas localizadas

3.5.4.1. Montagem da barra de pulverização

Para efetuar a aplicação localizada de herbicida no Tratamento 2 foi necessário a utilização de bicos de pulverização, específicos para aplicação em faixa ao longo da linha de cultivo. A barra foi equipada com bicos Teejet TJ60-4004EVS (TeeJet Technologies, Glendale Heights, IL, EUA). Estes tipos de bicos têm jato duplo (Fig. 16) o que promove uma melhor uniformidade de pulverização. Estes bicos são considerados muito eficazes com herbicidas de pré-emergência utilizados em locais com muitos torrões ou com restolhos da colheita anterior proporcionando uma eficaz pulverização em toda a faixa.



Figura 16- Bicos Teejet TJ60-4004EVS e montagem na seção da barra do pulverizador utilizada na aplicação localizada de herbicida (Tratamento 2).

Na barra de pulverização foram montados quatro bicos (um por linha de milho para obter uma faixa pulverizada) separados por 75 cm para coincidirem com o espaçamento entre linhas do milho. O sistema foi ajustado para uma largura da faixa de pulverização em 45 cm e uma largura de faixa sem pulverização de 30 cm sendo definida a altura de 55 cm da barra do pulverizador em relação ao solo (Fig.17).

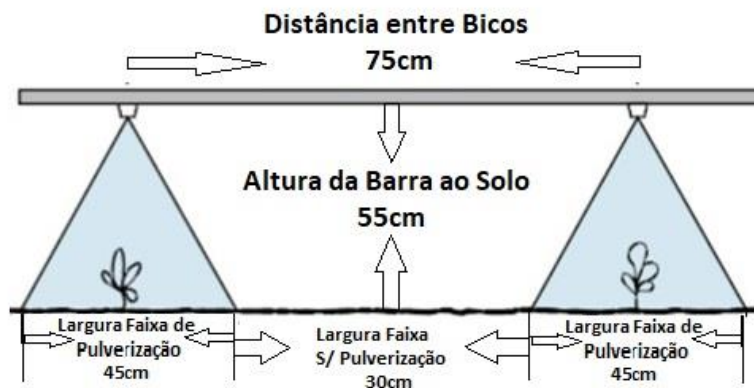


Figura 17- Esquema da montagem dos bicos Teejet TJ60-4004EVS na barra do pulverizador

3.5.4.2. Calibração e regulação do pulverizador

O trator usado no ensaio foi um “Fendt 307 Ci” com GPS montado da marca “John Deere” do modelo “Starfire 3000”. Este GPS dispõe de tecnologia Real-Time Kinematic GPS (RTK-GPS) que oferece níveis de precisão de condução com um erro máximo de 2,5cm em condições ideais.

Após a montagem dos bicos na barra do pulverizador, procedeu-se à testagem da precisão da faixa de 45cm ao longo de toda a linha do milho, ou seja, observar se o sistema RTK GPS do trator era suficientemente preciso para que não houvesse oscilações da barra do pulverizador ao longo da linha do milho.

Para este efeito foi realizado este “teste em branco” em piso de asfalto para contrastar (e assim visualizar) as faixas de pulverização e utilizando diversos “papeis hidrossensíveis” colocados em posição transversal à direção do avanço do pulverizador. Para testar a precisão do mesmo foi definida uma rota para simular uma linha do milho e foi colocada a calha com os “papeis hidrossensíveis” a meio dessa rota na zona onde estava a secção da barra do pulverizador com os bicos de pulverização em faixa (Fig. 18).



Figura 18- Calha com “papéis hidrossensíveis” colocada perpendicular à rota do trator no local de passagem dos bicos para análise da precisão do sistema RTK-GPS

O objetivo foi testar eventuais deslocamentos da faixa de pulverização, a fim de validar esta técnica de pulverização em faixa.

Durante a realização deste ensaio em branco foi também ajustado o pulverizador para obter um volume teórico de 200 L ha^{-1} , a uma pressão definida a 3,5 bar e a velocidade de deslocamento do trator a 7 km h^{-1} .

Os resultados foram satisfatórios, podendo concluir que com a ajuda da condução automática do trator é possível fazer uma faixa de pulverização com pequenos desvios em relação à trajetória definida.

Verifica-se um desvio de cerca de 5cm da faixa de pulverização para a direita (Fig. 19), consequência do vento que se fez sentir de 2 km h^{-1} , estabelecendo assim, este valor, como limite à realização deste ensaio.

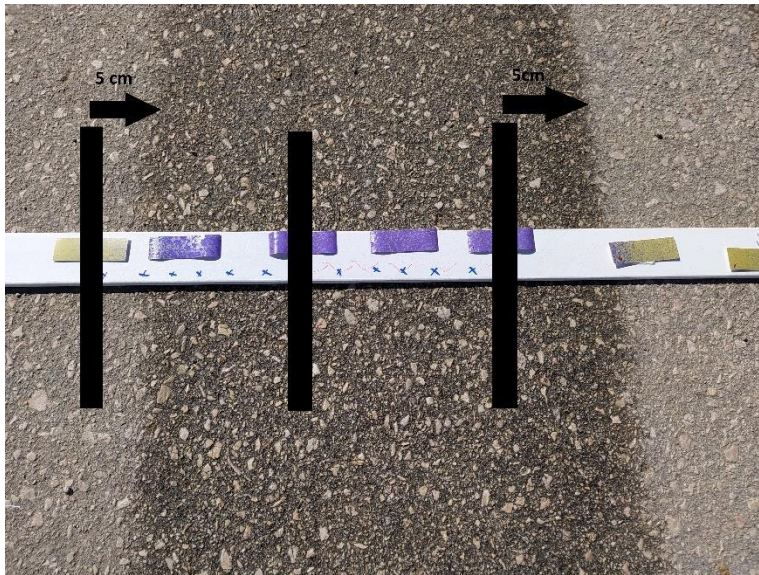


Figura 19- Resultados obtidos no ensaio da calibração dos bicos Teejet TJ60-4004EVS onde se observa um deslocamento de 5 cm para a direita da faixa de pulverização.

3.6. Cálculo de custos associados ao controlo das infestantes

Para que haja a adoção, por parte dos agricultores, desta nova metodologia de combate às infestantes no milho é necessário conhecer os seus custos e respetiva comparação com as técnicas convencionais. Neste âmbito, foi realizado o levantamento dos custos associados ao combate às infestantes, sendo contabilizados os custos relativos ao custo da operação das máquinas (aplicação de herbicida e sachas), e também os custos relacionados com consumíveis (produtos fitofármacos utilizados).

Foram usados os preços pagos utilizados na Quinta da Cholda, tanto nos custos de operação da maquinaria (ou seja, incluindo custos de mão de obra, maquinaria e combustível) como os custos associados aos herbicidas usados no ensaio.

Foram comparados os custos do combate as infestantes do Tratamento 1 com os custos do Tratamento 2 para assim saber quanto se poupa em termos monetários com a aplicação do Tratamento 2.

4. Resultados

4.1. Estudo de eficácia do controlo de infestantes na parcela Lourenço

Foi comparada a eficácia do controlo de infestantes dos tratamentos baseados na aplicação de herbicida na totalidade da área (T1) e apenas na linha (T2) e também sem qualquer tratamento (T0). Nesta comparação foram utilizados descritores da diversidade de espécies infestantes e densidade de plantas medidos na linha e na entre-linha.

A tabela 4 apresenta estatísticas descritivas dos resultados e da comparação de médias entre tratamentos de acordo com a análise de variância (ANOVA) para cada uma das datas das medições considerando como referência os dias após sementeira (DAS).

Após a DAS 25 não foram efetuadas comparações com a testemunha (T0) devido ao elevado grau de infestação desta modalidade.

Tabela 4- Efeito do tratamento de controlo das infestantes na evolução temporal após sementeira (DAS) dos valores médios da diversidade e densidade de infestantes na linha e entre linha do milho da parcela 'Lourenço'. Valores médios e do desvio padrão entre parenteses.

DAS	Tratamentos	Diversidade (espécies/m ²)		Densidade (plantas/m ²)	
		Linha	Entre-linha	Linha	Entre-linha
13	T0	0,00	0,00	0,00	0,00
	T1	0,00	0,00	0,00	0,00
	T2	0,00	0,00	0,00	0,00
	Test F (sig)	-	-	-	-
35	T0	1,33 (0,50) ^a	1,66 (0,50) ^a	2,33(1,32) ^a	2,00 (0,86) ^a
	T1	0,11 (0,32) ^b	0,11 (0,32) ^b	0,33 (1,11) ^b	0,26 (0,86) ^b
	T2	0,00 (0,00) ^b	0,11 (0,32) ^b	0,00 (0,00) ^b	0,11 (0,32) ^b
	Test F (sig)	0,00	0,00	0,00	0,00
52	T1	0,48 (0,70)	0,81 (0,78)	0,89 (1,58)	0,59 (1,01)
	T2	0,22 (0,42)	1,04 (0,65)	0,30 (0,60)	0,70 (1,03)
	Test F (sig)	0,111	0,342	0,082	0,653
83	T1	0,85 (0,82)	2,26 (0,66)	1,81(2,90)	1,63 (1,62)
	T2	0,63 (0,63)	2,56 (0,80)	1,67 (2,25)	2,15 (1,81)
	Test F (sig)	0,296	0,137	0,842	0,220

To Testemunha; T1- aplicação de herbicida na área total, T2- aplicação de herbicida em faixa; DAS – Dias Após Sementeira. Teste F (sig.). Valor do teste de Fischer obtido na análise de variância (ANOVA). Na mesma coluna valores médios seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes, de acordo com o teste de F ($p < 0,05$).

4.1.1. Diversidade de espécies infestantes

Na parcela Lourenço o número total de espécies variou de 0 a 2 na linha e de 1 a 3 na entre-linha conforme as modalidades (Tab. 4)

As espécies mais abundantes foram *Cyperus rotundus* e *Echinochloa (Panicum) crus-galli.*, e com menos abundância o *Sorghum halepense (L.) Pers.* Verificou-se que estas infestantes foram controladas com eficácia com o herbicida utilizado (substância ativa mesotriona).

Através da análise da tabela 4 é possível constatar que não são encontradas diferenças significativas entre os tratamentos T1 e T2 ao longo do tempo, confirmando assim que em T2, sendo aplicado herbicida em faixa, não leva ao aparecimento de novas espécies, diferentes das que aparecem em T1. No entanto existem diferenças significativas ($p < 0,05$) entre T0 e os tratamentos T1 e T2 o que demonstra que a ausência de controlo de infestantes proporciona um aumento da variedade de espécies presentes na parcela.

4.1.2. Densidade de espécies infestantes

Densidade na Linha.

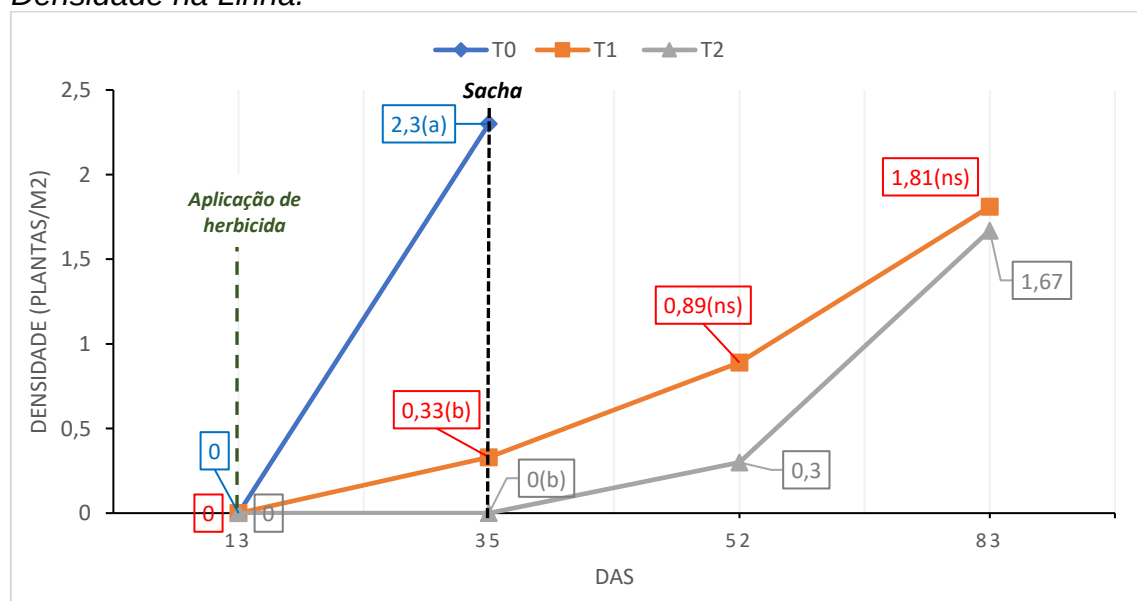


Figura 20- Evolução da média da densidade de infestantes por m^{-2} nos tratamentos T0 (até DAS 35), T1 e T2 na linha relativos à parcela "Lourenço". Na mesma data médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente de acordo com o teste F ($p > 0,05$), "ns" não diferem significativamente.

A figura 20 permite verificar que os resultados relativos à densidade de infestantes na linha não diferem estatisticamente nos tratamentos T1 e T2 em todas as fases de desenvolvimento da cultura do milho. No entanto, ao longo do tempo de ensaio verificamos que T2 evidencia em média menos infestantes emergidas do que no T1 na linha, mas estas diferenças não são estatisticamente diferentes.

Como é possível observar na figura 20, após a sacha em (DAS 35-83) houve um grande aumento da densidade de infestantes nos dois tratamentos, mas não se registando diferenças significativas entre T1 e T2.

Observamos que a não utilização de herbicida em T0 proporcionou um aumento exponencial da densidade de infestantes na linha desde DAS 13. Todavia, nas modalidades T1 e T2 não se verificou este aumento da densidade de infestantes sendo estes tratamentos significativamente diferentes de T0.

Densidade na Entre-linha.

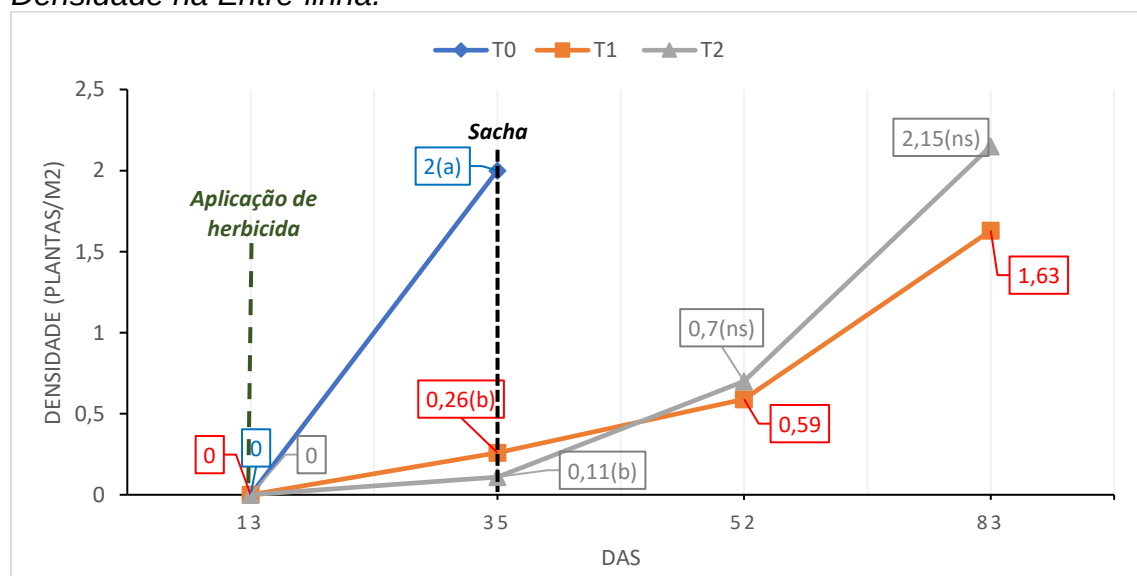


Figura 21- Evolução da média da densidade de infestantes por m^{-2} nos tratamentos T0 (até DAS 35), T1 e T2 na entre-linha relativos à parcela "Lourenço". Na mesma data médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente de acordo com o teste F ($p > 0,05$), "ns" não diferem significativamente.

Os resultados estatísticos relativos às contagens na entre-linha da parcela "Lourenço" e representados na figura 21, evidenciam que os tratamentos T1 e T2 não apresentam diferenças significativas entre eles em qualquer uma das datas de contagem de infestantes. Existe um grande aumento da densidade de infestantes após a sacha, que mesmo assim não acarreta impactos negativos na cultura do milho. O ensombramento em estados fenológicos mais avançados (V7-V8) da cultura do milho, não permite o desenvolvimento destas infestantes. Estes resultados de T1 e T2 contrastaram com os valores de T0, onde houve um grande aumento inicial da densidade de infestantes

devido ao facto de não ter sido aplicado herbicida apresentando por isso diferenças significativas em relação a T1 e T2.

De um modo geral, na parcela “Lourenço” houve uma tendência de aumento da densidade de infestantes tanto na linha como na entre-linha nos três tratamentos estudados, principalmente após a sacha, existindo um aumento mais abrupto na entre-linha onde os corpos ativos do sachador trabalham o solo. Nesta parcela nos tratamentos T1 e T2 são atingidos valores muito baixos da densidade de infestantes, sendo o valor mais elevado de 2,15 no “DAS” 83 no tratamento T2.

4.2. Estudo de eficácia do controle de infestantes na parcela Pessegueiros

Foi comparada a eficácia do controlo de infestantes dos tratamentos baseados na aplicação de herbicida na totalidade da área (T1) e apenas na linha (T2) e também sem qualquer tratamento (T0). Nesta comparação foram utilizados descritores da diversidade de espécies infestantes e densidade de plantas medidos na linha e na entre-linha.

A tabela 5 apresenta estatísticas descritivas dos resultados e da comparação de médias entre tratamentos de acordo com a análise de variância (ANOVA) para cada uma das datas das medições considerando como referência os dias após sementeira (DAS).

Após a DAS 29 não foram efetuadas comparações com a testemunha (T0) devido ao elevado grau de infestação desta modalidade

Tabela 5- Efeito do tratamento de controlo das infestantes na evolução temporal após sementeira (DAS) dos valores médios da diversidade e densidade de infestantes na linha e entre linha do milho da parcela 'Pessegueiros'. Valores médios e do desvio padrão entre parenteses.

DAS	Tratamentos	Diversidade (espécies/m ²)		Densidade (plantas/m ²)	
		Linha	Entre-linha	Linha	Entre-linha
8	T0	0,00	0,00	0,00	0,00
	T1	0,00	0,00	0,00	0,00
	T2	0,00	0,00	0,00	0,00
	Test F (sig)	-	-	-	-
29	T0	4,67 (1,00) ^a	5 (0,00) ^a	147,7(30,6) ^a	113,7 (18,38) ^a
	T1	0,56 (0,75) ^b	0,44 (0,58) ^b	3,11 (5,99) ^b	2,15 (4,47) ^b
	T2	0,96 (0,94) ^b	0,93 (0,78) ^c	3,85 (8,97) ^b	6,96 (10,50) ^c
	Test F (sig)	0,00	0,00	0,00	0,00
45	T1	0,74 (0,71)	0,59 (0,64)	4,11 (6,68)	2,89 (4,94)
	T2	1,48 (1,15)	2,48 (1,25)	6,07 (9,62)	12,48 (10,94)
	Test F (sig)	0,008	<0,001	0,253	<0,001
60	T1	2,37 (0,63)	2,26 (0,66)	19,96 (10,9)	24,22 (16,57)
	T2	2,48 (0,58)	2,56 (0,80)	18,11 (8,31)	27,11 (15,34)
	Test F (sig)	0,477	0,079	0,513	0,391
93	T1	2,37 (0,63)	2,26 (0,66)	50,22 (21,6)	69,00 (18,74)
	T2	2,48 (0,58)	2,56 (0,80)	42,70 (14,1)	63,89 (20,48)
	Test F (sig)	0,477	0,108	0,235	0,281
124	T1	2,89 (0,89)	3,07 (0,87)	55,44 (21,4)	68,93 (27,09)
	T2	3,07 (0,73)	3,30 (0,72)	50,15 (15,6)	68,00 (21,86)
	Test F (sig)	0,305	0,228	0,393	0,951

To Testemunha; T1- aplicação de herbicida na área total, T2- aplicação de herbicida em faixa; DAS – Dias Após Sementeira. Teste F (sig.). Valor do teste de Fischer obtido na análise de variância (ANOVA). Na mesma coluna valores médios seguidos por letras diferentes são significativamente diferentes, de acordo com o teste de F ($p < 0,05$).

4.2.1. Diversidade de espécies infestantes

O número de espécies encontradas nos três tratamentos da parcela “Pessegueiros” variou de 0 a 5 (Tabela 5).

Em “Pessegueiros” as espécies mais abundantes foram *Sorghum halepense* (L.) Pers., *Cyperus rotundus*, *Chinichloa (Panicum) crus-galli*, *Amaranthus retroflexus* L., *Datura stramonium*, *Convolvulus arvenses*, *Abutilon theophrasti*. As espécies *Sorghum halepense* (L.) Pers. e *Convolvulus arvenses* foram as que apresentaram maior tolerância ao herbicida usado (substância ativa mesotriona), resistindo ao longo do tempo na linha do milho, sendo apenas as que estavam na entre-linha destruídas com a passagem do sachador.

No período “DAS” 45 o número de espécies foi estatisticamente superior no tratamento T2 quer na linha quer na entre-linha. Nos restantes “DAS” não foram observadas dife-

renças significativas entre os tratamentos T1 e T2, sendo apenas observadas diferenças significativas entre estes dois tratamentos e o tratamento T0 em todos os “DAS” em que foi feita a comparação.

4.2.2. Densidade de espécies infestantes

Densidade na Linha.

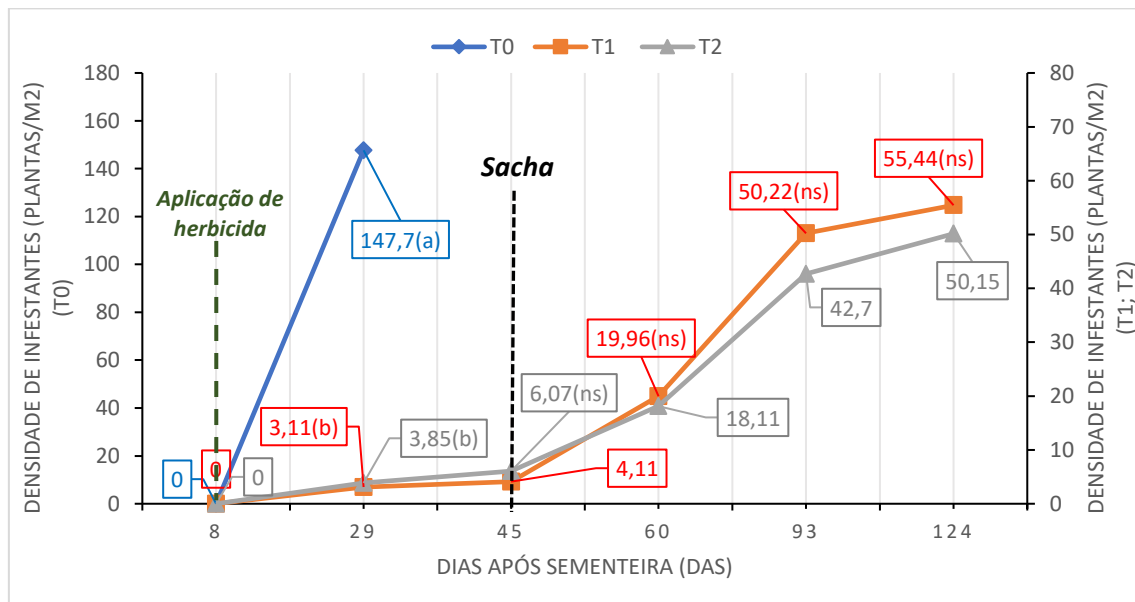


Figura 22- Evolução da média da densidade de infestantes por m² nos tratamentos T0 (até DAS 35), T1 e T2 na linha relativos à parcela “Pessegueiros”. Na mesma data médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente de acordo com o teste F ($p > 0,05$), “ns” não diferem significativamente.

A figura 22 permite verificar que os resultados relativos à densidade de infestantes na linha não diferem estatisticamente nos tratamentos T1 e T2 em todas as fases de desenvolvimento da cultura do milho. No entanto, antes da sachá (DAS 8-45), o T1 apresenta uma tendência consistente de menor quantidade de infestantes emergidas, mas sem que as diferenças sejam estatisticamente diferentes.

Após a sachá (DAS 60-124) observamos que na linha existe um aumento de infestantes no T1 em relação a T2, sendo essa diferença máxima em DAS 93 (T1 com 50,22 vs. T2 com 42,70 infestantes m⁻²), no entanto estas diferenças não foram significativamente diferentes.

Existem apenas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre T0 e os tratamentos T1 e T2. Verificou-se um aumento da densidade de infestantes na modalidade T0 após DAS 8 o qual difere estatisticamente dos tratamentos T1 e T2 nesta mesma data.

Densidade na Entre-Linha

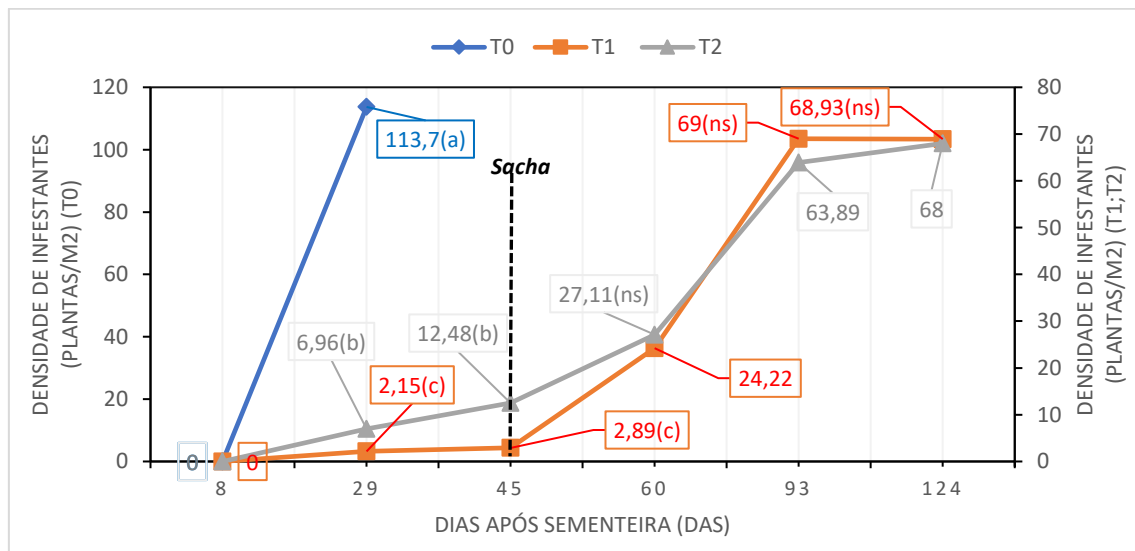


Figura 23- Evolução da média da densidade de infestantes por m² nos tratamentos T0 (até DAS 35), T1 e T2 na entre-linha relativos à parcela "Pessegueiros". Na mesma data médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente de acordo com o teste F ($p > 0,05$), "ns" não diferem significativamente.

Os resultados relativos às contagens na entre-linha e representados na figura 23, evidenciam que os tratamentos T1 e T2 nas medições efetuadas antes da operação sacha ("DAS" 29 e na "DAS" 45) apresentam diferenças significativas entre eles ($p < 0,05$). Esta diferença significativa das médias dos tratamentos T1 e T2 na entre-linha é explicada pelo facto de que no tratamento T2 ter sido aplicado herbicida em faixa na linha e a não na entre-linha, o que fez com que houvesse um aumento significativo das infestantes na entre-linha em T2 em relação ao T1. Isto pode ser observado na figura 24 onde se observa as diferenças de concentração de infestantes na entre-linha entre o T2 e T1.



Figura 24- Comparação da densidade de infestantes na entre-linha na Parcela "Pessegueiros". À esquerda T2 e à direita T1.

Após o controlo mecânico (DAS 45), as infestantes na entre-linha foram destruídas, como podemos observar na figura 25. A sacha levou a uma aproximação dos valores da densidade de infestantes em "DAS" 60, 93,124 entre T1 e T2, passando assim a não existirem diferenças significativas entre os dois tratamentos. Assistimos ainda a uma tendência para os valores das médias da densidade de infestantes em T1 serem superiores aos valores de T2, mas estas diferenças não foram significativas entre si.



Figura 25- Antes da passagem do sachador à esquerda e após a passagem do sachador à direita. Fotografias tiradas no mesmo local no T2 na Parcela "Pessegueiros"

4.3. Estudo de viabilidade económica e ambiental

A figura 26 representa os custos intermédios e totais nas operações específicas de controlo de infestantes na cultura do milho em T1 e T2. Os custos da operação de controlo das infestantes com recurso ao herbicida são de 123 €/ha em T1 e de 90 €/ha em T2, sendo os custos relativos às máquinas (sem incluir os seus custos fixos) na aplicação de herbicida (20€/ha) e na sacha (15€/ha) iguais entre tratamentos. Esta redução

na quantidade de produtos consumíveis deve-se ao facto de que existe uma redução da área de aplicação de herbicida em T2 devido à pulverização em faixa do mesmo, permitindo uma poupança de 40% em produtos fitofármacos em relação a T1.

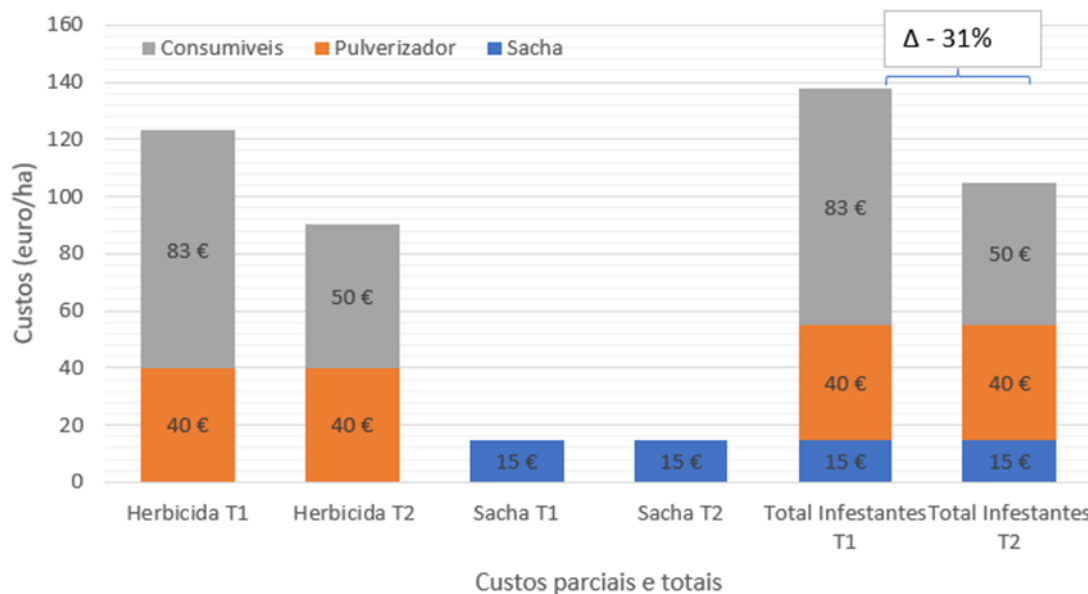


Figura 26- Custos associados à utilização das máquinas e consumíveis nas operações da sacha, aplicação de herbicida e custo total de controlo de infestantes em valor absoluto dos custos totais operacionais no sistema de cultura de milho da Quinta da Cholda.

Os custos apresentados indicam que a putativa redução de utilização de herbicidas na cultura do milho através da adoção da técnica usada em T2 permite a poupança efetiva de 33 €/ha em relação a T1, ou seja, um custo total da operação de 31% inferior na modalidade T2, relativamente à modalidade T1 para o controlo de infestantes.

5. Discussão

Neste estudo conduzido na Quinta da Cholda, foi feita a aplicação de herbicida em pré-emergência com os dois sistemas de pulverização, convencional (T1) e pulverização em faixa de 45 cm na linha (T2). A aplicação de herbicida foi precisa em termos de posicionamento ao longo da linha do milho e precisa em termos de volume de pulverização, graças ao uso de tratores equipados com posicionamento RTK-GPS e sistemas de direção automática para algumas operações agronómicas como a sementeira, a aplicação de herbicida e na sacha. Esta técnica (T2) é de fácil implementação em qualquer pulverizador usado na aplicação convencional de herbicida na cultura do milho, sendo apenas necessária a substituição dos bicos convencionais por bicos ajustados à pulverização em faixa e de seguida ajustar a distância entre eles para se sobreporem às linhas do milho. É também necessária a utilização de tratores equipados com posicionamento RTK-GPS e sistemas de direção automática para que haja uma aplicação precisa do herbicida em faixa.

A aplicação de herbicida em faixa proporcionou a mesma eficácia no controlo de infestantes que a aplicação de herbicida convencional ao longo das linhas do milho nas duas parcelas. Apenas foram encontradas diferenças significativas entre os dois tratamentos na parcela Pessegueiros, na entre-linha, antes da passagem do sachador em DAS 45. Na parcela Lourenço, na entre-linha, não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos T1 e T2 em nenhuma das datas em que se fez o levantamento da densidade de infestantes.

De um modo geral, houve uma tendência de aumento da densidade de infestantes tanto na linha como na entre-linha nos três tratamentos estudados e nas duas parcelas, principalmente após a sacha, existindo um aumento maior na entre-linha. Este aumento após a sacha acontece devido à quebra da película de proteção criada pelo herbicida, que foi aplicado em DAS 8, resultante da passagem do sachador. Embora exista este aumento da densidade de infestantes, estas não se desenvolvem devido ao facto de o milho já estar num estado fenológico avançado (V7/V8) o que provoca o ensombramento do solo. Estas infestantes emergidas após a sacha não são suscetíveis de provocar efeitos negativos na produtividade do milho, pois não se conseguem desenvolver e assim tirar partido de nutrientes e água essenciais ao desenvolvimento do milho (Buhler, 2002). Estes resultados de T1 e T2 contrastaram com os valores de

T0, onde houve um aumento inicial mais acentuado da densidade de infestantes devido ao facto de não ter sido aplicado herbicida.

Comparativamente à parcela “Lourenço”, na parcela “Pessegueiros” podemos constatar que a pressão das infestantes na cultura ao longo do tempo é efetivamente maior quer na linha quer na entre-linha. Na parcela Pessegueiros em T1 encontramos valores médios da densidade de infestantes na linha de 26,58 (máximo 55,4 em DAS 124) o que é muito superior à densidade média verificada na parcela Lourenço 0,76 (máximo 1,81 em DAS 83). Na entre-linha da parcela Pessegueiros a densidade média de infestantes foi de 33,44 (máximo 69 em DAS 93) enquanto na parcela Lourenço foi de apenas 0,62 (máximo 1,63 em DAS 83). Em T2 na parcela Pessegueiros encontramos valores médios da densidade de infestantes na linha de 24,18 (máximo 50,15 em DAS 124) o que é muito superior à densidade média verificada na parcela Lourenço 0,49 (máximo 1,67 em DAS 83). Na entre-linha da parcela Pessegueiros a densidade média de infestantes foi de 35,69 (máximo 68 em DAS 124) enquanto na parcela Lourenço foi de apenas 0,74 (máximo 2,15 em DAS 83).

Esta discrepância dos valores da densidade de infestantes entre parcelas pode ser explicado pela diferença de solos. Na parcela pessegueiros com solos franco-arenosos, quando comparados com os solos franco-argilosos da parcela Lourenço permite a sementeira mais precoce. Nos solos franco-arenosos o período de sação ocorre mais cedo permitindo fazer as operações sem riscos operacionais. Também a temperatura do solo é mais alta do que nos franco-argilosos no início da primavera permitindo assim a germinação do milho. Todavia as sementeiras mais precoces, promovem um crescimento inicial da cultura mais lento, pelo que o efeito de ensombramento das infestantes pela cultura do milho ocorre mais tarde o que permite um desenvolvimento inicial das infestantes mais vigoroso.

Apesar dos valores das médias da densidade de infestantes serem mais elevados na parcela Pessegueiros, estes não diferem estatisticamente entre T1 e T2 pelo que se existirem impactos negativos na utilização da aplicação de herbicida em faixa (T2) estes efeitos negativos também aconteceriam com a aplicação de herbicida convencional (T1).

Outros estudos realizados onde é utilizada a aplicação de herbicida em faixa na cultura do milho, seguida de sacha na entre-linha (Loddo et al., 2020; Pannacci & Tei, 2014; Vasileiadis et al., 2016) confirmam que não existem diferenças significativas entre a aplicação de herbicida convencional e a aplicação de herbicida em faixa, também nestes estudos é verificado que não existem impactos negativos no rendimento da cultura do milho.

A análise dos custos associados à aplicação de herbicida em faixa mostrou que esta é uma solução economicamente competitiva para o controlo de infestantes, havendo poupanças na ordem dos 31% (33€/ha) em relação à aplicação convencional de herbicida. Esta poupança já foi relatada numa série de experiências em explorações de milho conduzidas em vários países europeus (Loddo et al., 2020; Perez-Ruiz et al., 2013; Vasileiadis et al., 2016), tendo em alguns destes estudos as poupanças sido superiores devido à redução da largura da faixa de pulverização.

Além da eficácia agronómica, a aplicação de herbicida em faixa levou a uma redução da dose de herbicidas por hectare em 40% diminuindo os riscos e impactos ambientais relativos ao uso de herbicidas no controlo das infestantes no milho contribuindo assim, também, para a sustentabilidade ambiental desta cultura. A aplicação de faixa pode, portanto, ser uma abordagem viável e sustentável para permitir o uso de ingredientes ativos com características ecotoxicológicas negativas para o ambiente, como alguns herbicidas de pré-emergência aplicados no milho. De acordo com a estratégia “Do Prado ao Prato” inserida no acordo “Green Deal” proposto pela União Europeia com objetivos traçados até ao ano 2030 (European Commission, 2020), esta tomará medidas para reduzir a utilização global e o risco dos pesticidas químicos em 50 % o que tem um efeito direto na redução da utilização de herbicidas em 50%. Este trabalho permite a redução da utilização de herbicidas em 40% alcançando resultados muito satisfatórios pelo que para atingir os objetivos propostos pela Comissão Europeia devemos futuramente reduzir a largura da faixa de pulverização de 45 cm para 37,5 cm e observar se existem diferenças significativas no controlo de infestantes entre a pulverização convencional e a pulverização em faixa utilizando a largura de 37,5 cm.

6. Conclusão

Neste estudo foi testada a pulverização de herbicida pré-emergência em faixas de 45cm na linha do milho, tendo como comparação o controlo de infestantes com pulverização convencional em que posteriormente foi realizado o controlo mecânico das infestantes com a passagem do sachador nos dois tratamentos.

Em termos de diversidade de espécies encontradas, não foram encontradas diferenças entre a aplicação de herbicida em faixa e a aplicação de herbicida convencional nas duas parcelas. Podemos concluir que esta aplicação em faixa não provoca o surgimento de um maior número de espécies infestantes na cultura do milho, pelo que a torna tão eficaz quanto a pulverização convencional.

Os resultados indicam que na parcela Lourenço (Franco-Argiloso) não existiram diferenças significativas na densidade de infestantes na linha e na entre-linha do milho, na pulverização convencional e a pulverização em faixa. Estes resultados mostram que a pulverização em faixa, em solos predominantemente franco-argilosos, tem o mesmo efeito sob o controlo de infestantes que a pulverização convencional ao longo do desenvolvimento da cultura, contribuindo assim para uma maior sustentabilidade económica e ambiental desta cultura.

Na parcela Pessegueiros (Franco-Arenoso), como esperado, até à sacha existiram diferenças significativas da densidade de infestantes na entre-linha, apresentando a pulverização em faixa uma maior densidade do que a pulverização convencional devido ao facto de que na pulverização em faixa não ser aplicado herbicida na entre-linha. Estas diferenças deixaram de existir após a sacha, sendo por isso as infestantes controladas em fases ainda pouco avançadas de desenvolvimento das mesmas, não permitindo que estas produzam sementes e posteriormente aumentem o banco de sementes na parcela. Na linha não foram encontradas diferenças significativas entre tratamentos ao longo do desenvolvimento da cultura, pelo que a pulverização em faixa não diferenciou da pulverização convencional. Nesta parcela, apesar da grande dificuldade no controlo de infestantes derivada do tipo de solo (franco-arenoso), a pulverização em faixa proporcionou um controlo de infestantes tão eficaz quanto a pulverização convencional.

Com os resultados deste estudo podemos concluir que a pulverização em faixa traz uma poupança de 33€/ha para o agricultor tendo este na sua exploração um pulverizador de jato projetado e um trator com sistema RTK-GPS e condução automática.

A nível ambiental, conseguimos uma redução em 40% na utilização de pesticidas, ficando a faltando cerca de 10% para atingirmos os objetivos propostos pela Comissão

Europeia no acoro “Green Deal”. Este objetivo poderá ser atingido facilmente através da redução da faixa de pulverização.

Assim sendo, concluímos que através da adaptação de bicos para pulverização em faixa num pulverizador de jato projetado convencional e com a utilização de tratores equipados com sistemas RTK-GPS e condução automática, nas várias operações de campo como a sementeira, a pulverização e a sacha, é possível obter uma redução na utilização de pesticidas em 40% e uma redução nos custos de 31% em relação à pulverização convencional, sem qualquer impacto negativo no controlo efetivo de infestantes na cultura do milho em comparação com a pulverização convencional.

7. Referencias bibliográficas

- Andrew, I. K. S., Storkey, J., & Sparkes, D. L. (2015). A review of the potential for competitive cereal cultivars as a tool in integrated weed management. *Weed Research*, 55(3), 239–248. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/wre.12137>
- ANPROMIS. (2020). O milho. [Consult. em 17/03/2021]. Disponível em [www:<URL:http://www.anpromis.pt/o-milho.html](http://www.anpromis.pt/o-milho.html).
- Barros, J. F. C. (2020). *Toxicidade e Plantas Tóxicas Para Ruminantes Évora: Universidade de Évora, Escola de Ciências e Tecnologia, Departamento de Fitotecnia. 2014. Texto de apoio a alunos.*
- Barzman, M., Bàrberi, P., Birch, A. N. E., Boonekamp, P., Dachbrodt-Saaydeh, S., Graf, B., Hommel, B., Jensen, J. E., Kiss, J., Kudsk, P., Lamichhane, J. R., Messéan, A., Moonen, A.-C., Ratnadass, A., Ricci, P., Sarah, J.-L., & Sattin, M. (2015). Eight principles of integrated pest management. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), 1199–1215. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0327-9>
- Boutin, C., Strandberg, B., Carpenter, D., Mathiassen, S. K., & Thomas, P. J. (2014). Herbicide impact on non-target plant reproduction: What are the toxicological and ecological implications? *Environmental Pollution*, 185, 295–306. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.009>
- Braga, R., & Pinto, P. A. (2013). Agricultura de precisão: adopção & principais obstáculos. *AgroTec*, 1–8.
- Branco, I., & Merfield, C. (2018). Alternatives to herbicide use in weed management – The case of glyphosate. *Pesticide Action Network Europe*, 2018, 16–39.
- Buhler, D. D. (2002). Challenges and opportunities for integrated weed management. *Weed Science*, 50(3), 273–280. [https://doi.org/DOI:10.1614/0043-1745\(2002\)050\[0273:AIAAOF\]2.0.CO;2](https://doi.org/DOI:10.1614/0043-1745(2002)050[0273:AIAAOF]2.0.CO;2)
- Calha, I. M. (2021). *MILHO – Identificação de infestantes*. Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária 2021. Ação de Formação promovida pela Selectis.

- European Commission. (2020). *Comunicação da comissão ao parlamento europeu, ao conselho, ao comité económico e social europeu e ao comité das regiões. Estratégia do Prado ao Prato para um sistema alimentar justo, saudável e respeitador do ambiente.*
- FAO. (2020). Top Production Maize – 2020. [Consult. em 10/06/2021]. Disponível em <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>
- García, E., & Flego, F. (2008). Agricultura de precision. *Tecnologia Agropecuaria*, 24–31. <https://www.maquinac.com/wp-content/uploads/2015/07/Agricultura-de-Precision-Universidad-de-Palermo.pdf>
- Griepentrog, H. W., & Nielsen, J. (2006). *Autonomous intra-row rotor weeding based on GPS Autonomous intra-row rotor weeding based on GPS Autonomous intra-row rotor weeding based on GPS The Royal Veterinary and Agricultural University CIGR World Congress Agricultural Engineering for a Better Worl. January 2015.*
- IFAP. (2020). *Produção de milho por Município.* [Consult. em 10/03/2021]. Disponível em <https://www.ifap.pt>.
- Keene, C. L., & Curran, W. S. (2016). Optimizing High-Residue Cultivation Timing and Frequency in Reduced-Tillage Soybean and Corn. *Agronomy Journal*, 108(5), 1897–1906. <https://doi.org/https://doi.org/10.2134/agronj2015.0604>
- Kozłowski, L. A. (2002). Período crítico de interferência das plantas daninhas na cultura do milho baseado na fenologia da cultura. *Planta Daninha*, 20(3), 365–372. <https://doi.org/10.1590/s0100-83582002000300006>
- Liebman, M., Baraibar, B., Buckley, Y., Childs, D., Christensen, S., Cousens, R., Eizenberg, H., Heijting, S., Loddó, D., Merotto Jr, A., Renton, M., & Riemens, M. (2016). Ecologically sustainable weed management: How do we get from proof-of-concept to adoption? *Ecological Applications*, 26(5), 1352–1369. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/15-0995>
- Loddó, D., Scarabel, L., Sattin, M., Pederzoli, A., Morsiani, C., Canestrà, R., & Tommasini, M. G. (2020). Combination of herbicide band application and inter-row cultivation provides sustainable weed control in maize. *Agronomy*, 10(1), 1–16. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010020>

- Manalil, S., Busi, R., Renton, M., & Powles, S. B. (2011). Rapid Evolution of Herbicide Resistance by Low Herbicide Dosages. *Weed Science*, 59(2), 210–217. <https://doi.org/DOI: 10.1614/WS-D-10-00111.1>
- Meissle, M., Mouron, P., Musa, T., Bigler, F., Pons, X., Vasileiadis, V. P., Otto, S., Antichi, D., Kiss, J., Pálkás, Z., Dorner, Z., Van Der Weide, R., Groten, J., Czembor, E., Adamczyk, J., Thibord, J.-B., Melander, B., Nielsen, G. C., Poulsen, R. T., ... Oldenburg, E. (2010). Pests, pesticide use and alternative options in European maize production: current status and future prospects. *Journal of Applied Entomology*, 134(5), 357–375. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2009.01491.x>
- Melander, B. (2006). Current achievements and future directions of physical weed control in Europe. *AFPP 3rd International Conference on Non-Chemical Crop Protection Methods*, 9998, 49–58. <http://orgprints.org/9998/>
- Melander, B., Holst, N., Rasmussen, I. A., & Hansen, P. K. (2012). Direct control of perennial weeds between crops - Implications for organic farming. *Crop Protection*, 40, 36–42. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2012.04.029>
- Monosem. (2021). *Monosem The Precision Planter Specialist*. [Consult. em 10/08/2021]. Disponível em <https://www.monosem.com/>
- Narushima, T., Sato, T., Goto, Y., & Takahashi, Y. (2014). Pesticides in River and Tap Water in a Rice Production Area of Niigata, Japan. *Water, Air, & Soil Pollution*, 225(12), 2229. <https://doi.org/10.1007/s11270-014-2229-x>
- Ortiz, B. V, Balkcom, K. B., Duzy, L., van Santen, E., & Hartzog, D. L. (2013). Evaluation of agronomic and economic benefits of using RTK-GPS-based auto-steer guidance systems for peanut digging operations. *Precision Agriculture*, 14(4), 357–375. <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9297-y>
- Pannacci, E., & Tei, F. (2014). Effects of mechanical and chemical methods on weed control, weed seed rain and crop yield in maize, sunflower and soyabean. *Crop Protection*, 64, 51–59. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.06.001>

- Perez-Ruiz, M., Carballido, J., Agüera, J., & Rodríguez-Lizana, A. (2013). Development and Evaluation of a Combined Cultivator and Band Sprayer with a Row-Centering RTK-GPS Guidance System. *Sensors*, 13(3), 3313–3330. <https://doi.org/10.3390/s130303313>
- Rasmussen, J., Griepentrog, H. W., Nielsen, J., & Henriksen, C. B. (2012). Automated intelligent rotor tine cultivation and punch planting to improve the selectivity of mechanical intra-row weed control. *Weed Research*, 52(4), 327–337. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2012.00922.x>
- Rohr, J. R., & McCoy, K. A. (2010). A qualitative meta-analysis reveals consistent effects of atrazine on freshwater fish and amphibians. *Environmental Health Perspectives*, 118(1), 20–32. <https://doi.org/10.1289/ehp.0901164>
- Shockley, J. M., Dillon, C. R., & Stombaugh, T. S. (2011). A Whole Farm Analysis of the Influence of Auto-Steer Navigation on Net Returns, Risk, and Production Practices. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 43(1), 57–75. <https://doi.org/DOI: 10.1017/S1074070800004053>
- Sustainable Agriculture Network. (2007). *“Managing Cover Crops Profitably” (3rd ed.)*. Beltsville, MD: Sustainable Agriculture Network.
- Swanton, C. J., Lee, E. A., Tollenaar, M., Page, E. R., & Lukens, L. (2009). Does the shade avoidance response contribute to the critical period for weed control in maize (*Zea mays*)? 563–571. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2009.00735.x>
- Swanton, C. J., Liu, J. G., Mahoney, K. J., & Sikkema, P. H. (2009). The importance of light quality in crop – weed competition. 217–224. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2008.00687.x>
- Syngenta. (2011). *Crop Protection*. Syngenta crop protection - A Proteção Do Milho. Novidade na Investigação: O Controlo Precoce Das Infestantes. Lisboa: Syngenta Crop Protection Soluções Para a Agricultura.
- Van Der Weide, R. Y., Bleeker, P. O., Achten, V. T. J. M., Lotz, L. A. P., Fogelberg, F., & Melander, B. (2008). Innovation in mechanical weed control in crop rows. *Weed Research*, 48(3), 215–224. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2008.00629.x>

- Vasileiadis, V. P., Moonen, A. C., Sattin, M., Otto, S., Pons, X., Kudsk, P., Veres, A., Dorner, Z., van der Weide, R., Marraccini, E., Pelzer, E., Angevin, F., & Kiss, J. (2013). Sustainability of European maize-based cropping systems: Economic, environmental and social assessment of current and proposed innovative IPM-based systems. *European Journal of Agronomy*, 48, 1–11. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.02.001>
- Vasileiadis, V. P., Otto, S., van Dijk, W., Urek, G., Leskovšek, R., Verschwele, A., Furlan, L., & Sattin, M. (2015). On-farm evaluation of integrated weed management tools for maize production in three different agro-environments in Europe: Agronomic efficacy, herbicide use reduction, and economic sustainability. *European Journal of Agronomy*, 63, 71–78. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.12.001>
- Vasileiadis, V. P., Sattin, M., Otto, S., Veres, A., Pálincás, Z., Ban, R., Pons, X., Kudsk, P., van der Weide, R., Czembor, E., Moonen, A. C., & Kiss, J. (2011). Crop protection in European maize-based cropping systems: Current practices and recommendations for innovative Integrated Pest Management. *Agricultural Systems*, 104(7), 533–540. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agsy.2011.04.002>
- Vasileiadis, V. P., van Dijk, W., Verschwele, A., Holb, I. J., Vámos, A., Urek, G., Leskovšek, R., Furlan, L., & Sattin, M. (2016). Farm-scale evaluation of herbicide band application integrated with inter-row mechanical weeding for maize production in four European regions. *Weed Research*, 56(4), 313–322. <https://doi.org/10.1111/wre.12210>
- Zagonel, J., Venâncio, W. S., & Kunz, R. P. (2000). Efeitos de métodos e épocas de controle das plantas daninhas na cultura do milho. *Planta Daninha*, 18(1), 143–150. <https://doi.org/10.1590/s0100-83582000000100014>

8. Anexos