

Estudo Comparativo da Eficiência Energética em Operações Mecanizadas na Instalação de Culturas Anuais

Dissertação

Curso de Mestrado em Agricultura Sustentável

João António Avença Ramos

Orientadores:

Professor Doutor Luís Alcino da Conceição

Elvas, 2023

João António Avença Ramos

Estudo Comparativo da Eficiência Energética em Operações Mecanizadas na Instalação de Culturas Anuais

Dissertação apresentada para obtenção do grau de mestre em (Agricultura Sustentável) conferido pelo Instituto Politécnico de Portalegre.

Orientador: Professor Doutor Luís Alcino da Conceição

Arguente principal: Professor Doutor Manuel Joaquim Marques Patanita

Arguente: Professor Doutor José Rato Nunes

Presidente do Júri: Professor Doutor Francisco Luís Mondragão Rodrigues

Classificação: 15 valores

Escola Superior Agrária de Elvas

2023

Agradecimentos

Agradecimentos em geral ao Instituto Politécnico de Portalegre, mais pormenorizadamente à Escola Superior Agrária de Elvas, e à Senhora Diretora, Professora Rute Santos, não só pelo conhecimento que me foi transmitido desde a minha entrada no ensino Superior (CTESP em Produção Agropecuária), passando pela Licenciatura em Agronomia e agora pelas condições criadas ao longo do curso de Mestrado em Agricultura Sustentável. Agradeço igualmente ao Engenheiro Benvindo Maças, pelo acolhimento na Herdade experimental da Comenda do INIAV em que tive o privilégio de colaborar em parte do projeto ISOmap Forragem e desenvolver a dissertação que agora concluo. Agradeço também a todos os professores que me acompanharam durante todo o percurso académico nesta instituição (ESAE).

Um agradecimento ao Sr. Cesário Reis que connosco colaborou na disponibilização de parte das suas máquinas de última geração para que pudéssemos utilizar durante os ensaios práticos. Um agradecimento à New Holland Portugal que nos cedeu um trator equipado com telemetria para registo dos dados de campo e ao Engenheiro Pedro Carvalho que colaborou na recolha dos mesmos.

Um agradecimento muito especial ao meu orientador de estágio Sr. Professor Luís Alcino Conceição, que me fez a proposta sobre o estágio em causa e eu aceitei sem pensar duas vezes. Devido a toda a experiência profissional que o Professor tem na parte de mecanização e telemática que foi essencial para avaliarmos a eficiência energética em operações mecanizadas na instalação de culturas.

Também quero agradecer aos meus colegas e amigos, pela sua disponibilidade em ajudar e pelo apoio que me têm dado. A título pessoal tenho a agradecer aos meus pais, aos meus avós e a toda a minha família que sempre me apoiaram para que fosse possível concluir esta etapa da minha vida. Um agradecimento especial à minha colega e namorada Catarina Manuelito que nunca me deixou desistir nos piores momentos, sempre me apoiou e ajudou quando mais precisava.

Por último e não menos importante, quero agradecer ao Mestre Simão Abelho, que era para ser o orientado externo, pelo qual tenho muita admiração. Mesmo não sendo, deu uma grande ajuda, trocamos muitos conhecimentos e ideias para que todo este trabalho fosse feito com a máxima exigência e rigor.

Resumo

Na atividade agrícola o consumo de energia sob a forma de combustível na realização de operações mecanizadas constitui uma base importante na avaliação da eficiência de produção do fator máquina, dependendo em muito do tipo de operação realizada e itinerário técnico de instalação de uma cultura. Este ensaio, realizado em 2023 numa parcela com 4ha na Herdade Experimental da Comenda - polo de inovação do INIAV Elvas compararam-se os dados de consumo de combustível, velocidade de trabalho, velocidade de rotação do motor e binário obtidos por telemetria do trator; e de performance pela capacidade efetiva de campo e consumo por área em três itinerários técnicos de instalação de culturas anuais – sementeira direta, mobilização mínima e mobilização convencional, obtidos a partir de um sistema de telemetria. Os resultados obtidos mostram um ganho de eficiência energética tanto pela capacidade efetiva de campo como consumo de combustível do itinerário de sementeira direta com diferenças significativas para ambos os itinerários de mobilização mínima e mobilização convencional. A preços atuais do combustível em dezembro de 2023, a diferença de um itinerário para os demais é de 24,02 €/ha em sementeira direta para 62,78 €/ha (+ 261 % comparado com a SD) em mobilização mínima e 113,27 €/ha (+ 472 % comparado com a SD) em mobilização convencional. Estes resultados apontam para a importância que pode ter a opção de itinerários técnicos com redução das operações de mobilização do solo na conta de cultura e desta forma na maximização da eficiência de utilização de energia em operações mecanizadas.

Palavras – chave: Mecanização, Custos de operação, Impacto ambiental, Telemetria

Abstract

In agricultural activity, energy consumption in the form of fuel when carrying out mechanised operations is an important basis for assessing the production efficiency of the machine factor and depends largely on the type of operation carried out and the technical itinerary for installing an annual crop.

This test, carried out in 2023 on a 4ha plot at the Herdade Experimental da Comenda - INIAV Elvas innovation centre, compared data on fuel consumption, working speed, engine rotation speed and torque obtained from the tractor's telemetry; and performance by effective field capacity and consumption per area in three technical routes for installing annual crops – no-till, minimum tillage, and conventional tillage, obtained from a telemetry system. The results show a gain in energy efficiency in terms of both effective field capacity and fuel consumption for no-till option, with significant differences for both the minimum tillage and conventional tillage routes. At current fuel prices in December 2023, the difference between one itinerary and the others is 24.02 €/ha in no-till to 62.78 €/ha (+ 261 % compared to NT) in minimum tillage and 113.27 €/ha (+ 472 % compared to NT) in conventional tillage.

These results point to the importance of choosing technical itineraries that reduce tillage operations in the crop account and thus maximise the efficiency of energy use in mechanised operations.

Keywords: Mechanization, Operating Costs, Environmental Impact, Telemetry

Abreviaturas, Siglas e Acrónimos

AC – Agricultura de Conservação

cm – centímetros

CO₂ - Dióxido de Carbono

CV – cavalos – vapor

Dpa - Débito proporcional ao avanço

euros/ ha – euros por hectare

GNSS- Global Navigation Satellite System

in – Polegada

INIAV – Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária

IT – itinerário técnico

kg - quilogramas

kg/ha CO₂ – quilogramas por hectare de Dióxido de Carbono

km/h- quilómetros por hora

kW- kilowatts

l/ha – litros por hectare

m/s – metros por segundo

MC - mobilização convencional

MJ – Megajoule

MJ/ha – Megajoule por hectare

MM – mobilização mínima

NH – New Holland

rpm - rotações por minuto

SD – Sementeira direta

VRT- Variable Rate Technology

Índice Geral

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	ii
Abstract.....	iii
Abreviaturas, Siglas e Acrônimos.....	iv
Índice Geral.....	vi
Índice de Quadro.....	viii
Índice de Figuras.....	ix
1. Introdução e Objetivos.....	1
1.1. Introdução.....	1
1.2. Objetivos.....	2
2. Revisão Bibliográfica.....	3
2.1. Itinerários técnicos na instalação de culturas anuais.....	3
2.1.1. Sistemas de mobilização convencional.....	6
2.1.2. Sistemas de mobilização de conservação.....	8
2.1.2.1. Técnicas de mobilização mínima.....	9
2.1.2.2. Técnicas de mobilização na linha.....	10
2.1.2.3. Técnicas de sementeira direta.....	11
2.2. Energia e eficiência energética.....	12
2.3. Operacionalidade em máquinas agrícolas.....	13
3. Material e Métodos.....	14
3.1. Localização do ensaio.....	14
3.1.2. Solo.....	15
3.1.3. Clima.....	17
3.2. Máquinas Agrícolas.....	18
3.2.1 Trator Agrícola.....	18
3.2.2. Máquinas Operadoras.....	19
3.2.2.1 Charrua.....	19
3.2.2.2 Grade de discos.....	20
3.2.2.3 Escarificador pesado “Chisel”.....	21
3.2.2.4. Pulverizador.....	21
3.2.2.5. Distribuidor centrifugo.....	23
3.2.2.6. Semeador.....	24
3.3. Delineamento Experimental.....	25
3.3.1. Itinerários x traçados de trabalho.....	25
3.3.1.1 Sementeira Direta.....	26
3.3.1.2 Mobilização Mínima.....	27

3.3.1.3 Mobilização Convencional	28
3.3.2. Operação das máquinas e gravação dos dados.....	29
4. Resultados	31
5. Discussão	43
6. Conclusões.....	45
7. Bibliografia	46
Bibliografia.....	46

Índice de Quadro

Quadro 1 - Tração e potência necessária à utilização de máquinas de mobilização e preparação do solo.....	5
Quadro 2 - Performance de algumas máquinas operadoras de mobilização e sementeira.....	5
Quadro 3- Sequência de operações Mecanizadas em uma cultura outono/ inverno.....	13
Quadro 4 - Itinerário cultural /Máquina Operadora	25
Quadro 5 - Dados do Itinerário Cultural (Sementeira Direta).....	32
Quadro 6 - Dados do Itinerário Cultural (Mobilização Mínima)	34
Quadro 7 - Dados do Itinerário Cultural (Mobilização Convencional)	37
Quadro 8 - Valores da análise de variância obtidos por itinerário técnico para o consumo por hectare.....	41
Quadro 9 - Teste de comparação de médias segundo o método de Tukey	41
Quadro 10- Valores da análise de variância obtidos por itinerário técnico para o parâmetro área por hora.	42
Quadro 11 - Teste de comparação de médias segundo o método de Tukey	42
Quadro 12- Comparação de resultados (consumo, emissões e custo por ha) por IT..	44

Índice de Figuras

Figura 1-Potência necessária do trator em função da largura da máquina operadora ...	4
Figura 2 - Operação primária profunda de reviramento de leiva com charrua de aiveca.	7
Figura 3 - Efeitos da cobertura do solo vs redução da erosão	8
Figura 4- Máquina operadora de mobilização com órgãos ativos na vertical e grade de gaiolas	9
Figura 5- Máquina operadora a fazer mobilização na linha.....	10
Figura 6- Semeador de Sementeira Direta.....	11
Figura 7- Localização da parcela de ensaio na Herdade da Comenda, polo de inovação do INIAV Elvas	14
Figura 8- Troço da carta de solos de Portugal nº 37ª	15
Figura 9 - Penetrómetro de cone, sonda de meia cana e martelo (lado esquerdo), penetrómetro de cone (lado direito).....	16
Figura 10- Classificação climática de köppen em Portugal Continental	17
Figura 11- Trator New Holland, modelo T5, versão 120	19
Figura 12- Charrua de aivecas, modelo ch3- 12h.....	19
Figura 13- Grade de discos pesada, modelo glhr 28-26.....	20
Figura 14- Escarificador pesado “Chisel”, modelo ch 9 3	21
Figura 15- Pulverizador Amazone de jato projetado, Amazone modelo uf 901	22
Figura 16- Distribuidor centrifugo, modelo za-v 4200.....	23
Figura 17- Semeador Gaspardo mecânico em linhas de chassis fixo, de fluxo contínuo, modelo diretta.....	24
Figura 18- Condição final do solo após o itinerário de SD	26
Figura 19- Duas fases de apresentação do solo, após a descompactação (lado esquerdo), e após todo o itinerário de MM (lado direito).....	27
Figura 20- Duas fases de apresentação do solo, após o reviramento do solo (lado esquerdo), e após o itinerário de MC (lado direito)	28
Figura 21- Software NH para gestão de informação e diagnóstico eletrónico.....	29
Figura 22 – Cálculo da capacidade efetiva de campo (ha/h).....	31

Figura 23 – Taxa de combustível (%), necessário por operação na instalação de uma cultura anual em sementeira direta	33
Figura 24 - Quantidade de combustível (taxa), necessário por operação na instalação de uma cultura anual em Mobilização Mínima.....	36
Figura 25 – Taxa de combustível (l/ha), necessário por operação na instalação de uma cultura anual em Mobilização Convencional.....	39

I. Introdução e Objetivos

I.1. Introdução

A União Europeia tem hoje um importante objetivo no que respeita ao consumo de energia que se prende com a sua redução de 38 % na energia primária, e 40,5 % na energia final consumida até 2030 (Jagdale *et al.*, 2021). A adoção de práticas de uso eficiente de energia é assim uma meta da União Europeia, nomeadamente e também no setor agrícola onde se verificou um aumento significativo do consumo, fruto da intensificação da mecanização agrícola e dos combustíveis fósseis associados (Ciucci, 2023).

Cerca de metade da energia consumida no setor agrícola resulta de forma direta, da utilização de combustível, e a outra metade da energia necessária, para a produção de adubos azotados e outros fatores de produção (Baptista *et al.*, 2013).

Nas culturas anuais de sequeiro o principal fator de consumo de energia reparte-se entre as operações de instalação da cultura e as operações de colheita, em que o trator agrícola, e a forma como o trator é utilizado são os principais fatores a ter em consideração (Márquez, s/d). Importa, por isso, arranjar alternativas para a realização das tarefas agrícolas de forma mais eficiente no consumo de energia, com menos pegada de carbono e ao mesmo tempo com menores custos para o agricultor (Frantz *et al.*, 2014).

Uma das opções prende-se com a necessidade de utilizar máquinas e tratores tecnologicamente adequados às operações a realizar e às máquinas operadoras com que trabalham, e a outra alternativa está na escolha das combinações das operações mecanizadas que podem levar à instalação da cultura de forma energeticamente mais eficiente (Silveira & Sierra, 2010).

Em Portugal, no que respeita ao trator refere-se a importância da atualização do parque de tratores que se mostra em muitos casos obsoleto, ultrapassando em larga escala a vida útil destes veículos, e o uso de práticas agrícolas sustentáveis alternativas às convencionais que passam pelo uso de sistemas e técnicas de agricultura de conservação (DGADR, 2015).

1.2. Objetivos

- Avaliar o consumo de combustível e performance em diferentes operações mecanizadas na instalação de culturas agrícolas anuais;
- Determinar o impacto ambiental das emissões de CO₂ resultantes da performance das diferentes operações;

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Itinerários técnicos na instalação de culturas anuais

O planejamento e a execução de itinerários técnicos na instalação de culturas agrícolas são fundamentais para o sucesso da produção agrícola. Os trabalhos que se realizam no solo arável com o objetivo de vir a proporcionar as melhores condições de desenvolvimento às plantas quer venham a ser semeadas ou plantadas, constituem aquilo a que se chama de operações de preparação do terreno para a sementeira ou plantação, e constituem a base destes itinerários (Viana & Agricultura, 2013). O solo é a componente base destes itinerários, cujo bom trabalho nele realizado pode garantir desde logo a produtividade desejada da cultura, mas também a conservação da biodiversidade, retenção de carbono e tantos outros serviços de ecossistemas importantes ao meio ambiente (Santos, 2015).

Como refere Palha, (2018), retirado de Miedema (1997), o solo constitui um conjunto de fatores que determinam a performance da implementação e desenvolvimento vegetal de uma cultura, com elementos que passam para além dos processos físico-químicos, e atividade biológica do solo, mas também pela gestão de como as operações são realizadas, desde a mobilização de solo, à fertilização, aos tratamentos fitofarmacêuticos, à rega ou às intervenções de drenagem.

Na instalação das culturas, a mobilização do solo é realizada com o objetivo de melhorar as suas condições de estrutura para que garantam uma boa cama de sementeira que conduza a boa germinação e emergência, enraizamento, assim como o seu desenvolvimento até à colheita. Para manter favorável as características e propriedades do solo, os equipamentos utilizados na preparação da cama de sementeira devem ser tidos em consideração, de entre as várias opções que hoje estão ao dispor do agricultor tendo sempre em atenção o custo benefício da sua utilização do ponto de vista técnico e ambiental (Figura 1) (Filho *et al.*, 2007).

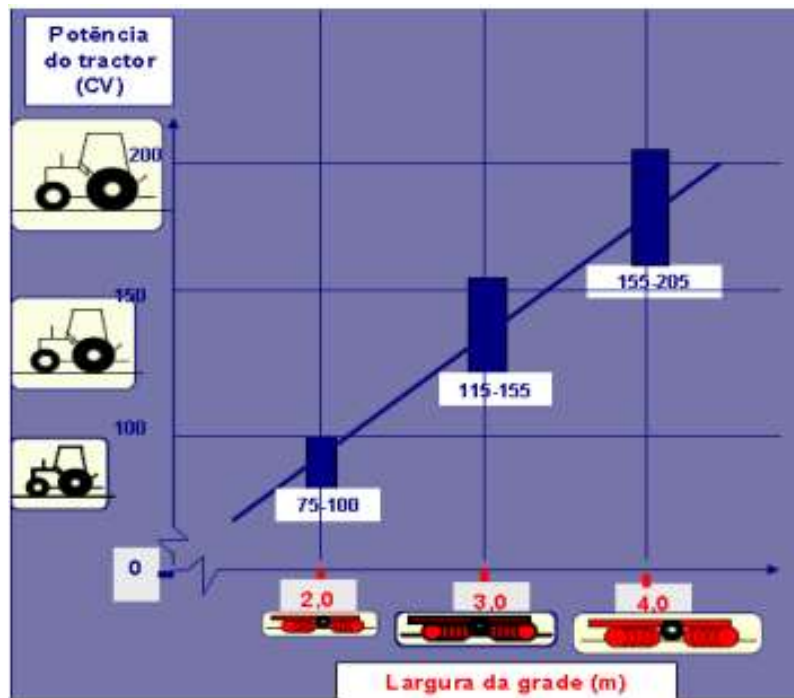


Figura 1-Potência necessária do trator em função da largura da máquina operadora (Tirapicos, 2012)

De entre as várias operações de mobilização e máquinas operadoras que as podem realizar, são frequentes as operações de preparação inicial do solo caracterizadas pelo reviramento da leiva – lavoura, realizadas com charrua de aivecas ou discos, e as operações de mobilização vertical sem reviramento da leiva como as realizadas por máquinas de dentes, de que são exemplos os escarificadores pesados. Somam-se a estas as operações de mobilização com enterramento parcial ou total de materiais e fragmentação do solo realizadas por grades de discos e fresas, e as máquinas para nivelamento do solo normalmente constituídas por rolos.

O Quadro 2 e 3 mostram algumas características técnicas exigidas a este tipo de máquinas e a performance da sua utilização, respetivamente.

Quadro I - Tração e potência necessária à utilização de máquinas de mobilização e preparação do solo (adaptado de Canavate, 2012)

Máquina	Força de tração, potência	
Charrua de aivecas ou discos		
Solos ligeiros -----	20-30 kPa	(Resistencia específica)
Solos médios -----	30-50 kPa	(Resistencia específica)
Solos pesados-----	50-80 kPa	(Resistencia específica)
Subsolador		
Solos ligeiros-----	125-195 N por braço e cm de profundidade	
Solos pesados -----	195-280 N por braço e cm de profundidade	
Esacrificador 7-13 cm de profundidade-	1400-4000 N por m de largura	
Escrificador entre linhas		
Passagem superficial -----	585-1200 N por m de largura	
Passagem profunda -----	115- 230 N por m por cm de profundidade	
Grade de discos pesada-----	2600-3800 N por metro	
Grade de discos ligeira -----	750-1300 N por metro	
Grade de discos media-----	1330-2600 N por metro	
Fresa-----	100-170, 170-240, 240-270 kPa, 15-25 kW/m	
Rolo desterrador-----	295-2200 N por metro	

Quadro 2 - Performance de algumas máquinas operadoras de mobilização e sementeira (Beato, 2021)

Operação	Equipamento	Eficiência de campo (%)	Velocidade de operação (km/h)
Mobilização do solo (trabalhos preparatórios)	Charrua de aivecas	88-74	5-9
	Grade de discos	90-77	6-10
	Escarificador pesado	83-65	6-12
	Chisel	90-75	6-9
Sacha mecânica	Escarificador	90-68	3-9
	Fresa	88-80	9-20
Sementeira	Semeador-fertilizador de linhas	78-55	7-10
	Semeador-fertilizador de pequenos grãos	80-65	5-10
	Distribuidor centrífugo	70-65	7-10
	Plantador de batatas	80-55	9-12
Colheita	Colhedor-condicionador de forragens	95-80	5-9
	Virador-juntador de feno	89-62	6-9
	Enfardadeira de fardos prismáticos	80-65	5-10
	Enfardadeira de fardos cilíndricos	50-40	5-19
	Colhedor de forragens com gadanheira rotativa	76-50	6-10
	Ceifeira-debulhadora	90-63	3-8
	Colhedor de milho	70-55	3-6
	Colhedor de batatas	90-65	3-5
Pulverização	Pulverizador	80-55	7-10
Destroçamento	Destroçador de restolho	85-65	6-10

Terminadas as operações de mobilização do solo, os itinerários de instalação de culturas completam-se com a realização de operações de sementeira e fertilização, e nalguns casos de aplicação de produtos fitofarmacêuticos, nomeadamente no controlo de infestantes. A sementeira e fertilização podem realizar-se em conjunto quando a opção é o uso de semeadores em linhas, ou em operações separadas quando a opção é o uso de distribuidores centrífugos, nestes casos havendo a necessidade de uma nova passagem de uma máquina de mobilização para localização dos produtos em profundidade.

O tipo de máquinas operadoras utilizadas e até a sequência das operações realizadas determina o tipo de itinerário escolhido.

2.1.1. Sistemas de mobilização convencional

Segundo Marques, (2009), citam Bauemer e Bakermans, (1973), a mobilização convencional do solo, constitui um sistema tradicional de mobilização, composta por uma operação primária profunda com reviramento de leiva (Figura 2), à qual se seguem operações secundárias para a preparação da sementeira. Este sistema de mobilização, assenta inicialmente na utilização de uma charrua, seguida de um conjunto de máquinas que destorroam, fragmentam e nivelam o solo para formarem uma adequada cama de sementeira.

Em muitas circunstâncias a utilização da charrua é benéfica, embora seja uma operação muito dispendiosa devido à energia exigida, ao desgaste do material e à eficiência de utilização em campo (Quadro 1 e 2). A mobilização convencional pode ser benéfica quando se está na presença de solos coesos e argilosos, que tem tendência para abater, ficando com estrutura altamente compacta, diminuindo o arejamento, reduzindo a permeabilidade e colocando as plantas com déficit hídrico. Outra vantagem que tem é o combate das infestantes sem se recorrer à aplicação de herbicidas. A lavoura profunda, feita no verão pode contribuir para a infiltração de água durante as primeiras chuvas, aumentando assim o armazenamento de água no solo, aumentando a temperatura do solo, permitindo melhores condições para a emergência e o desenvolvimento da cultura (Viana & Agricultura, 2013).

Segundo Palha, (2018), citam Brito *et al* (2005), além de todos os benefícios da mobilização do solo, a lavoura também apresenta efeitos negativos, no qual a preparação do solo o deixa mais suscetível à erosão hídrica e eólica. Anos consecutivos com a prática de mobilização convencional, causa a desagregação das partículas do solo, causando o preenchimento dos poros vazios, tornando uma camada impermeável abaixo da profundidade da lavoura conhecida por “calo de lavoura”.

A mobilização com reviramento do solo, leva à fragmentação dos agregados do solo, maior arejamento do solo e maior decomposição da matéria orgânica presente e conseqüentemente uma perda de fertilidade do seu potencial produtivo. Com o excesso de mobilizações, permite que o CO₂ que está armazenado no solo, retido pelas plantas, seja facilmente disperso para a atmosfera (Manoel, 2018).



Figura 2 - Operação primaria profunda de reviramento de leiva com charrua de aivecas (Besson, 2023)

2.1.2. Sistemas de mobilização de conservação

A elevada necessidade de redução de custos nas explorações e na atividade agrícola, associada aos elevados problemas na conservação dos recursos naturais, levaram ao desenvolvimento de tecnologias alternativas de mobilização de solos.

A agricultura de conservação (AC) tem um papel fundamental para a manutenção da sustentabilidade do solo, consiste na diminuição da intensidade ou até mesmo a eliminação da mobilização (Moreira, 2018). A AC inclui técnicas como a sementeira direta, mobilização na linha e a mobilização mínima. A superfície do solo deve estar protegida com restolhos em mais de 30% após a sementeira (Figura 3), no que devem ser feitas menos operações mecanizadas (menor número de passagens, menos quantidade de solo mobilizado), assim como eliminação da prática da queima dos restolhos.

Através da eliminação da operação de lavoura, nestes sistemas de mobilização ganham-se dias disponíveis de operação, aumentando a eficiência de utilização das máquinas associadas ao sistema, ao mesmo tempo que se reduzem os custos inerentes à exigência de tração e combustível (Freixial, 2010).

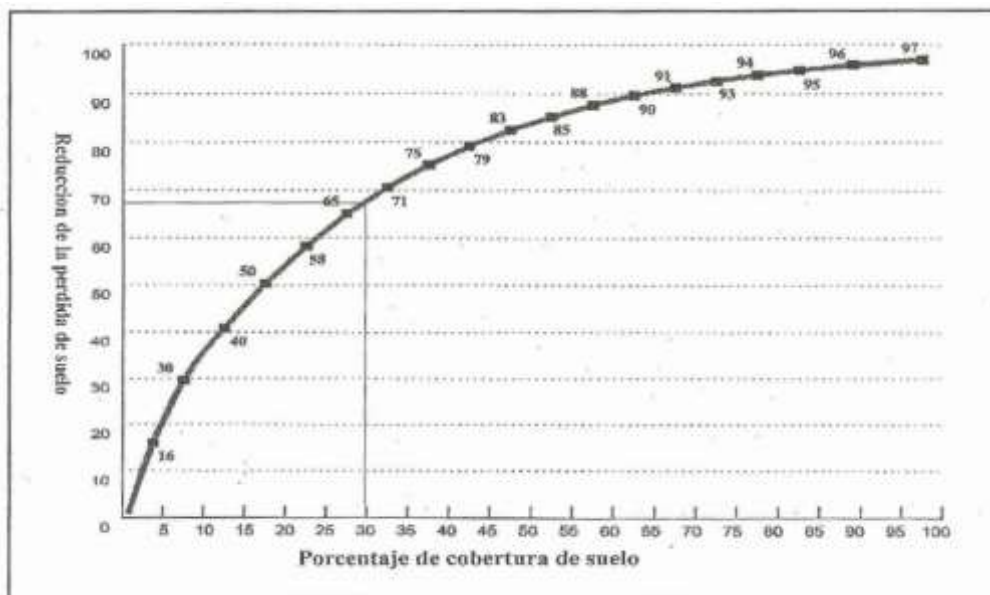


Figura 3 - Efeitos da cobertura do solo vs redução da erosão (Rodrigues, 2022)

2.1.2.1. Técnicas de mobilização mínima

A mobilização mínima engloba um conjunto de práticas e de traçados de trabalho mais sustentáveis que protegem o solo e melhoram as suas características.

O sistema de mobilização mínima tem por base a utilização de máquinas operadoras de mobilização com órgãos ativos na vertical (Figura 4). Podendo trabalhar a profundidades variáveis desde a superfície (vibrocultor), até uma maior profundidade (subsolador). Isto, garantindo sempre a quantidade de resíduos à superfície do solo da cultura anterior, com o objetivo de proteger o solo contra a erosão, e às alterações de temperatura (Barros & Freixial, 2011).

A grade de discos é utilizada em situações excecionais, e a mobilização do solo é realizada muito superficial, por ser uma máquina operadora com corpos ativos que provocam o reviramento parcial do solo. Apenas é utilizada quando não é permitida a operacionalidade de máquinas com órgãos verticais ativos, devido a uma elevada quantidade de infestantes, ou por uma elevada quantidade de afloramentos rochosos no solo (Moreira, 2018).



Figura 4- Máquina operadora de mobilização com órgãos ativos na vertical e grade de gaiolas (Compre Rural, 2020)

2.1.2.2. Técnicas de mobilização na linha

A mobilização na linha (Figura 5), aplica-se a culturas com entrelinha larga (milho, soja, girassol, beterraba...) (Freixial & Barros, 2011). É uma técnica menos intensa para o solo, e o número de operações realizadas é mais reduzido, comparando com as técnicas referidas anteriormente. Podendo considerar-se a técnica intermedia entre a MM e a SD. Onde apenas se mobiliza a faixa onde se semeia. Esta operação pode ser realizada em simultâneo com o semeador em linha ou previamente feita antes da sementeira.

A operação é feita por máquinas com órgãos ativos na vertical (escarificador/subsolador), que permitem descompactar o solo em profundidade na linha onde ficam instaladas as plantas, garantindo assim à superfície uma quantidade significativa de resíduos da cultura anterior (Übelhör, et al., 2014).



Figura 5- Máquina operadora a fazer mobilização na linha (Milho Amarelo, 2017)

2.1.2.3. Técnicas de sementeira direta

Nesta técnica de sementeira, não é exercida qualquer mobilização prévia do solo, onde apenas é aberto o sulco e introduzida a semente sobre os resíduos inertes da cultura anterior (Figura 6). Antecedente à sementeira é realizada a monda química, visto que não há contacto com o solo para controlo das infestantes (Elsner, 2022). A sementeira é feita com um semeador específico, em que abre um pequeno sulco na linha, e coloca a semente a uma profundidade adequada para uma ideal germinação das sementes e emergência das plântulas.

A prática desta técnica ao longo do tempo, vai tendo como vantagens, a acumulação de matéria orgânica na camada mais superficial do solo, uma rede de micróporos e macróporos, resultantes da atividade dos microrganismos e do desenvolvimento das raízes, maior arejamento, maior capacidade de infiltração e retenção de água e nutrientes. Os solos com maior performance para a SD, são os de textura mediana bem estruturados, que abrem fendas nos períodos mais secos (Barros *et al.*, 2002).



Figura 6- Semeador de Sementeira Direta (Agroportal, 2022)

2.2. Energia e eficiência energética

A energia tem um grande relacionamento com o ambiente, podendo-se considerar que altera o clima (alterações climáticas). No que ressalta as altas taxas de emissões de gases com efeitos de estufa, emitidos pelas diferentes formas de produção de energia.

As explorações agrícolas dependem atualmente de duas fontes de energia, elétrica e térmica. A energia elétrica é fornecida pela rede pública ou por painéis solares, e é utilizada em equipamentos auxiliares, iluminação, bombas de água, armazéns, processadores, etc...

A combustão, reconhecida como energia térmica, é utilizada para acionar componentes, nomeadamente motores de combustão interna (tratores agrícolas). A grande maioria das operações agrícolas mecanizadas, são executadas por máquinas de combustão interna, alimentadas a diesel. Podendo-se afirmar que a energia térmica é a mais utilizada na agricultura atualmente (Máquinas e Inovações Agrícolas, 2023). As operações culturais, tais como a preparação de solo consomem cerca de 55-65 % de energia. Novas técnicas como a MM e a SD, visam consumos de energia mais baixos, podendo ajudar a reduzir as emissões com efeito de estufa (Enoque, 2015).

A eficiência energética é a relação de esforços para reduzir a quantidade de energia utilizada para garantir um produto ou serviço, contribuindo para uma redução de gases de efeito de estufa.

Considerando o consumo de gasóleo, os coeficientes de consumo de combustíveis são estimados com a quantidade de litros gastos e o tempo de trabalho da máquina operadora, no qual o valor para conversão de um litro de diesel em energia é de 35,86 MJ de energia (Matias, 2015)

A agricultura é emissora de gases com efeito de estufa, contribuindo com 10-12% das emissões Mundiais. Como efeito secundário das excessivas mobilizações, diminuem o teor de carbono orgânico do solo, aumentando assim a perda de CO₂ em cerca de 30% a 50%.

2.3. Operacionalidade em máquinas agrícolas

A operacionalidade em máquinas agrícolas, estuda o desenvolvimento de técnicas de planeamento e execução das operações, prevendo obter o máximo rendimento de todos os recursos disponíveis com o menor desperdício (Quadro 3). Para se realizarem as operações, é necessário fazer caracterização da forma que vão ser executadas as operações, a ordem pelas quais vão ser realizadas, as condições meteorológicas previstas, as características do solo, assim como as máquinas operadoras, para que possam desenvolver as operações necessárias num determinado tempo disponível (Ribeiro, 2011).

Quadro 3- Sequência de operações Mecanizadas em uma cultura outono/ inverno (adaptado de Gimenez, s/d)

Operação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Lavoura							■	■	■			
Chisel								■	■			
Gradagem								■	■	■		
Herbicida								■	■	■		
Sementeira								■	■	■	■	
Herbicida	■											■
Fertilização	■	■										■
Colheita				■	■	■						

A correta operacionalidade das máquinas agrícolas é fundamental, para a máxima eficiência do sistema de produção e ganho dos agricultores (Peça, 2012). Nos sistemas atuais de agricultura tende-se a recorrer às técnicas de mobilização de conservação, com forte impacto a sementeira direta, com o benefício de o número de operações mecanizadas poder ser reduzido e assim contribuir para um menor custo na instalação das culturas. A técnica da sementeira direta requer menor potência por parte da máquina operadora, comparado com outras técnicas de sementeira, assim como a mão-de-obra disponível e o consumo de combustível por unidade de área (Zentner et al., 1997).

3. Material e Métodos

3.1. Localização do ensaio

O estudo foi realizado numa parcela na Herdade experimental da Comenda, do polo de inovação do INIAV Elvas, coordenadas geográficas (38.89456091805364, -7.055714443574695). A parcela de sequeiro em pousio apresentava uma área total de 40000 m², a forma retangular, sem árvores ou qualquer tipo de afloramentos rochosos (Figura 7).



Figura 7- Localização da parcela de ensaio na Herdade da Comenda, polo de inovação do INIAV Elvas (Google Earth, 2023)

3.1.2. Solo

O solo da parcela, está identificado na carta de solos n°37^a (Figura 8), podendo-se observar que a parcela é composta por dois tipos de solos diferentes (Pag e Sr). Sendo que os solos Pag, de sua composição Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Não Calcários, Para-Solos Hidromórficos, de arenitos ou conglomerados argilosos ou argilas (de textura arenosa ou franco-arenosa) e os solos Sr são solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Não Calcários, Normais de arenitos (DGADR, 2023).

No solo com a designação Pag, o Horizonte A1 varia entre os 20 a 30 cm, com tons cinzentos-claros, arenosos a franco arenoso, com ou sem elementos grosseiros, sem agregados, com valores de pH 5.0 a 6.0. O horizonte B 20 – 60 cm é caracterizado por ser composto por algumas partículas de argila, tornando uma estrutura primária grosseira fraca e maciça, aderente, plástica e muito compacto, ficando extremamente rijo.

O solo com caracterização Sr, no seu Horizonte A1 que vai desde os 15 a 25 cm, com as suas cores castanho avermelhado ou pardo avermelhado, tem na sua constituição alguns elementos grosseiros, estrutura fina moderada ou até franca, pH 5.0 - 6.0, posteriormente tem o Horizonte B 20 – 50 cm mantendo as cores, mas um pouco mais avermelhadas, devido a um aumento da percentagem de argila, mantendo também alguns elementos grosseiros, pH 5.5 a 7.0 (Cardoso, 1965).



Figura 8- Troço da carta de solos de Portugal n° 37ª

No dia da instalação do ensaio foram avaliadas algumas características físicas do solo da parcela, devido ao pastoreio ali praticado, que é altamente proporcional para uma elevada compactação. Foi utilizado um penetrómetro de cone da marca Dickey John (Figura 9) para se verificar os valores de compactação do solo, com o qual se teve por amostragem 40 pontos, e se registaram valores homogéneos em toda a parcela (300 psi).

A caracterização sumaria do solo com a análise de solo no laboratório da ESAE para se determinar a textura (média), humidade do solo (10,1%) e o teor de matéria orgânica (1,4%). Foi levantada uma amostra de solo, com base em cinco subamostras por hectare, num total de 20 subamostras para a área em estudo. A técnica da marcação dos pontos para a retirada das subamostras, é em zig-zag, utilizando-se a sonda de meia cana batida com o martelo (Figura 9) até à profundidade de 40 cm, (profundidade máxima de mobilização do ensaio).



Figura 9 - Penetrómetro de cone, sonda de meia cana e martelo (lado esquerdo), penetrómetro de cone (lado direito)

3.1.3. Clima

Segundo a classificação de Köppen, o clima na Herdade da Comenda é Csa, (Figura 10) onde os verões são quentes e secos e no inverno a temperatura é amena, podendo-se afirmar que é um clima mediterrânico. Esta classificação é feita com base nas temperaturas médias, na precipitação e evapotranspiração de cada região (IPMA, 2023).

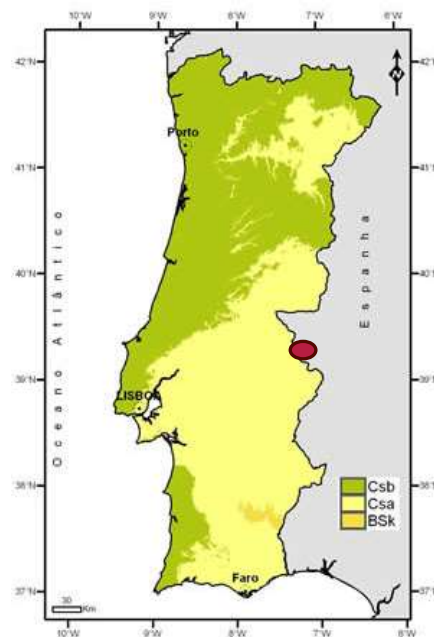


Figura 10- Classificação climática de Köppen em Portugal Continental

De acordo com o registo de dados da estação meteorológica do INIAV Elvas, no dia de realização do ensaio as condições meteorológicas caracterizaram-se por temperatura média de 7 °C, uma humidade relativa do ar de 77%, e não ocorreu precipitação.

3.2. Máquinas Agrícolas

3.2.1 Trator Agrícola

No ensaio foi utilizado um trator da marca New Holland, modelo T5, versão 120 matriculado no ano 2021, (Figura 11). É um trator convencional, com 4 rodas motrizes, que está equipado com um motor em linha de 4 cilindros, montado da forma longitudinal com tecnologia Comact ECOBlue HI-eSRC 2 para estar em conformidade com a norma de emissões de partículas por motores agrícolas Stage V.

O motor tem uma potência nominal de 86 KW (117 cv), transmissão robotizada “Dynamic Command” conferindo uma velocidade máxima de avanço em estrada de 40 km/h.

O trator está equipado com suspensão hidráulica no eixo dianteiro e mecânica através de molas na cabina.

Os órgãos para acoplamento de máquinas estão dispostos na frente e retaguarda com barras de engate e tomada de força. À retaguarda o elevador hidráulico com capacidade até 5200 kg, tomada de força 540, 540E e 1000 rpm e 3 conjuntos de saídas hidráulicas externas com um fluxo máximo de 80 litros por minuto.

Quanto aos comandos hidráulicos, possui o comando de tração e posição, assim como o regulador de patinagem (sensor de patinagem) para identificar a velocidade real do trator. Na frente nas barras de engate o trator está equipado com um peso do tipo monobloco de 400 kg. A lastragem completa-se com a presença de água nos 4 pneus à sua capacidade de 75% (New Holland Agriculture, 2023).

Nesta versão a telemática do trator equipa um recetor de GNSS, dois terminais virtuais para carregamento e visualização de dados, linha ISOBUS e auto guiamento integrado.



Figura 11- Trator New Holland, modelo T5, versão 120

3.2.2. Máquinas Operadoras

3.2.2.1 Charrua

Charrua de aivecas de reversão hidráulica a 180° de três ferros de 12” da marca Galucho, modelo CH3-12H (Figura 12), montada nos três pontos hidráulicos. De acordo com o fabricante faz uma largura de trabalho fixa de 91.44 cm e uma profundidade máxima de trabalho de 30 cm (Galucho, 2023).

A operação desta máquina uma vez afinada nas barras de engate do trator é feita com o comando de tração do sistema hidráulico do trator.



Figura 12- Charrua de aivecas, modelo ch3- 12h

3.2.2.2 Grade de discos

Grade de discos pesada (86kg /disco), marca Galucho, modelo GLHR-28-26 (28 discos e 26”) de abertura hidráulica em “of set” / V (Figura 13), com rodas ao centro do *chassis*, acoplada ao trator da forma rebocada. A máquina trabalha com dois conjuntos de saídas hidráulicas externas com duplo efeito, sendo uma para o kit de rodas e outra para a abertura e fecho dos corpos.

No *chassis* assentam dois corpos, cada um desses corpos é equipado com 4 chumaceiras, e veios de 40 mm onde vão entrar os discos e os espaçadores.

De acordo com o fabricante a grade realiza uma largura máxima de trabalho de 3.15 metros (Galucho, 2023).

Em trabalho podem ser feitas três tipos de regulações, tais como a profundidade de trabalho que é estabelecida pelo kit de rodas centrais, o angulo de ataque dos discos sobre o solo, que é feita pelo angulo de abertura em “V”, e também a transferência de carga que pressiona contra o solo mais o corpo da frente ou de trás, em função das suas características, essa regulação é feita no terceiro ponto mecânico que está ligado à mola parabólica.



Figura 13- Grade de discos pesada, marca Galucho modelo glhr 28-26

3.2.2.3 Escarificador pesado “Chisel”

No ensaio utilizou-se uma máquina da marca Zarurca, modelo CH 9 3 (Figura 14), é acoplado ao trator da forma montada aos três pontos do sistema hidráulico. É composto por três linhas, de três braços cada uma delas (9 braços), fazendo uma largura de trabalho de 3 metros. Braço de 40x40, equipado com o sistema de segurança “non-stop” garantido por uma mola simples de compressão com afinador de tensão. Na base do braço, está montado um bico de gume reversível podendo ser utilizado de ambos os lados. A profundidade de trabalho pode variar entre os 30 e os 40 centímetros, e um desafogo ao solo de 70 cm (Agrometal Marquez, 2023).



Figura 14- Escarificador pesado “Chisel”, modelo ch 9 3

3.2.2.4. Pulverizador

Utilizou-se um pulverizador de jato projetado da marca Amazone, modelo UF 901 (Figura 15), acoplado ao trator de forma montada aos 3 pontos das barras de engate do sistema hidráulico do trator mais ligação ao veio da tomada de força com funcionamento às 540 rpm. A máquina é equipada com dois distribuidores hidráulicos e uma linha ISOBUS. O funcionamento hidráulico permite a abertura e fecho da rampa de pulverização e nivelamento nos planos horizontal e vertical. A rampa aberta compreende uma largura de trabalho de 15 metros, estando equipada com uma porta bicos com três tipos de bicos com diferentes débitos.

A rampa está dividida em cinco setores comandados por electroválvulas independentes. Equipam o pulverizador três depósitos: o depósito da calda, tem uma capacidade de 900 litros, podendo ser cheio por pressão, gravidade ou por auto enchimento, um depósito de autolimpeza de 150 litros de capacidade e um depósito incorporador de produtos fitofarmacêuticos com chuveiro para facilitar o enxaguamento e lavagem das embalagens.

A bomba de pressão que é movimentada através do veio da tomada de força e controlada no terminal virtual no trator, está equipada com quatro membranas com capacidade para transportar até 116 litros de calda por minuto, comandada por um caudalímetro de pressão e outro de retorno (Amazone, 2021).

Em trabalho o pulverizador é controlado através do terminal virtual instalado na cabina do trator, conferindo funções de corte de secções, aplicação da calda à taxa variável (VRT) e débito proporcional ao avanço (DPA). Assim torna-se possível variar a pressão da bomba de forma automática consoante o mapa de aplicação ou a velocidade de trabalho assim como a abertura e fecho das electroválvulas autónomas.



Figura 15- Pulverizador Amazone de jato projetado, Amazone modelo uf 901

3.2.2.5. Distribuidor centrífugo

Distribuidor centrífugo Amazone ZA-V 4200 (Figura 16), é acoplado da forma montada aos três pontos de engate do trator no sistema hidráulico, com ligação ao veio da tomada de força do trator e regime nominal de funcionamento de 540 rpm. À semelhança do pulverizador, esta máquina também está equipada com a linha ISOBUS para compatibilidade de transporte de dados com o trator. A tremonha tem uma capacidade de carga de 4500 kg, estando equipada por um conjunto de sensores de massa que em trabalho permitem conhecer em qualquer momento a quantidade de carga transportada. No interior da tremonha existe um crivo e dois agitadores, sendo todo o conjunto protegido por um resguardo em lona. A distribuição é realizada por dois discos do tipo V-3, fazendo uma largura de trabalho de 24 até 36 metros, de acordo com a posição ajustável de um conjunto de palhetas neles dispostos. Todas estas afinações são auxiliadas por um manual técnico para que a aplicação seja o mais homogêneo possível. Este equipamento ao estar conectado à linha ISOBUS, faz com que a abertura das adufas seja controlada de forma elétrica através do terminal virtual, fazendo aplicação de fertilizantes à taxa variável e corte de secções em que cada adufa pode fechar até quatro posições e fazer débito proporcional ao avanço até uma velocidade de trabalho de 30 km/h (Amazone, 2019).



Figura 16- Distribuidor centrífugo, modelo za-v 4200

3.2.2.6. Semeador

Semeador mecânico em linhas de chassis fixo, de fluxo contínuo para sementeira direta com disco simples e recortado, da marca Gaspardo, modelo DIRETTA (Figura 27). É acoplado ao trator da forma semi-rebocado em transporte e rebocado em trabalho, funções comandadas por dois distribuidores hidráulicos de duplo efeito.

A largura de trabalho é de 3 metros, distribuída por 17 linhas, com uma largura entre linhas de 18 cm, e a tremonha tem a capacidade para 2090 litros, conferindo-lhe um peso total de 4085 kg. O elevado peso, e os ajustes feitos pela mola de orientação do disco dentado, com diâmetro de 475 mm e 6 mm espessura, e a roda de compactação em ferro fundido, permite que exerça uma pressão máxima sobre o solo de 260 kg (Gaspardo, 2023).

A profundidade de trabalho é regulada através de uma roda de profundidade que está acoplada aos discos sulcadores.

A transmissão é mecânica a partir de roda motriz em ferro dentada, podendo distribuir de 2 até um máximo de 500 kg por hectare.



Figura 17- Semeador Gaspardo mecânico em linhas de chassis fixo, de fluxo contínuo, modelo diretta

3.3. Delineamento Experimental

3.3.1. Itinerários x traçados de trabalho

O ensaio experimental aborda três tipos de itinerários culturais para a instalação de culturas anuais: Sementeira direta, Mobilização mínima e Mobilização convencional. Devido às características da parcela, (elevado número de infestantes), foi necessário utilizar a grade de discos no itinerário de MM.

Cada itinerário contempla diversos traçados de trabalho com grupos de máquinas e sequências de operações diferentes conforme mostra a (Quadro 4).

Quadro 4 - Itinerário cultural /Máquina Operadora

Itinerário cultural /Máquina Operadora		
Sementeira Direta	Mobilização Mínima	Mobilização Convencional
Pulverizador	Grade de Discos 1	Charrua
Distribuidor Centrífugo	<i>Chisel</i>	Grade de discos
Semeador	Grade de Discos 2	Semeador
	Distribuidor Centrífugo	
	Semeador	

Atendendo às características da parcela com a área total de 4 hectares, realizaram-se traçados de trabalho retilíneos, tendo a parcela sido dividida em três subparcelas com a mesma área (1,33 hectares), onde em cada uma delas foi implementado um itinerário cultural (Sementeira Direta, Mobilização mínima, Mobilização convencional).

Para maior facilidade do tratamento estatístico, cada subparcela foi dividida em quatro blocos com uma área aproximada de 0,33 hectares cada um.

3.3.1.1 Sementeira Direta

O primeiro itinerário cultural realizado, foi a prática da sementeira direta (Figura 18), onde o principal objetivo é a conservação do solo e a sustentabilidade, não houve reviramento do solo, e foram abordados o mínimo de traçados de trabalho (três). Inicialmente foi utilizado o pulverizador de jato projetado para combater as infestantes, posteriormente o distribuidor centrífugo para fazer a fertilização de fundo, e no final o semeador de sementeira direta.



Figura 18- Condição final do solo após o itinerário de SD

3.3.1.2 Mobilização Mínima

A mobilização mínima (Figura 19), foi o segundo itinerário cultural realizado.

No decorrer do ensaio foram realizadas cinco operações, grade de discos, escarificador pesado - chisel para descompactar o solo, segunda passagem com a grade de discos para preparar a cama de sementeira, distribuição de adubo com o distribuidor centrífugo e sementeira com o semeador em linha.



Figura 19- Duas fases de apresentação do solo, após a descompactação (lado esquerdo), e após todo o itinerário de MM (lado direito)

3.3.1.3 Mobilização Convencional

A mobilização convencional (Figura 20) foi o terceiro itinerário a ser posto em prática. Realizaram-se três operações, começando pela charrua de aivecas, a qual faz o reviramento do solo, seguida de uma passagem com grade de discos para desfazer os torrões existentes e preparar a cama de sementeira e posteriormente a sementeira com o semeador em linha.



Figura 20- Duas fases de apresentação do solo, após o reviramento do solo (lado esquerdo), e após o itinerário de MC (lado direito)

3.3.2. Operação das máquinas e gravação dos dados

Todas as operações de cada itinerário foram realizadas por um operador profissional, o qual realizou os ensaios, como se estivesse a trabalhar no seu dia a dia no campo, sem influenciar a velocidade, rotação ou outros parâmetros considerados pertinentes na realização das operações.

A gravação dos dados de performance das operações realizou-se com a colaboração da CNH Portugal/New Holland Portugal que disponibilizou assistência técnica e software NH para gestão de informação e diagnóstico eletrónico (Figura 21) dos conjuntos trator/máquina operadora. A parametrização feita permitiu o registo de dados ao longo dos traçados de trabalho, a cada 0,05 segundos (20 dados por segundo), dos parâmetros velocidade de deslocação do trator (km/h), velocidade do motor (rpm), quantidade de combustível (l/h) e binário (%). Das máquinas operadoras foram registados os parâmetros de profundidade de trabalho para as máquinas acopladas às barras de engate do trator e regime nominal de rotação da tomada de força.

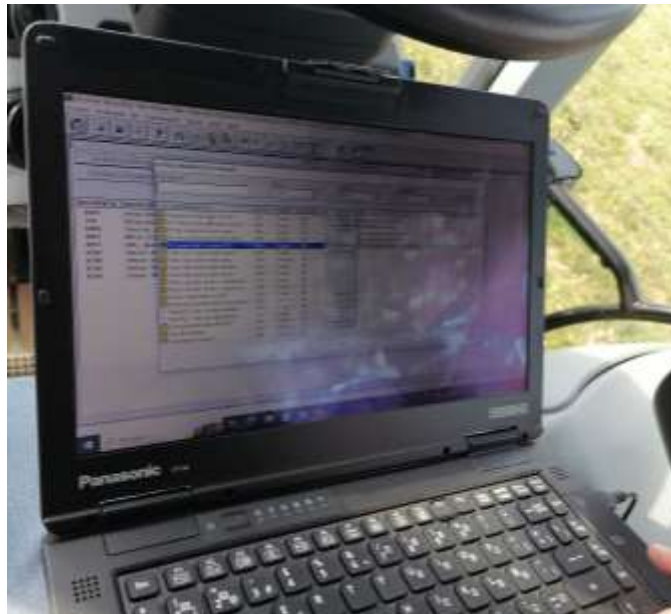


Figura 21- Software NH para gestão de informação e diagnóstico eletrónico

Análise e Tratamento Estatístico dos dados

Os dados obtidos foram sujeitos a análise da estatística descritiva dos parâmetros por operação e análise de variância com teste de Tukey para comparação de médias por itinerário técnico.

Para esta análise recorreu-se ao software Excel da Microsoft e SPSS versão 27.

No final apresenta-se uma abordagem de custos vs eficiência assente nos resultados da análise de variância por itinerário técnico.

4. Resultados

Em cada itinerário cultural, foram utilizados vários traçados de trabalho, com máquinas operadoras diferentes, utilizando-se o auxílio da condução autónoma, para não haver sobreposições entre passagens paralelas. Cada itinerário é constituído por quatro blocos, para que fosse possível a comparação entre eles.

Os quadros 5, 6 e 7 abaixo mostram a estatística descritiva através dos valores mínimos, máximos e médios assim como o desvio padrão para cada parâmetro observado - velocidade do motor, binário, consumo de combustível e velocidade das rodas, nos traçados de trabalho de cada itinerário cultural.

Está representado também a capacidade efetiva de campo (hectares/hora) para cada máquina operadora, com base no rendimento de campo tabelado na página 5, em função das características da parcela, do operador e das condições do solo à data do ensaio. A capacidade efetiva de campo, é assim calculada (Figura 22) através da fórmula (largura de trabalho* velocidade * rendimento de campo / 10) (Silva, 2021).

Para se poder fazer a comparação do consumo de combustível e performance em diferentes operações mecanizadas na instalação de culturas agrícolas anuais, foi determinado o débito (litros/hectare). Posto isso foi avaliada a eficiência energética entre diferentes itinerários, a quantidade de energia necessária para realizar cada itinerário cultural, sabendo-se que cada litro de diesel consumido, produz 35,86 MJ de energia (Matias, 2015).

Com o consumo de energia existe um impacto ambiental das emissões de gases com efeito de estufa resultante da performance das diferentes operações, sabendo-se que cada litro de combustível consumido, liberta 2,6 kg de CO₂ (Matias, 2015).

$$Cef = \frac{\text{área}}{\text{tempo}} = \frac{l \cdot v \cdot \eta}{10}$$

Onde:

l = largura da máquina operadora (m)

v = velocidade de deslocação (km/h)

η = Rendimento de campo (%)

Figura 22 – Cálculo da capacidade efetiva de campo (ha/h) (Silva, 2021)

Quadro 5 - Dados do Itinerário Cultural (Sementeira Direta)

Itinerário Cultural	Traçado de Trabalho	Parâmetros	V Motor (rpm)	Bin (%)	débito (l/h)	V rodas (m/h)	Cap. efet campo (ha/h)	Quatn Comb (l/ha)	Energia (MJ/ha)	CO ₂ (Kg/ha)
Sementeira Direta	Pulverizador	Mínima	776.5	8	1.05	0.050	8.2	1.01	36.22	2.63
		Máxima	1611.5	84	17.8	8.000				
		Média	1435.4	30.8	8.22	6.800				
		DP	252.7	9.1	2.2	2.200				
	Distribuidor Centrifugo	Mínima	1503	9	4.8	0.920	17.8	0.54	19.36	1.40
		Máxima	1619.5	66	14.55	9.860				
		Média	1560.1	33.3	9.56	8.490				
		DP	17	7.5	1.4	2.300				
	Semeador	Mínima	1068.5	11	1.75	0.050	0.8	17.41	624.32	45.27
		Máxima	1884.5	71	17.25	4.09				
		Média	1831.3	31.1	14.49	3.700				
		DP	57.8	6.1	1.3	1				

O itinerário cultural da sementeira direta, é aquele onde não existe mobilização prévia do solo; sendo assim o número de traçados de trabalho é muito reduzido. Esta técnica permite um maior período disponível para ser realizada a sementeira, visto que o solo tem maior capacidade de resistência para suportar o peso das máquinas. A mesma foi escolhida, por ser aquela que oferece mais vantagens ao solo a longo prazo, devido a um aumento da percentagem de matéria orgânica, redução da erosão hídrica e uma maior capacidade de infiltração de água (Barros *et al.*, 2002).

Visto os dados da Quadro 5, o número de traçados foram apenas três, no qual foi realizado um tratamento fitossanitário, posteriormente uma distribuição centrifuga de fertilizante de fundo e posteriormente a sementeira com o semeador em linha.

O pulverizador ao ter uma largura de trabalho de 15 metros, e ao se deslocar com a velocidade média de 1,9 m/s (6,8 km/h), permite que o binário médio do trator seja de 30,8%, garantindo assim uma capacidade efetiva de campo de 8,2 hectares por hora, contabilizando um rendimento de campo de 80%. Relativamente à rotação do motor, este trabalha com a tomada de força ligada às (540 rpm E), e o motor a uma rotação média de 1435,4 rpm, o qual tem um consumo específico médio de 8,22 l por hora, correspondendo a 1,01 litros por hectare, necessitando assim de 36,22 MJ de energia para pulverizar um hectare, emitindo 2,63 kg CO₂.

No caso do distribuidor centrífugo, este tem uma largura de trabalho de 30 metros, o qual se desloca a uma velocidade média de 2,36 m/s (8,49 km/h), sendo o binário médio de 33,3%, obtendo uma capacidade efetiva de campo de 17,8 ha/h, contabilizando um rendimento de campo de 70%. A rotação média do motor é de 1560,1 rpm, com a tomada de força ligada as 540 rpm, obtendo um consumo médio específico por hora de 9,56 litros, o qual corresponde a 0,54 l/ha, em que necessita de 19,36 MJ de energia para distribuir o fertilizante em um hectare, o qual emite 1,40 kg de CO₂.

A sementeira é uma operação mais demorada, devido a ser uma máquina que além de rebocada, é a que apresenta menor largura de trabalho; três metros. A operação foi realizada a uma velocidade média de 1,03 m/s (3,7 Km/h), sendo o binário médio semelhante aos anteriores (31,1%), o qual tem uma capacidade efetiva de campo de 0,8 ha/h, contabilizando um rendimento de campo de 75%. A rotação média do motor é de 1831,3 rpm, obtendo um consumo médio específico por hora de 14,49 litros, o qual corresponde a 17,41 l/ha, em que necessita de 624,32 MJ de energia para semear um hectare, emitindo 45,27 kg de CO₂.

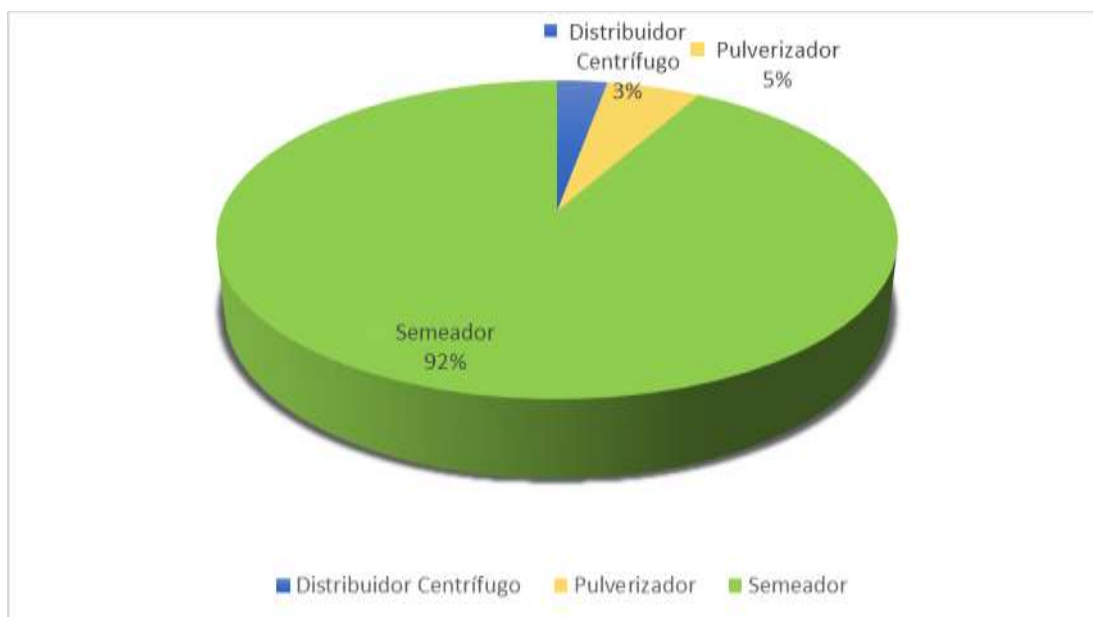


Figura 23 – Taxa de combustível (%), necessário por operação na instalação de uma cultura anual em sementeira direta

A figura 23 representa a taxa de combustível necessária em cada operação mecanizada por hectare na instalação da cultura com a técnica na sementeira direta, podendo-se observar que a pulverização e a fertilização têm custos bastante reduzidos, comparando com a sementeira, devido à sua capacidade efetiva de campo ser mais reduzida.

Feita a avaliação geral na instalação de uma cultura em sementeira direta, são necessários 18,96 litros de combustível para instalar um hectare de uma cultura anual. Consumindo assim 679,91 MJ de energia, com a emissão de 49,3 kg de CO₂.

Quadro 6 - Dados do Itinerário Cultural (Mobilização Mínima)

Itinerário Cultural	Traçado de Trabalho	Parâmetros	V Motor (rpm)	Bin (%)	débito (l/h)	V rodas (m/h)	Cap. efet campo (ha/h)	Quatn Comb (l/ha)	Energia (MJ/ha)	CO ₂ (Kg/ha)
Mobilização Mínima	Grade de Discos 1	Mínima	978	10	0.95	0.060	2.4	10.03	359.68	26.08
		Máxima	1910.5	91	25.65	9.440				
		Média	1735.6	70.5	23.8	8.370				
		DP	104.7	13.2	3.5	1.600				
	Chisel	Mínima	795	10	0.65	0.040	1.6	15.39	551.89	40.01
		Máxima	1938.5	95	25.78	7.920				
		Média	1591.1	73.5	24.98	6.010				
		DP	244.1	24.3	6.8	2.100				
	Grade de Discos 2	Mínima	1247	10	0.75	0.390	2.4	8.41	301.58	21.87
		Máxima	2016	92	22.25	9.270				
		Média	1729.3	65.9	20.34	8.530				
		DP	109.8	11.4	3.2	1.100				
	Distribuidor Centrifugo	Mínima	1164.5	10	4.35	0.370	20.1	0.64	22.95	1.66
		Máxima	1719	95	19.4	10.660				
		Média	1557.2	43.5	12.9	9.560				
		DP	89	8.3	1.5	1.200				
Semeador	Mínima	1518	12	3.85	0.110	0.9	15.08	540.77	39.21	
	Máxima	1710.5	66	15	4.690					
	Média	1654.9	37.4	13.78	4.060					
	DP	22.6	7.1	1.3	1.200					

O itinerário cultural da mobilização mínima é constituído por várias práticas sustentáveis com o objetivo de manter ou até melhor as características do solo, utilizando-se máquinas com corpos ativos na vertical. Garantindo assim que fiquem alguns subprodutos à superfície do solo, provenientes da cultura anterior (Barros & Freixial, 2011).

No ensaio realizado foi utilizada a grade de discos em trabalho muito superficial, excepcionalmente usada quando existe um elevado número de subprodutos à superfície, permitindo que posteriormente possa trabalhar uma máquina com órgãos ativos verticais (Moreira, 2018).

Devido à utilização da mobilização mínima, são postos em prática cinco operações recorrendo a diferentes tipos de máquinas: grade de discos, *chisel*, grade de discos, distribuição de fertilizante e sementeira (Quadro 6). Nestas opções é necessário um maior número de dias disponíveis para a realização das operações com resultados aceitáveis, comparado com o itinerário cultural de SD descrito anteriormente (Abelho, 2009).

Inicialmente é utilizada a grade de disco com o objetivo de reduzir a quantidade de infestante à superfície e subprodutos de culturas anteriores, no qual a grade de discos tem a largura de trabalho de 3,15 metros, e ao se deslocar com a velocidade média de 2,33 m/s (8,37 km/h), permite que o binário médio do trator seja de 70,5%, garantindo assim uma capacidade efetiva de campo de 2,4 hectares por hora, contabilizando um rendimento de campo de 90%. Relativamente à rotação média do motor é de 1735,6 rpm, o qual tem um consumo específico de 23,8 litros por hora, correspondendo a 10,03 litros por hectare, necessitando assim de 359,68 MJ para gradar um hectare, emitindo 26,08 kg de CO₂.

Posteriormente foi utilizado o *chisel*, com órgãos ativos na vertical, a sua largura de trabalho é de três metros, o qual trabalha a uma velocidade média de 1,67 m/s (6,01 km/h), permite que o binário médio do trator seja de 73,5%, garantindo assim uma capacidade efetiva de campo de 1,6 hectares por hora, contabilizando um rendimento de campo de 90%. Relativamente à rotação média do motor é de 1591,1 rpm, o qual tem um consumo específico de 24,98 litros por hora, correspondendo a 15,39 litros por hectare, necessitando assim de 551,89 MJ para mobilizar um hectare, emitindo 40,01 kg de CO₂.

A terceira operação colocada em prática novamente a grade de discos para fazer a preparação da cama de sementeira, visto que ainda existiam várias infestantes que iriam dificultar a passagem do semeador, sendo a segunda gradagem, a velocidade média é de 2,37 m/s (8,53 km/h), e o binário médio de 65,9%, garantindo assim uma capacidade efetiva de campo de 2,4 hectares por hora, contabilizando um rendimento de campo de 90%. Relativamente à rotação média do motor é de 1729,3 rpm, o qual tem um consumo específico mais baixo de 20,34 litros por hora, correspondendo a 8,41 litros por hectare, necessitando assim de 301,58 MJ para gradar um hectare, emitindo 21,87 kg de CO₂.

Preparada a cama de sementeira é realizada a distribuição do fertilizante de fundo com distribuidor centrífugo com a largura de trabalho de 30 metros, a uma velocidade média de 2,66 m/s (9,56 km/h), exigindo assim um binário médio de 43,5% obtendo uma capacidade efetiva de campo de 20,1 ha/h, contabilizando um rendimento de campo de 70%. A rotação média do motor é de 1557,2 rpm, com a tomada de força ligada as 540 rpm, obtendo um consumo médio específico por hora de 12,9 litros, o qual corresponde a 0,64 l/ha, em que necessita de 22,95 MJ para distribuir o fertilizante em um hectare, o qual emite 1,66 kg de CO₂.

Para terminar o itinerário cultural é posto em prática o semeador em linhas para fazer a instalação da cultura, este tem a sua largura de trabalho de três metros, e devido ao solo já estar preparado, a sua velocidade média aumentou para 1,13 m/s (4,06 km/h), utilizando um binário médio de 37,4%, garantindo com estes parâmetros uma capacidade efetiva de campo de 0,9 ha/h, contabilizando um rendimento de campo de 75%. A rotação média do motor é de 1654,91 rpm, obtendo um consumo médio específico por hora de 13,78 litros, o qual corresponde a 15,08 l/ha, em que necessita de 540,77 MJ para semear um hectare, o qual emite 39,21 kg de CO₂.

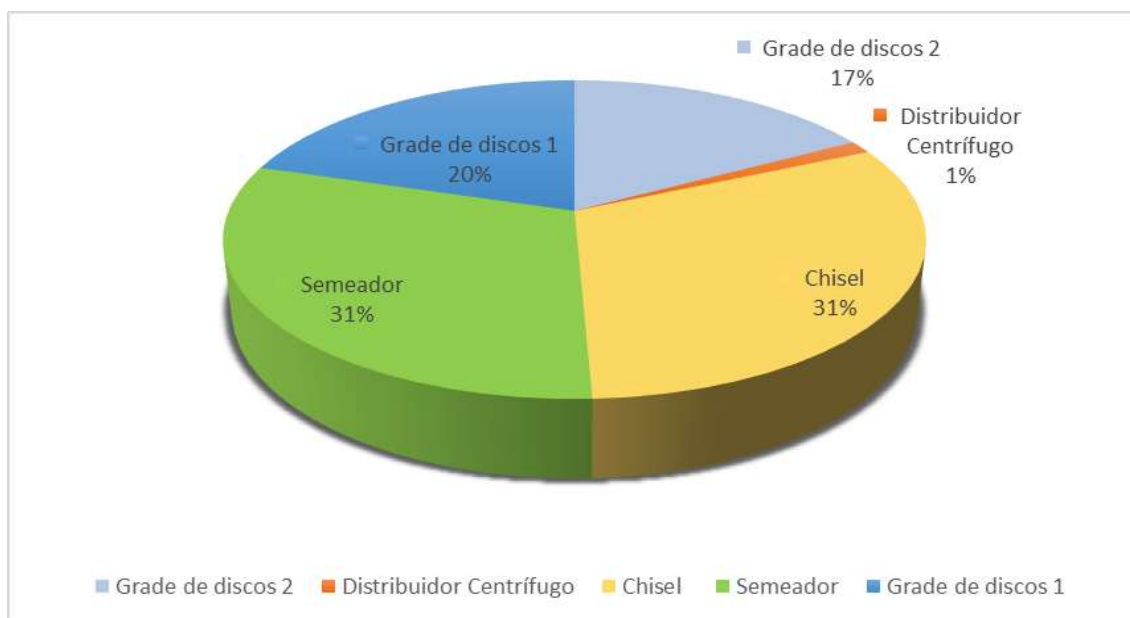


Figura 24 - Quantidade de combustível (taxa), necessário por operação na instalação de uma cultura anual em Mobilização Mínima

A (figura 24) demonstra a taxa de combustível, gastos por operação mecanizadas na instalação de uma cultura anual, utilizando-se as técnicas de mobilização mínima. A mobilização mínima está frequentemente associada a máquinas com corpos ativos na vertical, neste ensaio o *chisel*, que tem mais expressão no consumo por hectare. O semeador é uma máquina com baixo rendimento, devido á sua largura de trabalho e velocidade reduzida, sendo significativo no consumo de combustível. As gradagens são feitas excecionalmente, podendo estas serem substituídas por outras máquinas de mobilização vertical, quando as características da parcela assim o permitam. O distribuidor centrifugo tem baixa expressão no consumo de combustível, devido uma elevada eficiência de campo, proveniente da sua largura de trabalho.

Avaliando todas as operações mecanizadas na realizadas na instalação da cultura anual, a mobilização mínima carece de uma quantidade de combustível significativa por hectare (49,55 litros). Quando esse combustível é queimado, são gastos 1776,86 MJ de energia, como efeito secundários são produzidos 128,83 quilogramas de CO₂.

Quadro 7 - Dados do Itinerário Cultural (Mobilização Convencional)

Itinerário Cultural	Traçado de Trabalho	Parâmetros	V Motor (rpm)	Bin (%)	débito (l/h)	V rodas (m/h)	Cap. efet campo (ha/h)	Quant Comb (l/ha)	Energia (MJ/ha)	CO ₂ (Kg/ha)
Mobilização Convencional	Charrua	Mínima	890.5	11	1	0.050	0.3	63.26	2268.50	164.48
		Máxima	2004	88	22.15	5.130				
		Média	1801.5	53.8	20.93	4.040				
		DP	177.2	14.3	4.2	0.700				
	Grade de discos	Mínima	1015	1	0.75	0.130	1.9	10.56	378.68	27.46
		Máxima	1869.5	95	22.5	7.680				
		Média	1741.5	65.1	20.12	6.720				
		DP	149.4	16	4.7	1.700				
	Semeador	Mínima	1000	11	1.8	5.130	0.9	15.6	559.42	40.56
		Máxima	1904.5	82	20.1	0.020				
		Média	1831.7	38.9	14.78	4.210				
		DP	93.6	9.9	2.2	1.300				

O itinerário cultural da mobilização convencional é composto por uma sequência de operações (Quadro 7), que se inicia sempre por uma operação profunda com o reviramento da leiva, à qual se seguem operações secundárias mais superficiais para fazer a preparação da cama de sementeira (Abelho, 2009).

Este itinerário assenta na utilização de uma charrua, a qual tem caído muito em desuso, devido a ser uma operação que necessita de uma elevada quantidade de dias disponíveis, onde o teor de água no solo e as condições meteorológicas são fundamentais para a realização das operações – solo em sação assim como a necessidade de maior consumo de energia por se tratar de uma operação de mobilização de ligeira ou média profundidade do solo.

Ainda assim segundo Viana & Agricultura, (2013), o reviramento do solo tem elevadas vantagens em solos específicos, solos coesos e argilosos, que tem tendência para abater, ficando com estrutura altamente compacta, diminuindo o arejamento, reduzindo a permeabilidade e colocando as plantas com défice. Uma outra vantagem é a não utilização de produtos fitossanitários (herbicidas) na pré-instalação da cultura.

O ensaio foi composto por três traçados de trabalho. Iniciou-se com a operação mais profunda com reviramento da leiva com a charrua de aivecas, posteriormente uma gradagem com a grade de discos para fazer a preparação da cama de sementeira, e posteriormente a sementeira com o semeador em linhas. Foi tida em consideração a utilização de um semeador combinado semente/ fertilizante, permitindo assim a redução de um traçado de trabalho, devido aos elevados custos de energia necessários nos restantes traçados.

Os resultados mostram que a lavoura é uma operação demorada, considerando a largura de trabalho de 0,91 metros da máquina, e a velocidade média de 1,12 m/s (4,04 km/h), obtendo o binário médio de 53,8%, garantindo assim uma capacidade efetiva de campo de 0,3 hectares por hora, contabilizando um rendimento de campo de 90%. Relativamente à rotação média do motor é de 1801,5 rpm, o qual tem um consumo específico de 20,93 litros por hora, correspondendo a 63,26 litros por hectare, necessitando assim de 2268,5 MJ para lavrar um hectare, emitindo 164,48 kg de CO₂.

Posteriormente à lavoura, foi utilizada a grade de discos para preparar a cama de sementeira, esta máquina tem uma largura de trabalho de 3,15 metros, e ao deslocar-se com a velocidade média de 1,87 m/s (6,72 km/h), permite que o binário médio do trator seja de 65,1%, garantindo assim uma capacidade efetiva de campo de 1,9 hectares por hora, contabilizando um rendimento de campo de 90%. Relativamente à rotação média do motor é de 1741,5 rpm, o qual tem um consumo médio específico de 20,12 litros por hora, correspondendo a 10,56 litros por hectare, necessitando assim de 378,68 MJ para gradar um hectare, emitindo 27,46 kg de CO₂.

A instalação da cultura termina sempre com a sementeira. No ensaio foi utilizado o semeador em linhas para que todas as sementes fiquem à mesma profundidade. Esta máquina que com a sua largura de trabalho de três metros e com uma velocidade média de deslocação de 1,17 m/s (4,21 km/h), obtém um binário médio do trator de 38,9 %, garantindo uma capacidade efetiva de campo de 0,9 hectares por hora e contabilizando um rendimento de campo de 75%. A rotação média do motor é de 1831,7 rpm, para desempenhar a operação em condições normais, com um consumo médio específico de 14,78 litros por hora, correspondendo a 15,6 litros por hectare, necessitando de 559,42 MJ para semear um hectare, emitindo 40,56 kg de CO₂.

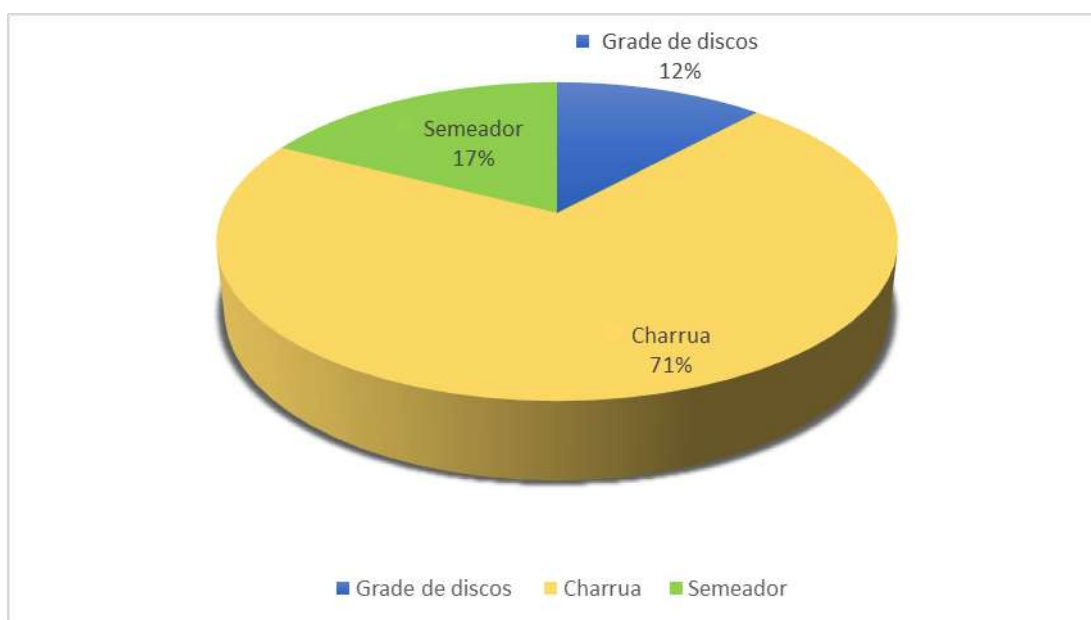


Figura 25 – Taxa de combustível (l/ha), necessário por operação na instalação de uma cultura anual em Mobilização Convencional

A (Figura 25) representa a quantidade de combustível em litros por hectare em diferentes operações mecanizadas na instalação de uma cultura anual com a técnica de mobilização convencional. Obrigatoriamente esta técnica está relacionada com máquinas que provocam um reviramento da leiva (charrua). Avaliada a eficiência de campo, são necessárias mais de três horas para se mobilizar um hectare, sendo que o principal custo de instalação está nessa operação. A sementeira é uma operação um pouco demorada devido à velocidade de trabalho e largura de trabalho. As restantes operações são mais eficientes, devido à largura de trabalho e à velocidade praticada.

Feita a junção de todas as operações realizadas dentro da mobilização convencional para a instalação da cultura anual, é o itinerário que necessita de mais combustível (89,4 litros). Quando esse combustível é queimado, são gastos 3206,6 MJ de energia, como efeito secundário são produzidos 232,49 quilogramas de CO₂.

O Quadro 8 e 9 mostram os resultados da análise de variância do parâmetro consumo por hectare e do teste de comparação de médias, respetivamente.

Quadro 8 - Valores da análise de variância obtidos por itinerário técnico para o consumo por hectare.

(I) Itinerário	(J) Itinerário	Diferença média (I-J)	Estatística do teste Padrão	Sig.	Intervalo de Confiança 95%	
					Limite inferior	Limite superior
MC	MM	39,8464*	13,22769	,035	2,9146	76,7782
	SD	70,4448*	13,22769	,001	33,5130	107,3766
MM	MC	-39,8464*	13,22769	,035	-76,7782	-2,9146
	SD	30,5984	13,22769	,105	-6,3334	67,5302
SD	MC	-70,4448*	13,22769	,001	-107,3766	-33,5130
	MM	-30,5984	13,22769	,105	-67,5302	6,3334

Com base em médias observadas.
O termo de erro é Quadrado Médio (Erro) = 349,944.
*. A diferença média é significativa no nível 0,05.

Quadro 9 - Teste de comparação de médias segundo o método de Tukey

Itinerário	N	Subconjunto	
		1	2
SD	4	18,9593	
MM	4	49,5577	
MC	4		89,4041
Sig.		,105	1,000

A observação dos resultados mostra que existem diferenças significativas nas médias do IT de MC para MM e SD, e SD relativamente a MC. Por subconjuntos apenas o valor de MC se apresenta com diferenças significativas relativamente a MM e SD, ainda que seja evidente a diferença de valores de consumo de combustível entre SD e MM. Este facto resulta certamente do número de apenas termos 4 repetições.

O Quadro 10 e 11 mostram os resultados da análise de variância por itinerário técnico do parâmetro área por hora e do teste de comparação de médias, respectivamente.

Quadro 10- Valores da análise de variância obtidos por itinerário técnico para o parâmetro área por hora.

(I) Itinerário	(J) Itinerário	Diferença média (I-J)	Estatística do teste Padrão	Sig.	Intervalo de Confiança 95%	
					Limite inferior	Limite superior
MC	MM	-24,2285*	2,43501	,000	-31,0270	-17,4299
	SD	-23,6256*	2,43501	,000	-30,4242	-16,8271
MM	MC	24,2285*	2,43501	,000	17,4299	31,0270
	SD	,6029	2,43501	,967	-6,1957	7,4014
SD	MC	23,6256*	2,43501	,000	16,8271	30,4242
	MM	-,6029	2,43501	,967	-7,4014	6,1957

Com base em médias observadas.
 O termo de erro é Quadrado Médio (Erro) = 11,859.
 *. A diferença média é significativa no nível 0,05.

Quadro 11 - Teste de comparação de médias segundo o método de Tukey

Itinerário	N	Subconjunto	
		1	2
MC	4	3,1820	
SD	4		26,8076
MM	4		27,4104
Sig.		1,000	0,967

Para os dados de eficiência de campo os resultados mostram diferenças significativas entre o IT de MC com MM e SD, de MM com MC e de SD com MC. Por subconjuntos é evidente tanto pelo teste realizado como pelos valores absolutos a diferença significativa da MC para SD e MM.

5. Discussão

As operações agrícolas realizadas dentro de uma exploração, tem por base dois pilares que influenciam a tomada de decisão, onde um deles é o necessário para se realizar as operações, e o outro é o custo que a operação irá ter. O sucesso das produções, é o efeito secundário de uma boa gestão de sequência de operações, planejando, ordenado e gerindo da melhor forma, sempre com um objetivo definido (Pinto, 2010).

O processo de produção reúne vários fatores, tais como o solo, cultura, fatores meteorológicos, equipamentos e dias disponíveis, etc. Para se obter as produções previstas, devem ser tidos em conta vários itinerários culturais, e dentro de cada um deles uma ordenação de sequência de operações para serem atingidos os objetivos previstos (Silva, 2005).

Na avaliação do itinerário a ser colocado em prática, este pode ter um maior ou menor limiar de rentabilidade, dependendo dos equipamentos colocados em prática. Dependendo do objetivo de produção e das características do solo. No ensaio realizado, onde foram colocados em prática três itinerários diferentes para a implementação de uma cultura anual. Para as quais podemos fazer a comparação do consumo de energia e as emissões de CO₂ resultante das operações.

Avaliando os dados totais por itinerário, a sementeira direta foi aquela que teve um menor consumo de energia (679,91 MJ/ha), para a implementação de uma cultura anual de outono / inverno, como efeito secundário houve um impacto ambiental de 49,3 kg/ha de CO₂. O itinerário da mobilização mínima foi o segundo com maior consumo de energia, o que corresponde a 1776,86 MJ/ha, com essa necessidade foram emitidos 128.83 kg/ha de CO₂, em último e com um maior consumo de energia, o itinerário de mobilização convencional, necessitou assim de 3206.60 MJ/ha de energia, resultante de 232.49 kg/ha de CO₂.

Com base nos dados anteriormente apresentados, verifica-se que a SD necessita três vezes menos energia comparando com a MM, como também três vezes menos poluente que a MM. Comparando a SD com a MC, aquela é quatro vezes e meia menos consumidora de energia, assim como a sua poluição. Se for feita a comparação da MM com a MC, aquela necessita de quase metade da energia para implementar a mesma área de cultura, como efeito direto, a emissão de CO₂

Em termos de custo de operação, foi tido como base o valor médio do combustível destinado ao setor agrícola à data de (30/12/2023), que correspondeu a 1,267 euros por litro (DGEG, 2023). Feita a comparação entre itinerários, pode-se assim verificar que implementar um hectare em SD (18,96 L), corresponde a 24,02 euros, em MM (49,55 L), com um custo de 62,78 euros e em MC (89,4 L), o custo é de 113,27 euros (Quadro 12).

Quadro 12- Comparação de resultados (consumo, emissões e custo por ha) por IT

IT	Consumo energia MJ/ha	Impacto ambiental kg/ha CO ₂	Consumo combustível l/ha	Custo combustível euros/ha
SD	679,91	49,30	18,96	24,02
MM	1776,86	128,83	49,55	62,78
MC	3206,60	232,49	89,40	113,27

6. Conclusões

Neste trabalho, fez-se a bordagem entre o consumo de energia na atividade agrícola, especificamente na forma de combustível utilizado para operações mecanizadas. Essa análise é crucial para avaliar a eficiência da produção em termos de máquinas agrícolas, e a sua relevância varia conforme o tipo de operação realizada e o itinerário técnico de instalação de culturas.

Os resultados indicam um ganho significativo de eficiência energética no itinerário de sementeira direta, tanto em termos de capacidade efetiva de campo quanto de consumo de combustível, quando comparado aos itinerários de mobilização mínima e mobilização convencional.

Esses resultados destacam a importância da escolha do itinerário técnico por parte do agricultor, e da opção que mais contribua para a redução das operações de mobilização do solo. Com base neste ensaio essa abordagem pode maximizar a eficiência na utilização de energia em operações mecanizadas, contribuindo para uma agricultura mais sustentável e econômica.

Bibliografia

- Abelho, S. (2009). Optimização da gestão do parque de máquinas da Sociedade Agrícola do Rabaço. [Dissertação de mestrado]. ESAE. Obtido em 11 de 11 de 2023, de <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/17212/1/Relat%C3%B3rio%20de%20Est%C3%A1gio.pdf>
- Agriterra. (2021). A eficiência energética na agricultura. Agriterra. Obtido em 06 de 07 de 2023. <https://www.agriterra.pt/Artigos/374670-A-eficiencia-energetica-na-agricultura.html>
- Agrometal Marquez. (2023). Cultivadores Chisel. Obtido em 09 de 06 de 2023, de Agrometal Marquez: <https://agrometalmarquez.es/>
- Agroportal. (2022). Sementeira direta 2022. Nova abordagem. Obtido em 20 de 09 de 2023, de Agroportal : <https://www.agroportal.pt/sementeira-direta-2022-nova-abordagem/>
- Amazone. (2019). Abonadora suspendida ZA-V. Obtido em 06 de 08 de 2023, de AMAZONE: <https://www.mazas.es/archivos/catalogos/Amazone/ZA-V.pdf>
- Amazone. (2021). AMAZONE. Obtido em 2023 de 06 de 08, de Mounted crop protection sprayer UF: <https://info.amazone.de/DisplayInfo.aspx?id=62505>
- Baptista, F., Silva, L., Murcho, D., Louro, M., & Marques, C. (2013). Agricultura e Eficiência Energética – Projecto AGREE. Obtido em 06 de 07 de 2023, de Repositório Agricultura, Energia e Ambiente. Évora https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/9214/1/SimposioAEA_Fatima.pdf.
- Barros, J., & Freixial, R. (2011). Agricultura de Conservação. Obtido em 06 de 07 de 2023, de Universidade de Évora : <https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/3108/1/Agricultura%20Conserva%C3%A7%C3%A3o.pdf>
- Barros, J., Basch, G., & Carvalho, M. (2002). Sementeira Directa como Sistema de Mobilização de Conservação do Solo. Universidade de Évora. Obtido em 12 de 07 de 2023 <https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/2192>

- Beato, P. (2021). Definição e Otimização de Módulos de Mecanização na Cultura do Trigo (com base nos critérios técnico ra do Trigo com base nos critérios técnicoeconómico, energético e carbónico. [Dissertação de mestrado]. ISA. Obtido em 12 de 12 de 2023, de <https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/23866/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20PJB%20Defi%20Opti%20Mod%20Mec%20Cult%20Trigo.pdf>
- Canavate, J. (2012). Em Las Máquinas Agrícolas y Su Aplicación. 6ªed. Ediciones. Mundi-Prensa libros. s. a Madrid. Obtido em 10 de 09 de 2023 <https://pt.scribd.com/document/528841172/322571994-Las-Maquinas-Agricolas-y-Su-Aplicacion-Escrito-Por-Jaime-Ortiz-Canavate-PDF>
- Cardoso, J. (1965). Os solos de Portugal. Lisboa: Direção Geral dos Serviços Agrícolas . Obtido em 02 de 07 de 2023
- Ciucci, M. (2023). Fichas temáticas sobre a União Europeia. Obtido em 06 de 07 de 2023, de Parlamento Europeu: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/pt/sheet/69/eficiencia-energetica>
- Compre Rural. (2020). Saiba a importância do escarificador para o solo. Obtido em 08 de 10 de 2023, de Compre Rural: <https://www.comprerural.com/saiba-a-importancia-do-escarificador-para-o-solo/>
- DGADR. (2015). Produção Agrícola Sustentável. Obtido em 10 de 08 de 2023, de <https://www.dgadr.gov.pt/19-modos-de-producao-sustentavel>
- DGADR. (2023). Nota Explicativa da Carta dos Solos de Portugal e da Carta de Capacidade de Uso do Solo. Obtido em 02 de 07 de 2023, de DGADR: <https://www.dgadr.gov.pt/nota-explicativa>
- DGEG. (30 de 12 de 2023). Preço médio diário (continente). Obtido em 30 de 12 de 2023, de Direção Geral de Energia e Geologia: <https://precoscombustiveis.dgeg.gov.pt/estatistica/preco-medio-diario/>
- Elsner, J. (2022). University of Iceland. Obtido em 10 de 10 de 2023, de Direct Seeding as an Alternative Method to: <https://skemman.is/bitstream/1946/42829/1/Direct%20Seeding%20as%20an%20Alternative%20Method%20to%20Planting%20for%20Woodland%20Creation%20in%20Iceland.pdf>
- Enoque, E. (2015). Avaliação de Consumos Energéticos em Diferentes . Évora: Universidade de Évora. Obtido em 11 de 10 de 2023. <https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/14544>

- Filho, A., Centurion, J., Silva, R., & Angeli, F. (2007). Métodos de preparo do solo: alterações na rugosidade do solo. Obtido em 06 de 07 de 2023, de ResearchGate:
https://www.researchgate.net/publication/237670073_Metodos_de_preparo_d_o_solo_alteracoes_na_rugosidade_do_solo
- Frantz, U., Schlosser, J., Farias, M., Ferigolo, L., & Ebert, L. (2014). Eficiência energética de um trator agrícola utilizando duas configurações de tomada de potência. Eficiência energética de um trator agrícola utilizando duas configurações de tomada de potência, p. 1121. Obtido em 06 de 07 de 2023
- Freixial, R. (2010). A Agricultura é uma actividade multi-funcional. (E. E. Marketing, Ed.) Universidade de Évora. Obtido em 05 de 10 de 2023, de <https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/2357>
- Freixial, R., & Barros, J. (2011). Agricultura de Conservação. Obtido em 07 de 09 de 2023, de Universidade de Évora: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/3108/1/Agricultura%20Conserva%C3%A7%C3%A3o.pdf>
- Galucho. (2023). Galucho máquinas para a vida. Obtido em 12 de 05 de 2023, de Charruas: <https://galucho.pt/produto/ch3-h/>
- Galucho. (2023). Grades GLHR. Obtido em 05 de 06 de 2023, de Galucho máquinas para a vida: <https://galucho.pt/produto/glhr/>
- Gaspardo. (2023). Semeadora mecânica para semeadura direta. Obtido em 13 de 06 de 2023, de Gaspardo: <https://www.maschiogaspardo.com/pt/web/portugal/diretta>
- Gimenez, L. (s/d). Planejamento de Recursos Mecanizados. Departamento de Engenharia de Biosistemas. Obtido em 12 de 12 de 2023, de https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5251584/mod_resource/content/0/Aula%203_Sistemas%20Mecanizados.pdf
- Gregoire Besson. (2023). Gregoire Besson. Arado reversível Rover 70. Obtido em 04 de 10 de 2023, <https://www.agriexpo.online/pt/prod/gregoire-besson/product-169160-118931.html>
- IPMA. (2023). Área educativa - Clima de Portugal Continental. Obtido em 02 de 07 de 2023, de IPMA: <https://www.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima/>
- Jagadale, M., Shrivastala, P., Paradkar, V., Bijarniya, H., & Murthy, G. (2021). Agricultural Research, Technology and Policy: Innovations and Advances. Farm Mechanization to Improve Energy Efficiency and Drudgery Reduction. Obtido em 10 de 09 de 2023, de https://www.researchgate.net/publication/354160728_Farm_Mechanization_to_Improve_Energy_Efficiency_and_Drudgery_Reduction

- Manoel, M. (2018). O solo e a agricultura de conservação. Obtido em 06 de 07 de 2021, de Agrozapp: <https://www.agrozapp.pt/artigos/Estudos/o-solo-e-a-agricultura-de-conservaco>
- Máquinas e Inovações Agrícolas. (2023). As fontes de energia para as atividades na produção agrícola. Obtido em 16 de 10 de 2023, de Máquinas e Inovações Agrícolas: <https://portalmaquinasagricolas.com.br/as-fontes-de-energia-para-as-atividades-na-producao-agricola/>
- Marques, F. (2009). Avaliação Técnica e Económica de Sistemas de Mobilização do Solo. Universidade de Évora. Obtido em 06 de 07 de 2023 <https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/11098>
- Márquez, L. (s/d) A avaliação energética de um trator, pp. 57-60. Agriworld Obtido em 06 de 07 de 2023 <https://www.agriworld-revista.com/agriworld/wp-content/uploads/2021/03/A-avaliac%CC%A7ao-energetica-de-um-trator.pdf>
- Matias, C. (2015). Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente. Avaliação da incorporação de biodiesel em gasóleo, p. 5. Obtido em 11 de 10 de 2023, de https://iconline.ipleiria.pt/bitstream/10400.8/1524/1/Cristiano%20Matias_Relat%C3%B3rio%20do%20Projeto%20MEENA-ESTG.pdf
- Milho Amarelo. (2017). Mobilização na Linha. Obtido em 06 de 10 de 2023, de Milho Amarelo: <https://milhoamarelo.pt/tag/mobilizacao-na-linha/>
- Moreira, R. (2018). Sabe o que é a agricultura de conservação. Agricultura e Mar Obtido em 06 de 07 de 2023, : <https://agriculturaemar.com/sabe-o-que-e-a-agricultura-de-conservacao/>
- New Holland Agriculture. (2023). New Holland. Obtido em 15 de 05 de 2023, de Tractores agrícolas T5 ELECTRO COMMAND - STAGE V: <https://agriculture.newholland.com/eu/pt-pt/equipamento/produtos/tractores-agricolas/t5-electro-command-stage-v>
- Palha, L. (2018). Mobilização profunda do solo como medida de redução da variabilidade espacial da produtividade na cultura do milho no vale do Tejo. Lisboa. Obtido em 06 de 07 de 2023, de <https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/17913/1/Tese%20final%204.pdf>
- Peça, J. (2012). Análise de aspectos de operacionalidade de máquinas agrícolas. Évora: Universidade de Évora. Obtido em 27 de 20 de 2023, de https://rdpc.uevora.pt/bitstream/10174/8024/1/Aspectos_operacionalidade_maq_agric.pdf
- Pinto, P. (2010). Operações agrícolas. Obtido em 12 de 11 de 2023, de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/263847633_Operacoes_agricolas

- Ribeiro, D. (2011). Desempenho operacionalidade e energético de um trator agrícola durante as operações de roçagem, aração e sementeira. Rio de Janeiro: Universidade estadual do Norte Fluminense. Obtido em 2023 de 10 de 17, de <https://uenf.br/posgraduacao/producao-vegetal/wp-content/uploads/sites/10/2014/09/Welington.pdf>
- Rodrigues, F. (2022). Mobilização de conservação. Efeitos dos resíduos sobre a erosão. Obtido em 05 de 10 de 2023, de <file:///C:/Users/joaor/OneDrive/Ambiente%20de%20Trabalho/Agricultura%20Susten%C3%A1vel/Usos%20e%20conserva%C3%A7%C3%A3o%20do%20solo/4.4.MobCons%20-%20Residuos.pdf>
- Santos, J. (2015). Uso do solo, Agricultura e Ambiente. Obtido em 06 de 07 de 2023, de DRAPAL: http://www.drapal.min-agricultura.pt/drapal/images/servicos/Apoio_Zonal/Biblioteca/Usos-solo_iniav_dez_2015_lima_santos.pdf
- Silva, L. (2021). Telemetria aplicada à gestão do parque de máquinas agrícola. Elvas. Obtido em 11 de 12 de 2023, de https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/37682/1/tese_LuisSilva.pdf
- Silva, S. (2005). Máquinas e mecanização agrícola. Cascavel. Obtido em 11 de 12 de 2023, de https://www.fsantos.utad.pt/bibliografia/Tratores_Agricolas.pdf
- Silveira, G., & Sierra, J. (2010). Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Obtido em 06 de 07 de 2023, de Eficiência energética de tratores agrícolas fabricados no Brasil: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/DW54s6TsnLhQd334szSDRVk/?format=pdf&lang=pt>
- Tirapicos, A. (2012). Avaliação da eficiência de campo em operações agrícolas com recurso à tecnologia GPS. ISA, Lisboa. Obtido em 12 de 12 de 2023, de <https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/5376/1/Avalia%C3%A7%C3%A3o%20da%20efici%C3%Aancia%20de%20campo%20em%20opera%C3%A7%C3%B5es%20agr%C3%ADcolas%20com%20recurso%20%C3%A0%20tecnologia%20GPS.pdf>
- Übelhör, A., Witte, I., Billen, N., Gruber, S., Hermann, W., Morhard, J., & Claupein, W. (2014). Feasibility of strip-tillage for field grown vegetables. Eignung des Strip-Tillage Verfahrens für den Feldgemüsebau. Obtido em 12 de 10 de 2023, de https://www.researchgate.net/publication/268684549_Feasibility_of_strip-tillage_for_field_grown_vegetables
- Viana, J., & Agricultura, D. (2013). Mobilização do Solo. Açores: DRADR. Obtido em 06 de 07 de 2023, de https://jovemagricultor.azores.gov.pt/Storage/News/62/Docs/DOC_14-08-2020_13-15-378711196.pdf

Viana, J., & Agricultura, D. (s/d.). Mobilização do Solo. Obtido em 12 de 11 de 2023, de https://jovemagricultor.azores.gov.pt/Storage/News/62/Docs/DOC_14-08-2020_13-15-378711196.pdf

Zentner, R., McConkey, B., Stumborg, M., Campbell, C., & Selles, F. (1997). Desempenho energético da gestão da lavoura de conservação para a produção de trigo de primavera na zona de solo marrom. Desempenho energético da gestão da lavoura de conservação para a produção de trigo de primavera na zona de solo marrom, pp. 553-563. Obtido em 17 de 10 de 2023