



Carlos Jorge Oliveira
Carvalho

Impacte de práticas agrícolas nas características do
solo em culturas de milho.



Carlos Jorge Oliveira
Carvalho

Impacte de práticas agrícolas nas características do
solo em culturas de milho.

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, realizada sob a orientação científica da Doutora Ana Paula Duarte Gomes, Professora Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro, coorientação do Doutor Nelson José Cabaços Abrantes, investigador auxiliar do Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM) da Universidade de Aveiro e coorientação da Doutora Ana Luísa Neto Caetano, investigadora de Pós-doutoramento do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

Esta dissertação foi desenvolvida no âmbito do Projeto Milho Amarelo – Agricultura intensiva e sustentabilidade

Dedico este trabalho à minha mãe, irmã, avós, padrinhos e primos.

o júri

presidente

Professor Doutor Mário Miguel Azevedo Cerqueira

Professor Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

vogais

Professor Doutor António José Dinis Ferreira

Professor Adjunto do Departamento de Ciências Exatas e do Ambiente da Escola Agrária de Coimbra

Professora Doutora Ana Paula Duarte Gomes

Professora Auxiliar do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro
(Orientadora)

agradecimentos

Primeiramente agradeço aos meus orientadores, nomeadamente à Professora Doutora Ana Paula Gomes, ao Doutor Nelson Abrantes e à Doutora Ana Luísa Caetano por todos os ensinamentos transmitidos, disponibilidade e todo o apoio prestado ao longo do decorrer do trabalho, com um especial agradecimento à Doutora Ana Luísa Caetano pelo auxílio e paciência na componente laboratorial.

À ESP Team, pela oportunidade de participação e interação, bem como pela ajuda prestada com ideias e opiniões sempre que necessário.

Ao Eng. João Coimbra pelo pioneirismo e pela disponibilidade.

Um agradecimento à minha mãe, pela educação, paciência, compreensão, apoio, por todo o esforço feito para que pudesse concluir os estudos e pelo impacto na pessoa em que me tornei. À minha irmã, avós, padrinho, madrinha e primos, por estarem sempre disponíveis. Agradeço à Diana pela presença, paciência e apoio.

A todos os amigos e conhecidos que fizeram parte deste percurso académico e que tornaram estes anos inesquecíveis.

Obrigado.

palavras-chave

Agricultura intensiva, milho, práticas agrícolas, sementeira direta, qualidade do solo.

resumo

A potencial alteração da qualidade do solo como resultado da agricultura intensiva, como é o caso da cultura do milho, faz com que haja cada vez mais a preocupação com os impactes que esta pode causar e com a necessidade de implementar práticas agrícolas mais sustentáveis. Neste sentido torna-se fundamental compreender de que modo diferentes regimes de gestão agrícola podem condicionar a qualidade do solo. Desenvolvido no âmbito do projeto Milho Amarelo, o presente estudo teve como principal objetivo compreender o impacto de diferentes práticas agrícolas na qualidade do solo em áreas de cultura intensiva de milho. Em particular, pretendeu-se comparar as implicações do modelo convencional versus sementeira direta na qualidade do solo. Foi ainda objetivo avaliar de que modo a gestão atual da área de estudo com a implementação de faixas herbadas, áreas de sequeiro e áreas de pousio está a contribuir para a sustentabilidade do solo e biodiversidade associada. Para este efeito, adotou-se uma abordagem integrativa incluindo parâmetros físico-químicos (e.g. densidade aparente, pH, condutividade elétrica, capacidade de campo, matéria orgânica, nutrientes) e biológicos (e.g. atividade da fosfatase, atividade da urease, atividade da invertase e ensaios ecotoxicológicos com organismos do solo), permitindo inferir de um modo mais holístico sobre as implicações de cada modelo de gestão agrícola na qualidade dos solos. A análise e integração dos vários parâmetros vem realçar o impacto da mobilização do solo na sua qualidade, sendo este um importante fator condicionante da dinâmica do solo. Os resultados obtidos revelaram a existência de diferenças entre as práticas analisadas, maioritariamente associadas aos parâmetros químicos e aos nutrientes. Quando comparadas a prática de sementeira direta com a convencional, observam-se valores médios superiores para a sementeira direta no que respeita aos seguintes parâmetros: matéria orgânica, capacidade de troca catiónica, azoto, fósforo, nitratos, cálcio, cobre, zinco, ferro, manganês, atividade da urease e atividade da invertase. Neste sentido, este estudo realça a importância da implementação de práticas agrícolas não convencionais, como é o caso da sementeira direta, como promotoras da produtividade e sustentabilidade do solo. Além disso, foi ainda evidente o papel da implementação de diversos modelos de gestão em redor das áreas convencionais (e.g. faixas herbadas, áreas de sequeiro e áreas de pousio) na diversificação e qualidade do solo.

keywords

Intensive agriculture, maize, agricultural practices, no-till, soil quality.

abstract

Potential changes in soil quality as a result of intensive agriculture, such as maize growing, are increasingly raising concerns about the impacts this can cause and the need to implement more sustainable agricultural practices. In this sense it is fundamental to understand how different agricultural management regimes can condition soil quality. The main objective of the present study was to understand the impact of different agricultural practices on the quality of the soil in intensive maize cropping areas. In particular, it was intended to compare the implications of the conventional model versus no-till in soil quality. It was also an objective to evaluate how the current management of the study area with the implementation of herbaceous zones, rainfed areas and fallow areas is contributing to soil sustainability and associated biodiversity. For this purpose, an integrative approach was adopted including physical-chemical parameters (e.g. bulk density, pH, electrical conductivity, field capacity, organic matter, nutrients) and biological parameters (e.g. phosphatase activity, urease activity, ecotoxicological tests with soil organisms), allowing to infer in a more holistic way about the implications of each model of agricultural management in soil quality. The analysis and integration of the various parameters highlights the impact of soil mobilization on its quality, which is an important conditioning factor for soil dynamics. The obtained results revealed the existence of differences between the analyzed practices, mainly associated with chemical parameters and nutrients. When comparing no-till and conventional sowing, higher mean values for no-till are observed for the following parameters: organic matter, cation exchange capacity, nitrogen, phosphorus, nitrates, calcium, copper, zinc, iron, manganese, urease activity and invertase activity. In this sense, this study highlights the importance of the implementation of unconventional agricultural practices, as is the case of no-till, as promoters of productivity and soil sustainability. In addition, the role of the implementation of various management models around conventional areas (eg, herbaceous zones, rainfed areas and fallow areas) in soil diversification and quality was also evident.

Índice

1. Capítulo 1.....	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. A importância do sector agrícola	2
1.3. A cultura do milho.....	4
1.4. Impactes da agricultura no solo.....	6
1.5. Mobilização dos solos agrícolas.....	6
1.6. O Projeto Milho Amarelo	8
1.7. Objetivos	9
1.8. Estrutura da dissertação	9
1.9. Referências Bibliográficas	9
2. Capítulo 2.....	11
2.1. Resumo	11
2.2. Abstract.....	11
2.3. Introdução.....	13
2.4. Material e métodos	14
2.4.1. Área de estudo e sua caracterização	15
2.4.2. Campanhas de amostragem	16
2.4.3. Parâmetros Físico-químicos.....	18
2.4.3.1. Densidade aparente	18
2.4.3.2. Humidade	18
2.4.3.3. Textura	19
2.4.3.4. Capacidade de campo	19
2.4.3.5. pH	19
2.4.3.6. Condutividade elétrica	19
2.4.3.7. Matéria Orgânica.....	19
2.4.3.8. Capacidade de troca catiónica	20
2.4.3.9. Nutrientes.....	20
2.4.4. Análises Biológicas	21
2.4.4.1. Parâmetros Ecotoxicológicos (Ensaio de reprodução)	21
2.4.4.2. Atividade enzimática	21
2.4.5. Análise estatística de resultados	22
2.5. Resultados.....	22
2.5.1. Análises físico-químicas	23
2.5.2. Parâmetros biológicos	33
2.5.3. Correlação dos parâmetros analisados	36
2.6. Discussão.....	37
2.6.1. Análise físico-químicas.....	37
2.6.2. Análises biológicas	43
2.7. Conclusões	45
2.8. Referências bibliográficas	47
3. Capítulo 3 – Considerações finais.....	55
Anexos.....	57
Anexo 1 - Estatística	57
Anexo 2 – Tabela de correlação dos vários parâmetros.....	1

Índice de figuras

Figura 1 - Evolução da produção agrícola portuguesa (1961-2014), (Fonte: FAOStat, 2018).....	3
Figura 2 - Evolução dos principais cereais produzidos em Portugal: milho, trigo, arroz e cevada. (FAOStat, 2018).	3
Figura 3 - Implementação dos diferentes tipos de mobilização em Portugal (Fonte: INE, 2009).....	7
Figura 4 - Importância do tipo de mobilização agrícola por região de Portugal (Fonte: INE, 2009).	7
Figura 5 - Mapa da área de estudo na Quinta da Cholda, com a identificação das distintas zonas de gestão agrícolas e dos pontos de amostragem.....	16
Figura 6- Valores de precipitação e temperatura médias em 2017, para o período de estudo. Fonte: Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, SNIRH, 2018	18
Figura 7 - Valores médios (\pm desvio padrão) para os parâmetros físico-químicos analisados, nomeadamente densidade aparente, capacidade de campo, pH, CE, MO e CTC. As letras maiúsculas representam a existência de diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as duas amostragens dentro de cada tipo de prática; As letras minúsculas representam a existência de diferenças significativas para $p < 0,05$ entre tratamentos dentro de cada um dos períodos de amostragem.	29
Figura 8 - Valores médios (\pm desvio padrão) para os parâmetros físico-químicos analisados, nomeadamente N, Pt, Pd, NO_3^- , Ca e Mg. As letras maiúsculas representam a existência de diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as duas amostragens dentro de cada tipo de prática; As letras minúsculas representam a existência de diferenças significativas para $p < 0,05$ entre tratamentos dentro de cada um dos períodos de amostragem.	30
Figura 9 - Valores médios (\pm desvio padrão) para os parâmetros físico-químicos analisados, nomeadamente K, Cu, Zn, Fe, Mn e Al. As letras maiúsculas representam a existência de diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as duas amostragens dentro de cada tipo de prática; As letras minúsculas representam a existência de diferenças significativas para $p < 0,05$ entre tratamentos dentro de cada um dos períodos de amostragem.	31
Figura 10 - Valores médios (\pm desvio padrão) para os parâmetros biológicos analisados. As letras maiúsculas representam a existência de diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as duas amostragens dentro de cada tipo de prática; As letras minúsculas representam a existência de diferenças significativas para ($p < 0,05$) entre tratamentos dentro de cada um dos períodos de amostragem.....	35

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Síntese das adubações e apicação de produtos fitofarmacêuticos no decorrer da campanha de amostragem de 2017.	17
Tabela 2 - Resultados do cálculo de nutrientes adicionados ao solo pelos processos de fertilização, para o azoto, fósforo e potássio	17
Tabela 3 - Caracterização da textura média do solo para os diferentes tipos de práticas analisadas.....	24
Tabela 4 - Resultados da análise de variância (ANOVA) de duas vias para os parâmetros físico-químicos analisados.	32
Tabela 5 - Resultados da análise de variância (ANOVA) de duas vias para os parâmetros biológicos.	36

Tabela 6 - Tabela de correlação dos vários parâmetros analisados, segundo uma correlação de Pearson para $p < 0,05$. A laranja encontram-se as correlações negativas e a verde as correlações positivas. 1

Lista de abreviaturas

Al – Alumínio

ANOVA – Análise de Variância

C – Prática convencional

Ca – Cálcio

CC – Capacidade de campo

CE – Condutividade elétrica

CTC – Capacidade de troca catiónica

Cu – Cobre

F – Faixa herbada

Fe – Ferro

Mg – Magnésio

Mn – Manganês

MO – Matéria Orgânica

ms – matéria seca

N – Azoto

P – Pousio

PAC – Política agrícola comum

Pdisp – Fósforo disponível

Ptotal – Fósforo total

S – Sequeiro

SD – Sementeira direta

ss – solo seco

Zn – Zinco

1. Capítulo 1

O presente capítulo enquadra o tema objeto de estudo e realiza uma abordagem teórica e descritiva de diferentes aspetos, procurando contextualizar e suportar a definição dos objetivos do trabalho.

1.1. Enquadramento

Se considerarmos as projeções futuras apontam para uma densidade populacional de cerca de 9.7 mil milhões de pessoas em 2050, teremos um consequente aumento na procura de alimentos. Neste sentido, a agricultura assume-se como uma prioridade a nível mundial enfrentando novos desafios no que respeita à produção, uso eficaz dos recursos e ao aumento da resiliência da atividade agrícola (FAO, 2017).

A base para a agricultura é o solo. Este é definido como a camada superior da crosta terrestre. É formado por partículas minerais, matéria orgânica, água, ar e pelos organismos vivos. É a interface entre a terra, o ar e a água, sendo um meio extremamente complexo, variável e vivo, com um processo muito lento formação, podendo ser considerado como um recurso não renovável tendo em conta a lenta velocidade de formação e as rápidas taxas de degradação (Comissão Europeia, 2006).

O solo desempenha papéis que, direta ou indiretamente, contribuem para quase todos os processos que ocorrem. De acordo com a Diretiva 2004/35/CE de proteção do solo, o solo providencia várias funções, nomeadamente:

- Produção de biomassa, incluindo na agricultura e silvicultura;
- Armazenamento, filtragem e transformação de nutrientes, substâncias e água;
- Reserva de biodiversidade, como os habitats, espécies e genes;
- Ambiente físico e cultural para o homem e as atividades humanas;
- Fonte de matérias-primas;
- Reservatório de carbono;
- Conservação do património geológico e arqueológico.

Estabelecendo um quadro de proteção e preservação da capacidade do solo de providenciar estes serviços, esta diretiva define então medidas de prevenção de processos de degradação do solo (tanto por motivos naturais como antropogénicos) que interfiram nas funções supracitadas. Estas medidas incluem atenuação dos efeitos dos processos e a recuperação e reparação de solos degradados (de modo a existir um nível de funcionalidade consistente com a utilização atual e prevista) bem como a integração desta noutras políticas setoriais através do estabelecimento de um quadro e de ações comuns (Comissão Europeia, 2006).

A Comunicação da “Comissão ao Parlamento Europeu e ao Conselho para uma estratégia temática de proteção do solo” identifica os oito principais processos de degradação aos quais estão expostos os solos na UE. Esses processos são a erosão, a

diminuição da matéria orgânica, a contaminação, a salinização, a compactação, a perda de biodiversidade, a impermeabilização, os desabamentos de terras e as inundações. (Comissão Europeia, 2006). No entanto, existem limitações no que respeita aos conhecimentos científicos sobre a biodiversidade do solo e o seu comportamento o que limita a instauração de disposições específicas.

Em suma, o solo é um elemento vital que suporta a grande maioria dos processos que garantem o provisionamento dos serviços ecossistémicos críticos. Apesar de um ser um recurso extremamente valioso, este é maioritariamente negligenciado. É irrefutável a sua importância para a sociedade, no entanto deve ser relembrada a sua natureza finita, isto é, o solo pode ser considerado um recurso não renovável na medida em que a degradação do solo não é recuperável comparando com o período de vida humano (FAO, 2015), sendo por isso de extrema importância a necessidade da implementação de medidas conducentes à sua sustentabilidade.

1.2. A importância do sector agrícola

A atividade agrícola apresenta-se como uma das atividades mais importantes na economia. A nível mundial, a agricultura representou em 2016 cerca de 3,5% do PIB e cerca de 27% dos empregos, enquanto em Portugal estes valores foram de 1,9% do PIB e 7% dos empregos (World Bank, 2017). Apesar da contribuição da agricultura ter vindo a diminuir, esta continua a ter uma importância-chave nos recursos naturais, principalmente solo e água (OCDE, 2010).

A nível europeu, e numa análise retrospectiva sobre a evolução do sector agrícola, salienta-se a criação da Política Agrícola Comum (PAC) em 1962. A PAC tinha como objetivos principais garantir a alimentação a preços acessíveis à população europeia e assegurar o aumento do nível de vida dos agricultores (Comissão Europeia, 2013). A implementação de medidas e políticas através da PAC aumentou a produção e começou a formar uma agricultura mais competitiva (Contini, 2004). No entanto, apesar das claras vantagens associadas à PAC (aumento de produção, aumento de rendimentos e redução da mão-de-obra), esta gerava excedentes agrícolas com dificuldade de escoamento, problemas ambientais e possuía um peso considerável no orçamento comunitário. Por estes e outros motivos, várias reformas foram realizadas ao longo das últimas décadas, procurando obter um sistema agrícola que obedeça aos desafios económicos (competitividade e eficácia), sociais e ambientais (sustentabilidade).

Abordando o caso específico de Portugal (Figura 1), a agricultura portuguesa foi ao longo dos anos sofrendo profundas alterações, com consequentes impactes económicos, sociais e ambientais. Desde 1986, com a entrada de Portugal na Comunidade Europeia e consequentemente na Política Agrícola Comum (PAC), a evolução da agricultura em Portugal acompanhando a tendência Europeia (Avillez, 2015). De forma muito sumária, a PAC aplicou-se em Portugal através do controlo de

preços dos produtos e através da criação de políticas que promovessem os objetivos propostos pela PAC (Comissão Europeia, 2013).

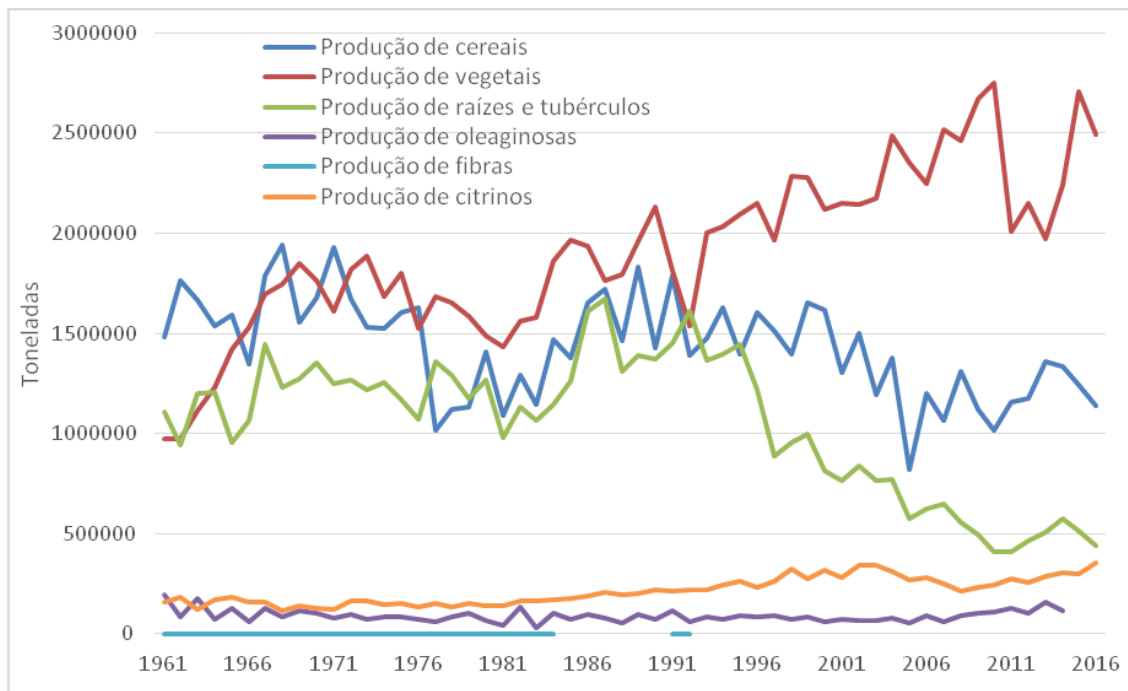


Figura 1 - Evolução da produção agrícola portuguesa (1961-2014), (Fonte: FAOStat, 2018).

Da análise temporal da produção dos principais produtos agrícolas em Portugal é perceptível o crescimento/decrécimo dos diferentes tipos de produtos agrícolas, estando esta variação associada aos mercados e às necessidades. Por exemplo, a predominância de produtos hortícolas e cereais deve-se ao facto de se tratarem de produtos de primeira necessidade na alimentação humana.

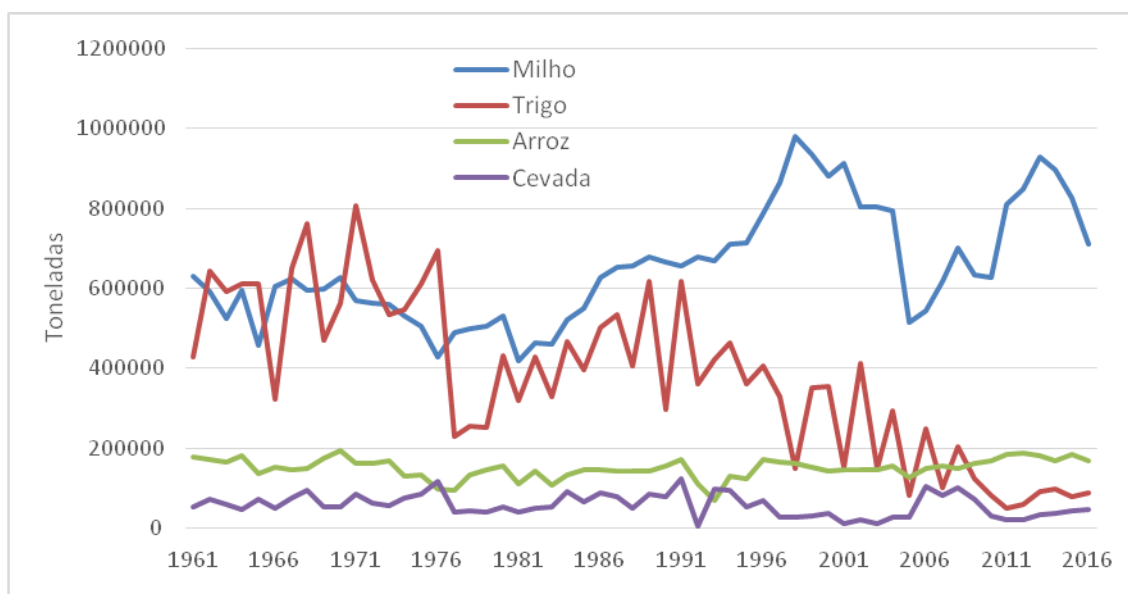


Figura 2 - Evolução dos principais cereais produzidos em Portugal: milho, trigo, arroz e cevada. (FAOStat, 2018).

Olhando particularmente para a produtividade dos principais cereais em Portugal, é então perceptível o papel da PAC na sua evolução (Figura 2). De facto, a PAC em Portugal reuniu medidas, políticas e incentivos que proporcionaram a evolução crescente da cultura do milho (relacionada a menores riscos e às necessidades internas do mesmo) e conseqüentemente a redução da produção de trigo (Avillez, 2015). Deste modo, o milho representa atualmente o tipo de cereal com maior produtividade em Portugal, tendo registado um valor de 710 mil toneladas em 2016 (INE, 2017).

1.3.A cultura do milho

O milho (*Zea mays L.*), é uma gramínea anual da família *Poaceae* (família das gramíneas) que se originou na América Central e é uma das três principais culturas de cereais cultivadas no mundo, juntamente com o arroz (*Oryza sativa*) e o trigo (*Triticum spp.*) (Castelo, 2009). A grande adaptabilidade desta espécie permite o seu cultivo em várias regiões do globo sendo comumente cultivada devido às suas propriedades nutricionais, que lhe confere como destinos principais a alimentação humana e animal (Barros & Calado, 2014).

Como já referido, desde os anos 70, a evolução positiva da quantidade de milho produzida deveu-se essencialmente aos apoios, medidas e políticas associadas, assim como ao aumento da procura (Avillez, 2015). No entanto, a introdução de variedades melhor adaptadas às condições edafoclimáticas e a implementação de melhores e mais adequadas práticas levaram ao aumento significativo da produtividade ao longo dos últimos anos, tendo Portugal os melhores índices de produção a nível mundial (Castelo, 2009).

Em 2005, com a inscrição pela Comunidade Europeia das primeiras variedades de milho geneticamente modificado, é introduzido em Portugal o milho transgénico (Ministério da Agricultura e do Mar, 2013). O milho transgénico usado em território nacional é milho Bt, o qual possui um gene da bactéria *Bacillus thuringiensis*, bactéria essa que leva a planta a produzir uma proteína tóxica para determinadas pragas, diminuindo a incidência de ataques de insetos à cultura ou crescimento de fungos na espiga (Ministério da Agricultura e do Mar, 2013). Desde a introdução das variedades transgénicas em Portugal, estas verificaram um crescimento dos valores nos primeiros anos, seguidos de uma fase de estabilização.

Ao nível do desenvolvimento vegetativo, o milho apresenta 3 principais fases no seu crescimento, sendo elas:

- Período Vegetativo – Iniciado com a germinação e que dura entre 6 a 10 dias. Esta fase depende da temperatura (mínimo de 10°C) e do estado hídrico do solo. Quando as plantas possuem 3 a 4 folhas o crescimento abranda, o que permite a formação das raízes;
- Período Reprodutivo – Duração de 50 a 60 dias após a germinação. Nesta fase dá-se o desenvolvimento da panícula masculina, ao qual se seguem os gomos

auxiliares que originam as flores femininas e as sedas. Em caso de escassez de água há a redução de flores femininas e conseqüentemente a redução do número de grãos produzidos. Também nesta fase ocorre a fecundação (cruzada), e após a polinização dá-se o desenvolvimento da espiga que atinge a sua dimensão máxima nesta fase;

- Período de Maturação – Desenvolvem-se rapidamente os esboços das espigas e jovens grãos, formando-se (após 4 a 5 semanas do início da fase) cerca de 85% da matéria seca nos grãos. A maturação propriamente dita ocorre entre 50 a 70 dias após a saída das sedas e está relacionada com as condições climáticas.

Atualmente existe uma vasta lista de variedades no que respeita a sementes, o que permite a maximização da produção. A maioria destas são híbridas e apresentam resultados muito homogêneos e produções elevadas nas condições ótimas (Neves, 2014).

A cultura do milho, apesar de possuir mecanismos de defesa contra o *stress* hídrico, apresenta-se como uma cultura com elevadas necessidades de água. Nalguns estados de desenvolvimento, a possível deficiência hídrica pode interferir na produção do grão (Neves, 2014). A necessidade de água está dependente de fatores como a capacidade de retenção de água no solo, duração do ciclo genótipo, época de sementeira (relacionada aos parâmetros de evapotranspiração e precipitação), entre outros. Tendo em conta o clima português, as necessidades podem variar entre 250 a 350mm para o milho forrageiro e entre 500 e 600mm para o milho para produção de grão (Barros & Calado, 2014).

No que respeita às necessidades nutritivas do milho, destacam-se o azoto, o fósforo (principalmente sob a forma de P_2O_5) e o potássio (sob a forma de K_2O) como principais nutrientes. Contudo, também assumem grande importância os macronutrientes secundários e alguns micronutrientes (cobre e zinco). Por exemplo no caso do azoto este é de extrema importância para a maximização da produção, uma vez que aumenta o teor de proteína do grão e melhora a digestibilidade do milho forrageiro. No entanto, por ser muito solúvel torna-se muito móvel no solo, sendo perdido por lavagem (o que limita a quantidade de água usada na rega). No caso do fósforo, a sua importância encontra-se no facto de este estimular o desenvolvimento radicular, aumentar a resistência mecânica dos caules e influenciar a floração, fecundação e maturação do grão, no entanto o pH do solo influencia a absorção deste. Olhando para o potássio o seu papel principal passa por aumentar a taxa fotossintética e aumentar a resistência das plantas à secura (Barros & Calado, 2014). A título de exemplo uma produção de aproximadamente 7000kg de grão por hectare, as necessidades passam por: cerca de 160kg de N, 45kg de P_2O_5 e 125kg de K_2O (Quelhas dos Santos, 2015). O cálculo da fertilização necessária para cada um destes casos é feita tendo em consideração as características do solo, variedade de milho utilizada, clima e disponibilidade hídrica (Barros & Calado, 2014).

1.4. Impactes da agricultura no solo

Apesar de muitas vezes esquecido o seu valor, o solo é o núcleo do desenvolvimento agrícola e da sustentabilidade ecológica, servindo de base para a produção alimentar, de fibras, combustíveis, e sendo essencial a vários serviços do ecossistema (FAO, 2015). Assim como outros recursos, o solo encontra-se sobre pressões elevadas e a agricultura é um dos fatores mais importantes quando se aborda esta temática (Govers et al., 2017), isto porque ela representa a forma mais intensiva do uso do solo (Comissão Europeia, 2016).

Dos impactes da agricultura no solo destacam-se: a perda de biodiversidade superficial (associada às mobilizações, à diminuição da variedade de espécies e ao aumento do grau de intensidade de uso); modificação da estrutura do solo e suas propriedades pelas mobilizações; poluição por pesticidas, fertilizantes e sais; erosão hídrica e eólica acelerada pelas perturbações agrícolas do solo; sobrecarga de nutrientes, causada pela elevada aplicação de fertilizantes; e deterioração da qualidade do solo (Comissão Europeia, 2016).

1.5. Mobilização dos solos agrícolas

As distintas práticas agrícolas adotadas desempenham um papel de extrema importância na conservação ou degradação dos solos, influenciando os processos de degradação e fertilidade do solo pela alteração da estrutura do solo (INE, 2011). Um dos aspetos diferenciador entre os vários modelos de prática agrícola tem a ver com a mobilização dos solos. A mobilização do solo agrícola define-se como o uso de máquinas automotrizes no solo, rebocadas ou montadas na linha com o objetivo de preparação para sementeira, combate a infestantes ou criação de condições favoráveis ao desenvolvimento das culturas.

Os tipos de mobilização existentes podem ser, de forma sumária, descritos como:

- Mobilização convencional do solo – Utilização de vários equipamentos de mobilização do solo, mediante a cultura a ser realizada. Normalmente são usados processos como: aragem, gradagem, descompactação, entre outros;
- Mobilização mínima – Sistema de conservação na qual é mantida uma quantidade apreciável de resíduos da cultura anterior à superfície através do uso de alfaías de mobilização vertical, evitando o reviramento do solo ou levantamento do torrão;
- Mobilização em linha ou zona – Sistema que se aplica a culturas de entrelinha larga (p.e. milho, beterraba e girassol) onde apenas é mobilizada uma faixa relativamente estreita de solo que coincide com a linha de sementeira. Normalmente este método é considerado como intermédio entre a mobilização mínima e a sementeira direta.

- Sementeira direta – Não é feito qualquer tipo de mobilização *à priori* da sementeira, sendo esta realizada em linha. Neste caso o próprio semeador é que mobiliza apenas o necessário para o desenvolvimento da semente e deixando a entrelinha não perturbada (com os resíduos da colheita anterior) com o objetivo de proteger o solo contra a erosão.

Dados do recenseamento agrícola efetuado em Portugal em 2009 ilustram quais os diferentes tipos de mobilização adotados no contexto nacional e regional (Figura 3 e 4, respetivamente).

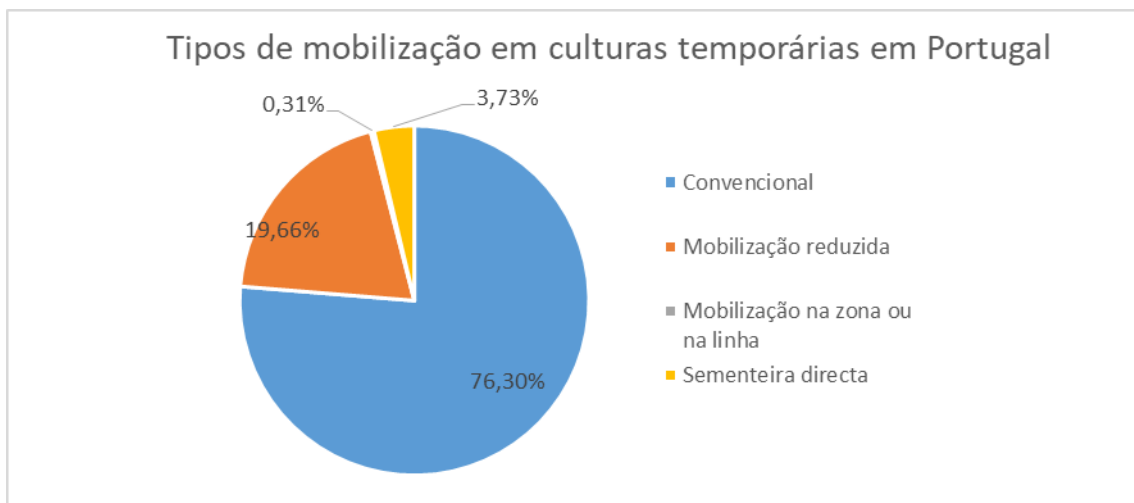


Figura 3 - Implementação dos diferentes tipos de mobilização em Portugal (Fonte: INE, 2009).

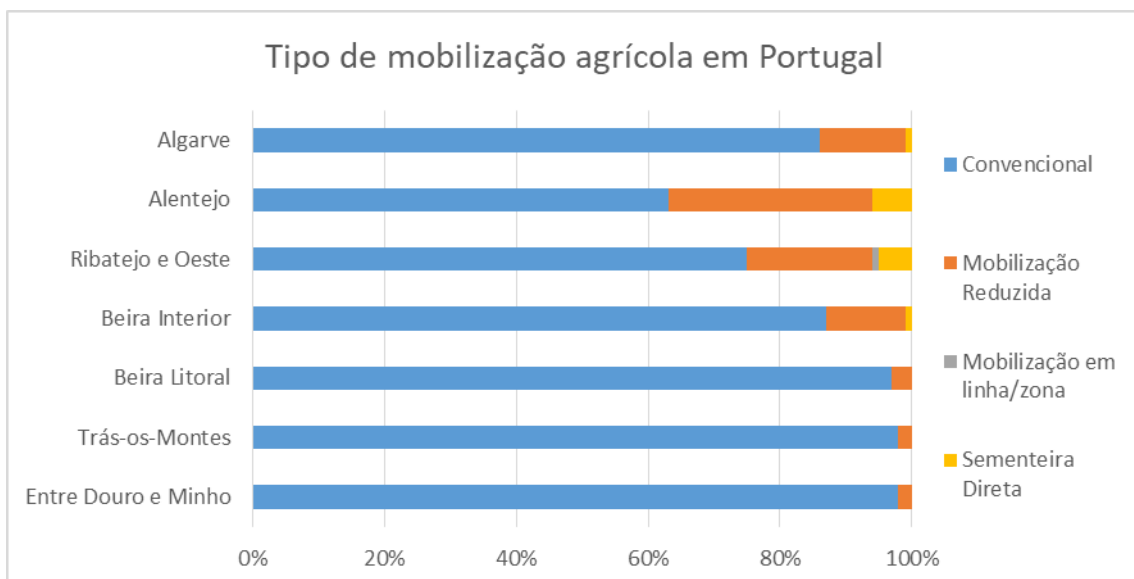


Figura 4 - Importância do tipo de mobilização agrícola por região de Portugal (Fonte: INE, 2009).

Assim é perceptível que em Portugal, no que respeita a culturas temporárias, o tipo de mobilização agrícola dominante é a convencional (INE, 2009).

A nível regional, as práticas de conservação do solo possuem maior expressão no centro e sul, nomeadamente Alentejo e Ribatejo. Isto verifica-se devido à importância que a produção agrícola tem na região, aliada à topografia favorável, à prática da mesma à larga escala e ao uso de culturas no qual o uso de técnicas deste género é viável/possível (Barros & Calado, 2014).

1.6.O Projeto Milho Amarelo

O projeto Milho Amarelo resulta da colaboração de várias entidades, entre elas a empresa agrícola Quinta da Cholda, o Instituto Superior de Agronomia, a Universidade de Aveiro, a Consulai – Consultoria Agro-Industrial, Lda, e a Agrotejo – União Agrícola do Norte do Vale do Tejo. Este projeto está a ser realizado no âmbito da Medida 4.1 «Cooperação para a Inovação», integrada no Subprograma n.º 4 «Promoção do Conhecimento e Desenvolvimento de Competências» do Programa de Desenvolvimento Rural do Continente (PRODER).

A ser desenvolvido numa zona de cultura intensiva de milho (Quinta da Cholda, Azinhaga, Santarém), o projeto Milho Amarelo – Agricultura intensiva e biodiversidade (2014-2018), nasce da compreensão da importância que os ecossistemas agrícolas e a gestão dos recursos têm nos impactos associados à atividade agrícola. Neste sentido, o projeto objetiva a implementação de modelos de gestão de biodiversidade de baixo custo de modo a que estes possam ser replicados. Os objetivos passam pela: i) Valorização dos espaços marginais da exploração com finalidade de aumentar a biodiversidade; ii) Identificação e desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade relativos à atividade agrícola; iii) Aumento da resiliência da atividade agrícola, do ponto de vista das alterações climáticas; iv) Conhecimento dos fenómenos dinâmicos do solo; v) Aplicação de novas metodologias a diferentes parcelas; vi) Divulgação e comunicação dos principais resultados do projeto aos agentes do setor.

Com a aplicação de várias medidas que permitam obter os resultados, esperam-se então vantagens em vários pontos importantes que afetam diretamente a produção, por exemplo: a melhoria da qualidade dos solos; Diminuição da erosão e dos consumos médios de adubos; Aumento da eco-eficiência; Aumento da biodiversidade animal e vegetal (Consulai, 2015).

De um modo geral, os resultados obtidos sobre os impactos podem fornecer uma noção a médio e longo prazo da necessidade de medidas de gestão. Estudos realizados nesta temática possuem um papel preponderante na zona central de Portugal, onde este tipo de agricultura e práticas estão mais presentes. No entanto a aplicabilidade deste tipo de medidas pode ser adaptada para outras culturas e implementada de modo a que resultados semelhantes sejam obtidos. Por outro lado,

estudos deste género são um incentivo à consideração da produção intensiva de milho como oportunidade de acrescentar valor à produção por via da gestão da biodiversidade (Consulai, 2015).

1.7. Objetivos

Desenvolvido no âmbito do projeto Milho Amarelo, o presente estudo teve como principal objetivo compreender o impacto de diferentes tipos de práticas agrícolas na qualidade do solo em áreas de cultura intensiva de milho. Em particular, pretendeu-se comparar as implicações do modelo convencional *versus* sementeira direta na qualidade do solo em dois momentos distintos da cultura (antes da sementeira e após a colheita). Pretendeu-se ainda avaliar de que modo a gestão atual da área de estudo, com a implementação de faixas herbadas, áreas de sequeiro e áreas de pousio, está a contribuir para a sustentabilidade do solo e biodiversidade associada. Para este efeito, adotou-se uma abordagem integrativa onde foram avaliados os impactes das diferentes práticas agrícolas e modos de gestão nos parâmetros físicos, químicos e biológicos, permitindo de modo mais robusto e holístico inferir acerca das suas implicações na qualidade dos solos.

1.8. Estrutura da dissertação

A nível estrutural, este trabalho divide-se em 3 partes principais.

O primeiro e presente capítulo, aborda de forma geral a temática dos solos, do setor agrícola, a cultura o milho, as implicações da agricultura no solo, os vários modelos de mobilização de solos e apresenta o projeto Milho Amarelo

No segundo capítulo, primeiramente contextualiza-se a problemática com um breve estado da arte. Seguidamente são apresentados os materiais, métodos e metodologia usada levando à secção de apresentação e discussão de resultados obtidos e à secção das conclusões.

Por último, o terceiro capítulo tece algumas considerações finais sobre o presente estudo e sugestões para futuros trabalho no âmbito da temática abordada.

1.9. Referências Bibliográficas

- Avillez, F. (2015). *A Agricultura Portuguesa*. (Fundação Francisco Manuel dos Santos, Ed.) (1st ed.).
- Barros, J., & Calado, J. (2014). *A Cultura do Milho*. Évora.
- Castelo, R. J. G. (2009). *Análise dos Tecnologias Utilizadas na Cultura do Milho na Lezíria de Vila Franca de Xira. Estudo de caso*. Universidade Técnica de Lisboa.
- Comissão Europeia. DIRECTIVA DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO que estabelece um quadro para a protecção do solo e altera a Directiva 2004/35/CE, 0086 § (2006).

- Comissão Europeia. (2013). A Política Agrícola Comum, 1–14. <https://doi.org/10.2762/36576>
- Comissão Europeia. (2016). *Soil biodiversity atlas*. <https://doi.org/10.2788/2613>
- Consulai. (2015). Milho Amarelo - Agricultura intensiva e biodiversidade.
- FAO. (2015). Soil is a non-renewable resource. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i4373e.pdf>
- FAO. (2017). *The future of food and agriculture: Trends and challenges*. FAO. [https://doi.org/ISBN 978-92-5-109551-5](https://doi.org/ISBN%20978-92-5-109551-5)
- Govers, G., Merckx, R., Van Wesemael, B., & Van Oost, K. (2017). Soil conservation in the 21st century: Why we need smart agricultural intensification. *Soil*, 3(1), 45–59. <https://doi.org/10.5194/soil-3-45-2017>
- INE. (2011). *Recenseamento Agrícola*. Lisboa.
- Krstic, D., & Djalovic, I. (2001). Aluminium in Acid Soils : Chemistry , Toxicity and Impact on Maize Plants. Serbia.
- Ministério da Agricultura e do Mar. (2013). Breve Introdução sobre os OGM.
- Neves, C. S. F. (2014). *CONTROLO DE INFESTANTES NA CULTURA DE MILHO BIOLÓGICO*. Politécnico de Coimbra.
- OCDE. (2010). Agricultural policies and rural development. A synthesis of recent OECD work, 60.
- Quelhas dos Santos, J. (2015). *Fertilizantes*. (Publindústria, Ed.).
- Scheartzkopf, C. (1972). Potassium, Calcium, Magnesium - How They Relate to Plant Growth.

2. Capítulo 2

É no âmbito do projeto Milho Amarelo apresentado no capítulo anterior (secção 1.6) que se tornou possível realizar o estudo prático que é apresentado nas secções seguintes.

2.1. *Resumo*

Os impactes da agricultura intensiva são cada vez mais estudados com o intuito da sua minimização. Tendo isto em conta, o estudo do impacte de diferentes práticas agrícolas pode ajudar na escolha da prática a utilizar de modo a reduzir os efeitos na qualidade do solo. Para isso, passou por objetivo para este estudo perceber o modo como diferentes práticas influenciam a qualidade do solo, com especial ênfase na comparação dos métodos de sementeira direta e convencional, tendo como objeto de estudo a cultura intensiva do milho. Por outro lado, também se procurou perceber a interferência na sustentabilidade e biodiversidade de outras práticas implementadas na área de estudo, como é o caso das faixas herbadas, áreas de sequeiro e áreas de pousio. Nesta avaliação, foram realizados diferentes parâmetros físico-químicos (densidade aparente, pH, condutividade elétrica, capacidade de campo, matéria orgânica, nutrientes) e biológicos (atividade da fosfatase, atividade da urease, atividade da invertase e ensaios com organismos do solo), que permitiram inferir as implicações que cada prática proporciona. Dos resultados obtidos, salienta-se a existência de diferenças significativas para parâmetros químicos e nutrientes, observadas entre as distintas práticas. Na comparação entre a prática de sementeira direta com a convencional, verificam-se valores médios superiores para a matéria orgânica, capacidade de troca catiónica, azoto, fósforo total e disponível, nitratos, cálcio, cobre, zinco, ferro, manganês, atividade da urease e atividade da invertase. Os valores obtidos salientam a possibilidade da implementação de práticas agrícolas não convencionais como modo de promover a sustentabilidade do solo, assim como diferentes modelos adjacentes a áreas convencionais influenciam na qualidade do solo e diversificação.

Palavras-chave: Agricultura intensiva, milho, práticas agrícolas, sementeira direta, qualidade do solo.

2.2. *Abstract*

The impacts of intensive agriculture are increasingly studied with the aim of minimizing them. Taking this into account, the study of the impact of different farming practices can help choosing the practice to use in order to reduce the effects on soil quality. The objective of this study was to understand how different practices influence soil quality, with special emphasis on the comparison of no-till and conventional methods, with intensive corn cultivation as the object of study. On the other hand, it

was also tried to understand the interference in the sustainability and biodiversity of other practices implemented in the study area, as is the case of herbaceous zones, rainfed areas and fallow areas. In this evaluation, different physical-chemical parameters (bulk density, pH, electrical conductivity, field capacity, organic matter, nutrients) and biological parameters (phosphatase activity, urease activity, invertase activity and soil organisms tests) were performed, which allowed us to infer the implications that each practice provides. From the obtained results, it is emphasized the existence of significant differences for chemical and nutrient parameters, observed between the different practices. In the comparison between the direct and conventional sowing practices, higher average values for organic matter, cation exchange capacity, nitrogen, total and available phosphorus, nitrates, calcium, copper, zinc, iron, manganese, urease activity and invertase activity. The values obtained highlight the possibility of implementing unconventional agricultural practices as a way to promote soil sustainability, as different models adjacent to conventional areas influence soil quality and diversification.

Keywords: Intensive agriculture, maize, agricultural practices, no-till, soil quality.

2.3. Introdução

A agricultura constitui uma das atividades com maior impacto nos solos (Comissão Europeia, 2016). Diferentes práticas agrícolas influenciam de modo distinto as propriedades do solo, os processos que nele ocorrem e conseqüentemente a sua produtividade. Além disso, A agricultura é igualmente um dos principais fatores responsáveis pelos processos erosivos no solo (Pareja-Sánchez et al., 2017).

A avaliação dos impactes causados pela agricultura é muitas vezes assumida como um desafio, isto porque são muitos os processos que afetam as propriedades do solo e por estes se encontrem relacionadas entre si (Aziz et al., 2013).

Segundo a FAO (2009), os sistemas de produção (práticas agrícolas) dividem-se em 4 tipos principais: convencional, mobilização mínima, mobilização em zona/linha e sementeira direta. Em Portugal, o modo de produção mais utilizado é o convencional representando cerca de 76%, enquanto que a sementeira direta representa apenas 4% (INE, 2011). Recentemente, os sistemas de agricultura de conservação (mobilização mínima, sementeira direta, entre outros) têm vindo a ser implementados devido à sua importância na mitigação da degradação do solo resultantes do seu uso intensivo (de Andrade Bonetti et al., 2017; Pareja-Sánchez et al., 2017; Plaza-Bonilla et al., 2013).

A sementeira direta é vista como uma técnica que permite aproximar o sistema de produção à sustentabilidade e às preocupações ambientais (Blanco-Canqui, 2018), promovendo ao mesmo tempo a redução dos custos de produção (principalmente pela redução de etapas no processo produtivo) (Karlen et al., 2013) e a melhoria nas propriedades do solo e conseqüentemente a sua qualidade no médio-longo prazo (Aziz et al., 2013). De acordo com Blanco-Caqui (2018), a sementeira direta provoca melhorias nas propriedades do solo, quer a médio quer a longo prazo, no entanto nem todas as propriedades sofrem alteração com a mudança da prática. Por exemplo, a sementeira direta, os estudos indicam que esta pode melhorar a qualidade do solo e a sua estabilidade, bem como reduzir a vulnerabilidade à compactação, aumentar a eficiência no transporte de água e nas variações da temperatura, assim como promover a infiltração da água. No entanto, outros parâmetros, como por exemplo a densidade aparente e a resistência à penetração podem aumentar, diminuir ou até permanecerem sem alteração (Blanco-Canqui, 2018). De facto, as práticas de agricultura de conservação promovem o aumento da quantidade de minhocas e biodiversidade no geral (Pelosi et al., 2014), promovendo o bom funcionamento estrutural do solo devido à não alteração vertical da distribuição dos organismos quando determinadas etapas são realizadas (Roger-Estrade et al., 2010). Estudos indicam que após 20 anos de sementeira direta, a atividade biológica é estimulada, ocorrendo a formação de macroagregados estáveis em água, o que melhora a qualidade do solo com benefícios para a cultura (e.g. Pareja-Sánchez et al., 2017). Em suma, no caso da sementeira direta, os vários estudos demonstram que esta prática

tem uma influência positiva na maioria das propriedades físicas do solo (Blanco-Canqui, 2018).

Quanto à prática da faixa (ou banda) herbada, esta passa pela criação de um contorno à área de cultura cujo objetivo é aumentar a biodiversidade, através do uso de espécies benéficas para polinizadores, sendo área de refúgio e alimentação. Ao mesmo tempo, este tipo de prática é também um aliado ao combate direto da erosão, uma vez que serve de barreira ao vento e ao mesmo tempo barreira à perda de sedimentos por escoamento.

A prática de sequeiro, tendo já sido das mais importantes, representa atualmente uma pequena percentagem da produção, acima de tudo motivada pela evolução e modernização da tecnologia que levou à troca pela prática de regadio (Costa, 2017). A agricultura de sequeiro pode definir-se como o cultivo dependente da ocorrência de precipitação (Sousa, 2016) e é prática comum em locais com baixa precipitação anual, normalmente inferior a 500mm (Quaranta, 2004). A agricultura de sequeiro caracteriza-se pelos baixos *inputs* de fertilizantes químicos e pesticidas, e pelo uso de espécies de maior resistência ao défice hídrico e tolerantes à seca fazendo com que esta apresente elevada dependência de fatores como o clima e a capacidade do solo de reter água (Cambaza, 2007).

Os resultados obtidos nos estudos realizados sobre as práticas agrícolas, como já referido, dependem de inúmeros fatores como: a prática utilizada, a duração da mesma, o tipo de cultura, o clima, textura do solo, entre outros (Blanco-Canqui, 2018). Apesar das reconhecidas vantagens dos métodos de conservação, a reduzida informação sobre o uso destas práticas, influencia a sua aplicação por parte do agricultor (Pareja-Sánchez et al., 2017). Igualmente, dado que os efeitos da aplicação destas práticas apenas se refletem a médio-longo prazo, constitui uma barreira à sua aplicação. Outra limitação para a implementação a maior escala é devida à alteração dos modos de produção constituírem uma mudança cultural difícil de mudar (Karlen et al., 2013).

Neste contexto, o presente trabalho teve como principal objetivo avaliar as implicações de diferentes tipos de práticas agrícolas, nomeadamente a sementeira direta e o método convencional, na qualidade do solo agrícola associado à cultura intensiva de milho através de uma abordagem integrativa que inclui parâmetros físico-químicos e biológicos. Foi ainda objetivo do presente estudo avaliar de que modo a implementação de faixas herbadas, áreas de sequeiro e áreas de pousio, contribui para a sustentabilidade do solo e biodiversidade associada, compensando os impactos da cultura intensiva de milho.

2.4. Material e métodos

Neste capítulo é apresentada a caracterização da área de estudo e são descritos os procedimentos de amostragem. Seguidamente apresenta-se a metodologia

laboratorial utilizada na análise dos vários parâmetros de caracterização do solo. Estes resultados dividem-se em 2 partes, análises físico-químicas e análises biológicas.

2.4.1. Área de estudo e sua caracterização

A área de estudo situa-se na freguesia de Azinhaga, concelho da Golegã, no distrito de Santarém (Figura 5). A área corresponde a uma zona de cultura de milho intensiva com aproximadamente 70 hectares implementada há cerca de 30 anos. A área de estudo compreende cinco zonas com gestão agrícola distinta, sendo elas: i) agricultura convencional (C); ii) sementeira direta (SD); iii) faixa herbada (F); iv) sequeiro (S); v) pousio (P) (Figura 6).

O solo na área de estudo caracteriza-se, segundo a classificação da FAO, como um Fluviossolo, constituído pela estratificação de depósitos fluviais (Ferreira, 1991).

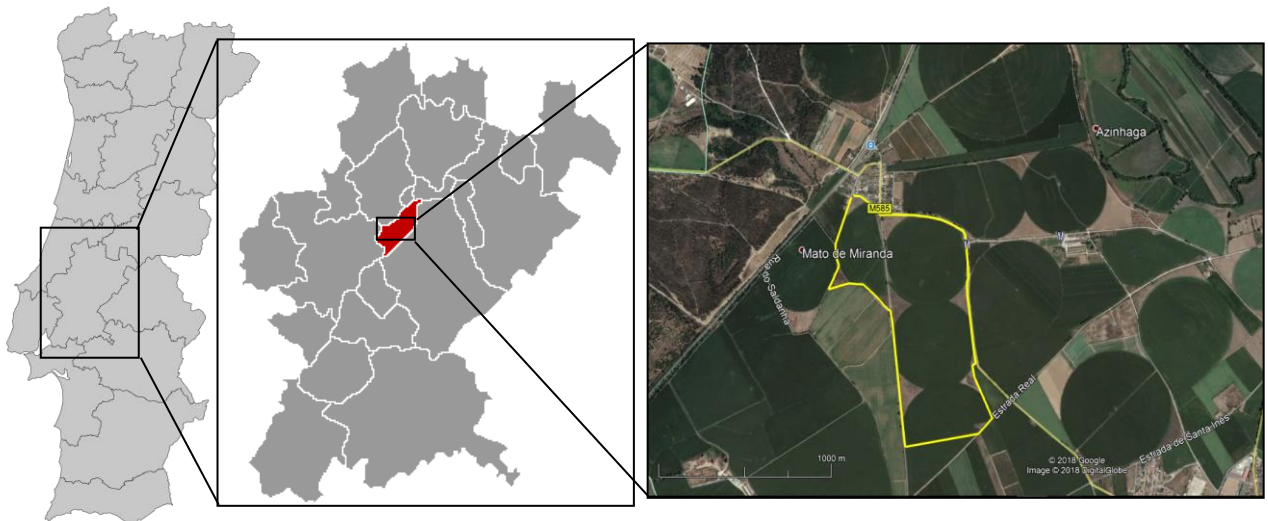


Figura 5 – Localização da área de estudo no concelho da Golegã (identificado a vermelho) onde se localiza a Quinta da Cholda e a amarelo a limitação da área de estudo.

Cada tipo de gestão agrícola, implica um conjunto distinto de práticas. No método convencional são realizadas várias etapas de preparação do solo para a sementeira (gradagem, fresagem, sacha, entre outros), sendo mobilizados em média cerca de 30cm de solo anualmente. De cinco em cinco anos é realizada uma subsolagem que pode chegar aos 50 cm na prática convencional, na faixa herbada e nas áreas de sequeiro. No método de sementeira direta implementada no local há cerca de 20 anos, apenas é utilizado um semeador específico (pneumático) que realiza a sementeira sem necessidade de operações de preparação do solo. No caso da prática de sequeiro são aproveitados os espaços marginais à área de irrigação para culturas com baixas necessidades de água, uma vez que a área não é abrangida pelo sistema de rega. A faixa herbada é o conjugar de diferentes espécies vegetais, sendo usada como

um promotor de biodiversidade através da criação de zonas de refúgio para fauna e flora. O pousio corresponde a uma área não cultivada nem mobilizada há mais de 30 anos. Quer as zonas de agricultura convencional, quer a zona de sementeira direta possuem *pivots* de irrigação automatizados.



Figura 5 - Mapa da área de estudo na Quinta da Cholda, com a identificação das distintas zonas de gestão agrícolas e dos pontos de amostragem.

2.4.2. Campanhas de amostragem

A amostragem do solo ocorreu antes do início das mobilizações de preparação do solo (6 de abril de 2017) e após a colheita do milho (23 outubro de 2017). Para cada

um dos 5 tipos de gestão (convencional, sementeira direta, faixa herbada, sequeiro e pousio) foram recolhidas 3 réplicas. Deste modo, por campanha foram recolhidas 15 amostras (3 réplicas x 5 zonas). Por cada amostra foram recolhidos cerca de 2kg de solo nos primeiros 20cm, resultantes de uma amostragem composta devidamente homogeneizada. Após a amostragem, as amostras foram secas ao ar (à temperatura ambiente) e depois crivadas por crivo de 2 mm, sendo posteriormente armazenadas até à análise.

Com o objetivo de compreender os fatores que podem condicionar os parâmetros analisados, foram recolhidas informações sobre as adubações e aplicação de produtos fitofarmacêuticos realizadas no período em que ocorreram as campanhas de amostragem (Tabela 1).

Tabela 1 - Síntese das adubações e aplicação de produtos fitofarmacêuticos no decorrer da campanha de amostragem de 2017 (dados fornecidos pelo produtor).

<i>Tipo</i>	<i>Aplicação</i>	<i>Época</i>	<i>Quantidade</i>	<i>Unidade</i>
Adubação fundo	Cloreto de Potássio	Sementeira	100,0	(kg/ha)
Adubação fundo	Sulfamid (N+S)	Sementeira	150,4	(kg/ha)
Adubação em linha	DAP 18.46.0 (N+P)	-	176,0	(kg/ha)
Adubação cobertura	Sulfamid (N+S)	-	249,0	(kg/ha)
Adubação cobertura	Nitrogel Z 30.0.0	Pré-floração	154,0	(kg/ha)
Adubação cobertura	Nitrogel Z 30.0.0	Pós-floração	154,7	(kg/ha)
Herbicida	Touchdown premium	Pré-emergência	2,0	(L/ha)
Herbicida	Lumax	Pós-emergência precoce	4,0	(L/ha)
Inseticida	Karate Zeon	Pós-emergência precoce	0,1	(L/ha)

Ao todo, da aplicação dos produtos acima referidos, podem ser calculadas as quantidades dos principais elementos adicionados ao solo, sendo estes resumidos na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados do cálculo de nutrientes adicionados ao solo pelos processos de fertilização, para o azoto, fósforo e potássio (dados fornecidos pelo produtor).

<i>Elemento</i>	<i>Valor (kg/ha)</i>	<i>Valor (mg/kg solo)</i>
N total aplicado	313,0	116,8
P total aplicado	80,9	30,2
K total aplicado	60,0	22,4

Quanto às condições climatéricas observadas no ano de 2017, este caracterizou-se por um ano seco e quente, com uma média de temperaturas de cerca de 18°C e valores de precipitação de 295 mm para o período de estudo (Figura 7) (PORDATA, 2018). Estes valores são referentes à estação hidrométrica da Chamusca, a cerca de 7 km da área de estudo.

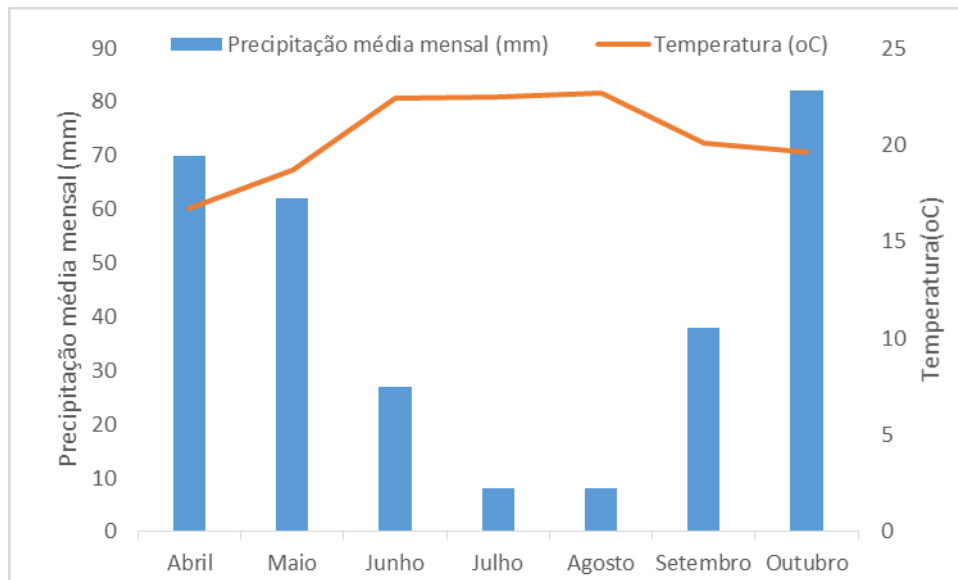


Figura 6- Valores de precipitação e temperatura médias em 2017, para a estação da Chamusca, no período de estudo. Fonte: Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, SNIRH, 2018

2.4.3. Parâmetros Físico-químicos

No que respeita às análises físico-químicas, os parâmetros calculados foram a densidade aparente, a humidade, a textura, a capacidade de campo, o pH, a condutividade elétrica, a matéria orgânica, a capacidade de troca catiónica e a concentração de vários nutrientes. As análises, sempre que possível, foram realizadas seguindo normas internacionais ou metodologias comprovadas e utilizadas em análises de solo.

2.4.3.1. Densidade aparente

A densidade aparente do solo foi calculada pelo método volumétrico de Hidnert & Peffer (1950), cujo princípio assenta sobre o conhecimento do volume (cm^3) de uma determinada massa (g) de solo. Para isto foi usado um cilindro de metal de volume conhecido (208 cm^3 aproximadamente), na qual foi realizada a amostragem de solo e posteriormente calculada a massa de solo seco (ss) presente no mesmo.

2.4.3.2. Humidade

A humidade foi obtida seguindo a norma internacional ISO 11465 (1993), baseando-se na perda de água de uma massa conhecida de solo após secagem na

estufa a 105 °C. A humidade é usada para conversão para base seca e para ajustes da capacidade de retenção nos ensaios com organismos.

2.4.3.3. *Textura*

Para a determinação da textura do solo usou-se uma adaptação de Guitian and Carballas (1976). Assim, em 20 g de solo crivado a 2 mm foi feita a remoção da matéria orgânica por peróxido de hidrogénio, seguidamente foi seca e efetuada a crivagem a 0,05 mm do solo (já sem mat. orgânica) para a remoção da percentagem de areia e por fim a porção de silte e argila calculada através de sedimentação em provetas de 1 litro e tendo em conta os tempos de sedimentação tabelados de cada uma das frações.

2.4.3.4. *Capacidade de campo*

A capacidade de campo foi calculada usando 10 g de solo. O solo foi colocado num cilindro cujo fundo é revestido com uma membrana permeável (de filtro) e posteriormente todo o conjunto foi colocado em água de modo a permitir a saturação do solo. Após a confirmação de que o sistema atinge o equilíbrio e se encontra saturado, este é fechado superiormente para evitar perdas por evaporação e colocado sobre uma superfície que permita a escorrência da água para que o excesso possa ser drenado por gravidade, resultando apenas o solo e a água retida por capilaridade. No final o solo foi seco a 105 °C e a diferença entre as massas de solo drenado e o solo seco corresponde à massa de água retida pelo solo.

2.4.3.5. *pH*

Para o pH foi usada a norma ISO 10390 (2005), que realiza a medição do pH após agitação em recipientes fechados, de uma suspensão de proporção 1:5 [solo/solução] em água destilada, tendo sido usados 10 g de solo. Para as leituras foi usado o medidor *Fisher Scientific Accumet – Model 50 pH Meter*.

2.4.3.6. *Condutividade elétrica*

A medição da condutividade elétrica nas amostras realizou-se usando a ISO 11 265, onde à semelhança da medição do pH é feita a leitura num extrato filtrado (após agitação) de uma proporção 1:5 [solo/solução] em água destilada para a dissolução dos eletrólitos. Para isso foram usadas 10 g de solo e as leituras foram realizadas usando o condutímetro *Consort C861*, em $\mu\text{S}/\text{cm}$.

2.4.3.7. *Matéria Orgânica*

Para a matéria orgânica foi usado o método de “perda por ignição” (ou calcinação) adaptado de Davies (1974), método no qual a amostra em cadinhos é sujeita a altas temperaturas, causando a ignição da fração orgânica e resultando apenas a fração mineral da amostra. Neste método foram usadas 10 g de solo crivado

(a 2 mm) que após secagem foram calcinadas na mufla a 550 °C durante 4 h. O conteúdo em MO é expresso em g/100 g ss (%).

2.4.3.8. Capacidade de troca catiónica

A capacidade de troca catiónica foi calculada usando como norma de referência a ISO 23 470 (2007), pelo método da determinação de cobalto por espectrofotometria de absorção atômica de chama. O princípio desta norma baseia-se na troca dos catiões da amostra com os iões de hexaaminacobalto (III) em solução aquosa por agitação durante 60±5 min. A CTC é calculada pela diferença entre a quantidade inicial de hexaaminacobalto na solução e a quantidade ainda existente após a reação de troca. Foram usadas 5 g de solo, que após agitação passam por um processo de filtração, diluição (apenas em alguns casos) e finalmente a leitura de absorvância no equipamento GBS 904AA. A CTC é expressa em centimol de catiões por massa de solo seco (cmol+/kg ss).

A norma refere também a metodologia para o cálculo dos catiões permutáveis, como por exemplo Al^{3+} , Ca^{2+} , Fe^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Mn^{2+} e Na^+ , no entanto, já tendo realizado os nutrientes por Mehlich 3 e por fatores temporais apenas foi analisado o catião alumínio (mg Al/ kg ss).

2.4.3.9. Nutrientes

Para a análise de nutrientes biodisponíveis foi usado o método de Mehlich-III (extração de elementos), publicado por Carter (1993). Nesta metodologia é realizada a extração por agitação de 5 g de amostra em 50 ml de solução de Mehlich, seguida de uma filtração, de diluição e leitura. Os elementos analisados foram: Ca, Mg, K, Cu, Zn, Fe, Mn e Al sendo realizada a determinação por espectrofotometria de absorção/emissão atômica de chama e com ou sem diluição tendo em conta as especificações do equipamento. As leituras de absorvância/emissão decorreram num GBS 904AA usando lâmpadas de cátodo oco respetivas ao elemento a analisar.

Quanto ao azoto, foi quantificado pelo método de Kjeldahl, tendo por base o protocolo Foss Application Note 300 referente ao equipamento utilizado. Também foi determinado o conteúdo em nitratos, pelo método do ácido salicílico, na qual se adiciona uma solução de ácido salicílico a 0,2 g de solo seco, e na qual após agitação é adicionado hidróxido de sódio e feita a leitura a 410 nm.

Os fósforos total e disponível foram determinados após extração de diferentes alíquotas de solo, respetivamente: calcinação a 450 °C de 0,2 g ss seguido de solubilização com HCl 3.5 M e solubilização de 2 g ss com H_2SO_4 0,2 N na presença de $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$, respetivamente. Em ambos os casos, a quantificação do fósforo dissolvido realizou-se pelo método espectrofotométrico de visível do azul de molibdénio, ao comprimento de onda de 880 nm num espectrofotómetro *pg instruments t80+*.

Os nutrientes são expressos em mg elemento/kg ss.

2.4.4. Análises Biológicas

As análises biológicas, estão divididas em dois tipos de parâmetros distintos: i) os ensaios de reprodução com organismos do solo; ii) medição da atividade enzimática. Os ensaios de reprodução incluíram duas espécies: *Eisenia fetida* (minhoca) e *Folsomia candida* (colêmbolo). Estes organismos foram selecionados pois desempenham importantes funções no solo e têm-se revelado bons indicadores de qualidade do solo. A medição da atividade enzimática foi realizada para diferentes enzimas que influenciam processos distintos (e.g. ciclo de nutrientes, decomposição de matéria orgânica, etc.).

2.4.4.1. Parâmetros Ecotoxicológicos (Ensaio de reprodução)

Para os ensaios de reprodução foram usados organismos que estão presentes nos solos, tendo sido usadas normas ISO, nomeadamente: ISO 11267 (1999) (*Folsomia candida* – colêmbolo) e ISO 11268 (1996) (*Eisenia fetida* – minhoca). Para ambos os ensaios, o princípio passa pela colocação de 10 organismos de determinada idade e posterior contagem após determinado período de exposição ao solo. O procedimento usado é uma adaptação da ISO e teve por objetivo a avaliação comparativa entre a reprodução de organismos quando expostos a solos de cada tipo de gestão agrícola. O ensaio decorreu em condições ideais, isto é, com nulas variações de temperatura, com ajuste de humidade e alimentação segundo as especificações da ISO. Os resultados foram expressos em número de indivíduos contabilizados.

2.4.4.2. Atividade enzimática

No que diz respeito às enzimas, estas têm elevada influência na decomposição de matéria orgânica e no ciclo de nutrientes, sendo influenciadas pelo tipo de cultura. As enzimas analisadas foram as seguintes: atividade da urease; atividade da fosfatase; e atividade da invertase. Para além dos parâmetros já referidos, foi realizada a mineralização do azoto. A descrição dos parâmetros seguintes possui como base a metodologia de Schinner et al. (1996).

Em relação à fosfatase (relacionada ao ciclo do fósforo) foi usado um método na qual é adicionada uma solução tampão (p-nitrophenyl phosphate – pNP-phosphate) em amostras de solo que são encubadas 2 horas a 35 °C. O p-nitrophenol libertado pela reação com a fosfomonoesterase é extraído por hidróxido de sódio, criando uma coloração amarela que é mensurável por espectrofotometria de visível a 405 nm. Para este cálculo foi usado 1 g de solo seco e após adição de tampão, incubação e adição de reagentes, foi então medida a absorvância, tendo sido usado um leitor de microplacas para o efeito. O resultado é expresso em $\mu\text{g pNP g}^{-1} \text{ms h}^{-1}$.

A invertase (associada ao ciclo do carbono) parte do princípio na qual, em 1 g de solo, os açúcares redutores produzidos na incubação (24 h a 50 °C e pH 5.5)

provocam a redução do hexacianoferrato (III) numa solução alcalina, cujo produto reage com o sulfato de amónio férrico, formando um complexo férrico de hexacianoferrato (II) de coloração azul, que é posteriormente analisado por espectrofotometria de visível a 690 nm. O resultado é expresso em $\mu\text{g GE}\cdot\text{g}^{-1}\text{ms}\cdot 24\text{h}^{-1}$, onde GE são equivalentes de glucose.

Para a medição da atividade da urease no solo, também em 1 g de solo, foi adicionada uma solução tampão de ureia e feita a incubação a 37 °C durante 2 h. À amónia libertada é feita uma extração com cloreto de potássio e determinada por reação de Berthelot modificada. O valor é expresso em $\mu\text{gNH}_4^+\cdot\text{g}^{-1}\text{ms}\cdot 2\text{h}^{-1}$.

Na análise da mineralização do azoto incubou-se 1 g de solo durante 7 dias a 40 °C, período no qual a fração orgânica do azoto origina a formação de azoto inorgânico (principalmente NH_4^+) determinado por reação de Berthelot modificada, após extração com cloreto de potássio, sendo posteriormente analisado. O resultado é expresso em $\mu\text{gN}\cdot\text{g}^{-1}\text{ms}\cdot\text{d}^{-1}$.

2.4.5. *Análise estatística de resultados*

Os resultados obtidos foram estatisticamente analisados através do *software* SigmaPlot for Windows Version 12.5. Com o objetivo de verificar a existência de diferenças significativas específicas entre as cinco práticas agrícolas distintas (fator 1), entre as duas campanhas de amostragem (fator 2) e a interação entre fatores, recorreu-se à análise de variância de duas vias (Two-way ANOVA), ver Anexo 1. Posteriormente, foi utilizado o teste de comparações múltiplas de Tukey para detetar diferenças específicas entre os tratamentos. Foram ainda analisadas as correlações entre os parâmetros analisados. As diferenças foram consideradas significativas para um $p < 0,05$.

2.5. *Resultados*

Nesta secção apresentam-se os valores obtidos na determinação dos diferentes parâmetros físico-químicos e biológicos. É de relembrar, o facto de as amostragens terem sido realizadas em triplicado por prática agrícola, uma antes do início das mobilizações e outra após a colheita do milho.

Os resultados das Tabelas 4 e 5 apresentam os resultados numéricos da análise ANOVA de duas vias: os valores de graus de liberdade (G.L.), a variância das médias dos grupos dividida pela média da variância do grupo (f) e o p -value (p). Para cada parâmetro são apresentados os valores obtidos de G.L., f e p . Estes valores são analisados para o tipo de prática, amostragem e interação entre o tipo de prática e amostragem. Nesta análise é testada: a existência de diferenças significativas na comparação das 5 práticas em estudo; a existência de diferenças significativas entre o total da 1ª e 2ª amostragem; e as interações entre os dois fatores, nomeadamente

entre amostragens para diferentes práticas e amostragens para a mesma prática. Ainda na tabela estão realçados os valores, através de cores, ou seja, os valores de p realçados por cor apresentam diferenças significativas tendo em conta a fonte de variação para o parâmetro específico. Com base nos resultados obtidos na ANOVA foi realizada nos gráficos a diferenciação através do uso de letras (maiúsculas e minúsculas), de modo a realçar as diferenças entre os valores obtidos.

Nas Figuras 8, 9, 10 e 11 são apresentados os valores médios dos resultados dos parâmetros analisados e as respetivas incertezas, expressas pelo desvio-padrão. Nesta representação é incluída a análise de significâncias através de letras maiúsculas que representam as diferenças significativas para $p < 0,05$ entre as 2 estações de amostragem dentro de cada prática, e letras minúsculas que representam as diferenças significativas para $p < 0,05$ entre os diferentes tratamentos para cada um dos períodos de amostragem. Em suma, as letras maiúsculas são usadas para comparar a diferença entre a 1ª e 2ª amostragem para uma mesma prática, isto é, diferentes letras maiúsculas significam diferenças significativas entre a amostragem pré-mobilização e a amostragem pós-colheita. No caso das letras minúsculas, estas comparam uma mesma amostragem para diferentes tipos de prática, ou seja, comparam-se entre as barras da 1ª amostragem e entre as barras da 2ª amostragem, separadamente. À leitura gráfica temos associado que diferentes letras representam diferenças significativas entre os valores comparados, quando comparadas com a amostragem ou prática equivalente.

Nas duas subsecções seguintes é realizada a descrição sumária dos resultados e da análise estatística, pelos seguintes tópicos:

- i. significância ($p < 0,05$) das diferenças no que respeita ao tipo de prática;
- ii. significância ($p < 0,05$) das diferenças para as duas amostragens dentro de uma mesma prática;
- iii. significância ($p < 0,05$) das diferenças entre práticas em cada uma das amostragens separadamente.

2.5.1. Análises físico-químicas

Como se pode observar na Tabela 3, a textura apresentou os valores maioritariamente na gama dos solos franco-argilo-arenosos. Salientam-se os valores de textura do solo de pousio, que pelo seu maior conteúdo em argila se classifica como solo argiloso ou muito argiloso.

Tabela 3 - Caracterização da textura média do solo para os diferentes tipos de práticas analisadas.

<i>Prática</i>	<i>%Areia</i>	<i>%Argila</i>	<i>%Silte</i>	<i>Caracterização</i>
Convencional	57,7%	35,5%	6,9%	Argilo-Arenoso
Sementeira Direta	61,1%	24,6%	14,3%	Franco-argilo-arenoso
Faixa Herbada	54,0%	26,9%	19,1%	Franco-argilo-arenoso
Sequeiro	58,5%	23,9%	17,6%	Franco-argilo-arenoso
Pousio	37,7%	61,4%	0,9%	Muito argiloso

Relativamente à capacidade de campo (CC), como se pode observar na Figura 8, esta variou entre valores de 26 e 38% (g H₂O/100 g solo seco). A análise estatística revelou que:

- no que respeita ao tipo de prática, registam-se diferenças entre: a faixa (F), o convencional (C) e entre o pousio (P);
- para a análise comparativa entre as duas amostragens para uma mesma prática verifica-se a existência de diferenças no pousio (P);
- no que respeita ao tipo de prática para cada uma das amostragens observam-se diferenças significativas entre o pousio (P) e a sementeira direta (SD) e, na segunda amostragem, não se verificam variações significativas.

A densidade aparente do solo, apresenta valores médios entre 1,17 e 1,54 g/cm³ (Figura 8). Estatisticamente:

- não se verificam diferenças significativas entre práticas;
- não se verificam diferenças significativas entre amostragens de uma mesma prática;
- não se verificam diferenças entre os valores de cada amostragem separadamente, para nenhuma das amostragens.

O valor médio de densidade aparente foi de 1,34 g/cm³.

Para o pH, verificou-se que este apresentava valores maioritariamente ligeiramente ácidos e relativamente semelhantes entre si, variando entre 6,5 e 7,1. Olhando para a Figura 8 e verifica-se o aumento do valor médio entre a 1ª e 2ª amostragem. A análise estatística revelou que:

- não existem diferenças significativas entre as práticas;
- não se observam diferenças significativas entre amostragens de uma mesma prática;
- não se verificam diferenças entre os valores de cada amostragem separadamente, para nenhuma das amostragens.

O valor médio para este parâmetro foi de 6,9.

Quanto à condutividade elétrica (CE), esta varia entre a prática e a amostragem, estando os valores medidos no intervalo entre 77 e 338 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 8). Para cada método, verifica-se o aumento da CE da 2ª amostragem comparativamente com a 1ª. A análise estatística revela que:

- i. existem diferenças significativas entre a faixa herbada (F) quando comparada com o sequeiro (S) e pousio (P), obtendo a faixa herbada valores superiores; a sementeira direta (SD) comparativamente com o sequeiro (S) e pousio (P);
- ii. observa-se uma variação significativa para o método convencional (C), faixa herbada (F) e sequeiro (S), não sendo verificadas variações para a sementeira direta (SD) e para o pousio (P);
- iii. entre os tipos de prática dentro de cada uma das amostragens, constata-se que para a 1ª amostragem (abril, 2017) se verificam diferenças entre a sementeira direta (SD) e o sequeiro (S), apresentando valores superiores a prática de SD. Para a segunda amostragem (outubro, 2017) verifica-se que a faixa herbada (F), com valores superiores, possui diferenças significativas comparada com os restantes métodos e que não se verificam diferenças entre sementeira direta (SD) e pousio (P).

Para a matéria orgânica (MO) os valores médios variaram entre 3,6 e 6,7% (Figura 8). Estatisticamente:

- i. entre práticas observam-se diferenças entre o pousio (P) com valores superiores, e o sequeiro (S);
- ii. não se verificaram diferenças entre amostragens de uma mesma prática;
- iii. não se verificam diferenças significativas entre práticas para cada amostragem.

Para o azoto Kjeldahl (N), este é influenciado pela colocação de fertilizantes no solo e pelo uso pela própria planta do mesmo. Os valores de azoto variam entre 0,36 e 0,70% (Figura 9). Da análise estatística:

- i. entre práticas não se observam diferenças significativas;
- ii. verificam-se diferenças entre a 1ª e a 2ª amostragem do método convencional (C) e da sementeira direta (SD), aumentando na 2ª amostragem;
- iii. não se verificam diferenças entre as amostragens para uma prática.

Para os nitratos, observam-se valores médios entre 62 e 401 $\text{mg NO}_3\text{-N}/\text{kg ss}$. A análise estatística revelou que:

- i. entre práticas não se observam diferenças significativas;
- ii. para uma mesma prática verificam-se diferenças entre a 1ª e 2ª amostragem para todas as práticas;
- iii. não se verificaram diferenças entre práticas para uma mesma amostragem.

Dos valores da 1ª e a 2ª amostragem obtiveram-se: valores médios de 95 mg NO₃-N/kg ss para a primeira amostragem e valores 309 mg NO₃-N/kg ss para a segunda amostragem (Figura 9).

O fósforo total (Ptotal) apresenta-se como de extrema importância para a cultura. Os valores de P no solo não apresentaram estatisticamente diferenças significativas entre eles, apresentando-se entre 230 e 330 mg Ptotal/kg ss (Figura 9), com valor médio de 197 mg Ptotal/kg ss. Estatisticamente:

- i. não existem diferenças significativas entre as práticas;
- ii. não se observam diferenças significativas entre amostragens de uma mesma prática;
- iii. não se verificam diferenças entre os valores de cada amostragem separadamente, para nenhuma das amostragens.

Quanto ao fósforo disponível (Pdisp), apresentou maioritariamente valores na gama entre 1 e 9,2 mg Pdisp/kg ss, exceto para a prática do pousio. No que respeita à análise estatística, verificou-se que:

- i. entre as várias práticas observam-se diferenças significativas entre o pousio e os restantes;
- ii. para a amostragem, dentro da prática, apenas se observam diferenças para a faixa herbada;
- iii. entre práticas dentro de uma mesma amostragem não se verificaram diferenças.

As análises de cálcio (Ca) presente no solo registaram valores médios entre 790 e 7056 mg Ca/kg ss (Figura 9). Na análise estatística:

- i. verificam-se diferenças entre o tipo de práticas, apresentando-se a faixa herbada (F) com valores superiores comparando com os restantes exceto o pousio (P), e entre o pousio e o convencional (C);
- ii. da 1ª para a 2ª amostragem não se verificaram diferenças. Em todos os tipos, é notada a diminuição do valor médio exceto no caso do pousio (P);
- iii. da 1ª para a 2ª amostragem não se verificaram diferenças. Em todos os tipos, é notada a diminuição do valor médio exceto no caso do pousio (P). Especificamente para as amostragens em separado, verifica-se para a primeira amostragem diferenças entre a faixa herbada e o sequeiro (S) e convencional (C).

Para o magnésio (Mg) os resultados apresentam-se entre os 50 e 221 mg Mg/kg (Figura 9). Verifica-se pela análise estatística:

- i. diferenças significativas entre tipos de práticas, mais especificamente entre o plantio convencional (C) e sequeiro (S), tendo a zona convencional um valor superior;
- ii. a nível de 1ª e 2ª amostragem verificam-se diferenças significativas apenas na faixa (F);
- iii. dentro das amostragens verifica-se: para a 1ª diferenças entre o convencional (C) e o sequeiro (S); e para a 2ª amostragem apenas para a faixa (F) e o sequeiro (S).

O potássio (K), elemento também presente nos fertilizantes usados apresentou-se com valores entre 162 e 337 mg K/kg ss (Figura 10). No que respeita à estatística:

- i. não se verificam diferenças significativas entre práticas;
- ii. não se verificam diferenças significativas entre amostragens de uma mesma prática;
- iii. não se verificam diferenças entre os valores de cada amostragem separadamente, para nenhuma das amostragens.

Para este parâmetro foram observados valores médios de 260 mg de K/kg ss.

Observando os valores obtidos para o cobre (Cu), os valores médios encontram-se no intervalo de 0,9 a 5,3 mg Cu/kg ss (Figura 10). Da análise estatística, é possível registar que existem diferenças significativas:

- i. para os tipos de prática existem diferenças significativas entre o sequeiro (S) e a sementeira direta (SD); convencional (C) e faixa herbada (F); e entre o pousio (P), superior, e o convencional e a faixa;
- ii. entre amostragens apenas se observa variação da primeira para a segunda para o sequeiro;
- iii. entre os tipos de prática (por amostragem) registam-se diferenças significativas, para a primeira amostragem, os valores superiores distinguem o sequeiro (S) e todos os restantes exceto o pousio (P) e para a segunda amostragem apenas entre o pousio (P) e o convencional (C), com o pousio tendo valores superiores.

A análise de zinco (Zn) registou valores entre 0,8 e 1,36 mg Zn/kg ss (Figura 10). Estatisticamente:

- i. entre práticas observam-se diferenças entre o pousio (P) com valores superiores, e o sequeiro (S);
- ii. não se verificaram diferenças entre amostragens de uma mesma prática;
- iii. não se verificam diferenças significativas entre práticas para cada amostragem.

Para este parâmetro foram observados valores médios de 0,9 mg Zn/kg ss.

Em relação aos valores de ferro (Fe) no solo obtidos, estes encontram-se entre os 93 e os 361 mg Fe/kg ss (Figura 10). Da análise realizada dos dados:

- i. observam-se diferenças significativas entre a faixa herbada (F) e o pousio (P);
- ii. da primeira para a segunda amostragem observam-se diferenças para a faixa (F), sequeiro (S) e pousio (P), com valores inferiores para a 2ª amostragem;
- iii. não existem diferenças significativas entre as práticas para uma mesma amostragem.

O manganês (Mn) presente no solo apresentou valores entre 392 e 4825 kg Mn/kg ss (Figura 10). Comparados os valores:

- i. verifica-se que a faixa herbada (F) e o pousio (P) apresentaram valores superiores e diferenças significativas para os restantes tipos de práticas;
- ii. entre as amostragens para uma prática não se observam diferenças;
- iii. apenas para a 1ª amostragem se verifica que a faixa é significativamente diferente das restantes práticas enquanto que para a 2ª amostragem apenas para a faixa quando comparada com o sequeiro (S) e o método convencional (C).

O último elemento analisado laboratorialmente, o alumínio (Al), apresentou-se com valores entre 15 e 25 mg Al/kg ss (Figura 10). Para este elemento:

- i. verifica-se a existência de diferenças entre a prática de sequeiro (S) com a sementeira direta (SD) e com a convencional (C), apresentando valores superiores para o sequeiro (S);
- ii. analisando as duas amostragens, verifica-se em todos os tipos de prática o aumento do valor médio de alumínio na 2ª amostragem face à 1ª, sendo esta variação significativamente diferente para todas as práticas exceto o sequeiro (S);
- iii. por amostragem, as diferenças existem apenas quando comparado o sequeiro com o convencional (C) e a sementeira direta (SD) para a 1ª amostragem.

Foi também analisada a capacidade de troca catiónica (CTC), tendo sido obtidos resultados na gama 11,7 a 36,8 cmol+/kg de solo (Figura 8). Observa-se:

- i. comparados estatisticamente as várias práticas, salienta-se a diferença significativa entre a prática pousio (P) e as restantes práticas;
- ii. o aumento entre as duas amostragens realizadas, sendo superior para a segunda amostragem, apesar de não ser significativamente diferente este aumento;
- iii. verifica-se que para a 1ª amostragem existem diferenças entre o pousio (P) com valores superiores, e o sequeiro (S) e a sementeira direta (SD). Para a 2ª amostragem, apenas se verificam diferenças significativas entre o pousio (P) e o sequeiro (S).

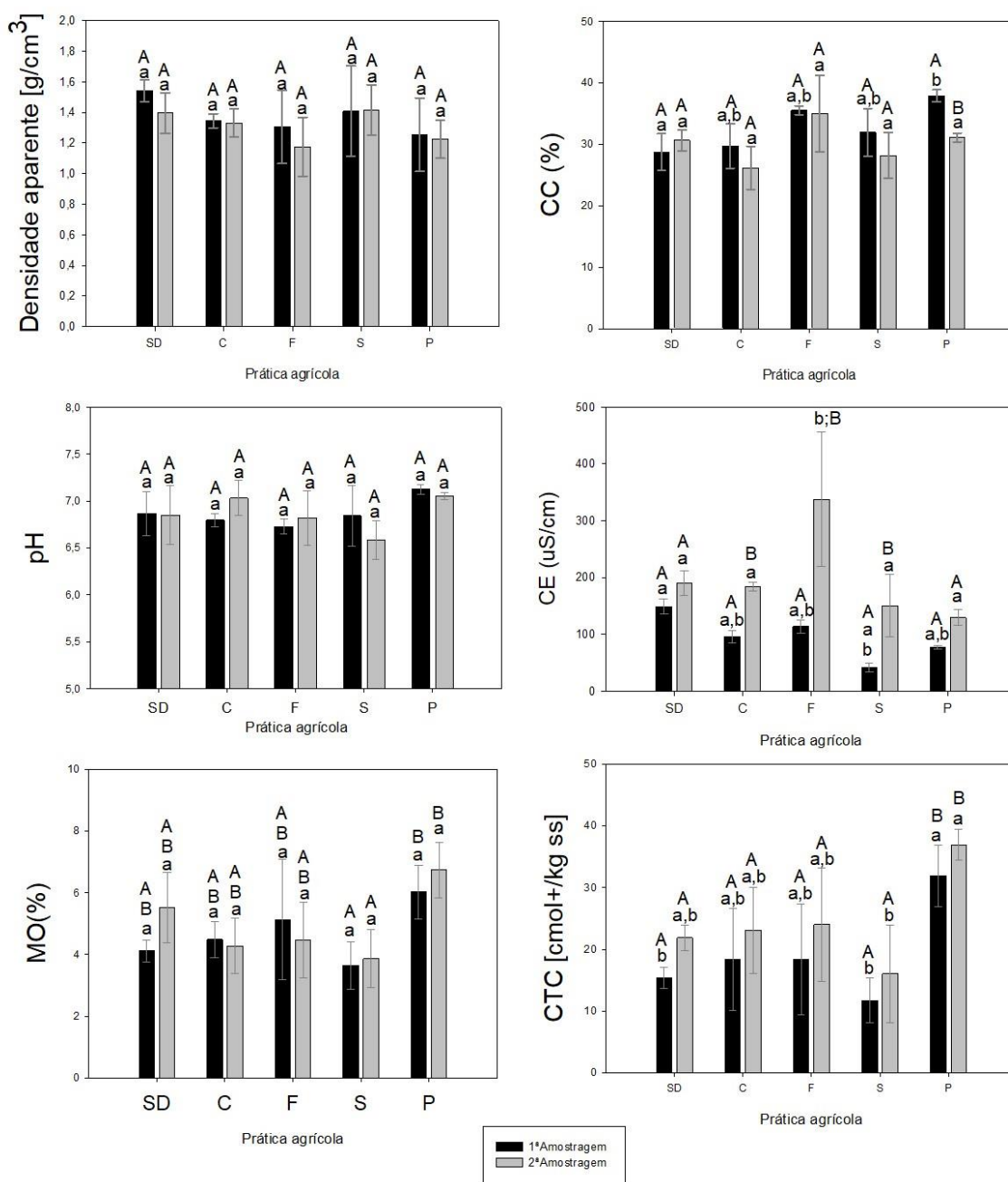


Figura 7 - Valores médios (\pm desvio padrão) para os parâmetros físico-químicos analisados, nomeadamente densidade aparente, capacidade de campo, pH, CE, MO e CTC. As letras maiúsculas representam a existência de diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as duas amostragens dentro de cada tipo de prática; As letras minúsculas representam a existência de diferenças significativas para $p < 0,05$ entre tratamentos dentro de cada um dos períodos de amostragem.

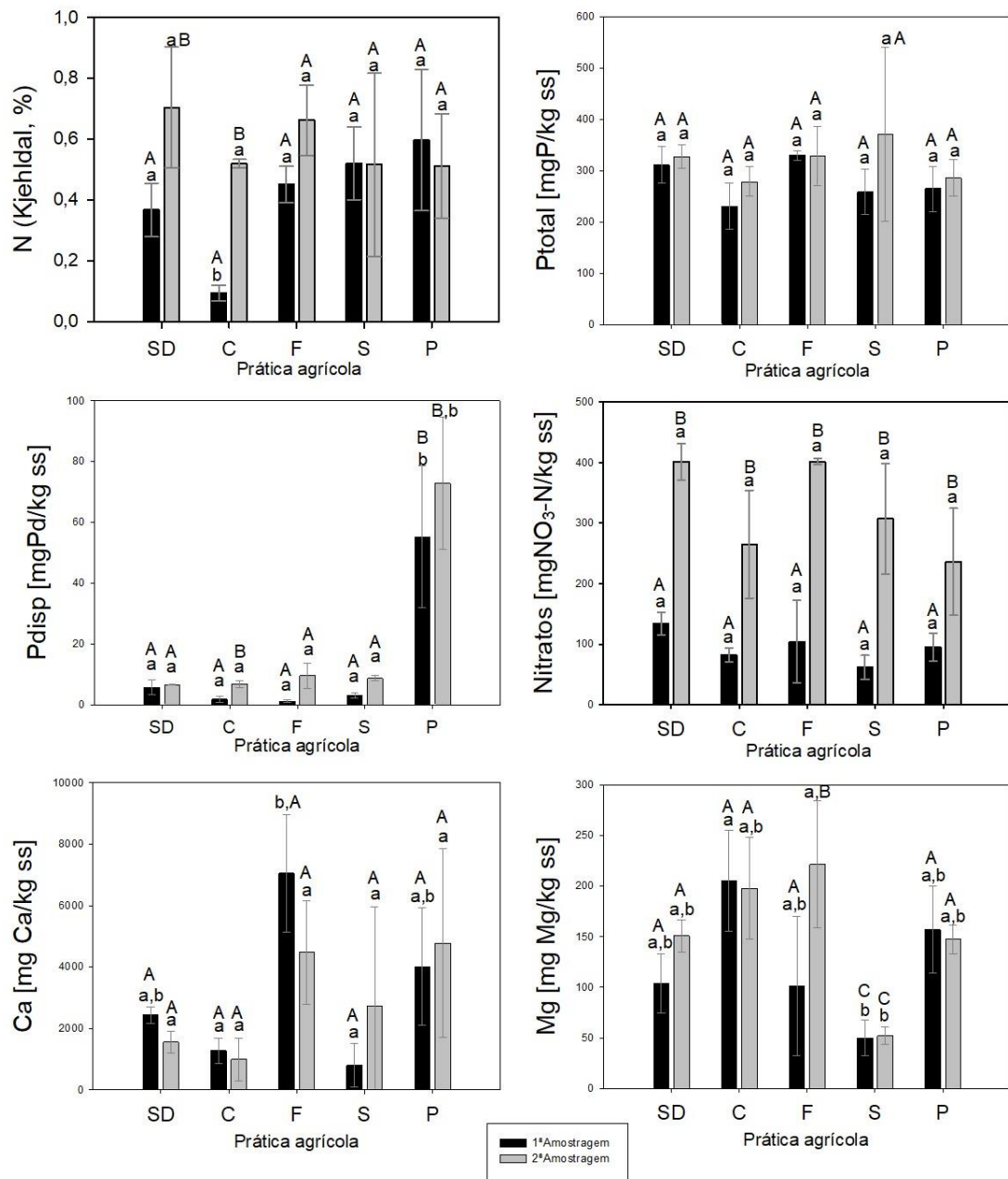


Figura 8 - Valores médios (\pm desvio padrão) para os parâmetros físico-químicos analisados, nomeadamente N, Pt, Pdisp, NO_3^- , Ca e Mg. As letras maiúsculas representam a existência de diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as duas amostragens dentro de cada tipo de prática; As letras minúsculas representam a existência de diferenças significativas para $p < 0,05$ entre tratamentos dentro de cada um dos períodos de amostragem.

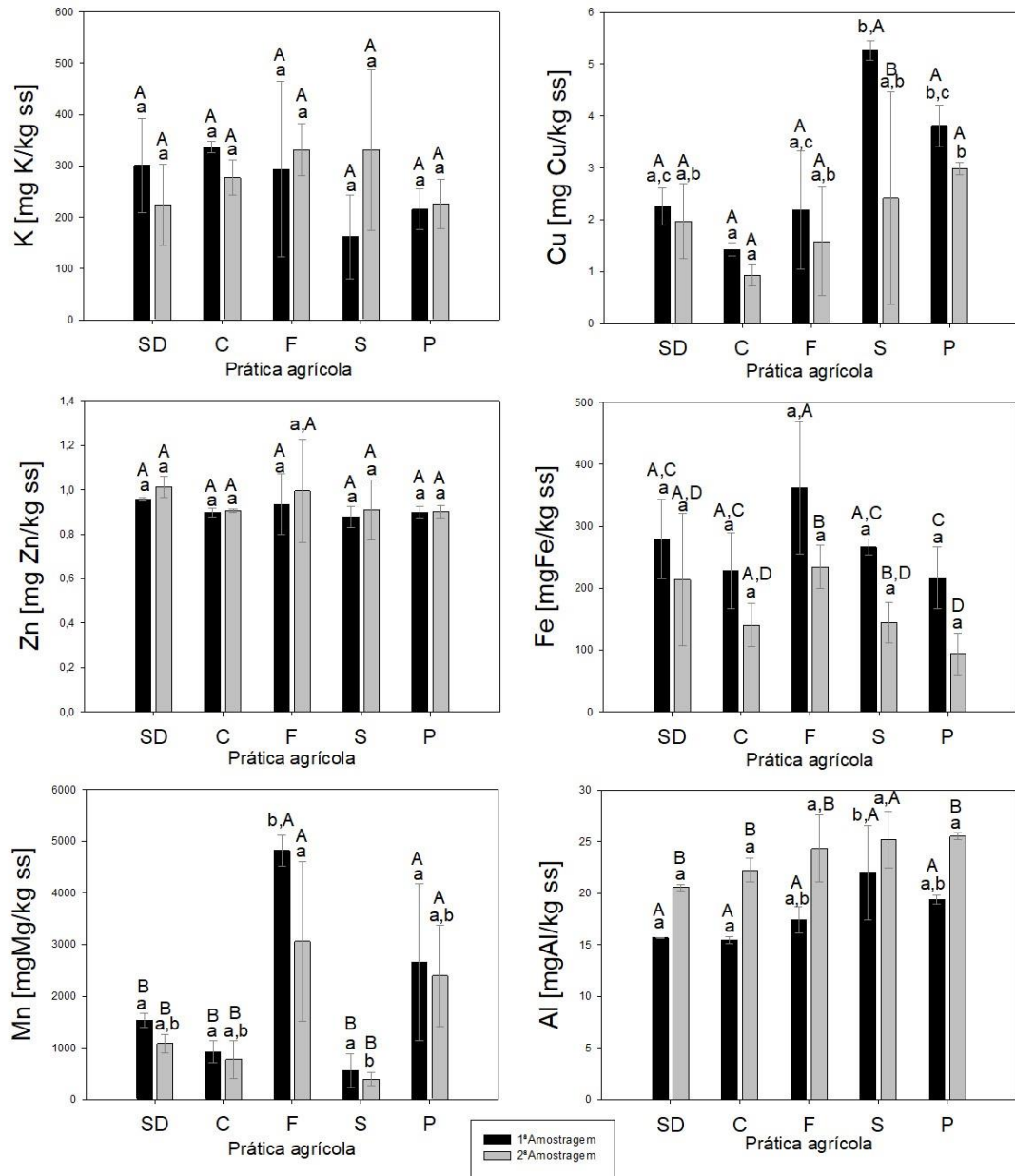


Figura 9 - Valores médios (\pm desvio padrão) para os parâmetros físico-químicos analisados, nomeadamente K, Cu, Zn, Fe, Mn e Al. As letras maiúsculas representam a existência de diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as duas amostragens dentro de cada tipo de prática; As letras minúsculas representam a existência de diferenças significativas para $p < 0,05$ entre tratamentos dentro de cada um dos períodos de amostragem.

Tabela 4 - Resultados da análise de variância (ANOVA) de duas vias para os parâmetros físico-químicos analisados. G.L. são os graus de liberdade, f é a variância das médias dos grupos dividida pela média da variância do grupo e p é o nível de significância.

Físico-químicos	Fonte de Variação	G.L.	f	p
Capacidade de Campo	Tipo de Prática	4	4,374	0,011
	Amostragem	1	4,956	0,038
	Tipo de Prática x Amostragem	4	1,501	0,24
Densidade aparente	Tipo de Prática	4	1,983	0,136
	Amostragem	1	0,945	0,343
	Tipo de Prática x Amostragem	4	0,242	0,911
pH	Tipo de Prática	4	2,928	0,047
	Amostragem	1	0,00379	0,952
	Tipo de Prática x Amostragem	4	1,194	0,344
CE	Tipo de Prática	4	8,386	<0,001
	Amostragem	1	39,364	<0,001
	Tipo de Prática x Amostragem	4	4,15	0,014
Matéria Orgânica	Tipo de Prática	4	5,279	0,005
	Amostragem	1	0,581	0,455
	Tipo de Prática x Amostragem	4	0,832	0,521
Azoto (Kjeldahl)	Tipo de Prática	4	2,259	0,099
	Amostragem	1	7,592	0,012
	Tipo de Prática x Amostragem	4	1,938	0,143
Fósforo total	Tipo de Prática	4	0,862	0,504
	Amostragem	1	3,71	0,068
	Tipo de Prática x Amostragem	4	0,424	0,789
Fósforo disponível	Tipo de Prática	4	13,32	<0,001
	Amostragem	1	6,029	0,024
	Tipo de Prática x Amostragem	4	1,795	0,174
Nitratos	Tipo de Prática	4	3,521	0,027
	Amostragem	1	103,759	<0,001
	Tipo de Prática x Amostragem	4	1,648	0,206
Potássio	Tipo de Prática	4	1,016	0,424
	Amostragem	1	0,224	0,641
	Tipo de Prática x Amostragem	4	1,674	0,197
Cálcio	Tipo de Prática	4	6,646	0,002
	Amostragem	1	0,0939	0,763
	Tipo de Prática x Amostragem	4	1,093	0,393
Magnésio	Tipo de Prática	4	9,69	<0,001
	Amostragem	1	2,183	0,162
	Tipo de Prática x Amostragem	4	2,108	0,134
Cobre	Tipo de Prática	4	11,801	<0,001

	Amostragem	1	12,261	0,003
	Tipo de Prática x Amostragem	4	2,25	0,109
Zinco	Tipo de Prática	4	1,139	0,367
	Amostragem	1	0,779	0,388
	Tipo de Prática x Amostragem	4	0,109	0,978
Ferro	Tipo de Prática	4	4,304	0,013
	Amostragem	1	21,27	<0,001
	Tipo de Prática x Amostragem	4	0,295	0,877
Manganês	Tipo de Prática	4	16,055	<0,001
	Amostragem	1	3,521	0,078
	Tipo de Prática x Amostragem	4	0,875	0,499
Alumínio	Tipo de Prática	4	7,592	<0,001
	Amostragem	1	54,662	<0,001
	Tipo de Prática x Amostragem	4	0,857	0,506
CTC	Tipo de Prática	4	8,832	<0,001
	Amostragem	1	5,178	0,034
	Tipo de Prática x Amostragem	4	0,0258	0,999

2.5.2. Parâmetros biológicos

No que diz respeito ao ensaio com a minhoca *Eisenia fetida*, após o período de exposição foi realizada a contabilização dos organismos, observando-se valores médios entre 26 e 134 indivíduos (Figura 11). A análise estatística desta contabilização mostrou existirem diferenças significativas:

- i. entre as práticas, observam-se diferenças: entre a faixa herbada (F) e o convencional (C); e entre o pousio (P) e a faixa herbada (F).
- ii. da 1ª para a 2ª amostragem apenas se verificam diferenças significativas para a prática do sequeiro
- iii. para a 1ª amostragem verificam-se diferenças entre a faixa herbada e as restantes (exceto o sequeiro).

Para o ensaio com o colêmbolo *Folsomia candida*, também por contabilização dos indivíduos, verificam-se valores médios entre 52 e 155 indivíduos. Estatisticamente:

- i. não se verificam diferenças significativas entre práticas;
- ii. não se verificam diferenças significativas entre amostragens de uma mesma prática;
- iii. não se verificam diferenças entre os valores de cada amostragem separadamente, para nenhuma das amostragens.

O valor médio foi de 109 indivíduos. A indisponibilidade de amostra para a prática convencional (1ª amostragem) levou à inexistência de valores para o mesmo.

Quanto à atividade enzimática a fosfatase apresentou um valor médio de 55 $\mu\text{gpNP.g}^{-1}\text{ms.h}^{-1}$, variando as médias entre 47,9 e 67,2 $\mu\text{gpNP.g}^{-1}\text{ms.h}^{-1}$ (Figura 11). Estatisticamente:

- i. não existem diferenças significativas entre as práticas;
- ii. não se observam diferenças significativas entre amostragens de uma mesma prática;
- iii. não se verificam diferenças entre os valores de cada amostragem separadamente, para nenhuma das amostragens.

Apesar de não significativamente, os valores decresceram em todas as práticas da 1ª para a 2ª amostragem.

A análise da urease nas amostras variou entre 9,8 e 43,6 $\mu\text{gN.g}^{-1}\text{ms.2h}^{-1}$ e de forma genérica verifica-se o seu aumento da primeira para a segunda amostragem (Figura 11). No que respeita à análise estatística:

- i. diferenças significativas apresentam-se entre práticas com valores superiores para a sementeira direta (SD) comparada com o sequeiro (S) e o pousio (P)
- ii. entre amostragem (dentro do mesmo tipo de prática) para a sementeira direta (SD) e o pousio (P), com valor superior para a 2ª amostragem.
- iii. não se verificam diferença entre práticas para uma mesma amostragem.

As análises da invertase apresentaram valores médios compreendidos entre 19,8 e 34,9 $\mu\text{gGE.g}^{-1}\text{ms.24h}^{-1}$ (onde GE - equivalentes de glucose) (Figura 11). Da análise estatística:

- i. para o tipo de prática, verifica-se a existência de diferenças entre o pousio-convencional, pousio-sequeiro, faixa herbada-convencional e faixa herbada-sequeiro.;
- ii. dentro da mesma prática, verificam-se apenas diferenças na faixa herbada entre as amostragens realizadas;
- iii. para cada uma das amostragens em separado, verifica-se, para a primeira, diferenças significativas entre o pousio (P) e o sequeiro (S), e para a segunda, para a faixa herbada e o convencional, e a faixa herbada e o sequeiro.

Na mineralização do azoto observaram-se valores entre 0,23 e 0,83 $\mu\text{gN/ml}$ (Figura 11). Da análise estatística deste parâmetro:

- i. apenas se observam diferenças significativas para a prática convencional, ou seja, o convencional (C) com o pousio (P), tendo o pousio valores superiores;
- ii. não se verificam diferenças significativas entre amostragens de uma mesma prática;

- iii. não existem diferenças entre os valores de cada amostragem separadamente, para nenhuma das amostragens.

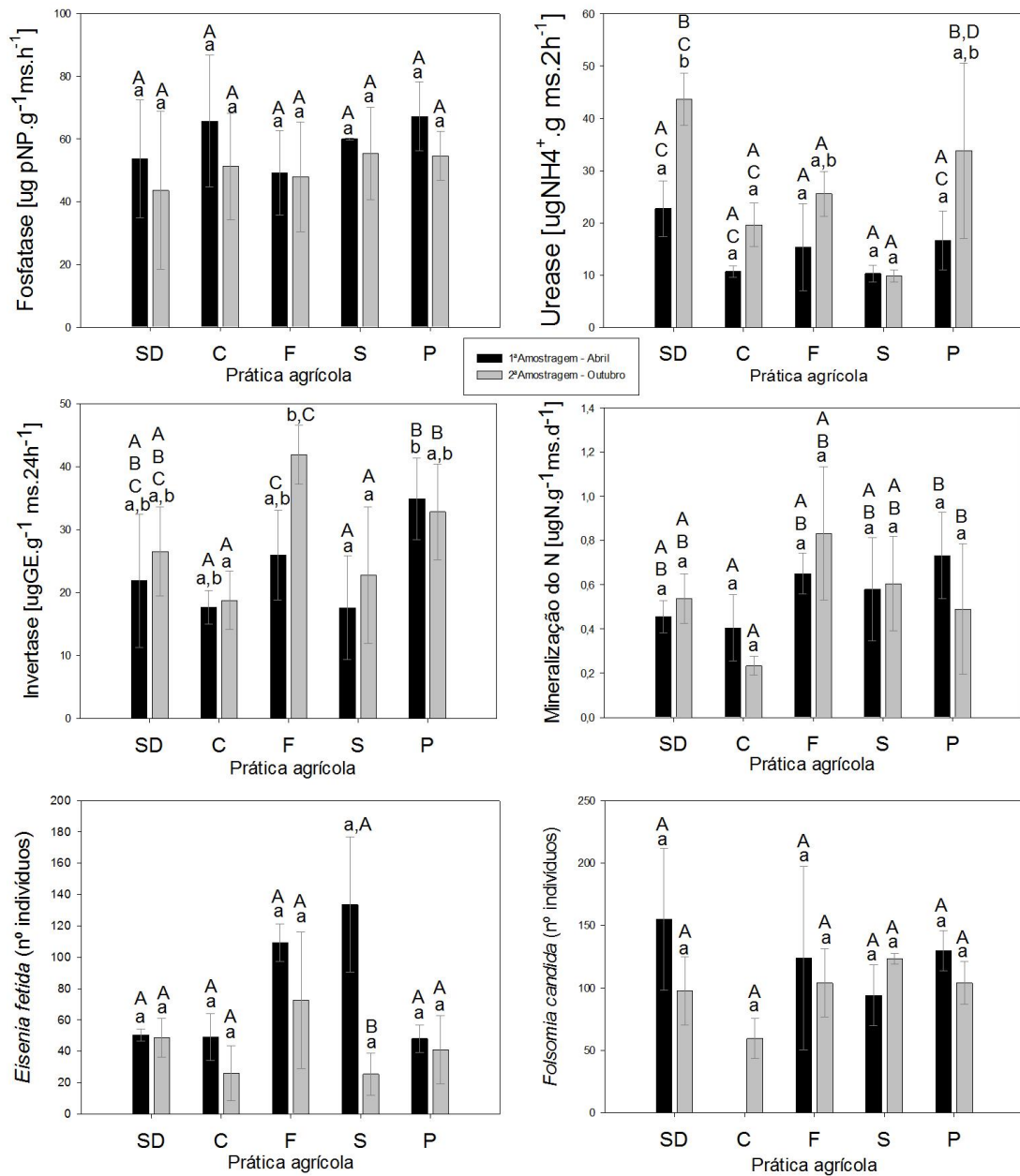


Figura 10 - Valores médios (\pm desvio padrão) para os parâmetros biológicos analisados. As letras maiúsculas representam a existência de diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as duas amostragens dentro de cada tipo de prática; As letras minúsculas representam a existência de diferenças significativas para ($p < 0,05$) entre tratamentos dentro de cada um dos períodos de amostragem.

Tabela 5 - Resultados da análise de variância (ANOVA) de duas vias para os parâmetros biológicos.

At. Enzimática	Fonte de Variação	G.L.	F	P
<i>Eisenia fetida</i>	Tipo de Prática	4	5,604	0,004
	Amostragem	1	7,824	0,012
	Tipo de Prática x Amostragem	4	1,037	0,416
<i>Folsomia candida</i>	Tipo de Prática	3	0,272	0,844
	Amostragem	1	1,645	0,222
	Tipo de Prática x Amostragem	3	1,671	0,222
Fosfatase	Tipo de Prática	4	0,842	0,515
	Amostragem	1	2,449	0,133
	Tipo de Prática x Amostragem	4	0,147	0,962
Urease	Tipo de Prática	4	4,157	0,017
	Amostragem	1	14,758	0,001
	Tipo de Prática x Amostragem	4	0,685	0,613
Mineralização do Azoto	Tipo de Prática	4	3,672	0,022
	Amostragem	1	0,218	0,646
	Tipo de Prática x Amostragem	4	1,268	0,317
Invertase	Tipo de Prática	4	5,903	0,003
	Amostragem	1	3,577	0,073
	Tipo de Prática x Amostragem	4	1,069	0,398

2.5.3. Correlação dos parâmetros analisados

Fazendo uma análise dos resultados obtidos estatisticamente para a correlação dos diferentes parâmetros, é perceptível o valor reduzido de correlações fortes (entre 0,5 e 1). Ao nível de significância, apenas algumas correlações apresentam significância igual ou inferior que 0,05. Os valores obtidos estão maioritariamente na gama das correlações fracas.

Da análise da tabela é perceptível:

- A relação positiva e significativa entre a matéria orgânica e alguns nutrientes (Ca, Mg, Cu, Zn, Mn);
- O fósforo disponível encontra-se moderadamente relacionado (para $p < 0,05$) com o pH e matéria orgânica do solo;
- A condutividade elétrica possui uma correlação positiva forte com os valores obtidos nos nitratos;
- A CTC possui uma correlação positiva forte com o teor de matéria orgânica no solo, como seria de esperar;
- A relação positiva entre a matéria orgânica e a atividade enzimática (invertase e urease) e a mineralização do azoto.

A apresentação das várias correlações obtidas encontra-se no anexo II.

2.6. Discussão

2.6.1. Análise físico-químicas

A textura do solo depende de inúmeros fatores, destacando-se como principais a rocha de origem, o clima e a topografia (Costa, 1999). Os valores de textura do solo permitem classifica-los solos maioritariamente franco-argiloso e franco-argilo-arenosos, à exceção do pousio que apresenta maior teor em argilas e se classifica de argiloso ou muito-argiloso.

A CC define-se genericamente como a humidade retida na amostra de solo após deixar de ter perda gravitacional de água e da diminuição substancial da perda de água capilar (Costa, 1999). Os valores deste parâmetro são afetados por parâmetros como a textura (principalmente teor em argila), MO, taxa de compactação, entre outros. Por exemplo, a capacidade de campo diminui com o aumento da densidade (Ramos et al., 2016), o que é visível pelos valores obtidos. Os valores estão na gama esperada, uma vez que em solos argilosos, a CC pode atingir valores de cerca de 40% (em solos de textura média aproximadamente 26%), sendo uma característica importante tanto para a prática convencional (C) como para o sequeiro (S) (Costa, 1999). De igual modo, também Chen et al., (2014), mostrou que com o aumento da densidade aparente os poros capilares reduzem e consequentemente baixa a capacidade do solo de reter água.

A MO, constituindo uma fonte de elementos nutritivos para as plantas, deriva dos vários organismos animais e vegetais e apresenta-se como um sistema complexo pelos diferentes graus de decomposição (matéria vegetal) e produtos de síntese (pelos microrganismos) (Costa, 1999). A MO tem influência noutros parâmetros. Por exemplo, o aumento da MO aumenta da capacidade de retenção da água, melhora o arejamento do solo, protege o solo contra a erosão (através da ligação das partículas), favorece a disponibilidade de nutrientes, e aumenta a capacidade de troca catiónica, entre outros (Ramos et al., 2016). Da análise dos valores é perceptível verificar que o valor se apresenta como superior ao esperado para o tipo de solo analisado (agrícola), normalmente na ordem de 1-3% (Santos, 2015). Este valor está relacionado com o método utilizado no presente estudo, o método da ignição ou calcinação, o qual resulta normalmente em valores por excesso do valor real, valores estes ainda mais acentuados quando se tratam de solos com médio-elevado teor de argilas. De forma sumária, em solos argilosos a variação do peso ocorre não só pela combustão da MO, mas também pela volatilização da água que é fortemente retida pelas superfícies minerais de argila e da água que resulta da destruição da estrutura da argila, o que resulta maioritariamente em valores anormalmente elevados e, por outro lado, outros constituintes minerais podem originar óxidos pela calcinação e entrar em decomposição, p.e. carbonatos, resultando numa medição consideravelmente grosseira (Costa, 1999). Tendo isto em conta, uma vez que o pousio (P) apresenta maior teor de argila, a perda de massa poderá ter sido ligeiramente maior, o que

explica o valor mais baixo obtido. Por outro lado, é importante considerar que o facto de não se proceder à mobilização do solo faz com que a MO na primeira camada de solo seja superior. Entre os métodos de produção, a observação de diferenças significativas apenas entre o pousio (P) e o sequeiro (S), podem deve-se ao facto da MO ser mais estável em solos argilosos/siltosos (Ben Moussa-Machraoui et al., 2010), o que resulta num valor superior para o pousio, que apresenta maior teor de argila. Por outro lado, no método convencional (C), pelos processos que são realizados na preparação do solo, é acelerada a oxidação da MO, causada pelo arejamento e mistura do solo (Doran & Smith, 1987; Thomas, 2007; Choudhary et al., 2018) o que vai de encontro aos valores para as parcelas onde é realizada mobilização. A gestão dos resíduos, neste caso a criação de uma camada superficial com os resíduos da colheita, para além de evitarem a erosão do solo (Tormena et al., 2017), fazem com que o valor seja maior no início da campanha para quase todas as práticas. No que respeita à percentagem de MO na SD os resultados vão de encontro aos estudos que referem que sob esta prática a percentagem de MO tende a aumentar ao longo do tempo (Dalal et al., 2011; Hoyle et al., 2013; Palm et al., 2014; Sarker et al., 2018).

A densidade aparente do solo define-se como a razão entre a massa da fração sólida (partículas sólidas + interstícios e poros) e a massa de igual volume de água (Costa, 1999) e está relacionada em primeira instância com a mobilização ou preparação do solo realizada (Tormena et al., 2017). Apesar de ligeira e não estatisticamente significativa, a variação dos valores médios vai de encontro a estudos que referem que a adoção da sementeira direta (SD) conduz ao aumento deste parâmetro (Munkholm et al., 2003; Soane et al., 2012; Palm et al., 2014; Domínguez et al., 2016; Büchi et al., 2017; Tormena et al., 2017; Choudhary et al., 2018). Para a prática convencional, os efeitos de descompactação do solo causados pela mobilização não são persistentes (Moreira et al., 2016), isto é, os efeitos da mesma refletem-se nos meses seguintes (6 meses a 1 ano) (Silva et al., 2012), no entanto a não existência de uma amostragem após a mobilização do solo apenas permite concluir a prática convencional (C) apresenta valores ligeiramente inferiores à SD, variação causada pela diminuição da densidade no início do ciclo da cultura. Moreira et al. (2016) sugere que após vários anos de sementeira direta o solo poderá atingir uma condição de equilíbrio, a qual pode ser alterada por eventos esporádicos, como a rotação da cultura ou o uso de equipamentos agrícolas. O facto da realização das amostragens ser realizada antes do início das mobilizações e após a colheita faz com que não seja possível a avaliação da diferença obtida pelos equipamentos específicos e pelos fatores externos. Outros estudos sugerem que existe igualmente uma tendência para ocorrer compactação em sistemas de sementeira direta, devido ao uso de maquinaria pesada, à não mobilização do solo e à quantidade de organismos no solo (Choudhary et al., 2018).

O pH, primeiramente, está relacionado com o material parental, ou seja o material de origem, com o clima e com a topografia (Costa 1999; Mloza-Banda et al.,

2016). Por outro lado, o pH do solo é variável espacialmente e também é influenciado pelas correções realizadas na agricultura, usualmente com carbonato de cálcio (cal viva) (Costa, 1999). A alteração deste parâmetro na camada mais superficial está normalmente associada à nitrificação de fertilizantes amoniacais e à decomposição dos resíduos da colheita (Soane et al., 2012). Thomas (2007) refere que os valores do pH se encontram relacionados com a MO, isto é, com o aumento da MO e ácidos orgânicos associados aumenta a proporção de aniões e catiões, aumentando o pH do solo. Ao mesmo tempo a decomposição da MO é dependente do pH, uma vez que este altera as características do solo e afeta o grau de metabolismo dos microorganismos que asseguram a sua decomposição. Os valores obtidos revelam um solo ligeiramente ácido. Segundo Husson et al. (2018), as práticas de agricultura de conservação tendem a neutralizar ou acidificar ligeiramente o pH devido à MO. Por outro lado, a quase nula variação dos valores de pH pode estar relacionada com o facto de solos com maiores teores de argilas e/ou MO conseguirem absorver as possíveis variações sazonais, estando a este tipo de solos associadas variações na ordem dos 0,3 (Horneck et al., 2007).

A CE é a capacidade que o solo tem de conduzir corrente elétrica e está associada à textura (mais precisamente ao teor em argilas), à MO e à CTC, isto é, a CE apresenta-se tanto maior quanto maior o teor destes parâmetros (Husson et al., 2018) e, sendo que estes parâmetros afetam a produção, a condutividade torna-se um importante indicador (Grisso et al., 2009). Os valores obtidos vão de encontro à gama CE para solos com maior teor de argilas, ou seja, entre 100 e 1000 uS/cm (Grisso et al., 2009). Ainda no mesmo estudo, Husson et al. (2018) refere que a diminuição da CE pode estar associada à prática de agricultura de conservação, o que não se verificou no presente estudo. Os valores da CE apresentam-se com variação semelhante à CTC, possuindo um valor superior para a 2ª amostragem, o que realça a relação destes 2 parâmetros.

O N, macronutriente primário, está presente no solo nas formas orgânica (≈98%) e mineral, e apresenta-se como um dos principais determinantes das produções agrícolas (Santos, 2015). A dinâmica química e microbiológica e o balanço do azoto em solos compactados estão dependentes das condições ambientais (Lipiec & Stepniewski, 1995), o que dificulta a sua análise (International Potash Institute, 1991). Os valores obtidos vão de encontro aos de Moussa-Machraoui et al. (2010) que observou o aumento do azoto sob a prática da sementeira direta. Dick et al. (1992) refere que, comparativamente com os métodos convencionais, na sementeira direta existe uma maior eficiência no uso do N por parte da cultura. Os valores também estão relacionados com a aplicação de fertilizantes e com a gestão dos resíduos da cultura (Albuquerque et al., 2013). De facto, Dalal et al. (2013) obteve um aumento no N total quando estas duas ações estavam conjugadas, justificando-se assim o valor superior para o N na 1ª amostragem comparativamente à 1ª amostragem da prática convencional. Associado à cultura de sequeiro está a diminuição da perda de azoto por

lavagem causada pela irrigação (Barros & Calado, 2014), podendo ser o motivo para os valores de azoto semelhantes observados entre amostragens na área de sequeiro. O valor inferior de N na prática convencional pode ser explicado pelo facto da mobilização do solo causar o aumento da temperatura do solo e a decomposição da MO, resultando na diminuição dos valores de N e carbono no solo (Aziz et al., 2013). A realização da cultura de cobertura composta por leguminosas, no intervalo entre ciclos de cultura de milho, permite que haja por parte desta a incorporação de azoto no solo, aumentando o valor no solo deste nutriente (Santos, 2015).

O fósforo (P) é um elemento naturalmente presente nos solos sob a forma orgânica e inorgânica e os seus valores (essencialmente o défice) influenciam a produtividade agrícola (Chen et al., 2018; Shi et al., 2015). As variações para os valores de P, para além da ligação à quantidade aplicada, estão também relacionados (e são afetados) por propriedades do solo, clima e cultura presente no solo (Khan et al., 2018; Wood et al., 2003). Uma vez que o fósforo é relativamente imóvel, o seu uso por parte das plantas, neste caso do milho, passa pela forma como as raízes respondem à diferente compactação do solo (Lipiec & Stepniewski, 1995), o que vai de encontro à ligeira descida dos valores de P para o método convencional devido à mobilização. Por outro lado, o facto do solo não ser mobilizado e da fertilização ser superficial faz com que esta possua um valor superior, comparativamente (Zanão Júnior et al., 2010). Os valores obtidos apesar de baixos encontram-se na gama esperada, isto é, a forma mais comum de P no solo apresenta entre 200 e 5000 mg de P/kg (Horta & Torrent, 2010; Lopes, 2016), tendo Wood et al. (2003) sugerido que o valor crítico de P se encontra em aproximadamente 300 ppm. Os valores obtidos em laboratório não apresentam diferenças significativas entre si, indo de encontro aos de Moussa-Machraoui et al. (2010) que não observou variação entre práticas. Em oposto, Palm et al. (2014) e Vogeler et al. (2009) observaram um valor superior para a prática da sementeira direta na camada superficial do solo.

O fósforo disponível (Pdisp) no solo é essencial para a cultura e deve estar presente em determinadas quantidades para, juntamente com outros nutrientes, garantir uma produção agrícola ótima (Poulton et al., 2013). O facto dos níveis de Pdisp para as plantas serem normalmente baixos obriga a que tenha de haver a adição de adubos fosfatados e de resíduos orgânicos para aumentar este valor (Horta & Torrent, 2010). Entre os métodos de aumentar o Pdisp no solo estão a adição de MO e o uso de fertilizantes fosfatados (Santos, 2015). Deste modo, a adição de fertilizantes na cultura de milho pode explicar a subida do valor de Pdisp para a 2ª amostragem. Os valores obtidos no presente estudo vão de encontro aos obtidos por Conte et al., 2002, com valores na gama entre 3 e 40 ppm (por Mehlich-1). Este elemento apresenta-se relativamente semelhante para as diferentes práticas agrícolas.

Os nitratos caracterizam-se por possuir uma alta difusividade no solo e por isso os estudos recomendam o uso de técnicas de gestão de resíduos (como o *mulching* com os resíduos de colheita), como medidas para evitar a perda por lixiviação dos

nitratos (Lipiec & Stepniewski, 1995). De facto, esta pode ser a explicação para o valor superior registado na prática de sementeira direta. Os valores obtidos estão de acordo com Lu et al. (2019) que afirma que a acumulação de nitratos está relacionada com a taxa de aplicação de N, isto é, o aumento da fertilização com azoto reduz a eficiência da sua utilização e consequentemente aumenta a acumulação ou lixiviação dos nitratos, também observado por Parego et al. (2012) e Liu et al. (2017). Por outro lado, os nitratos estão também relacionados com a textura, uma vez que esta influência a movimentação de água no solo, sendo a lixiviação, a desnitrificação e a retenção valores dependentes da textura (Lu et al., 2019).

Quanto ao potássio (K), Lipiec & Stepniewski (1995) referem que a concentração e o seu uso depende da compactação, isto é, o aumento da compactação está associado ao menor uso do nutriente. Thomas et al. (2007), obteve valores superiores para a sementeira direta comparativamente com a prática convencional (nos primeiros 0-10cm de solo). No entanto, para as práticas em estudo não foram encontradas variações significativas nos valores obtidos. Tendo em conta a baixa solubilidade dos sais e a baixa força de adsorção aos colóides, seria de esperar a existência de valores superiores nos primeiros centímetros de solo para a prática de sementeira direta, o que não foi verificado nos resultados obtidos (Malvezi et al., 2015). Contudo, os valores semelhantes para solos agrícolas com produção de milho, e aplicação de fertilizantes, foram obtidos por Karlen et al., 2013. A redução dos valores entre as duas amostragens está relacionada com a absorção do nutriente pelo milho, observado igualmente por outros autores (e.g. Mumbach et al., 2016). O principal fator responsável pelas perdas de K está relacionado com as perdas por irrigação (Santos, 2015). No entanto, estas perdas são minimizadas pela rega automatizada e controlada, fazendo com que a variação se relacione principalmente com os consumos pela cultura e aplicação de fertilizantes.

O cálcio (Ca) desempenha um papel fundamental no desenvolvimento das raízes, motivo pela qual se corrige o seu teor no solo com cal (Scheartzkopf, 1972). Karen et al. (2013) registou valores semelhantes de cálcio em solos agrícolas. A quantidade de Ca no solo é resultado do material parental, pelo que é influenciado pela textura, MO (relação observada na análise correlações) e pela remoção deste nutriente pela cultura (Sengik, 2003), sendo esta remoção um dos motivos para a descida do valor entre amostragens na maioria das práticas. Para além do consumo pela cultura, o Ca pode ser drenado pela ação de água e precipitado na forma de minerais secundários (Santos, 2015). No entanto, a causa das variações observadas será maioritariamente a absorção pelas plantas.

O magnésio (Mg) no solo encontra-se essencialmente nos minerais de argila, tendo uma taxa de libertação lenta. O uso de fertilizantes com outros catiões, por exemplo K^+ e Ca^{2+} , aumentam a solubilidade do Mg tornando-o mais vulnerável à lixiviação e consequente perda (Mikkelsen, 2010). Os valores obtidos vão de encontro

aos de Thomas et al. (2007) onde se observavam valores maiores de Mg em solos sob a prática convencional quando comparada com a sementeira direta.

A dinâmica do cobre (Cu) no solo é principalmente afetada pela MO (Fernández & Hoef, 2009), CTC (Sacristán & Carbó, 2016) e conteúdo em argila, uma vez que a argila armazena oligoelementos, por exemplo cobre, e os liberta de forma lenta para as plantas (Vavoulidou et al., 2011). Os valores normais de Cu no solo encontram-se na gama entre 2 e 60 mg/kg (Vavoulidou et al., 2011; Fernández & Hoef, 2009). Os valores de Cu extraível vão de encontro aos encontrados por Nunes et al. (2014) para solos no centro de Portugal. Este elemento possui uma relação negativa com elevadas quantidades de N, excesso de P, Fe, Zn e Al, sendo que estes promovem a deficiência de Cu no solo (Sengik, 2003) tendo sido observada esta relação negativa nas correlações efetuadas.

Os valores de zinco (Zn) no solo são principalmente afetados pelo pH do solo, devido ao facto do aumento do pH estar associado ao aumento da oxidação de manganês (Brennan, 2002). O valor de Zn, neste estudo, torna-se importante uma vez que a cultura do milho é uma das mais sensíveis à sua carência (Mori et al., 2016; Noulas et al., 2018). Segundo Brennan (2002) e Sengik (2003), os valores de Zn total no solo variam entre 10 e 300 mg de Zn/kg e segundo Noulas et al. (2018), apenas uma parte deste se encontra na solução de solo com possibilidade de absorção pelas plantas, correspondendo a valores menores que 1 mg de Zn/kg, o que vai de encontro aos valores médios muito próximos deste valor. Os valores de Zn extraível vão de encontro aos encontrados por Nunes et al. (2014), de $0,65 \pm 0,5$ mg de Zn/kg, para solos na área central de Portugal. Apesar de não terem sido encontradas diferenças significativas nos valores obtidos, Varennes (2006) observou valores mais elevados em solos de textura fina (argilosa ou muito argilosa) e valores superiores de matéria orgânica, realçando que as concentrações dependem das propriedades físicas e químicas do solo.

O ferro (Fe) é um elemento muito abundante nos solos. Contudo, devido à fixação, apenas uma pequena parte está disponível para uso pelas plantas. Os valores estão relacionados primeiramente com o material de origem (Abreu et al., 2004). Quanto a fatores que influenciam a deficiência, o Fe pode ser induzido pelo excesso de fósforo e também pelo desequilíbrio com outros elementos como Cu e Mn (Sengik, 2003). Os valores obtidos para o Fe vão de encontro aos valores observados por Abreu et al. (2004) pelo mesmo procedimento, para a cultura do milho em diferentes tipos de solo.

O manganês (Mn), assim como a maioria dos restantes metais, apresenta-se em quantidades elevadas no solo mas apenas uma pequena parte se encontra disponível para o uso pelas plantas (Sengik, 2003), sendo a sua disponibilidade dependente das propriedades do solo e da absorção pela cultura (Behera & Shukla, 2014). Apesar de não se verificarem diferenças significativas da 1ª para a 2ª amostragem para este elemento, Reisenauer (1988) relacionou o aumento do

conteúdo em MO com a disponibilidade de Mn para as plantas e, apesar de relativamente ligeira, a maior quantidade de MO e o uso por parte da cultura instalada, serão os responsáveis pelos valores superiores para a faixa herbada e para o pousio. Por outro lado, a variação dos valores é dependente dos processos de mobilização e imobilização destes elementos (Behera & Shukla, 2014).

Para a maioria das culturas agrícolas, o valor do alumínio (Al) no solo é importante uma vez que o seu excesso pode afetar o crescimento das raízes e consequentemente ter efeitos negativos na absorção de nutrientes e no desenvolvimento da planta (Malvezi et al., 2015). Os resultados observados por Miyazawa et al. (1993), tendo em conta a realização de sementeira direta e a gestão dos resíduos pós-colheita a longo prazo, apontam para a redução de Al^{3+} no solo. No entanto, não se observaram diferenças significativas nos ensaios realizados.

A capacidade de troca catiónica (CTC) do solo está relacionada com os teores de argila presentes e também com a MO (Ben Moussa-Machraoui et al., 2010; Santos, 2015), motivo pela qual, devido à existência de um maior teor de argila, se observa um valor superior para o pousio. A CTC é uma propriedade muito importante a nível agrícola, uma vez que alta CTC está relacionada com a capacidade de retenção e armazenamento de nutrientes (essenciais às culturas) (Mloza-Banda et al., 2016). Os valores de CTC para solos agrícolas com elevado teor em argilas variam entre os 18 e 30 $cmol^+/kg$ (Fernández & Hoefft, 2009), o que vai de encontro aos valores obtidos. Estudos realizados por outros autores revelam diferentes resultados, por exemplo: Bem MoussaMachraoui et al. (2010) observou um ligeiro aumento da CTC para a sementeira direta comparada com a prática convencional, mas pelo contrário Palm et al. (2014) observou em vários estudos a não variação deste parâmetro, o que vai de encontro aos dados obtidos no presente estudo.

2.6.2. *Análises biológicas*

Fosfatase é o nome que refere o conjunto de enzimas que catalisam a hidrólise do éster e anidridos de fosfato, tendo por isso um papel importante no ciclo do fósforo (Balota et al., 2013). Os valores obtidos para esta enzima vão de encontro às observações de Skujins et al. (1967), isto é, devido à adição de fertilizantes dá-se o aumento da atividade desta enzima uma vez que esta se encontra relacionada com o P inorgânico do solo. A atividade da fosfatase é dependente do pH e alguns estudos correlacionam positivamente a fosfatase com a MO (Silva et al., 2011). Nos valores obtidos não existem diferenças significativas entre práticas agrícolas, o que contraria o observado por Conte et al. (2002), que mostrou uma maior atividade da fosfatase para a prática de sementeira direta.

A atividade da urease tem uma elevada importância no solo, na medida em que catalisa a hidrólise da ureia em amónia e dióxido de carbono, impactando o fornecimento de azoto às plantas (Balota et al., 2013). Uma vez que esta atividade enzimática aumenta com o uso de fertilizantes orgânicos e varia de acordo com a

prática agrícola realizada, torna-se um bom indicador das mudanças na qualidade do solo (Hamba, 2016; Kujur & KumarPatel, 2014). Esta é usada como um indicador de avaliação de mudanças na qualidade do solo, isto porque as correlações encontradas entre a urease, o azoto total e carbono orgânico (Dkhar & Mishra, 1983) sugerem que o conteúdo em MO é um dos parâmetros que mais influencia a variação desta enzima. No entanto, também o Ptotal e o conteúdo em argila apresentaram relação com a atividade da urease (Shi et al., 2008), justificando a variação desta enzima. Os valores obtidos vão de encontro aos de Riquetti et al. (2012), que observou para a camada superior do solo valores superiores de atividade da urease para solos sob prática de sementeira direta.

A invertase é a responsável pela catalisação das reações de hidrólise da sacarose em glucose e frutose (Li et al., 2018) e, por este motivo, assim com a celulase, a invertase está relacionada como ciclo do carbono no solo (Utobo & Tewari, 2010). Variações da atividade da invertase ao longo o tempo estão associadas ao ponto fenológico em que se encontra a cultura, tendo obtido Li et al. (2002), valores de atividade da invertase superiores após a polinização. A invertase é afetada pela quantidade de microrganismos, isto é, a redução das populações de microrganismos leva à redução da atividade da invertase (Li et al., 2018), o que pode ser explicativo do menor valor de atividade para a prática convencional e para a variação entre as várias práticas. A variação da invertase segue a variação do valor da MO, sugerindo que estas se relacionam, o que vai de encontro aos estudos de Shi et al. (2008), onde se observa a correlação da invertase com o valor da MO e com o teor de argila do solo. Devido ao aumento de MO na à prática de sementeira direta, está também associado o aumento da atividade da invertase, justificando-se assim a ligeira subida registada para a SD e para o P.

A mineralização do azoto apresentou valores semelhantes entre práticas, sendo distinguível a baixa mineralização para a 2ª amostragem da prática convencional, muito provavelmente influenciada pelos resíduos da cultura associados à mobilização, uma vez que esta mineralização é dependente da composição e matriz dos resíduos (Carneiro et al., 2013). Para além dos resíduos, a mineralização é também influenciada pela textura, pH e processos de troca de N entre o solo e a planta (Schomberg et al., 2009).

A minhoca *Eisenia fetida* desempenha um papel importante na estrutura do solo e na dinâmica de nutrientes, sendo por isso um bom bioindicador de qualidade do solo (Yasmin & D'Souza, 2010). No presente estudo, o uso deste ensaio não revelou diferenças significativas entre práticas e, por conseguinte, não se mostrou um bom indicador de qualidade do solo. É importante referir que ensaios deste tipo são de difícil interpretação devido variabilidade natural da espécie. Por outro lado, a dificuldade de providenciar indivíduos da mesma idade para o ensaio, incorpora em si uma fonte de variabilidade acrescida (Lowe & Butt, 2007).

Também o ensaio com o colêmbolo *Folsomia candida*, não permitiu discriminar diferenças entre as práticas agrícolas. Crouau & Cazes (2003), na realização de ensaios com este organismo observaram que as principais causas de variabilidade passam pela mortalidade e pela variação entre a eclosão dos indivíduos. A alteração de parâmetros como o pH altera a dinâmica de metais solúveis presentes no solo (tornando-os mais biodisponíveis), afetando a ecotoxicidade dos mesmos para os organismos do solo (Boer et al., 2010; Crouau & Pinelli, 2008). Contudo, a inexistência de variações significativas de pH entre amostras e da contagem de indivíduos não permite confirmar a relação. As variações de temperatura também são um fator importante na medida em que são fatores de *stress* (Boer et al., 2010), no entanto, apesar do ensaio não ter sido realizado em câmara fechada, o mesmo decorreu com quase nula variação de temperatura.

Dos ensaios com organismos não se observaram diferenças significativas entre as várias práticas, estando esta variação associada ao facto dos solos serem semelhantes no que respeita ao grau de contaminação do solo (não avaliado no presente estudo).

2.7. Conclusões

Cientes das implicações da cultura intensiva de milho na sustentabilidade dos solos, torna-se importante compreender de que modo a adoção de práticas agrícolas não convencionais pode promover a manutenção da qualidade do solo e assegurar a sua produtividade a médio-longo termo. Neste sentido, a análise de distintos parâmetros físico-químicos e biológicos permitiu avaliar os impactes de cinco medidas de gestão agrícola (convencional, sementeira direta, faixa herbada, sequeiro e pousio) na qualidade dos solos de uma área de cultura intensiva de milho.

Deste modo, considerando as diferentes práticas agrícolas em estudo, é de salientar que:

- Os parâmetros físicos, nomeadamente a densidade aparente e capacidade de campo, apresentaram valores semelhantes para as várias práticas, registando-se apenas ligeiras diferenças associadas às atividades de preparação do solo;
- Quanto aos parâmetros químicos pH, CE, MO, CTC, observou-se o aumento para a generalidade das práticas entre a 1ª e 2ª amostragem. No caso da prática de sementeira direta observou-se que os valores médios de MO aumentam na 2ª amostragem, como resultado da conservação da mesma. De igual modo, o pousio apresentou maiores percentagens de MO em virtude da não existência de mobilização do solo e acumulação da mesma. É ainda evidente o papel da falta de irrigação nos parâmetros MO e CTC para as práticas de sequeiro e pousio;
- Para os nutrientes analisados, é perceptível para a sementeira direta, comparativamente com a convencional, a conservação dos nutrientes entre os

ciclos de cultura, causados pelas menores perdas dos mesmos, salvo exceções (Mg, K e Al). Uma vez mais, para a prática de sequeiro, as variações observadas são reflexo da não existência de irrigação. De igual modo, também as variações no pousio estão relacionadas com a não existência de rega e ainda com o crescimento de vegetação espontânea. A variação dos nitratos, em todas as práticas, passou pelo aumento do valor entre a 1ª e a 2ª amostragem, refletindo a adição de fertilizantes azotados;

- Quanto aos parâmetros biológicos, a atividade enzimática apresentou valores superiores para a prática de sementeira direta comparativamente com a convencional, à exceção da fosfatase. Dos ensaios com organismos não se observaram diferenças significativas entre as várias práticas.

Um dos aspetos mais importantes a salientar tendo em conta os parâmetros avaliados no presente estudo é o facto da inexistência da mobilização na prática de sementeira direta influenciar positivamente a dinâmica do solo pela alteração da atividade biológica e da movimentação da água, tornando o solo mais resiliente através da minimização de perdas e pelo menor impacte na atividade biológica do mesmo.

Deste modo, o presente estudo vem enfatizar o papel de práticas agrícolas não convencionais, como é o caso da sementeira direta, na sustentabilidade do solo e respetiva produtividade. Além disso, é ainda notório o papel da implementação de faixas herbadas, áreas de sequeiro e áreas de pousio na fomentação da qualidade do solo e biodiversidade associada.

2.8. Referências bibliográficas

- Abreu, C. A., Raij, B. V., Abreu, M. F., & Gonzalez, A. P. A. Z. (2004). Avaliação da disponibilidade de manganês e ferro em solos pelo uso do método modificado da resina de troca iônica. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*, 28(3), 579–584.
- Agência Portuguesa do Ambiente. (2018). Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos.
- Albuquerque, A. W. de, Santos, J. R., Moura Filho, G., & Reis, L. S. (2013). Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17(7), 721–726. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000700005>
- Aziz, I., Mahmood, T., & Islam, K. R. (2013). Effect of long term no-till and conventional tillage practices on soil quality. *Soil and Tillage Research*, 131, 28–35. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.03.002>
- Balota, E. L., Nogueira, M. A., Mendes, I. C., Hungria, M., Fagotti, D. S. L., Melo, G. M. P., ... Melo, W. J. de. (2013). *Enzimas e seu papel na qualidade do solo*.
- Behera, S. K., & Shukla, A. K. (2014). Total and Extractable Manganese and Iron in Some Cultivated Acid Soils of India: Status, Distribution and Relationship with Some Soil Properties. *Pedosphere*, 24(2), 196–208. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(14\)60006-0](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(14)60006-0)
- Blanco-Canqui, H., & Ruis, S. J. (2018). No-tillage and soil physical environment. *Geoderma*, 326(February), 164–200. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.011>
- Boer, T. E. de, Holmstrup, M., Straalen, N. M. van, & Roelofs, D. (2010). The effect of soil pH and temperature on *Folsomia candida* transcriptional regulation. *Journal of Insect Physiology*, 56(4), 350–355. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2009.11.004>
- Brennan, D. D. (2002). *Evaluation of Mehlich 3 as a Micronutrient Extractant on Irish Grassland Soils*.
- Büchi, L., Wendling, M., Amossé, C., Jeangros, B., Sinaj, S., & Charles, R. (2017). Long and short term changes in crop yield and soil properties induced by the reduction of soil tillage in a long term experiment in Switzerland. *Soil and Tillage Research*, 174(June), 120–129. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.07.002>
- Cambaza, C. M. (2007). *Estudo de datas de sementeira para reduzir o risco de falha da cultura de milho (Zea mays L.) na agricultura de sequeiro no Distrito de Chókwe*.
- Carneiro, W. J. de O., Silva, C. A., Moniz, J. A., & Savian, T. V. (2013). Mineralização de nitrogênio em latossolos adubados com resíduos orgânicos. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*, 37, 715–725.
- Carter, M. R. (1993). *Soil sampling and methods of analysis*.
- Chen, G., Weil, R. R., & Hill, R. L. (2014). Effects of compaction and cover crops on soil least limiting water range and air permeability. *Soil and Tillage Research*, 136, 61–69. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.09.004>
- Chen, H., Chen, M., Li, D., Mao, Q., Zhang, W., & Mo, J. (2018). Responses of soil phosphorus availability to nitrogen addition in a legume and a non-legume plantation. *Geoderma*, 322(June 2017), 12–18. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.02.017>

- Choudhary, M., Jat, H. S., Datta, A., Yadav, A. K., Sapkota, T. B., Mondal, S., ... Jat, M. L. (2018). Sustainable intensification influences soil quality, biota, and productivity in cereal-based agroecosystems. *Applied Soil Ecology*, 126(March), 189–198. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.02.027>
- Comissão Europeia. (2016). *Soil biodiversity atlas*. <https://doi.org/10.2788/2613>
- Conte, E., Anghinoni, I., & Rheinheimer, D. S. (2002). Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 26(4), 925–930. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000400009>
- Costa, A. P. C. de Q. e. (2017). Evolução da PAC e da Agricultura Portuguesa no período 1998-2015: o caso das principais culturas na região do Alentejo, 122. Retrieved from [https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/14811/1/Evolução da PAC e da Agricultura Portuguesa no período 1998-2015 o caso das principais culturas na região do Alentejo_definitiva.pdf](https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/14811/1/Evolução%20da%20PAC%20e%20da%20Agricultura%20Portuguesa%20no%20período%201998-2015%20o%20caso%20das%20principais%20culturas%20na%20região%20do%20Alentejo_definitiva.pdf)
- Costa, J. B. da. (1999). *Caracterização e constituição do solo* (6ª). Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Costa, H. T. D. (2015). *Concentração de metais pesados nos solos utilizados para agricultura urbana na cidade de Lisboa Hugo Tiago Duarte Costa Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente*.
- Crouau, Y., & Cazes, L. (2003). What causes variability in the Folsomia candida reproduction test? *Applied Soil Ecology*, 22(22), 175–180.
- Crouau, Y., & Pinelli, E. (2008). Comparative ecotoxicity of three polluted industrial soils for the Collembola Folsomia candida. *Soil and Tillage Research*, 112(2), 643–649. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2008.01.017>
- Dalal, R. C., Allen, D. E., Wang, W. J., Reeves, S., & Gibson, I. (2011). Organic carbon and total nitrogen stocks in a Vertisol following 40 years of no-tillage, crop residue retention and nitrogen fertilisation. *Soil and Tillage Research*, 112(2), 133–139. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.12.006>
- de Andrade Bonetti, J., Anghinoni, I., de Moraes, M. T., & Fink, J. R. (2017). Resilience of soils with different texture, mineralogy and organic matter under long-term conservation systems. *Soil and Tillage Research*, 174(June), 104–112. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.06.008>
- Dkhar, M. S., & Mishra, R. R. (1983). Dehydrogenase and urease activities of maize (Zea mays L.) field soils. *Plant and Soil*, 70(3), 327–333. <https://doi.org/10.1007/BF02374889>
- Domínguez, A., & Bedano, J. C. (2016). The adoption of no-till instead of reduced tillage does not improve some soil quality parameters in Argentinean Pampas. *Applied Soil Ecology*, 98, 166–176. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.10.014>
- Fernández, F. G., & Hoef, R. G. (2009). Managing Soil pH and Crop Nutrients. In *Illinois Agronomy Handbook* (pp. 91–112).
- Ferreira, A. (1991). Caracterização geológica de Portugal continental. <https://doi.org/10.1021/pr100707t>
- Grisso, R., Alley, M., Holshouser, D., & Thomason, W. (2009). Precision farming tools: Soil Electrical Conductivity.

- Hamba, Y. (2016). SOIL MICROBIAL COMMUNITIES AND ENZYME ACTIVITIES. *Asian Journal of Natural & Applied Sciences*, 5(June), 100–107.
- Hidnert, P., & Pepper, E. (1950). Density of Solids and Liquids.
- Horneck, D., Hart, J., & Stevens, R. (2007). Acidifying Soil for crop production: Inland Pacific Northwest. <https://doi.org/10.1021/ja2085299>
- Horta, M. C., & Torrent, J. (2010). *Dinâmica do Fósforo no Solo, Perspectiva Agronómica e Ambiental* (IPCB).
- Hoyle, F. C., D'Antuono, M., Overheu, T., & Murphy, D. V. (2013). Capacity for increasing soil organic carbon stocks in dryland agricultural systems. *Soil Research*, 51(7–8), 657–667. <https://doi.org/10.1071/SR12373>
- Husson, O., Brunet, A., Babre, D., Charpentier, H., Durand, M., & Sarthou, J. P. (2018). Conservation Agriculture systems alter the electrical characteristics (Eh, pH and EC) of four soil types in France. *Soil and Tillage Research*, 176(March 2017), 57–68. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.11.005>
- INE. (2011). *Recenseamento Agrícola*. Lisboa.
- Institute, I. P. (n.d.). Potassium dynamics in the soil, 1–12.
- ISO. (1993). ISO 11465 - Soil quality - Determination of dry matter and water content on a mass basis - Gravimetric method. *International Organization*. <https://doi.org/10.1021/es0620181>
- ISO. (1996). Soil quality - Effects of pollutants on earthworms (*Eisenia fetida*).
- ISO. (1999). ISO 11267 - Inhibition of reproduction of *Collembola* (*Folsomia candida*) by soil pollutants.
- ISO. (2005). ISO 10390. Soil quality — Determination of pH. *International Organization*.
- ISO. (2007). ISO 23470 - Soil quality - Determination of effective cation exchange capacity (CEC) and exchangeable cations using a hexamminecobalt trichloride solution. *International Organization*. <https://doi.org/10.1021/es0620181>
- Karlen, D. L., Kovar, J. L., Cambardella, C. A., & Colvin, T. S. (2013). Thirty-year tillage effects on crop yield and soil fertility indicators. *Soil and Tillage Research*, 130, 24–41. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.02.003>
- Kinoshita, R., Schindelbeck, R. R., & van Es, H. M. (2017). Quantitative soil profile-scale assessment of the sustainability of long-term maize residue and tillage management. *Soil and Tillage Research*, 174(June), 34–44. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.05.010>
- Kujur, M., & KumarPate, A. (2014). Kinetics of soil enzyme activities under different ecosystems: An index of soil quality. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 74(1), 96–104. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392014000100015>
- Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., ... Rossi, J. P. (2006). Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, 42(SUPPL. 1). <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2006.10.002>
- Li, C. H., Ma, B. L., & Zhang, T. Q. (2002). Soil bulk density effects on soil microbial populations and enzyme activities during the growth of maize (*Zea mays* L.) plants in large pots under field exposure. *Canadian Journal of Soil Science*, 82(Lal 1999), 147–154.

<https://doi.org/10.4141/S01-026>

- Li, Q., Hu, Q., Zhang, C., & Jin, Z. (2018). Effects of Pb, Cd, Zn, and Cu on soil enzyme activity and soil properties related to agricultural land-use practices in karst area contaminated by Pb-Zn tailings. *Polish Journal of Environmental Studies*, 27(6), 2623–2632. <https://doi.org/10.15244/pjoes/81213>
- Lipiec, J., & Stepniewski, W. (1995). Effect of soil compaction and tillage system to uptake and loses of nutrient, 35(95), 37–52.
- Liu, Z., Chen, Z., Ma, P., Meng, Y., & Zhou, J. (2017). Effects of tillage, mulching and N management on yield, water productivity, N uptake and residual soil nitrate in a long-term wheat-summer maize cropping system. *Field Crops Research*, 213(August), 154–164. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.08.006>
- Lopes, R. N. B. da S. (2016). *Dinâmica do fósforo em solos derivados de materiais vulcânicos*.
- Lowe, C. N., & Butt, K. R. (2007). Earthworm culture, maintenance and species selection in chronic ecotoxicological studies: A critical review. *European Journal of Soil Biology*, 43(SUPPL. 1), 281–288. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2007.08.028>
- Lu, J., Bai, Z., Velthof, G. L., Wu, Z., Chadwick, D., & Ma, L. (2019). Accumulation and leaching of nitrate in soils in wheat-maize production in China. *Agricultural Water Management*, 212(August 2018), 407–415. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.08.039>
- Malvezi, K. E. D., Júnior, L. A. Z., Müller, L., Rosa, F. R. T., Oliveira, J. C. S. De, & Tullio, G. F. (2015). Dinâmica de nutrientes do solo em sistema de plantio direto. *Acta Iguazu*, 4(3), 10–30. Retrieved from <http://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/13094>
- Mikkelsen, R. (2010). Soil and Fertilizer Magnesium. *Better Crops*, 94, 26–28.
- Miyazawa, M., Pavan, M. A., & Calegari, A. (1993). Efeito de material vegetal na acidez do solo. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*, 17(3), 411–416.
- Mloza-Banda, H. R., Makwiza, C. N., & Mloza-Banda, M. L. (2016). Soil properties after conversion to conservation agriculture from ridge tillage in Southern Malawi. *Journal of Arid Environments*, 127, 7–16. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.11.001>
- Moreira, W. H., Tormena, C. A., Karlen, D. L., Silva, Á. P. da, Keller, T., & Betioli, E. (2016). Seasonal changes in soil physical properties under long-term no-tillage. *Soil and Tillage Research*, 160, 53–64. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.02.007>
- Mori, A., Kirk, G. J. D., Lee, J.-S., Morete, M. J., Nanda, A. K., Johnson-Beebout, S. E., & Wissuwa, M. (2016). Rice Genotype Differences in Tolerance of Zinc-Deficient Soils: Evidence for the Importance of Root-Induced Changes in the Rhizosphere. *Frontiers in Plant Science*, 6(1160), 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01160>
- Moussa-Machraoui, S. Ben, Errouissi, F., Ben-Hammouda, M., & Noura, S. (2010). Comparative effects of conventional and no-tillage management on some soil properties under Mediterranean semi-arid conditions in northwestern Tunisia. *Soil and Tillage Research*, 106(2), 247–253. <https://doi.org/10.1016/j.still.2009.10.009>
- Mumbach, G. L., Bona, F. D. De, Gatiboni, L. C., Schmitt, D. E., & Bonfada, É. B. (2016). Variação temporal de nitrogênio, fósforo e potássio em solo adubado com diferentes fertilizantes. In *XX reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água* (pp. 178–180).

- Munkholm, L. J., Schjøning, P., Rasmussen, K. J., & Tanderup, K. (2003). Spatial and temporal effects of direct drilling on soil structure in the seedling environment. *Soil and Tillage Research*, 71(2), 163–173. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(03\)00062-X](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(03)00062-X)
- Noulas, C., Tziouvakas, M., & Karyotis, T. (2018). Zinc in soils, water and food crops. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 49(February), 252–260. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.02.009>
- Nunes, J. R., Ramos-Miras, J., Lopez-Piñeiro, A., Loures, L., Gil, C., Coelho, J., & Loures, A. (2014). Concentrations of available heavy metals in Mediterranean agricultural soils and their relation with some soil selected properties: A case study in typical Mediterranean soils. *Sustainability*, 6(12), 9124–9138. <https://doi.org/10.3390/su6129124>
- Palm, C., Blanco-Canqui, H., DeClerck, F., Gatere, L., & Grace, P. (2014). Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 187, 87–105. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.10.010>
- Pareja-Sánchez, E., Plaza-Bonilla, D., Ramos, M. C., Lampurlanés, J., Álvaro-Fuentes, J., & Cantero-Martínez, C. (2017). Long-term no-till as a means to maintain soil surface structure in an agroecosystem transformed into irrigation. *Soil and Tillage Research*, 174(July), 221–230. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.07.012>
- Pelosi, C., Pey, B., Hedde, M., Caro, G., Capowiez, Y., Guernion, M., ... Cluzeau, D. (2014). Reducing tillage in cultivated fields increases earthworm functional diversity. *Applied Soil Ecology*, 83, 79–87. <https://doi.org/10.1016/J.APSSOIL.2013.10.005>
- Perego, A., Basile, A., Bonfante, A., De Mascellis, R., Terribile, F., Brenna, S., & Acutis, M. (2012). Nitrate leaching under maize cropping systems in Po Valley (Italy). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 147(1), 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.06.014>
- Plaza-Bonilla, D., Cantero-Martínez, C., Viñas, P., & Álvaro-Fuentes, J. (2013). Soil aggregation and organic carbon protection in a no-tillage chronosequence under Mediterranean conditions. *Geoderma*, 193–194, 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.10.022>
- PORDATA. (2018). No Title.
- Poulton, P. R., Johnston, A. E., & White, R. P. (2013). Plant-available soil phosphorus. Part I: The response of winter wheat and spring barley to Olsen P on a silty clay loam. *Soil Use and Management*, 29(1), 4–11. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2012.00450.x>
- Quaranta, G. (2004). Agricultura de Sequeiro.
- Quelhas dos Santos, J. (2015). *Fertilizantes*. (Publindústria, Ed.).
- Reisenauer, H. M. (1988). Determination of Plant-available Soil Manganese. In *Manganese in Soils and Plants* (pp. 87–89).
- Riquetti, C., Silva, P. R. F. da, Menegati, G. B., Correia, S. da L., Serpa, M. da S., Menezes, G. B., ... Lopes, F. (2012). Eficiência do Uso da Ureia com Inibidor da Enzima Urease em Milho. In *XXIX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO* (pp. 1222–1228).
- Roger-Estrade, J., Anger, C., Bertrand, M., & Richard, G. (2010). Tillage and soil ecology: Partners for sustainable agriculture. *Soil and Tillage Research*, 111(1), 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.still.2010.08.010>

- Sacristán, D., & Carbó, E. (2016). Copper Contamination Contamination in in Mediterranean Mediterranean Agricultural Agricultural Copper Soils : Soil Quality Standards and Adequate Soil Soils : Soil Quality Standards and Adequate Soil Management Practices for Horticultural Crops Management.
- Sarker, J. R., Singh, B. P., Dougherty, W. J., Fang, Y., Badgery, W., Hoyle, F. C., ... Cowie, A. L. (2018). Impact of agricultural management practices on the nutrient supply potential of soil organic matter under long-term farming systems. *Soil and Tillage Research*, 175(August 2017), 71–81. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.08.005>
- Scheartzkopf, C. (1972). Potassium, Calcium, Magnesium - How They Relate to Plant Growth.
- Schinner, F., Ohlinger, R., Kandeler, E., & Margesin, R. (1996). *Methods in Soil Biology* (Springer).
- Schomberg, H., Cabrera, M., Schomberg, H. H., Reeves, D. W., Cabrera, M. L., Fisher, D. S., ... Tyler, D. D. (2009). Assessing Indices for Predicting Potential Nitrogen Mineralization in Soils under Different Management Systems. *Soil Science of America Journal*, (September), 1575–1586. <https://doi.org/10.2136/sssaj2008.0303>
- Sengik, E. S. (2003). Os macronutrientes e os micronutrientes das plantas.
- Shi, Z. J., Lu, Y., Xu, Z. G., & Fu, S. L. (2008). Enzyme activities of urban soils under different land use in the Shenzhen city, China. *Plant, Soil and Environment*, 54(8), 341–346. <https://doi.org/10.17221/415-PSE>
- Silva, P. G., Calazans, G. M., Silva, D., Andrade, C. T., Marriel, I. E., & Santos, V. (2011). Atividade da fosfatase ácida e alcalina em solo adubado com dejetos suínos em sistema irrigado e de sequeiro, cultivado com milho. *VII Congresso Brasileiro de Agroecologia*, 6(2), 2–7.
- Silva, S. G. C., Silva, Á. P. da, Giarola, N. F. B., Tormena, C. A., & Sá, J. C. de M. (2012). Temporary effect of chiseling on the compaction of a Rhodic Hapludox under no-tillage. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 36(2), 547–555. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000200024>
- Soane, B. D., Ball, B. C., Arvidsson, J., Basch, G., Moreno, F., & Roger-Estrade, J. (2012). No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. *Soil and Tillage Research*, 118, 66–87. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.10.015>
- Sousa, C. E. É. (2016). *Contributo para o conhecimento da sustentabilidade da agricultura praticada em Cabo Verde. Caso de estudo: São Lourenço dos Órgãos (Ilha de Santiago)*.
- Tecator, A. B. (1981). The determination of nitrogen according to Kjeldahl using block digestion and steam desillation - Application note 300.
- Thomas, G. A., Dalal, R. C., & Standley, J. (2007). No-till effects on organic matter, pH, cation exchange capacity and nutrient distribution in a Luvisol in the semi-arid subtropics. *Soil and Tillage Research*, 94(2), 295–304. <https://doi.org/10.1016/j.still.2006.08.005>
- Tormena, C. A., Karlen, D. L., Logsdon, S., & Cherubin, M. R. (2017). Corn stover harvest and tillage impacts on near-surface soil physical quality. *Soil and Tillage Research*, 166, 122–130. <https://doi.org/10.1016/j.still.2016.09.015>
- Utobo, E. B., & Tewari, L. (2010). SOIL ENZYMES AS BIOINDICATORS OF SOIL ECOSYSTEM

- STATUS. *Ecotropica*, 16(2), 113–123. <https://doi.org/10.15666/aeer/1301>
- Varenes, A. de. (2006). *Produtividade dos solos e ambiente*. (Escolar Editora, Ed.). Lisboa.
- Vavoulidou, E., Avramides, E. J., Papadopoulos, P., Dimirkou, A., Charoulis, A., Doltsinis, S. K., ... Charoulis, A. (2011). Copper Content in Agricultural Soils Related to Cropping Systems in Different Regions of Greece Copper Content in Agricultural Soils. In *Communications in Soil Science and Plant Analysis* (Vol. 3624). <https://doi.org/10.1081/CSS-200043367>
- Vogeler, I., Rogasik, J., Funder, U., Panten, K., & Schnug, E. (2009). Soil & Tillage Research Effect of tillage systems and P-fertilization on soil physical and chemical properties , crop yield and nutrient uptake, 103, 137–143. <https://doi.org/10.1016/j.still.2008.10.004>
- Wood, C. W., Mullins, G. L., & Hajek, B. F. (2003). Phosphorous in Agriculture, (2), 4.
- Yasmin, S., & D'Souza, D. (2010). Effects of Pesticides on the Growth and Reproduction of Earthworm: A Review. *Applied and Environmental Soil Science*, 2010, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2010/678360>
- Zanão Júnior, L. A., Lana, R. M. Q., Guimarães, E. C., & Pereira, J. M. de A. (2010). Variabilidade espacial dos teores de macronutrientes em latossolos sob sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*, 39, 390–400. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000200012>

3. Capítulo 3 – Considerações finais

Este estudo procurou evidenciar o efeito que as práticas agrícolas e a sua aplicação têm nos processos do solo e como os impactos causados por elas podem alterar os processos que garantem a não perda de qualidade do solo. O objetivo passou pela avaliação das alterações de diferentes práticas agrícolas, nomeadamente a convencional, a sementeira direta, a faixa herbada e sequeiro, procurando perceber o seu impacto na qualidade do solo e a maneira como estas contribuem para a sustentabilidade do solo. Para isso foi realizado um conjunto vasto de análises físico-químicas e biológicas que procuraram caracterizar as diferentes práticas.

Pela análise do conjunto de parâmetros realizado e das correlações entre os mesmos é perceptível a enorme complexidade dos processos do solo. Apesar desta complexidade, a variação significativa de alguns parâmetros permite tecer considerações sobre as diferentes práticas em estudo. Quando comparada com a convencional, a prática da sementeira direta

Tendo em conta a importância do setor agrícola e os impactes das práticas agrícolas, é uma necessidade proceder a avaliações das propriedades do solo, de modo a que as culturas realizadas se aproximem da sustentabilidade, com vista em evitar a perda e degradação deste recurso. Sendo a sementeira direta uma das práticas mais aceites como substituta à prática convencional, a realização de estudos neste âmbito permite avaliar a aproximação da produção às preocupações ambientais.

O facto deste trabalho ter realizado um número elevado de parâmetros permite que seja possível proceder à escolha de parâmetros, que pelas variações que possuem ao longo do ciclo da cultura, se tornam bons indicadores da maneira como o solo reage a diferentes práticas, fertilizações, gestão hídrica, entre outros. Esses parâmetros, tendo em conta os resultados obtidos, podem ser fundamentais para estudos futuros e passam por: condutividade elétrica, matéria orgânica, capacidade de troca catiónica, azoto, fósforo disponível, nitratos, cálcio, potássio, atividade da urease e mineralização do azoto.

Tendo em conta as conclusões deste trabalho, passam por recomendações para trabalhos futuros os seguintes pontos:

- Realizar o mesmo tipo de avaliação com um maior período de estudo, por exemplo 3 ciclos de cultura, de modo a perceber e estimar as variações ao longo do tempo e a garantir a origem das variações obtidas. Isto porque a avaliação de apenas um ciclo de cultura tem associadas limitações na representatividade, o que pode torna-la inconclusiva para determinados casos;
- Realizar, apenas para um ano, várias amostragens ao longo da campanha de modo a avaliar mais especificamente as diferentes variações dos parâmetros e conectá-los aos diferentes processos que ocorrem no solo e às diferentes etapas;

- Proceder, tendo em conta a conservação que é conseguida pela sementeira direta a nível de nutrientes, ao estudo do impacto da aplicação de diferentes taxas de aplicação de fertilizantes e fármacos na prática da sementeira direta com o intuito de reduzir os custos e aplicação ao mesmo tempo em que se avalia a resposta do solo;
- Estudar os mecanismos, a influência da prática utilizada e de diferentes taxas de fertilização azotada na produção de N_2O .

Associado à sementeira direta existem diversos benefícios, principalmente ambientais e económicos. A nível económico, está relacionada a redução dos custos em processos de preparação do solo e, em caso de redução de aplicação de fertilizantes e fitofármacos, redução nos custos de compra e aplicação dos mesmos. A nível ambiental, são minimizados os riscos ligados à gestão de nutrientes, isto é, com a escorrência superficial e lixiviação, que colocam em risco a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, respetivamente. Por fim, numa escala ambiental maior, associado à prática agrícola e ao uso de fertilizantes azotados, existem diferentes valores de libertação de N_2O que, por ser um gás de efeito de estufa, se procura que sejam reduzidas as emissões do mesmo, de modo a diminuir os efeitos associados nomeadamente as alterações climáticas.

Anexos

Anexo 1 - Estatística

A análise estatística dos dados obtidos foi, como já referido no corpo de texto, obtida pelo uso de uma análise de variância, usando para isso o *software* Sigma Plot 11. O objetivo desta análise passa pela comparação de dois grupos no que diz respeito à sua localização.

A ANOVA realizada (2-way ANOVA) apresenta-se como uma análise de variância para duas variáveis independentes. Para isso é necessário assumir que:

- As populações apresentam-se como aproximadamente normais;
- As variâncias das populações devem ser iguais;
- As amostras devem ser independentes;
- Os grupos devem possuir o mesmo número de amostras.

Dentro desta análise, destacam-se os fatores, que nada mais são do que as variáveis independentes do qual se quer estudar a interação entre elas, numa variável dependente destas. No caso específico das análises realizadas nesta dissertação, As variáveis independentes são então as práticas ou modelos de gestão (sementeira direta, convencional, faixa herbada, sequeiro e pousio) que vão ser estudadas (a sua interação) com a amostragem. Estes dois fatores são então comparados para uma variável dependente, que neste caso será o parâmetro em estudo (p.e.: pH, condutividade, nutrientes, CTC, etc.).

As hipóteses nulas consideradas numa ANOVA de duas vias passam, tendo em conta os fatores previamente definidos por:

- As médias da população do fator 1 são iguais;
- As médias da população do fator 2 são iguais;
- Não existe interação entre os 2 fatores.

Quando necessário, isto é, quando existem diferenças significativas entre fatores e queremos testar/avaliar a magnitude dessas diferenças, usa-se um teste de comparações múltiplas (comparação de médias) tendo sido usado especificamente o teste de Tuckey.

Desta análise resulta uma tabela simplificada (exposta seguidamente aos dados) que apresenta os valores de G.L. (graus de liberdade), F (dado pela variância das médias do grupo divididas pela média das variâncias do grupo) e p (p-value). Os graus de liberdade estão associados às classes de resultados na estatística de teste e os valores de F e p, quando usados em conjunto, permitem a tomada de decisão sobre a significância dos valores obtidos

Anexo 2 – Tabela de correlação dos vários parâmetros

Tabela 6 - Tabela de correlação dos vários parâmetros analisados, segundo uma correlação de Pearson para $p < 0,05$. Considera-se a magnitude de Cohen (1988) na qual a magnitude da correlação é dada por: [0,10;0,29] fraca; [0,3;0,49] moderada; [0,5;1] elevada. A verde as correlações de magnitude elevada, amarelo as moderadas e a vermelho as fracas. *A correlação é significativa para um nível de 0,05.

	CC	pH	CE	MO.	Nt	Pt	Pd	NO ₃	CTC	Ca	Mg	K	Cu	Zn	Fe	Mn	Al	At. Fosfatase	At. Invertase	At. Urease	Min. Azoto	Eisenia fetida	Folsomia candida
Dens.Ap.	-0,342	-0,160	-0,005	-0,554*	+0,050	+0,072	-0,308	-0,057	-0,515*	-0,746*	-0,160	-0,110	-0,515*	-0,307	-0,191	-0,691*	+0,265	-0,078	-0,363*	+0,104	-0,307	-0,097	-0,222
Cap.Campo		-0,158	+0,082	+0,485*	-0,136	-0,169	+0,199	-0,195	+0,262	+0,343	+0,071	-0,156	0,411*	+0,223	+0,510*	+0,424*	-0,151	+0,069	+0,482*	+0,082	+0,670*	+0,438*	+0,225
pH			-0,178	+0,000	+0,144	-0,018	+0,495*	+0,067	+0,309	+0,022	+0,228	-0,145	-0,326	-0,285	-0,323	-0,033	+0,076	+0,193	+0,132	-0,118	-0,243	-0,268	-0,150
CE				+0,263	+0,070	+0,366*	+0,146	+0,563*	+0,108	+0,068	+0,301	+0,105	+0,226	+0,418*	+0,200	+0,094	+0,213	-0,464*	+0,370*	+0,508*	+0,282*	+0,155	-0,247
Mat.Org.					+0,036	+0,003	+0,466*	+0,199	+0,844*	+0,791*	+0,554*	-0,006	+0,521*	+0,665*	+0,240	+0,765*	-0,005	-0,189	+0,682*	+0,577*	+0,552	+0,046	+0,160
N total						+0,502*	+0,315	-0,070	+0,143	+0,068	-0,165	+0,113	-0,121	-0,075	-0,463*	-0,013	+0,101	-0,246	+0,123	+0,147	+0,064	-0,161	-0,187
P total							+0,139	+0,312	+0,078	+0,057	-0,109	+0,605*	+0,161	+0,179	-0,229	+0,062	+0,129	-0,317	+0,299	+0,325	+0,193	+0,010	-0,115
P disp.								+0,213	+0,647*	+0,396*	+0,269	-0,189	-0,035	-0,106	-0,286	+0,278	+0,333	-0,002	+0,483*	+0,053	+0,220	-0,324	-0,019
Nitratos									+0,215	+0,085	+0,253	+0,102	+0,214	+0,334	-0,022	+0,086	+0,349	-0,250	+0,288	+0,439*	+0,173	-0,219	+0,006
CTC										+0,681*	+0,580*	-0,015	+0,290	+0,340	-0,153	+0,628*	+0,135	-0,008	+0,587*	+0,341	+0,265	-0,202	+0,056
Ca											+0,207	+0,097	+0,627*	+0,525*	+0,263	+0,947*	-0,123	-0,171	+0,576*	+0,233	+0,472	+0,162	+0,436*
Mg												+0,197	-0,128	+0,276	+0,091	+0,260	-0,200	+0,078	+0,371	+0,387	+0,099	-0,267	-0,150
K													+0,042	+0,103	-0,051	+0,175	-0,214	-0,015	+0,345	+0,026	+0,176	-0,044	-0,057
Cu														+0,723	+0,570*	+0,617*	-0,081	-0,236	+0,401*	+0,314	+0,590*	+0,486*	+0,452*
Zn															+0,550*	+0,529*	-0,238	-0,418*	+0,391*	+0,748*	+0,480*	+0,240	+0,279
Fe																+0,341	-0,315	-0,115	+0,201	+0,200	+0,476*	+0,534*	+0,377
Mn																	-0,193	-0,165	+0,593*	+0,245	+0,523*	+0,278	+0,401
Al																		-0,016	+0,168	+0,131	+0,061	-0,124	-0,378
Fosfatase																			-0,034	-0,515*	-0,114	-0,107	-0,035
Invertase																				+0,436*	+0,705*	+0,089	+0,100
Urease																					+0,419*	+0,018	-0,014
Min. Azoto																						+0,385*	+0,400
Eisenia fetida																							+0,057

