



IMPACTOS DA COLHEITA MECÂNICA DE AZEITONA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO, NE PORTUGAL.

Davi Hasse

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para a obtenção do
Grau de Mestre em Agroecologia no âmbito da dupla diplomação com a Universidade
Tecnológica Federal do Paraná – campus Pato Branco*

Orientação

Prof. Doutora Felícia Maria da Silva Fonseca

Coorientação

Prof. Doutor Tomás d’Aquino Freitas Rosa de Figueiredo

Prof. Doutora Rachel Muylaert Guimarães

Bragança

2023

DAVI HASSE

**IMPACTOS DA COLHEITA MECÂNICA DE AZEITONA NAS PROPRIEDADES
FÍSICAS DO SOLO, NE PORTUGAL.**

Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de
Bragança para obtenção do Grau de Mestre em
Agroecologia no âmbito da dupla diplomação com a
Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus
Pato Branco

Bragança

Instituto Politécnico de Bragança – IPB

2023

*“Quem cultiva alimentos, cultiva a paz, a escassez e a
fome sempre foram motivo de guerra”*

Dirceu Gassen

*Aos meus Pais, Família e Amigos
Que me apoiaram ao longo de toda minha trajetória.
Aos meus orientadores, meus sinceros agradecimentos.*

Agradecimentos

O desenvolvimento deste projeto se deu graças à parceria entre a Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e o Instituto Politécnico de Bragança (IPB). Gostaria de agradecer a ambas as universidades pelo conhecimento disponibilizado, e pela oportunidade da realização deste programa de dupla diplomação.

A minha orientadora, Professora Doutora Felicia Maria da Silva Fonseca (IPB), e aos meus coorientadores, Professor Doutor Tomás d'Aquino Freitas Rosa de Figueiredo (IPB) e Professora Doutora Rachel Muylaert Guimarães (UTFPR), minha profunda gratidão pela orientação, disponibilidade e conhecimento repassado.

Aos meus pais e família, meu eterno agradecimento pelo apoio a realização dos meus sonhos. Aos meus colegas e irmãos Eduardo Camilo Cattuci, João Arthur Ghelen e Luiz Henrique Guzzi, pelas sugestões, conselhos e apoio durante esta jornada, com certeza sem a ajuda de vocês a realização deste trabalho teria sido muito mais difícil.

Aos meus amigos e a todos aqueles que de alguma forma prestaram apoio para a realização deste trabalho ou contribuíram para esta importante etapa de minha vida, minha imensa gratidão. Gostaria também de agradecer, por fim, a todos aqueles que de forma indireta contribuíram para a concretização deste trabalho.

Resumo

A colheita mecânica de azeitona, principalmente quando efetuada em condições inadequadas de umidade do solo, como acontece em Portugal que é efetuada na época das chuvas, pode causar compactação do solo, prejudicando o crescimento das plantas, aumentando a resistência ao crescimento de raízes e comprometendo a retenção de água e nutrientes, podendo também incrementar a erosão do solo. Diante disto, o presente trabalho teve como objetivo principal estudar os efeitos da passagem da máquina de colheita mecânica de azeitona em propriedades físicas de solos, geridos com mobilização e coberturas verdes (solos mobilizados e não mobilizados), no município de Mirandela, NE Portugal. As amostras perturbadas e não perturbadas de solo, para avaliação de parâmetros físicos do solo como permeabilidade, densidade, porosidade, capacidade de campo, capacidade máxima para a água e estabilidade de agregados, foram coletadas nas profundidades 0 – 10 e 10 – 20 cm, em 8 locais com (não mobilizado rodado e mobilizado rodado) e sem passagem da máquina (não mobilizado e mobilizado), ou seja, com e sem pressão exercida sobre o solo. Diante da análise dos resultados, verificou-se que a passagem da máquina, tanto na área mobilizada quanto na área não mobilizada, conduziu a uma qualidade inferior dos parâmetros físicos do solo analisados (redução da permeabilidade, da porosidade da capacidade de retenção de água da estabilidade da agregação e aumento da densidade do solo). Estes efeitos, que conduziram a uma perda de qualidade do solo, colocam em evidência a necessidade de adoção de técnicas de conservação do solo, como a mobilização segundo as curvas de nível, uso de coberturas verdes, controle do tráfego, aumento do teor de matéria orgânica do solo, utilizar pneus de maior largura, entre outros. Práticas como estas visam preservar a estrutura do solo, reduzir a erosão e manter ou aumentar a quantidade de matéria orgânica, de modo a garantir a sustentabilidade e a produtividade dos agrossistemas ao longo do tempo.

Palavras Chave: Compactação do solo; Manejo do solo; Conservação do Solo, Propriedades físicas do solo.

Abstract

The mechanical harvesting of olives, especially when carried out under inadequate soil moisture conditions, as is the case in Portugal during the rainy season, can lead to soil compaction, impairing plant growth, increasing root growth resistance, compromising water and nutrient retention, and potentially increasing soil erosion. Therefore, the main objective of this study was to investigate the effects of the passage of mechanical olive harvesting machinery on the physical properties of soils managed with tillage and cover cropping (tilled and untilled soils) in the municipality of Mirandela, NE Portugal. Disturbed and undisturbed soil samples, used to evaluate soil physical parameters such as permeability, density, porosity, field capacity, maximum water holding capacity, and aggregate stability, were collected at depths of 0 – 10 cm and 10 – 20 cm at eight locations with (tilled and untilled with machinery passage) and without machinery passage (tilled and untilled), i.e., with and without pressure applied to the soil. Analysis of the results revealed that the machinery passage, both in tilled and untilled areas, resulted in poorer quality of the analyzed soil physical parameters (reduced permeability, porosity, water retention capacity, aggregate stability, and increased soil density). These effects, leading to soil quality loss, emphasize the need for adopting soil conservation techniques such as contour tillage, the use of cover crops, traffic control, increased soil organic matter content, as well as using larger tires, among others. Practices like this aim to preserve soil structure, reduce erosion, and maintain or increase organic matter content, ensuring the sustainability and productivity of agroecosystems over time.

Keywords: Soil compaction; Soil management; Soil conservation; Soil physical properties.

Sumário

1	Introdução	12
2	Referencial Teórico	14
2.1	Os Solos Portugueses	14
2.2	Leptosolos.....	14
2.3	Descrição e Uso da Terra no NE Portugal	15
2.4	Estrutura e Compactação do Solo	16
2.5	Efeito das práticas culturais nas propriedades físicas do solo	18
2.6	A Oliveira.....	20
2.7	Colheita da Azeitona	21
3	Material e Métodos.....	23
3.1	Localização e Delineamento Experimental	23
3.2	Determinação da Permeabilidade do Solo e Propriedades Físicas Associadas	25
3.2.1	Cálculo e Classificação da Condutividade Hidráulica.....	29
3.2.2	Densidade Aparente	29
3.2.3	Porosidade Total	30
3.2.4	Capacidade de Campo e Capacidade Máxima para a Água	30
3.2.5	Microporosidade e Macroporosidade.....	30
3.3	Estabilidade dos Agregados do Solo.....	31
3.3.1	Cálculo da Estabilidade dos Agregados	33
3.3.2	Cálculo de Partículas Primárias.....	33
3.4	Tratamento Estatístico dos Dados	33
4	Resultados e Discussão.....	34
4.1	Permeabilidade do Solo	34
4.2	Densidade	35
4.2.1	Densidade Aparente	35
4.2.2	Densidade Real.....	37
4.3	Porosidade	38
4.3.1	Microporosidade	39

4.3.2	Macroporosidade	40
4.4	Capacidade Máxima para a Água	41
4.5	Capacidade de Campo	42
4.6	Estabilidade dos Agregados do Solo.....	42
4.6.1	Efeito das forças mecânicas aplicadas sobre o solo na Estabilidade dos Agregados.....	43
4.6.3	Efeito da profundidade do solo na Estabilidade dos Agregados	46
5	Conclusão	49
6	Referências	50

Lista de Figuras

Figura 1 – Localização da área de estudo.....	23
Figura 2 - Pontos de coleta nos tratamentos mobilizado rodado e não mobilizado rodado.....	24
Figura 3 - Pontos de coleta nos tratamentos mobilizado e não mobilizado.....	25
Figura 4 - Permeômetro de circuito fechado	25
Figura 5 - Anéis volumétricos com as amostras não perturbadas colhidas no campo	26
Figura 6 - Preparo dos anéis volumétricos (cilindros) para a determinação da permeabilidade do solo e outras propriedades físicas associadas no permeômetro. 1: Adição da gaze hidrófila ao anel, 2: Adição do filtro, 3: Adição da fita de vedação, 4: Adição da armadura ao anel	27
Figura 7 - Anéis volumétricos adicionados ao permeômetro.	27
Figura 8 - Medição do nível da água no exterior e no interior das armaduras que contém os anéis volumétricos das amostras	28
Figura 9 - Preparo das amostras para determinação da estabilidade de agregados do solo. No peneiro central estão armazenadas as partículas com dimensões entre 2 e 1 mm.....	31
Figura 10 - Estabilizador de agregados	32
Figura 11 - Permeabilidade inicial do solo. Para a mesma profundidade, letras diferentes representam diferenças significativas entre tratamentos ($p < 0,05$).....	34
Figura 12 - Permeabilidade final do solo. Para a mesma profundidade, letras diferentes representam diferenças significativas entre tratamentos ($p < 0,05$).....	35
Figura 13 - Densidade aparente do solo. Para a mesma profundidade, letras diferentes representam diferenças significativas entre tratamentos ($p < 0,05$).....	36
Figura 14 - Densidade real do solo. Para a mesma profundidade, letras representam diferenças significativas entre tratamentos ($p < 0,05$).	37
Figura 15 - Porosidade total do solo. Para a mesma profundidade, letras diferentes representam diferenças significativas entre tratamentos ($p < 0,05$).	39
Figura 16 - Microporosidade do solo. Para a mesma profundidade, letras diferentes representam diferenças significativas entre tratamentos ($p < 0,05$).	40
Figura 17 - Macroporosidade do solo. Para a mesma profundidade, letras diferentes representam diferenças significativas entre tratamentos ($p < 0,05$).....	40

Figura 18 - Capacidade máxima de água. Para a mesma profundidade, letras diferentes representam diferenças significativas entre tratamentos ($p < 0,05$).....	41
Figura 19 - Capacidade de campo. Para a mesma classe de agregados, letras diferentes representam diferenças significativas entre tratamentos ($p < 0,05$).....	42
Figura 20 - Comparação da estabilidade dos agregados entre os tratamentos não mobilizado e não mobilizado rodado. Para a mesma profundidade e classe de agregados, letras diferentes representam diferenças significativas entre tratamentos ($P < 0,05$).....	44
Figura 21 - Comparação da estabilidade dos agregados entre os tratamentos mobilizado e mobilizado rodado. Para a mesma profundidade e classe de agregados, letras diferentes representam diferenças significativas entre tratamentos ($p < 0,05$).....	44
Figura 22 - Comparação da estabilidade dos agregados das classes 0,25 mm e 0,40 mm, na profundidade 0-10 cm. Para a mesma classe de agregados, letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$).....	45
Figura 23 - Comparação da estabilidade dos agregados das classes 0,25 mm e 0,40 mm, na profundidade 10-20 cm. Para a mesma classe de agregados, letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$).....	46
Figura 24 - Comparação da estabilidade dos agregados nas profundidades 0-10 cm e 10-20 cm, para a classe de agregados 0,25 mm. Para a mesma profundidade, letras diferentes indicam diferenças significativas entre tratamentos ($p < 0,05$).	46
Figura 25 - Comparação da estabilidade dos agregados nas profundidades 0-10 cm e 10-20 cm, para a classe de agregados 0,40 mm. Para a mesma profundidade, letras diferentes indicam diferenças significativas entre tratamentos ($p < 0,05$).	47

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Tratamentos estabelecidos nas áreas de amostragem A1 (solo mobilizado) e A2 (solo não mobilizado, com cobertura verde).....	24
Tabela 2 - Classificação da Permeabilidade dos Solos (SCS/USDA)	29

1 Introdução

Com o aumento da população mundial, a conservação do solo e da água é uma temática, mais importante do que nunca, nos dias atuais. No ano de 2050 seremos 10 bilhões de pessoas, um aumento de 2 bilhões em apenas 28 anos (ONU, 2022). Apesar da grande quantidade de pesquisas acerca da degradação do solo, a preocupação com este assunto continua elevada. Visto que o aumento populacional irá requerer maiores produções agrícolas, deve-se cada vez mais discutir e conhecer métodos conservacionistas e de recuperação de solos, visando a proteção do recurso solo, e a maximização da produção de alimentos e recursos. FAO (2017), refere que para equivaler a demanda, a agricultura em 2050 deverá produzir praticamente 50% a mais de comida, ração e biocombustível do que produziu em 2012, e que devido a fatores como mudanças climáticas, pressão sobre os recursos naturais, subinvestimento na agricultura e falta de tecnologia para determinadas culturas, manter o aumento da produção poderá ser mais difícil que foi no passado.

Em contrapartida, nos últimos 50 anos a produção agrícola mundial triplicou (FAO, 2013). Este aumento de produção, foi acompanhado da evolução dos maquinários utilizados pelos produtores, que por vezes passaram a ser de maior porte, suportando maiores cargas e também com maior peso bruto. Por exemplo, a colheita mecanizada da azeitona vem crescendo nos últimos anos em Portugal, induzida pela falta de mão de obra, os produtores estão a investir mais em tecnologia e automação, visando ganhar tempo e economizar dinheiro nos manejos necessários para a cultura da oliveira. Junto a este avanço tecnológico, a degradação do solo por compactação é um tema que ganha relevância, devido ao facto dos produtores rurais por muitas vezes se sentirem obrigados a entrar nas áreas agrícolas quando o solo ainda não está em condições ideais de umidade, transitando repetidas vezes sobre o mesmo local ou sobrecarregando os maquinários, exercendo grande pressão sobre o solo, podendo causar compactação. É de referir que a apanha da azeitona ocorre durante o período das chuvas (outubro a dezembro).

Segundo Hamza e Anderson (2005), a compactação do solo é definida através do processo de rearranjo das partículas do solo, e ocorre quando as partículas de solo são pressionadas umas contra as outras, reduzindo o espaço poroso e, conseqüentemente aumentando a densidade aparente. Defossez e Richard (2002) mencionam também que a compactação do solo está relacionada aos agregados do solo, alterando o arranjo espacial, tamanho e forma dos coloides e agregados, alterando os tamanhos dos espaços porosos dentro e entre estas unidades.

O fornecimento de oxigênio às plantas através de um solo bem arejado, e conseqüentemente com um volume de poros adequado, faz com que as plantas gerem energia de forma mais eficiente, além de proporcionar uma maior facilidade no desenvolvimento, expansão e crescimento das raízes através do solo, facilitando a captação de água e nutrientes. Segundo Sá e Santos-Junior (2005), o crescimento vegetal é diretamente afetado pela resistência mecânica que o solo oferece ao crescimento das raízes e essa resistência aumenta com o aumento da compactação do solo. Quando compactados, os solos são mais suscetíveis ao ataque de patógenos, devido à microbiota que se torna deficiente na rizosfera. A compactação torna o solo um ambiente físico desfavorável ao crescimento e desenvolvimento das plantas, impondo restrições à sua produtividade e longevidade, mesmo em condições ideais de suprimento de nutrientes.

Outros fatores também são responsáveis pela degradação física do solo, como a erosão (eólica ou hídrica), que é responsável pela retirada da camada superficial do solo, carreando nutrientes, matéria orgânica e comprometendo a fertilidade do solo. Em solos com menores níveis de compactação, a quantidade de água retida e a permeabilidade do solo são maiores, dificultando a ocorrência do escoamento superficial, logo tendo menor perda de solo por erosão, e causando grande diferença na disponibilidade de água para as plantas em épocas de seca.

De acordo com Vallin (2021), há três fatores que se destacam na degradação do solo, as queimadas, o desmatamento e a ação do homem. Condições climáticas e fenômenos naturais também são responsáveis pela degradação. O uso excessivo de fertilizantes, enquadra-se na degradação química do solo, pode ser responsável pelo acúmulo de sais no solo, gerando acidificação e prejudicando a disponibilidade de nutrientes para as plantas. A lixiviação também é responsável pela degradação química do solo, carreando nutrientes em profundidade, para fora do alcance das plantas. Frequentemente, os produtores agrícolas não conectam as suas práticas de manejo do solo às causas de degradação estrutural do solo (McGarry e Sharp, 2001). Embora a compactação do solo seja retratada como o problema ambiental mais sério causado pela agricultura convencional (McGarry, 2001), é o tipo de degradação mais difícil de ser mensurado, visto que nem sempre os indícios de compactação são visíveis na superfície do solo (Hamza e Anderson, 2005).

Tendo em vista a degradação física do solo, devido ao seu uso na atividade agrícola, o presente trabalho tem como objetivo principal estudar os efeitos das passagens da máquina de colheita mecânica de azeitona nas propriedades físicas de solos, geridos com mobilização e coberturas verdes (solos mobilizados e não mobilizados).

2 Referencial Teórico

2.1 Os Solos Portugueses

Segundo a carta portuguesa de ocupação dos solos (2018), a atividade agrícola e florestal desenvolve-se em cerca de 80% do território, sendo que 39% são florestas e 12% matos, totalizando 51%; 26% agricultura, 8% sistemas agroflorestais e 7% pastagens. A agricultura é a ocupação predominante da zona do Oeste, Baixo e Alto Alentejo, bem como no Douro Interior e Nordeste Transmontano, ocupando uma área agrícola, nestas regiões, de cerca de 35% dos territórios.

Segundo a FAO/IUSS, em Portugal existem oito tipos de solos predominantes, classificados como arenossolos, equivalente a regossolos psamíticos (SROA/CNROA/IEADR), cambissolos, equivalente a solos calcários e solos litólicos (SROA/CNROA/IEADR), fluvisolos, equivalente a aluviosolos e coluviosolos (SROA/CNROA/IEADR), leptossolos, equivalente a litossolos, solos litólicos, solos calcários e solos orgânicos hidromórficos (SROA/CNROA/IEADR), luvissolos, equivalente a solos argiluvitados pouco insaturados (SROA/CNROA/IEADR), podzóis, equivalente a solos podzolizados (SROA/CNROA/IEADR), solonchaks, equivalente a solos salinos (SROA/CNROA/IEADR), vertissolos, equivalente a barros (SROA/CNROA/IEADR).

Dentre estas classificações, os leptossolos encontram-se na terceira posição na distribuição ao longo do país, apenas atrás dos cambissolos e luvissolos, que aparecem em primeiro e segundo lugar, respetivamente (Inácio et al, 2008). No Nordeste de Portugal a percentagem de leptossolos representa 71,6% do território (Figueiredo, 2013). Enquanto no concelho de Mirandela (município onde decorreu o presente trabalho, NE Portugal), a distribuição percentual de leptossolos ocupa 89,3%, de cambissolos 9,1% e de fluvisolos 1,6% (Figueiredo, 2013).

2.2 Leptossolos

Os leptossolos são classificados como solos delgados (espessura ≤ 30 cm), contendo grandes quantidades de cascalho e baixo teor de matéria orgânica. São suscetíveis à erosão, dessecação ou alagamento, a depender do clima e da topografia em que estão situados. São encontrados entre áreas de alta montanha, desertos e regiões boreais ou polares, onde as condições climáticas severas constituem fator limitante para o desenvolvimento e formação do solo (Britannica, 2016). São um dos quatro grupos de solos referência que ocupam mais de 10% da área total de solos da União Europeia (Toth et. Al, 2008), e abrangem cerca de 13% de toda a área continental do planeta Terra (Britannica, 2016).

2.3 Descrição e Uso da Terra no NE Portugal

Segundo Figueiredo (2013), apenas 12% da superfície do NE Portugal corresponde a solos com mais de 100 cm de espessura. Menos de 25% do território é coberto por solos com mais de 50 centímetros de espessura. Sendo assim, os solos com severas limitações de espessura estão largamente representados ao longo da região. A carência de água no solo também é fator limitante à produtividade das culturas, sendo que em 75% do território, a condição climática de falta de precipitação se estende por mais de 4 meses no ano, em média. Em locais com maior índice de aridez e solos mais delgados (leptosolos), a carência de água pode se estender por mais de 8 meses ao ano. Também é fator limitante de produção a declividade dos terrenos, onde de acordo com as boas práticas agrícolas, as áreas não suscetíveis a operações agrícolas mecanizadas ultrapassam 50% da superfície total da região, apresentando declives acima de 12 – 15%. Áreas com declividade superior a 25 – 30% ocupam cerca de 25% do território. Face às limitações expostas, apenas 1% do território nordestino de Portugal apresenta aptidão agrícola elevada.

A utilização do território para a agricultura está dividida em terras ocupadas por culturas arvenses (cereais de inverno, milho, batata), representando 26% da área regional, culturas permanentes (vinhas, olivais, soutos de castanheiros, amendoais e pomares de fruteiras), as quais representam 17% da superfície, culturas de exploração mista, circundantes das povoações (como hortícolas e frutíferas) correspondem a 4%. As pastagens representam 5% da região, enquanto as matas e florestas representam 18% da superfície. Os olivais representam uma área de 5,6% do território (Figueiredo, 2013).

O concelho de Mirandela apresenta apenas 24% de uso adequado da terra à sua aptidão para usos agrários, enquanto a sobre exploração e sobre exploração severa representam 66,3% (Figueiredo, 2013). Figueiredo (2013) também comenta que o uso atual do solo excede as potencialidades da terra, justificando a baixa produtividade regional, especialmente das culturas arvenses. A sobre exploração do solo, somada com a declividade elevada da região e a falta de cobertura vegetal, assim como a não aplicação de técnicas de manejo do solo contra a erosão (por exemplo, a mobilização do solo segundo o maior declive), envolve riscos elevados de degradação física, química e biológica do solo, contribuindo para a generalizada baixa qualidade dos solos.

Martins e Fernandes (2017) referem que a mobilização do solo, especialmente a tradicional, provoca compactação e degradação estrutural do solo, ocorrendo formação de crosta superficial, diminuição da capacidade de retenção de água, resistência à penetração

radicular e destruição das raízes, causando redução da absorção de nutrientes, do teor de matéria orgânica e da atividade biológica do solo.

2.4 Estrutura e Compactação do Solo

A compactação do solo é um processo resultante da pressão mecânica devido ao uso de maquinários ou pisoteio, em condições de operabilidade e transitabilidade não adequadas, resultando numa redução da capacidade de água utilizável e da taxa de infiltração e permeabilidade do solo. Jordão et al. (2022) afirma que um solo terá maior propensão à compactação quanto maior for o teor de argila e limo (elementos finos) e menor for o volume de macroporos.

O solo como um sistema trifásico é constituído por uma fase sólida (materiais minerais e orgânicos), uma fase líquida (água e solução do solo) e uma fase gasosa (atmosfera do solo), que se distribuem dinamicamente e equilibradamente (Bertol et Al., 2019). Os mesmos autores explicam que a estrutura do solo é resultado do agrupamento das suas partículas primárias (areia, limo e argila), que quando juntas formam agregados de diversos tamanhos e formas, definindo o espaço poroso entre e intra agregados. Um solo bem estruturado é aquele onde a proporção entre macro e microporos resulta numa dinâmica da água sem restrições no perfil do solo, e com retenção de água em tensões disponíveis para as plantas, favorecendo ainda o desenvolvimento das raízes e das plantas como um todo. As relações das raízes das plantas com o ar, a água e absorção de nutrientes dependem do estado estrutural do solo (Ziller e Ranzani, 1968). Shaxson (1993) comenta que a redução da quantidade de macroporos pode ser tão importante na limitação da produção das culturas, quanto a perda de partículas do solo por erosão. A respiração das raízes das plantas e a atividade dos microrganismos aeróbicos consomem O_2 e liberam CO_2 . Neste sentido, é essencial que ocorram trocas gasosas entre o solo e a atmosfera exterior, o que só é possível com um volume de poros adequado, a fim de reduzir o teor de CO_2 no solo, pois este é impróprio para a respiração radicular e limita a atividade microbiana.

Para Pedrotti e Dias-Junior (1996), a alteração da estrutura do solo, seja por compactação ou por outros fatores, provoca modificações nas relações solo-ar-água, interferindo também com a temperatura do solo, resistência mecânica, e conseqüentemente, na resposta do crescimento das plantas, sendo de fundamental importância a utilização de práticas de manejo que melhorem ou mantenham a qualidade da estrutura do solo. O manejo de solo influencia os atributos físicos do mesmo, podendo contribuir para sua degradação, manutenção ou recuperação.

O teor de argila dos solos interfere na coesão entre as partículas quando seco, e quando úmido na adesão dessas partículas aos implementos agrícolas. A textura do solo é fruto da percentagem individual de cada elemento primário encontrado no solo (areia, silte e argila) e influencia a estrutura e agregação dos solos, conseqüentemente o comportamento da água e do ar no mesmo. Os solos com maior teor de argila na sua composição, apresentam maior retenção e disponibilidade de água, maior capacidade de troca catiónica (CTC) e maior capacidade de suprimento de nutriente às plantas, enquanto solos com maior quantidade de areia apresentam maior permeabilidade à água e ao ar, porém menor capacidade de retenção de água e nutrientes.

Para Bertol et al. (2019), a melhoria da qualidade estrutural e mecânica do solo está normalmente relacionada com a prática de aporte de matéria orgânica, a atividade biológica e a minimização das perturbações provocadas por cargas na superfície do solo e da ação desagregadora quando da preparação do solo. Os resíduos orgânicos provenientes da cultura principal ou da vegetação herbácea utilizada como cobertura do solo, além de contribuir para a adição de matéria orgânica ao solo, proporcionando maior estabilidade da estrutura, podem também amortecer parte da carga adicionada na superfície do solo, como comprovado por Braida et al. (2006), num trabalho onde estudaram a compactação em Argissolos e Nitossolos. A cobertura vegetal tem um papel fundamental na conservação das partículas do solo, atuando como uma camada protetora contra a chuva, ao mesmo tempo que melhora a microbiota e manutenção de elementos nutritivos no solo, para além do seu efeito positivo no controle de ervas daninhas e manutenção da umidade e temperatura do solo. Segundo Fernandes (2016), calcula-se que cerca de 60% dos solos agrícolas de Portugal apresentam teor reduzido de matéria orgânica, apresentando valores inferiores a 2%, estando assim, mais vulneráveis à degradação.

A prevenção da compactação dos solos deve ser considerada a principal estratégia de manejo. Algumas formas para essa prevenção são a redução da carga aplicada na superfície do solo, melhor distribuição da massa da maquinaria pelo solo e utilização de áreas restritas do terreno para o tráfego. Outro critério importante a ser considerado é a condição de consistência friável do solo (estado sazão), no momento em que as operações mecânicas irão ser realizadas, ou seja, quando a umidade está entre os limites de contração e de plasticidade, o que contribui para a redução da deformação dos agregados, resultando na minimização da compactação do solo. Seguindo este conceito, as aplicações de carga pelo tráfego de máquinas ou por outras ocasiões devem ser evitadas quando o solo apresentar condições de umidade coincidentes com a umidade crítica de compactação (Bertol et Al., 2019), ocasião dificultosa de ser cumprida analisando o cenário português. A colheita da azeitona é realizada entre os meses

de outubro e dezembro, período em que os dias apresentam menor número de horas solares, temperaturas mais baixas e período de chuvas, resultando em uma maior umidade presente no ar e no solo.

Almeida (2002) comenta que o excesso de água no solo reduz ou impede a utilização de métodos mecanizados de colheita de azeitona. O mesmo autor também comenta que as mobilizações de solo realizadas ao longo do ano favorecem o encharcamento do solo, acelerando os processos erosivos no inverno e dificultando o deslocamento dos maquinários. As mobilizações são realizadas com o intuito de controlar as plantas invasoras, afim de ter maior disponibilidade de água durante o período estival. Almeida (2002) também comenta que a não mobilização ou o cultivo com coberto vegetal, podem contribuir para a redução global da erosão e facilitar as condições de transitabilidade dos maquinários durante a época de colheita.

O comprometimento da qualidade estrutural do solo pode ser indicado pela resistência do solo à penetração, densidade do solo crítica, baixa porosidade total e restrições da macroporosidade. Indicadores como estes podem levar à decisão da utilização de escarificadores ou gradagem, assim como a utilização de outros equipamentos descompactadores do solo afim de contornar o problema. É importante destacar que a ação dos implementos descompactadores do solo, normalmente, são apenas efetivas a curto prazo sendo necessário a utilização de outras práticas, juntamente com esta, como o aporte de matéria orgânica e semeadura de plantas cujas raízes sejam agressivas e cresçam em profundidade através do solo, afim de retardar ou até mesmo excluir a reconsolidação do solo, criando novos caminhos para as raízes e circulação do ar e da água. A persistência da prática de aporte de matéria orgânica e o estímulo da atividade biológica e das raízes podem contribuir de forma considerável para a recuperação da qualidade estrutural do solo e, normalmente incrementam significativamente a médio e longo prazo (Bertol et Al., 2019). É de se reparar que por muitas vezes o culpado pela compactação dos solos é o próprio trator, e não o implemento que está sendo arrastado pelo mesmo.

Segundo Figueiredo et al. (2002), melhorias nos olivais e na gestão destas produções são reconhecidas como necessárias no NE Portugal. Contudo, os olivais estão bem adaptados às condições edafoclimáticas, gerando azeites de boa qualidade, conhecidos mundialmente, mesmo sendo os solos onde os olivais estão implantados considerados como não adequados para a agricultura.

2.5 Efeito das práticas culturais nas propriedades físicas do solo

Segundo Botta et al. (2012), a compactação do solo é indicada por um aumento da densidade aparente, com redução da porosidade do solo e, tendo como efeito o decréscimo

da infiltração da água e do crescimento e expansão dos sistemas radiculares das plantas através do solo. Os mesmos autores, comentam ainda que o tráfego de maquinários reduz a porosidade total e comprime os poros maiores (redução da macroporosidade e conseqüentemente do arejamento do solo). Este problema é mais crítico em pomares de macieiras, amendoais, laranjais e olivais, devido aos tratores utilizarem os mesmos caminhos nas operações mecanizadas múltiplas vezes ao ano (Tolón-Becerra et al., 2012). O tráfego repetido de máquinas pesadas, como ocorre na colheita da azeitona pode causar degradação da matéria orgânica, mudança na taxa de infiltração de água (devido a redução da porosidade). Em épocas de chuvas, onde a precipitação é mais elevada, essa redução na quantidade de macroporos e redução da taxa de infiltração pode levar a aumentos da erosão e alteração da estrutura do solo. Nanvaro (2019) comenta que a degradação da produtividade das terras é frequentemente iniciada pelas ações do homem, prejudicando as funções biológicas do solo.

Hakansson e Reeder (1994) referem que quando a compactação do solo ocorre fora da camada superficial, há dificuldade de descompactação por maquinários, sendo essa operação custosa, podendo eventualmente tornar-se impossível. Nos olivais, ocorrem anualmente entre 3 a 7 passagens do trator para a realização das práticas de cultivo (mobilização, aplicação de adubos e corretivos, controle de ervas daninhas, aplicação de produtos fitofarmacêuticos, colheita da azeitona, podas, ...). Greene e Stuart (1985) comentam que tratores com pneus de largura menor podem causar maior compactação do solo que tratores utilizando pneus de maior largura.

Tolón-Becerra et al. (2012) num experimento com 3 tipos diferentes de tratores (trator leve, 22,50 kN; médio, 33,30 kN e pesado, 42,60 kN), com 0, 1, 3, 5 e 7 passagens de trator, constataram que o trator mais leve, utilizando pneus com largura menor, compactou mais o solo na camada superficial, comparativamente aos restantes. Devido à menor largura dos pneus, o peso é dividido numa área superficial menor, causando maior pressão no solo. Neste mesmo trabalho de Tolón-Becerra et al. (2012), foi ainda constatado que o trator mais pesado causou maior compactação no subsolo do que na camada mais próxima da superfície. Os resultados mostraram que o peso do trator assim como a frequência do tráfego tem um efeito significativo na superfície do solo, assim como nas camadas mais abaixo. Para todos os tratores, após a 5ª ou 7ª passagem a condutividade hidráulica diminuiu drasticamente, provavelmente devido à diminuição do volume poroso, pela destruição dos agregados maiores e formação de agregados menores. Botta et al. (2002) também comenta que o efeito do tráfego aumenta a compactação nas camadas mais profundas (20-60 cm), o que corrobora os resultados obtidos por Tolón-Becerra et al. (2012). Assim, pode-se afirmar que abaixo de 20 cm, a carga do trator foi responsável pela compactação do solo.

A redução do número de poros entre as partículas do solo é acompanhada de uma redução na taxa de infiltração de água e na difusão de oxigênio no solo. Com a redução da taxa de infiltração de água no solo, pode ocorrer aumento no escoamento superficial, causando erosão e perda de nutrientes.

2.6 A Oliveira

A oliveira (*Olea europaea* L.) foi uma das primeiras frutíferas a serem utilizadas pela humanidade. É originária da região onde atualmente se encontram os países da Síria e Irã. Os primeiros indícios da utilização da oliveira datam de cerca de seis mil anos atrás. Teve sua expansão iniciada pelos gregos, cultivando a frutífera na península ibérica no ano 600 a.C.

É uma das culturas mais antigas praticadas em Portugal, sendo fácil encontrarmos oliveiras centenárias espalhadas pelas áreas de produção. A oliveira está bem adaptada às condições ambientais típicas do mediterrâneo, como é o caso de Portugal, sendo capaz de produzir azeites de qualidade elevada (Almeida, 2002). As temperaturas ideais para o desenvolvimento da oliveira se encontram entre 10° C e 30° C. Com temperaturas acima de 35° C a planta inicia o processo de regulação térmica, fechando os estomas, afim de evitar perda de água para o ambiente. Para quebrar a dormência e iniciar o processo reprodutivo, as oliveiras devem ser expostas a temperaturas baixas, porém apresentando desenvolvimento limitado nessas condições. Maia (2010) comenta que a evolução da pesquisa e utilização de genes de resistência possibilitaram que as oliveiras aumentassem a tolerância ao frio e possam suportar ambientes com baixas temperaturas. Santos e Ramos (1987) comentam que como características diferenciais de outras espécies, a oliveira apresenta grande longevidade e rusticidade, assegurando a sua perenidade através de rebentos no caule, mesmo que envelhecido, podendo se desenvolver e frutificar em ambientes com baixa precipitação e solos pobres nutricionalmente.

Portugal no ano de 2021 apresentou uma área de cultivo de oliveira de 380 mil ha e produção de 1,37 milhões de toneladas de azeite, enquanto o mundo apresentava uma área de produção total de oliveira de 10,3 milhões de ha (FAOSTAT, 2023). Diversos produtos podem ser obtidos através do processamento da azeitona, como a produção de fármacos, cosméticos, azeites, conservas, etc. O azeite de oliva é considerado como um dos melhores óleos vegetais para consumo (Martínez et al., 2021).

A produção de azeite é uma atividade tradicional em várias regiões de Portugal, sendo altamente valorizado internacionalmente, tanto pela sua qualidade quanto pelo seu sabor distintivo, contribuindo para o aumento das exportações de azeite. A presença de azeite

português nos mercados globais promove a imagem de Portugal como um produtor confiável e de qualidade.

2.7 Colheita da Azeitona

A colheita da azeitona em Portugal, que geralmente ocorre entre os meses de outubro e dezembro, é realizada através de duas técnicas principais: colheita manual e colheita mecânica.

A colheita manual consiste na utilização de varas de colheita, e são realizados batimentos contra os galhos com o intuito do fruto cair ao chão. De acordo com Tombesi (1990) e Garcia (1991), a colheita manual da azeitona custa de 50% a 80% do preço do produto e requer 80% das horas-homem necessárias para a cultura. A colheita manual passou a ser um problema para os olivicultores devido à migração da mão-de-obra para outros serviços, adotando-se como solução a colheita mecânica dos frutos. Almeida (2002) comenta que a redução da mão-de-obra para a colheita manual é provável que conduza esse sistema a ser utilizado apenas em propriedades de pequeno porte, onde a colheita será realizada com mão-de-obra familiar.

A colheita mecânica pode ser realizada com diferentes implementos, mas são dois os principais modos de atuação. A vibração dos troncos ou dos galhos é a forma mais utilizada de colheita mecânica, e consiste na agitação dos troncos ou galhos das árvores, os frutos caem em redes de coleta estendidas ao redor da árvore de forma mecânica ou manualmente. Existem diferentes formas de vibração para a colheita dos frutos, como os vibradores por inércia, que resultam em uma vibração unidirecional (Almeida, 2002). Almeida (2002) também comenta que o padrão mais comum nos modelos comerciais é o multidirecional em estrela. Podemos encontrar agitadores com vibração orbital e também vibradores de dorsal, equipamento muito difundido entre os produtores e que vai preso as costas do operador e utilizado para vibrar os galhos da oliveira. Esse método de apanha da azeitona é muito útil pois pode ser aplicada também as oliveiras as quais já não apresentam largura de tronco possível para ser agitada através de um agitador de troncos. Tombesi (1990) comenta que a vibração multidirecional aplicada ao tronco é a que apresenta maior eficácia comparada com a agitação unidirecional, porém apresenta menor eficácia quando aplicada às pernadas. Fridley (1983) comenta que a vibração multidirecional é transmitida de melhor forma ao longo das árvores. Martin (1994) afirma que mesmo com conhecimento técnico sobre o equipamento utilizado e boas práticas de utilização, 20% a 40% da azeitona fica presa na árvore e não é colhida, acarretando problemas de frutificação no próximo ano, devido aos frutos não colhidos inibirem a floração, constituindo um custo considerável para a colheita mecânica.

Garcia (1991) escreve que a força necessária para o destacamento da azeitona diminui conforme o fruto amadurece. Tombesi (1990) comenta que ao final da maturação da azeitona, substâncias como o etileno, facilitadoras da abscisão, aparecem no pedúnculo, facilitando o destaque dos frutos. O desaparecimento de frutos verdes constitui um importante marcador para o início da colheita das azeitonas (Almeida, 2002).

A segunda forma de colheita é por escovação, onde os implementos agrícolas são equipados com escovas que retiram o fruto da árvore, estes são coletados e armazenados pelo próprio implemento, ou em alguns modelos de escovas rotativas, é necessário estender redes de coleta no chão.

Almeida (2002) comenta que certos olivais poderão não apresentar condições ideais para a implementação da colheita mecanizada. Os olivais plantados em terrenos com inclinação elevada podem impedir o trabalho em segurança destes maquinários. Olivais em terrenos com má drenagem também podem apresentar dificuldade para implementar a colheita mecânica, visto que a época da apanha da azeitona coincide com a época das chuvas em Portugal. Em olivais que apresentem compasso de plantio menores (Olival em sebe), a colheita pode ser realizada de forma mecânica com colhedoras que englobam a linha de plantio da oliveira, com as plantas passando por baixo da colhedora, sendo retiradas da árvore através de escovação.

Devido ao elevado custo de aquisição destes tipos de implementos e à necessidade de maiores áreas de colheita para o implemento ser atrativo, pequenos produtores poderiam praticar associativismo para a aquisição do maquinário (Almeida, 2002), ou optar por pagar para um prestador de serviços.

3 Material e Métodos

3.1 Localização e Delineamento Experimental

O experimento foi conduzido num olival com espaçamento entre plantas de 7x7 m, localizado em Suções, Mirandela, NE Portugal. No âmbito do Projeto Men4Health “New management strategies in olive groves for improving soil health and crop yield”, foram estabelecidas duas áreas de amostragem - área de amostragem A1 (1,19 hectares), onde se procedeu à mobilização tradicional do solo com um escarificador; área de amostragem A2 (1,54 hectares), solo não mobilizado com cobertura do solo por vegetação adventícia (Figura 1). O solo é classificado como Leptossolo, com um teor de matéria orgânica no solo mobilizado de 2,4% (0-10 cm) e apresentando declividade média de 13%, no solo não mobilizado temos 2,8% (0-10 cm) de matéria orgânica, enquanto a declividade média foi de 11%. No ano anterior à implementação do projeto, toda a área do olival tinha sido mobilizada de forma tradicional com escarificador.

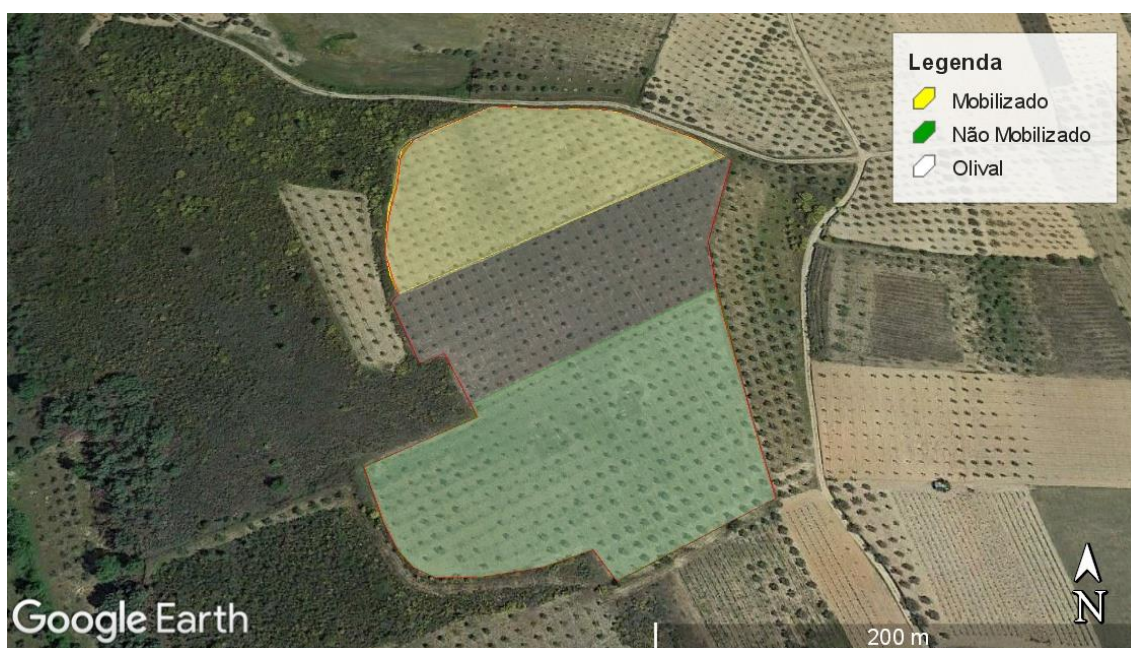


Figura 1 – Localização da área de estudo.
Fonte: Google Earth, 2023.

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito do Projeto referido anteriormente e, como já mencionado, esta tarefa teve como objetivo estudar os efeitos da colheita mecânica de azeitona, que decorreu durante o mês de novembro de 2022, em propriedades físicas do solo. A máquina de colheita de azeitona passou em entrelinhas de plantação de oliveiras alternadas, permitindo criar zonas compactadas e não compactadas por efeito da passagem da máquina. Neste sentido, dentro das áreas de amostragem A1 (solo

mobilizado) e A2 (solo não mobilizado, com cobertura verde), foram definidas zonas onde passou a máquina de colheita de azeitona (zonas dos rodados) e zonas onde a máquina não passou. Definiram-se os tratamentos indicados na Tabela 1.

Tabela 1 - Tratamentos estabelecidos nas áreas de amostragem A1 (solo mobilizado) e A2 (solo não mobilizado, com cobertura verde).

Área de amostragem	Tratamentos	
	A1 (solo mobilizado)	Mobilizado rodado
A2 (solo não mobilizado)	Não mobilizado rodado	Não mobilizado
	(amostras colhidas nas zonas dos rodados nas entrelinhas onde passou a máquina de colheita de azeitona)	(amostras colhidas nas entrelinhas onde não passou a máquina de colheita de azeitona)

Em cada tratamento foram estabelecidos aleatoriamente 8 pontos de amostragem e em dezembro de 2022, com o solo úmido, foram coletadas as amostras de solo perturbadas e não perturbadas nas profundidades 0 – 10 e 10 – 20 cm (Figuras 2 e 3). As amostras não perturbadas (total de 64 amostras), colhidas em cilindros de 100 cm³ de volume, visaram a determinação da permeabilidade do solo, densidade aparente, porosidade, capacidade de campo e capacidade máxima do solo para a água. As amostras perturbadas (total de 64 amostras) destinaram-se à realização da estabilidade dos agregados do solo.

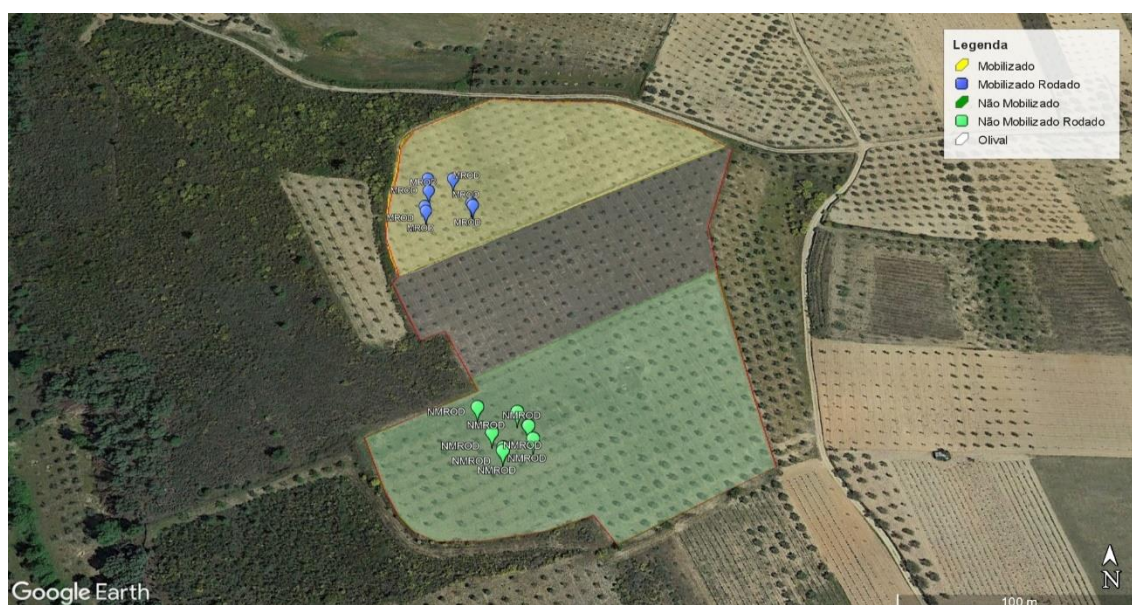


Figura 2 - Pontos de coleta nos tratamentos mobilizado rodado e não mobilizado rodado

Fonte: Google Earth, 2023.



Figura 3 - Pontos de coleta nos tratamentos mobilizado e não mobilizado

Fonte: Google Earth, 2023.

Todas as análises foram realizadas no Laboratório de Solos Aulas da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Bragança (ESA/IPB).

3.2 Determinação da Permeabilidade do Solo e Propriedades Físicas Associadas

A permeabilidade do solo foi determinada em laboratório num permeâmetro de circuito fechado de carga constante com capacidade para análise simultânea de 25 amostras (Figura 4). O equipamento permite a ligação de cada amostra a uma bureta de 40 ml de capacidade, de modo a medir o volume de água que passa através da amostra por unidade de tempo.



Figura 4 - Permeâmetro de circuito fechado

Os anéis volumétricos de 100 cm³, com as amostras não perturbadas colhidas no campo (Figura 5), foram preparados de modo a serem introduzidos no permeâmetro. Primeiro retirou-se a tampa da parte superior do anel, que corresponde à extremidade não biselada, e colocou-se uma gaze hidrófila, seguida do filtro (Figura 6: procedimentos 1 e 2). Posteriormente retirou-se a tampa da extremidade biselada do anel e aplicou-se fita de vedação teflon, de forma a que o anel encaixasse com firmeza na armadura que vai encaixar no permeâmetro (Figura 6: procedimentos 3 e 4). O anel é fixado no permeâmetro com a extremidade biselada voltada para baixo, para que a amostra fique na mesma posição relativamente à sua orientação no campo e permita que o fluxo de água aconteça da mesma forma natural que ocorreria no campo (Figura 7).



Figura 5 - Anéis volumétricos com as amostras não perturbadas colhidas no campo

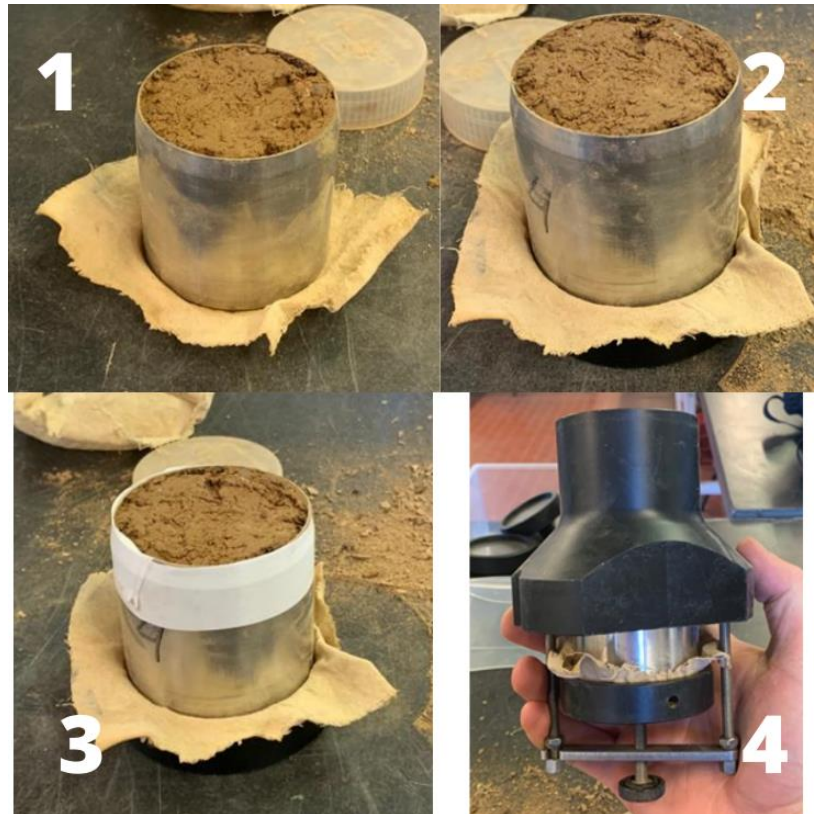


Figura 6 - Preparo dos anéis volumétricos (cilindros) para a determinação da permeabilidade do solo e outras propriedades físicas associadas no permeâmetro. 1: Adição da gaze hidrófila ao anel, 2: Adição do filtro, 3: Adição da fita de vedação, 4: Adição da armadura ao anel



Figura 7 - Anéis volumétricos adicionados ao permeâmetro.

Depois das amostras de solo, contidas nos anéis volumétricos, terem sido introduzidas no permeâmetro, deu-se início à saturação do solo, por capilaridade, com o nível da água aproximadamente um centímetro abaixo do limite superior da armadura, por 48h. No dia seguinte foram introduzidos os sifões para que a água que passou pelos poros do solo fosse direcionada para as buretas de medição. Os sifões foram preenchidos com água, de forma que

não houvesse nenhum resquício de ar dentro dos mesmos, caso houvesse, o ar bloquearia a passagem da água, interrompendo o circuito hidráulico. Os sifões cheios de água foram colocados, de forma que uma das suas extremidades ficasse introduzida na armadura onde se encontrava o cilindro da amostra, e a outra extremidade no tubo sintético de evacuação (Figura 8). Iniciaram-se as medições 1 h após a instalação dos sifões, dando tempo para que o sistema estabilizasse. As medições foram realizadas cronometrando o tempo que era necessário para que cada bureta chegasse à marca de 40 ml. Caso o cronômetro marcasse 1 h e a bureta ainda não tivesse atingido a marca dos 40 ml, anotava-se o volume de água contido na bureta ao final desse tempo. Também foram realizadas as medições do nível da água exterior e interior das armaduras que continham os cilindros, através de um medidor instalado no permeâmetro, para o cálculo da diferença de nível (dH) (Figura 8), parâmetro que é necessário para o cálculo do coeficiente de permeabilidade saturada. A diferença de altura de água é estabelecida de acordo com a permeabilidade dos solos, variando de 2 mm para solos altamente permeáveis e 20 mm para solos pouco permeáveis. Todas as medições foram realizadas durante 4 dias consecutivos após a primeira medição. Após este período, as amostras foram retiradas do permeâmetro e deixadas em repouso durante 1 h. No final deste tempo, as amostras foram pesadas (solo saturado) e reservadas, 24 h depois as amostras foram pesadas novamente (solo na capacidade de campo) e levadas a estufa a 105°C por 48 h. Posteriormente foram retirados os pesos de cada uma das amostras (peso seco). Todos os materiais pesados juntos no processo (recipiente, gaze hidrófila e anel volumétrico) foram lavados, secos e pesados, para registo das respetivas taras.



Figura 8 - Medição do nível da água no exterior e no interior das armaduras que contém os anéis volumétricos das amostras

3.2.1 Cálculo e Classificação da Condutividade Hidráulica

Para o cálculo da permeabilidade saturada (K) em método de carga constante, foi aplicado a Lei de Darcy, que consiste na seguinte fórmula:

$$K = \frac{V \times L}{A \times t \times dH}$$

onde,

K – Coeficiente de permeabilidade ou condutividade hidráulica (cm/h);

V – Volume de água que flui através da amostra (1ml = 1cm³);

L – Comprimento da amostra de solo (cm);

A – Superfície da secção transversal da amostra (cm²);

t – Tempo estabelecido para a medição do volume (h).

dH – Diferença de nível de água dentro e fora do cilindro da amostra (cm)

O comprimento (L) e a superfície da secção transversal (A) foram constantes para todas as amostras, apresentando valores de 5 cm e 20 cm². Os valores obtidos de K foram submetidos a classificação da permeabilidade de solos.

Tabela 2 - Classificação da Permeabilidade dos Solos (SCS/USDA)

Classe de permeabilidade (designação)	Valor (cm/h)
Muito Rápida	> 25,4
Rápida	12,7 - 25,4
Moderadamente Rápida	6,35 - 12,7
Moderada	2,00 - 6,35
Moderadamente Lenta	0,50 - 2,00
Lenta	0,13 - 0,50
Muito Lenta	< 0,13

Outros parâmetros físicos do solo puderam ser determinados após as amostras serem submetidas ao ensaio de permeabilidade, como serão referidos a seguir.

3.2.2 Densidade Aparente

A densidade aparente é determinada através da razão entre a massa volúmica aparente do solo (ρ_s) e da água ($\rho = 1\text{g/cm}^3$);

$$D_{ap} = \frac{\rho_s}{\rho}$$

A massa volúmica aparente do solo é calculada através da seguinte razão:

$$\rho_s = \frac{M_{solo\ seco}}{V_{cilindro}}$$

Onde a massa de solo seca foi obtida através da pesagem da amostra após secagem em estufa por 48h a 105°C. O volume do cilindro é calculado através da multiplicação:

$$V_{cilindro} = A \times L$$

3.2.3 Porosidade Total

A porosidade total do solo (P) segundo Figueiredo (2011) é calculada através da razão entre água de saturação e volume do cilindro, a massa de solo saturada foi obtida através da pesagem das amostras após 1 h da saída do permeâmetro, enquanto a massa de solo seca foi obtida depois da secagem da amostra em estufa a 105°C durante 48 h.

$$\%P = 100 \times \frac{M_{solo\ saturado} - M_{solo\ seco}}{V_{cilindro}}$$

3.2.4 Capacidade de Campo e Capacidade Máxima para a Água

As amostras após serem retiradas do permeâmetro repousaram por 24 h, para drenagem da água contida nos macroporos, sobrando apenas as moléculas de água que ficaram retidas nos microporos do solo, estimando-se então a capacidade de campo (CC) (Figueiredo, 2011). O teor de umidade, na capacidade de campo (%CC), foi determinado através da diferença de peso das amostras de solo após 24 h de drenagem (Msolo úmida) e depois de terem sido secas em estufa a 105°C por 48 h (Msolo seca).

$$\%CC = 100 \times \frac{M_{solo\ úmido} - M_{solo\ seco}}{M_{solo\ seco}}$$

O cálculo para a capacidade máxima para água (CMA) foi determinada através da seguinte equação:

$$\%CMA = 100 \times \frac{M_{solo\ saturado} - M_{solo\ seco}}{M_{solo\ seco}}$$

3.2.5 Microporosidade e Macroporosidade

A microporosidade é definida como o volume de poros do solo com diâmetros menores que 0,05 mm (Teixeira et al., 2017). Os poros, por apresentarem pequenas dimensões são capazes de reter e armazenar água por capilaridade, tendo importante função na manutenção da umidade no solo. É calculada através da equação:

$$\%MicroP = \%CC \times Dap$$

Já a macroporosidade compreende os espaços porosos maiores que 0,05 mm e tem função do escoamento da água pelo solo, caminhos prioritários para as raízes e aeração do solo, é calculada através da equação:

$$\%MacroP = P - MicroP$$

P – Porosidade total do solo

3.3 Estabilidade dos Agregados do Solo

As amostras perturbadas coletadas no campo foram secas em estufa a 45°C durante 48h e crivadas manualmente em peneiras com malhas de 2 e 1 mm (Figura 9). Para a avaliação da estabilidade de agregados do solo foram reservadas as partículas retidas no crivo de 1 mm, ou seja, partículas com dimensões entre 2 e 1 mm.



Figura 9 - Preparo das amostras para determinação da estabilidade de agregados do solo. No peneiro central estão armazenadas as partículas com dimensões entre 2 e 1 mm

Na determinação da estabilidade dos agregados, foi utilizado um aparelho denominado estabilizador de agregados (Figura 10). Onde o aparelho é composto por uma plataforma que realiza movimentos de subida e descida, simulando forças mecânicas e físico-químicas, fazendo com que os agregados de solo entrem em contato com água destilada e posteriormente, com uma solução de hexametáfosfato de sódio, possibilitando a dispersão dos agregados instáveis e estáveis do solo, respectivamente.



Figura 10 - Estabilizador de agregados

Foram estabelecidas duas classes de tamanho de agregados, a classe 0,4 mm e a classe 0,25 mm. A segunda classe representa a situação limite entre macroagregados (> 250 μm) e microagregados (< 250 μm). Portanto, para a avaliação da estabilidade dos agregados, foram utilizados crivos de malha 0,4 mm e 0,25 mm. Os ensaios para cada classe de agregados foram realizados separadamente e, em primeiro lugar foi realizado o ensaio com os crivos de malha 0,25 mm (classe de agregados 0,25 mm), seguindo a metodologia: pesagem de 4 g de cada amostra de solo, com 4 repetições por amostra, que foram adicionadas aos crivos e colocadas no estabilizador. O estabilizador tem capacidade para 8 amostras, pelo que eram adicionadas duas amostras diferentes de solo por cada bateria de análises. Nos recipientes de aço inox que captam as partículas de solo que passam pelo crivo, colocados na base do estabilizador (Figura 10), foram adicionados 100 ml de água destilada. O aparelho foi ligado por um período de 3 minutos. Os recipientes então eram retirados do estabilizador e substituídos por recipientes contendo 100 ml de solução dispersante de hexametáfosfo de sódio [0,2%]. O aparelho era ligado novamente por 8 minutos. Ao fim deste tempo, os recipientes eram retirados do estabilizador. O conteúdo dos recipientes contendo partículas de solo e água destilada (agregados instáveis) ou solução de hexametáfosfato de sódio (agregados estáveis) era transferido, individualmente, para potes de plástico e levados à estufa por 24 h a 105°C, seguidos de pesagem. Todo o processo foi repetido com o crivo de malha 0,4 mm (classe de agregados 0,4 mm).

3.3.1 Cálculo da Estabilidade dos Agregados

$$EA(\%) = \frac{Pfs}{PfH2O + Pfs} \times 100$$

Onde:

Pfs – Peso final da amostra seca após processo de dispersão em solução dispersante, em gramas;

Pf_{H2O} – Peso final da amostra seca após processo de dispersão em água destilada, em gramas;

3.3.2 Cálculo de Partículas Primárias

$$PP(\%) = \frac{Pi - (PfH2O + Pfs)}{Pi} \times 100$$

Onde:

Pi – Peso inicial da amostra adicionada ao crivo, em gramas.

3.4 Tratamento Estatístico dos Dados

Com o intuito de analisar estatisticamente os diversos tratamentos em estudo, foram realizadas análise de variância. Os resultados encontrados com valores de $P < 0,05$ foram submetidos a teste de comparação de médias (Tukey, 5% de probabilidade), realizado através do programa estatístico Jamovi. Inclui ainda estatística descritiva (média e desvio padrão).

4 Resultados e Discussão

Com base nos resultados apresentados a seguir, pode-se observar que em quase todos os casos há diferenças significativas entre os parâmetros físicos do solo para o grupo de tratamentos controle (testemunha) e o grupo de tratamentos rodado (não mobilizado rodado e não mobilizado). Onde não há diferenças significativas, as médias do grupo dos tratamentos controle foram sempre mais favoráveis.

4.1 Permeabilidade do Solo

A permeabilidade (K) diz respeito à rapidez com que a água se move através do solo, estando diretamente ligada às taxas de infiltração e drenagem dentro do mesmo, sendo fatores fundamentais na formação do escoamento superficial (Figueiredo, 2011).

A permeabilidade inicial na camada superficial (0 – 10 cm) (Figura 11), apresenta diferenças significativas entre tratamentos, sendo o tratamento não mobilizado o que registou os valores mais elevados, apresentando uma média sete vezes superior ao tratamento mobilizado rodado, que foi o que registou a permeabilidade mais baixa. O tratamento mobilizado não apresentou diferenças significativas comparativamente aos tratamentos não mobilizado e não mobilizado rodado. O tratamento não mobilizado rodado é estatisticamente semelhante aos restantes tratamentos.

Diferente da camada 0 – 10 cm do solo, na camada 10 – 20 cm, o efeito da passagem da máquina teve menor expressividade na permeabilidade inicial, não se registrando diferenças estatísticas entre tratamentos (Figura 11). Isto pode estar relacionado com os menores efeitos, das diferentes técnicas culturais aplicadas, nos teores de matéria orgânica, porosidade, agregação e densidade aparente (Bertol et al., 2019).

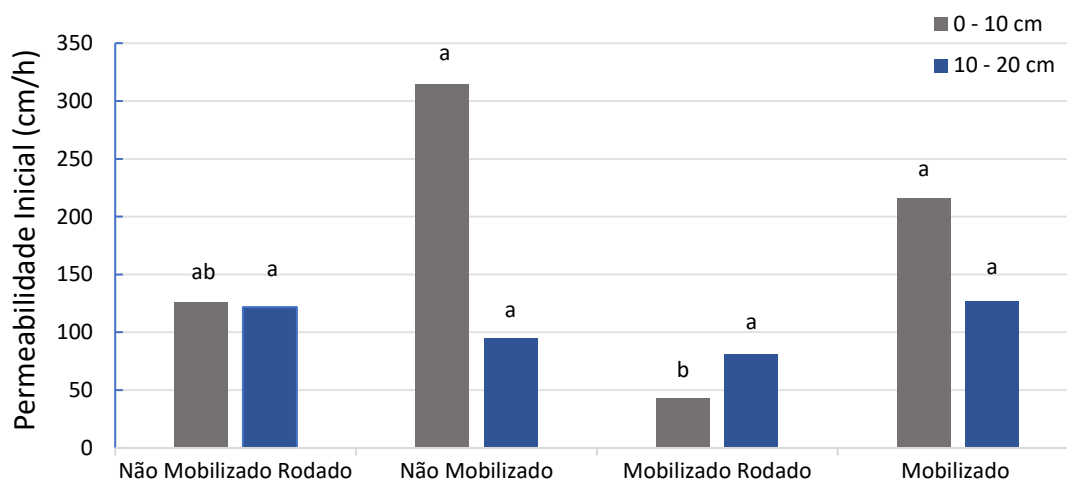


Figura 11 - Permeabilidade inicial do solo. Para a mesma profundidade, letras diferentes representam diferenças significativas entre tratamentos ($p < 0,05$).

A permeabilidade final para ambas as profundidades (0 – 10 e 10 – 20 cm) (Figura 12), mostra um comportamento, em geral, bastante similar ao registrado para a permeabilidade inicial, confirmando que o tratamento mobilizado rodado foi o mais afetado pela passagem da máquina de colheita de azeitona, principalmente na camada superficial (0 – 10 cm).

O aumento da permeabilidade inicial e final na profundidade 10 – 20 cm comparativamente à profundidade 0 – 10 cm no tratamento mobilizado rodado, pode ser explicado pela compactação superficial do solo, visto que com a mobilização do solo, o mesmo perde agregação e matéria orgânica, sendo mais facilmente compactado quando aplicadas forças sobre o mesmo (Martins e Fernandes, 2017).

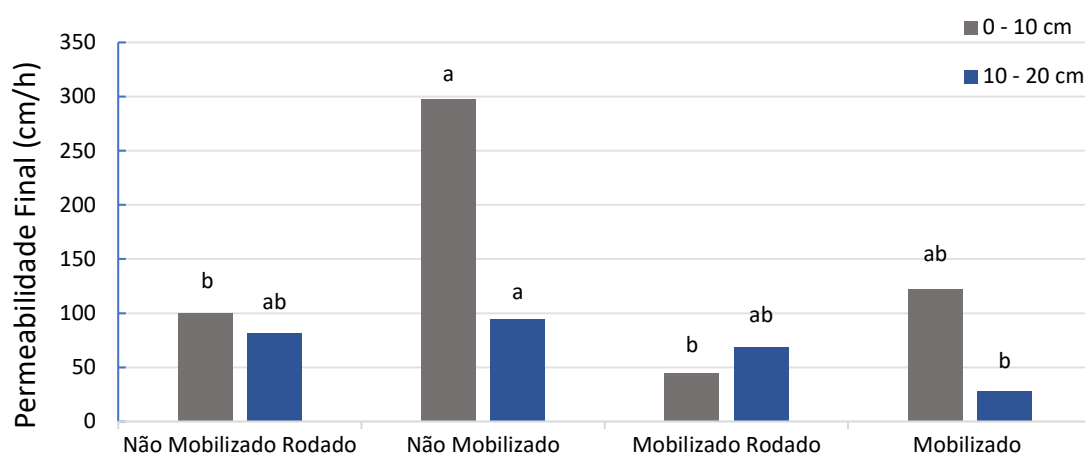


Figura 12 - Permeabilidade final do solo. Para a mesma profundidade, letras diferentes representam diferenças significativas entre tratamentos ($p < 0,05$).

Ferrero et al. (2005) comentam que a compactação do solo resulta numa diminuição da condutividade hidráulica, afetando a permeabilidade da água. Também, a compactação do solo pode reduzir a condutividade hidráulica devido à diminuição da conectividade entre os poros.

4.2 Densidade

4.2.1 Densidade Aparente

Os valores de densidade aparente permitem destacar dois grupos de solos, que apresentam diferenças estatísticas entre si para as duas camadas de solo em estudo (0 – 10 e 10 – 20 cm) (Figura 13). Assim, os tratamentos não mobilizado rodado e mobilizado rodado mostram valores significativamente superiores comparativamente aos tratamentos não mobilizado e mobilizado. Estes resultados colocam em destaque o efeito negativo da passagem da máquina, que contribuiu para a degradação física do solo, pois um aumento da densidade

aparente está associado a uma redução da porosidade e destruição da agregação do solo (Costa, 2011).

Como seria de esperar, a densidade aparente aumenta com a profundidade e observa-se uma menor variação da densidade aparente para os tratamentos não mobilizado rodado e mobilizado rodado (tratamentos com passagem da máquina de colheita), apresentando valores na camada 0 – 10 cm mais próximos aos da camada 10 – 20 cm, indicando maior homogeneidade do perfil do solo devido à pressão exercida pelos pneus (Fonseca e Figueiredo, 2016).

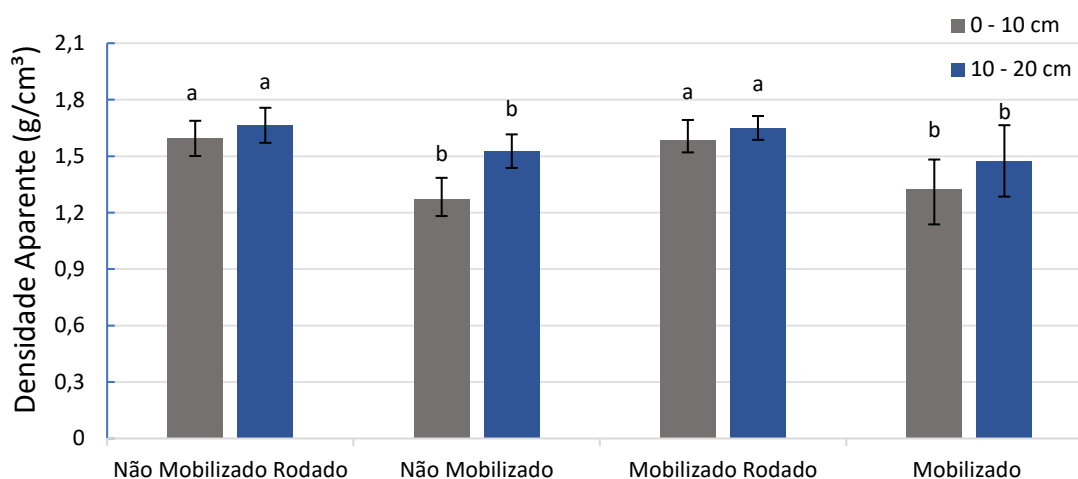


Figura 13 - Densidade aparente do solo. Para a mesma profundidade, letras diferentes representam diferenças significativas entre tratamentos ($p < 0,05$).

A compactação do solo influencia o desenvolvimento das raízes, fazendo com que para além de prejudicar o desenvolvimento e absorção de nutrientes, torna a planta mais suscetível ao tombamento quando exposta a ventos fortes (Jacto, 2019), além de também ter implicações significativas para a degradação da matéria orgânica, uma vez que o solo compactado pode expor a matéria orgânica na superfície, tornando-a vulnerável à ação das chuvas e da radiação solar. Nesse contexto, a exposição direta da matéria orgânica à água da chuva e aos ventos aumenta a sua suscetibilidade ao arraste e transporte.

A erosão, resultante da compactação do solo, pode ter impactos negativos adicionais, como a perda de nutrientes e matéria orgânica, redução da capacidade de retenção de água, degradação da estrutura do solo e diminuição da atividade biológica benéfica (Martins e Fernandes, 2017). Esses efeitos combinados podem levar a uma redução na produtividade das culturas, aumento da suscetibilidade a pragas e doenças, além de contribuir para a contaminação de corpos de água próximos por sedimentos e nutrientes carregados pela erosão (Fonseca et al., 2017).

4.2.2 Densidade Real

A densidade real, ao contrário da densidade aparente, considera apenas o volume do solo que compõe a amostra, sem considerar o espaço poroso entre as partículas de solo (Costa, 2011). Na Figura 14 apresentam-se os valores de densidade real para os vários tratamentos e para as profundidades 0 – 10 e 10 – 20 cm. Na camada superficial (0 – 10 cm), o tratamento não mobilizado apresentou uma densidade real significativamente inferior relativamente aos tratamentos não mobilizado rodado e mobilizado rodado. O tratamento mobilizado apresentou valores estatisticamente similares aos restantes tratamentos. Na profundidade de 10 – 20 cm não foram registadas diferenças significativas entre os diversos tratamentos, ocorrendo ligeiros aumentos nos tratamentos não mobilizado e mobilizado e ligeiras reduções nos tratamentos não mobilizado rodado e mobilizado rodado, comparativamente à camada superficial (0 – 10 cm).

Nos solos, a densidade real varia, em média, entre os limites de 2,3 e 2,9 g cm⁻³ (Porta et al., 2003), verificando-se que os tratamentos não mobilizado e mobilizado apresentam valores mais próximos do limite inferior, enquanto os tratamentos não mobilizado rodado e mobilizado rodado apresentam valores mais próximos do limite superior, e tudo indica que estas variações estão diretamente relacionadas com os efeitos produzidos no solo pela passagem da máquina de colheita de azeitona.

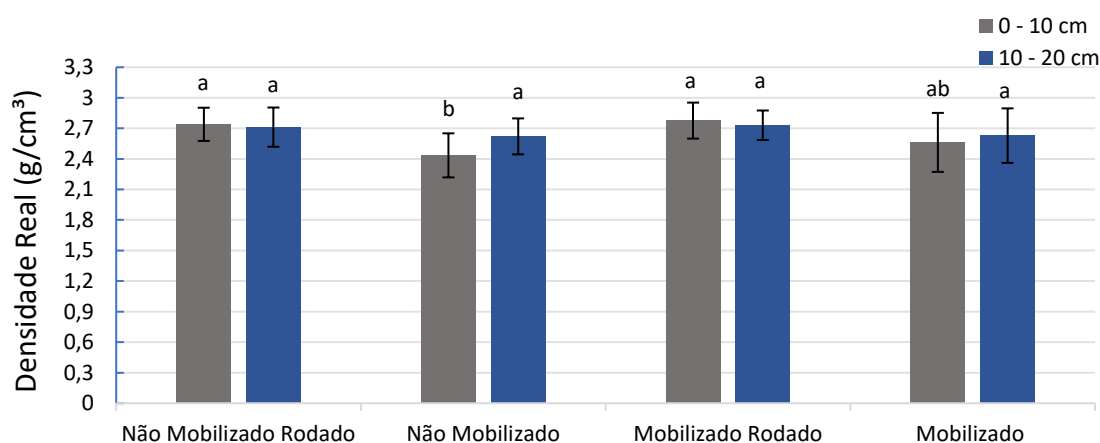


Figura 14 - Densidade real do solo. Para a mesma profundidade, letras representam diferenças significativas entre tratamentos ($p < 0,05$).

4.3 Porosidade

A porosidade do solo na camada 0 – 10 cm foi mais expressiva nos tratamentos não mobilizado e mobilizado, apresentando diferenças significativas em comparação com os tratamentos não mobilizado rodado e mobilizado rodado (Figura 15). A porosidade dos tratamentos não mobilizado e mobilizado foi de 48%, enquanto os tratamentos não mobilizado rodado e mobilizado rodado apresentaram porosidades de 42% e 43%, respectivamente.

Para a camada 10 – 20 cm, o tratamento mobilizado apresentou o valor mais elevado, que diferiu significativamente dos tratamentos não mobilizado rodado e mobilizado rodado. O tratamento não mobilizado apresentou valores similares aos dos restantes tratamentos. A porosidade do tratamento mobilizado foi de 44%, enquanto as dos tratamentos significativamente inferiores foi de 39% (não mobilizado rodado e mobilizado rodado).

A porosidade afeta diretamente as trocas gasosas e a quantidade de água retida no solo, e o tamanho dos poros determina o potencial de água retida no mesmo e, conseqüentemente, a força necessária para retirar a água do solo (Bertol et al., 2019). À medida que o tamanho dos poros vai diminuindo, maior é a força necessária para retirar a água dos poros. Proporcionar um ambiente ideal para o cultivo de plantas envolve o fornecimento de oxigênio através de um solo bem arejado e fornecimento de água através de uma capacidade de retenção e disponibilidade de água adequadas. É necessário que ocorra trocas gasosas entre o solo e a atmosfera, afim de substituir o gás carbônico presente no solo e a entrada de oxigênio a partir da atmosfera exterior. Para isso acontecer é necessário que o solo seja saudável, apresentando porosidade adequada. Moitinho (2013) comenta que a emissão de CO₂ é resultante das interações biológicas, químicas e físicas do solo, como a densidade radicular, teor de matéria orgânica, entre outros fatores. Carvalho et al. (2010) referem que a maior reserva de carbono orgânico da superfície terrestre é encontrada na matéria orgânica do solo. A compactação do solo torna o ambiente desfavorável ao crescimento e desenvolvimento das plantas, impondo restrições de produtividade e longevidade, mesmo em condições ideais de suprimento de nutrientes.

Um solo bem estruturado é composto por uma proporção entre macro e microporos que resulte em uma dinâmica de água sem restrições no perfil do solo, possibilitando a penetração de raízes e a aeração do mesmo, favorecendo e facilitando o desenvolvimento das raízes e da planta como um todo, além de ter capacidade de armazenamento e disponibilidade de água (Pedrotti e Dias-Junior, 1996).

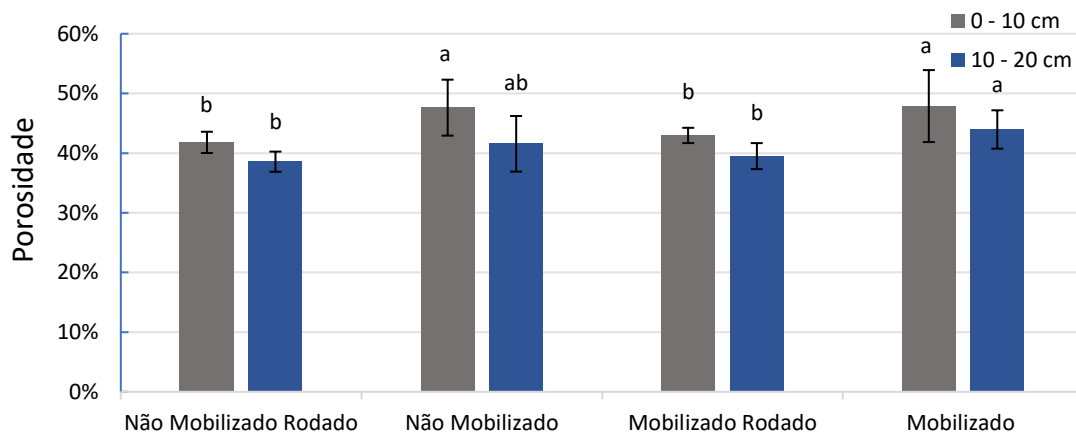


Figura 15 - Porosidade total do solo. Para a mesma profundidade, letras diferentes representam diferenças significativas entre tratamentos ($p < 0,05$).

4.3.1 Microporosidade

Na camada 0 – 10 cm dos tratamentos onde ocorreu um aumento da compactação do solo devido à passagem da máquina de colheita (não mobilizado rodado e mobilizado rodado), a microporosidade sofreu uma redução significativa em relação aos tratamentos não mobilizado e mobilizado (Figura 16).

Para a profundidade 10 – 20 cm os tratamentos não mobilizado e mobilizado não apresentaram diferenças significativas entre si, o tratamento não mobilizado não se diferenciou dos demais tratamentos, que também não apresentaram diferenças significativas entre si. A microporosidade do tratamento mobilizado foi de 41%, representando o maior valor registrado.

Os microporos são responsáveis pelo armazenamento de água no solo, por capilaridade, sendo encontrados essencialmente dentro dos agregados do solo. Uma maior quantidade de microporos garante ao solo uma maior capacidade de armazenamento de água e manutenção da umidade do solo (Bertol et al., 2019). Maiores percentagens de microporosidade foram encontrados nos tratamentos sem rodagem da máquina de colheita (não mobilizado e mobilizado).

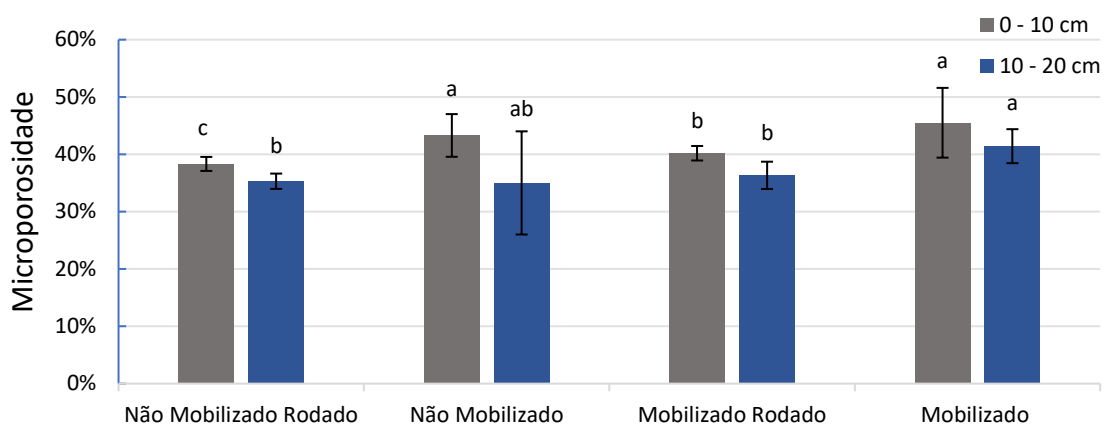


Figura 16 - Microporosidade do solo. Para a mesma profundidade, letras diferentes representam diferenças significativas entre tratamentos ($p < 0,05$).

4.3.2 Macroporosidade

A macroporosidade dos tratamentos não mobilizado rodado e não mobilizado, na profundidade 0 – 10 cm, diferiram significativamente entre si, porém existe diferenças significativas se comparados aos tratamentos mobilizado rodado e mobilizado, que não se diferenciaram entre si (Figura 17). A média da macroporosidade do tratamento não mobilizado é de 4%, enquanto a do tratamento mobilizado é de 2%.

Para a profundidade 10 – 20 cm o tratamento não mobilizado apresentou o maior valor (4%), diferindo significativamente dos demais tratamentos, o tratamento não mobilizado rodado difere significativamente dos tratamentos não mobilizado e mobilizado. O tratamento mobilizado rodado difere apenas do tratamento não mobilizado.

A redução da quantidade de macroporos pode ser tão importante na limitação da produção das culturas quanto a perda de partículas do solo por erosão (Shaxson, 1993), pois associado aos macroporos está a capacidade do solo de fornecer oxigênio para a atividade respiratória das raízes e dos organismos do solo (Porta et al., 2003)

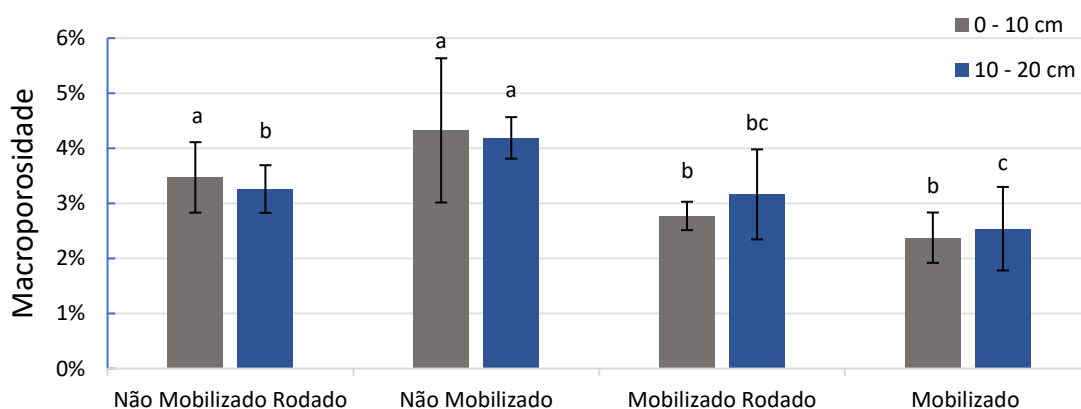


Figura 17 - Macroporosidade do solo. Para a mesma profundidade, letras diferentes representam diferenças significativas entre tratamentos ($p < 0,05$).

4.4 Capacidade Máxima para a Água

Para ambas as profundidades (0 – 10 e 10 – 20 cm), os tratamentos não mobilizado e mobilizado apresentaram médias significativamente mais elevadas comparativamente aos tratamentos com rodagem do implemento agrícola (não mobilizado rodado e mobilizado rodado) (Figura 18). Para a profundidade 0 – 10 cm, o tratamento não mobilizado apresentou a maior capacidade para a água, com cerca de 12% a mais relativamente ao tratamento não mobilizado rodado, que apresentou a média mais baixa entre os tratamentos.

Na profundidade 10 – 20 cm todos os tratamentos apresentaram médias inferiores, quando comparadas com a camada superficial (0 – 10 cm). O tratamento mobilizado apresentou a maior média, com uma diferença de 7% de capacidade máxima para a água comparativamente ao tratamento não mobilizado rodado, o que está diretamente relacionado com a porosidade total do solo (44% para o tratamento mobilizado vs. 39% para o tratamento não mobilizado rodado). Todos os fatores que afetam a porosidade do solo, vão afetar a capacidade máxima do solo para água (Porta et al., 2003).

Segundo Viana (2020), os macroporos são facilitadores da rápida infiltração de água no solo, o que dá ao solo uma condição de melhor permeabilidade da água, como comprovado pela permeabilidade final observada anteriormente. O desenvolvimento das plantas é favorecido quando os poros maiores estão preenchidos com ar e os microporos com água.

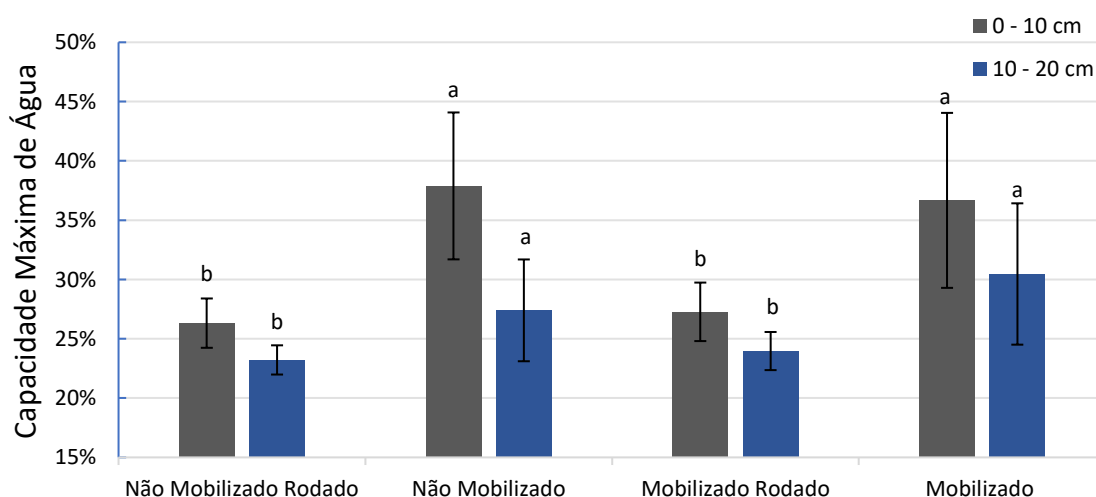


Figura 18 - Capacidade máxima de água. Para a mesma profundidade, letras diferentes representam diferenças significativas entre tratamentos ($p < 0,05$).

4.5 Capacidade de Campo

Os tratamentos que sofreram pressão mecânica causada pela máquina de colheita (não mobilizado rodado e mobilizado rodado), apresentaram capacidade de campo inferior aos tratamentos que não sofreram esse tipo de pressão (não mobilizado e mobilizado) (Figura 19), indicando que ocorreu redução da microporosidade do solo, como referido previamente.

Na profundidade 0 – 10 cm, os tratamentos não mobilizado e mobilizado apresentaram médias significativamente superiores aos restantes tratamentos (não mobilizado rodado e mobilizado rodado). O tratamento mobilizado foi o que apresentou maior capacidade de campo, com diferença de 11% para o tratamento não mobilizado rodado, que apresentou a menor média. Para todos os tratamentos, a capacidade de campo diminuiu com o aumento da profundidade, maior densidade do solo em profundidade e conseqüentemente menor porosidade (Botta et al., 2012).

Na profundidade 10 – 20 cm, o tratamento mobilizado apresentou uma capacidade de campo significativamente superior quando comparado aos tratamentos não mobilizado rodado e mobilizado rodado, apresentando 8% a mais de capacidade de campo que o tratamento não mobilizado rodado (diferença entre o valor mais elevado e o mais baixo). O tratamento não mobilizado não apresentou diferenças significativas quando comparado aos demais tratamentos.

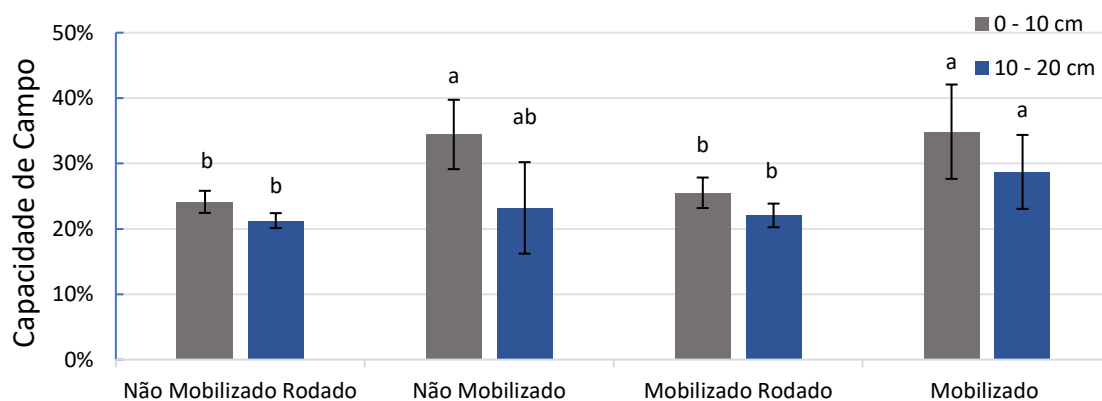


Figura 19 - Capacidade de campo. Para a mesma classe de agregados, letras diferentes representam diferenças significativas entre tratamentos ($p < 0,05$).

4.6 Estabilidade dos Agregados do Solo

A estabilidade dos agregados do solo pode ser explicada através da junção de partículas individuais que se mantêm juntas como uma estrutura coesa. Essa agregação beneficia a saúde e qualidade do solo, influenciando diretamente suas propriedades físicas,

químicas e biológicas. Quando estáveis, os agregados mantêm uma estrutura porosa que permite a circulação adequada de ar, água e nutrientes (Porta et al., 2003; Costa, 2011).

Na organização das partículas, os agregados formados são de diferentes formas e dimensões, ficando espaços livres nestes agregados de diferentes formas e dimensões, constituindo a porosidade do solo, onde circula o ar nos espaços porosos maiores (macroporos) e a água que fica retida nos espaços porosos menores (microporos) (Viana, 2020). Os agregados são também responsáveis pela proteção do carbono contra a oxidação, contribuindo para um ambiente ideal para o desenvolvimento das plantas (Jacto, 2019).

Muitas vezes os agregados do solo são confundidos com torrões, que são normalmente formados pela pressão exercida pelos maquinários agrícolas em solos desprotegidos e, apresentam coloração opaca e estrutura extremamente compactada, não permitindo o desenvolvimento de raízes, dificultando a infiltração de água nas camadas inferiores do solo e contribuindo para os processos erosivos. Os agentes responsáveis pela formação dos agregados estáveis são a argila e o limo, que mantêm as partículas do solo unidas pela argila e matéria orgânica. Estratégias que visam o incremento e preservação da matéria orgânica do solo contribuem para a estabilização dos agregados, tanto por fatores químicos, físicos e biológicos (Jacto, 2019).

A prática do revolvimento do solo também pode desempenhar um papel indireto no aumento dos processos erosivos. Ao promover o revolvimento do solo os agregados são desfeitos. Com a destruição desses agregados, a capacidade de infiltração de água é reduzida, levando ao escoamento superficial e ao aumento do risco de erosão do solo. Ao longo do tempo, essas alterações na estrutura e nas características do solo podem ter consequências significativas (Jacto, 2019). A capacidade de retenção de água do solo pode ser comprometida, resultando em estresse hídrico para as plantas e diminuição da produtividade agrícola.

Por outro lado, um solo com agregados estáveis apresenta uma maior resistência às forças de degradação como a água e a utilização de maquinário agrícola (Jacto, 2019).

4.6.1 Efeito das forças mecânicas aplicadas sobre o solo na Estabilidade dos Agregados

Ao comparar-se os tratamentos não mobilizado e não mobilizado rodado (Figura 20), verifica-se que a aplicação de forças mecânicas sobre o solo contribuiu para a redução da estabilidade dos agregados de ambas as classes (0,25 e 0,40 mm) e profundidades (0-10 e 10-20 cm), o que é mais visível na camada 10-20 cm da classe de agregados 0,40 mm, que apresenta valores significativamente inferiores no tratamento não mobilizado rodado (redução de 10% da estabilidade), traduzindo-se em diferenças significativas entre tratamentos. As restantes comparações não apresentaram diferenças significativas e, na camada 0-10 cm a classe de

agregados 0,40 mm foi a que apresentou menor diferença entre tratamentos, com 4% de redução de estabilidade no tratamento mobilizado rodado.

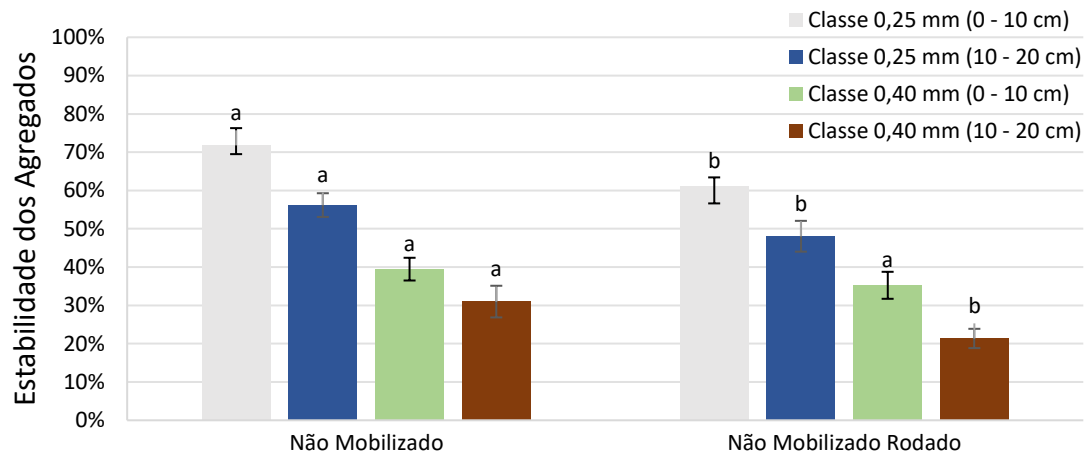


Figura 20 - Comparação da estabilidade dos agregados entre os tratamentos não mobilizado e não mobilizado rodado. Para a mesma profundidade e classe de agregados, letras diferentes representam diferenças significativas entre tratamentos ($P < 0,05$).

Na Figura 21 apresentam-se os resultados da estabilidade das classes de agregados (0,25 e 0,40 mm), dos tratamentos mobilizado e mobilizado rodado. A comparação entre os tratamentos mostra diferenças significativas para a classe de agregados 0,25 mm, em ambas as profundidades, com redução de 19% da estabilidade dos agregados na profundidade 0-10 cm e redução de 24% da estabilidade dos agregados na profundidade 10-20 cm. A classe de agregados 0,40 mm em ambas as profundidades não apresentou diferenças significativas.

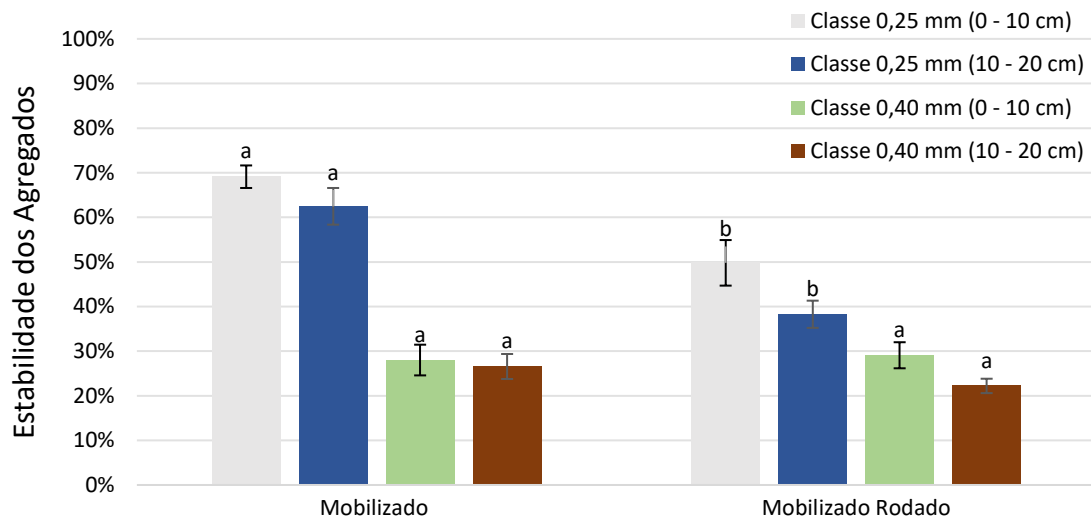


Figura 21 - Comparação da estabilidade dos agregados entre os tratamentos mobilizado e mobilizado rodado. Para a mesma profundidade e classe de agregados, letras diferentes representam diferenças significativas entre tratamentos ($p < 0,05$).

4.6.2 Efeito do tamanho da classe de agregados na Estabilidade dos Agregados

A classe de agregados 0,40 mm é sempre menos estável que a classe de agregados 0,25 mm, nas profundidades 0 – 10 cm (Figura 22) e 10 – 20 cm (Figura 23). Na camada 0 – 10 cm, para a classe de agregados 0,25 mm, o tratamento não mobilizado foi o que apresentou maior estabilidade (72%). O tratamento mobilizado rodado apresentou estabilidade significativamente inferior (50%), aos tratamentos mobilizado e não mobilizado, e idêntica ao tratamento não mobilizado rodado. Para a classe de agregados 0,40 mm registaram-se diferenças significativas apenas entre os tratamentos não mobilizado e mobilizado, apresentando o tratamento não mobilizado um valor superior em 11% na estabilidade dos agregados.

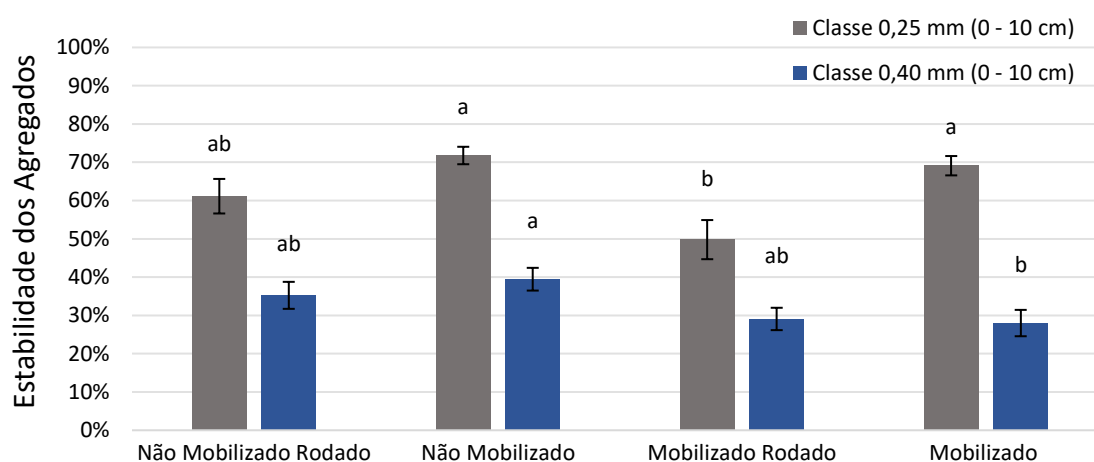


Figura 22 - Comparação da estabilidade dos agregados das classes 0,25 mm e 0,40 mm, na profundidade 0-10 cm. Para a mesma classe de agregados, letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$).

Analisando a profundidade 10 – 20 cm (Figura 23), para a classe de agregados 0,25 mm, o tratamento mobilizado foi o que apresentou maior estabilidade (62%), diferindo estatisticamente dos tratamentos não mobilizado rodado (48%) e mobilizado rodado (38%), que também diferem entre si. A classe de agregados 0,40 mm apresentou diferenças significativas de estabilidade apenas entre os tratamentos não mobilizado (31%) e não mobilizado rodado (21%).

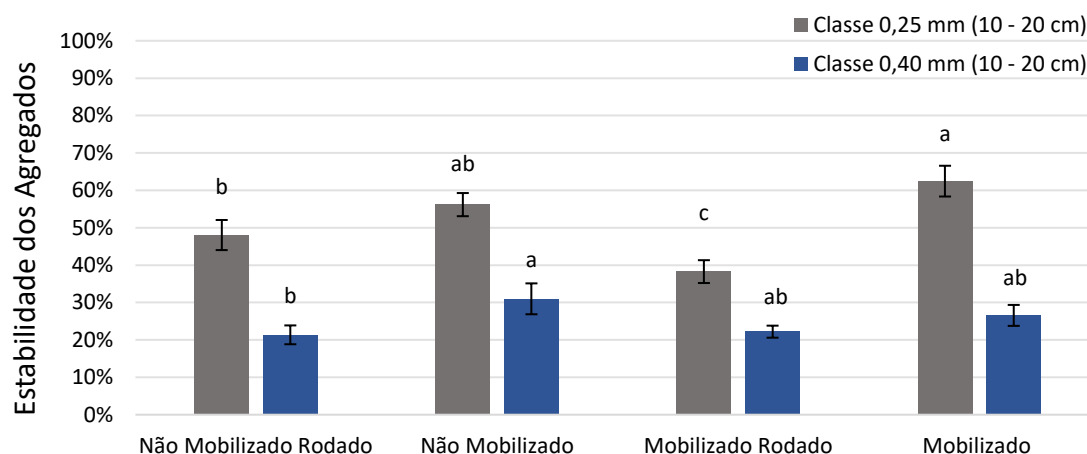


Figura 23 - Comparação da estabilidade dos agregados das classes 0,25 mm e 0,40 mm, na profundidade 10-20 cm. Para a mesma classe de agregados, letras diferentes indicam diferenças significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$).

4.6.3 Efeito da profundidade do solo na Estabilidade dos Agregados

Comparando a mesma classe de agregados para as duas camadas de solo (0 -10 e 10 – 20 cm), tanto a classe de agregados 0,25 mm (Figura 24) quanto a classe de agregados 0,40 mm (Figura 25), apresentaram, com exceção do tratamento mobilizado, redução significativa da estabilidade dos agregados em profundidade.

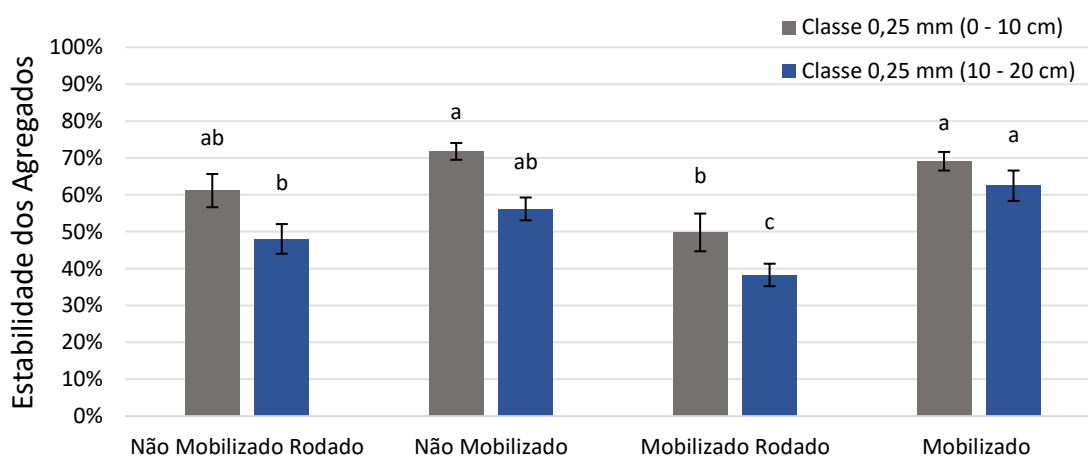


Figura 24 - Comparação da estabilidade dos agregados nas profundidades 0-10 cm e 10-20 cm, para a classe de agregados 0,25 mm. Para a mesma profundidade, letras diferentes indicam diferenças significativas entre tratamentos ($p < 0,05$).

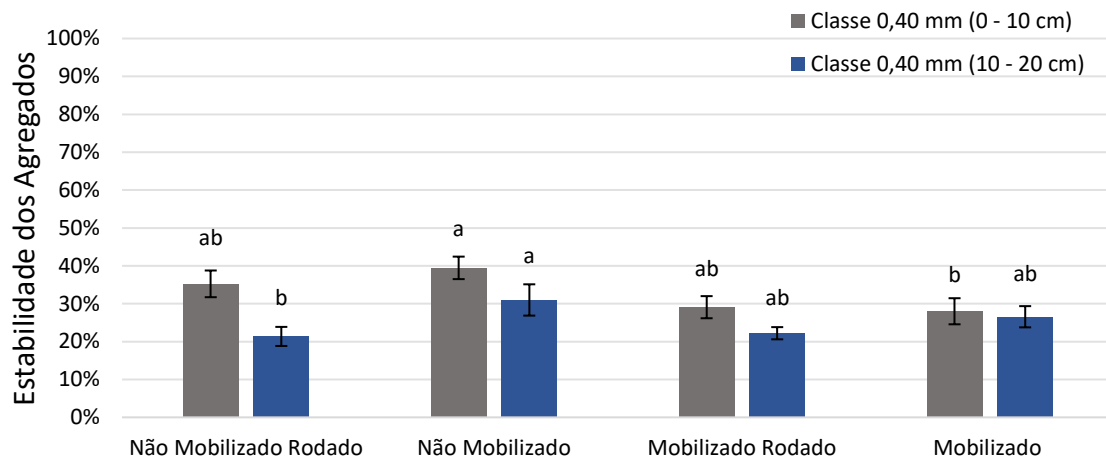


Figura 25 - Comparação da estabilidade dos agregados nas profundidades 0-10 cm e 10-20 cm, para a classe de agregados 0,40 mm. Para a mesma profundidade, letras diferentes indicam diferenças significativas entre tratamentos ($p < 0,05$).

Os menores valores para a estabilidade dos agregados obtidos nos tratamentos rodados (não mobilizado rodado e mobilizado rodado), estão diretamente ligados com os impactos causados pelo tráfego excessivo de maquinários agrícolas no mesmo local ou pelo tráfego em condições de umidade do solo inadequadas. Sendo a oliveira uma cultura perene, os produtores rurais não têm a opção de alterar os caminhos utilizados para o manejo e apanha da azeitona.

Segundo Viana (2020), um solo que apresenta boa estrutura suporta melhor a precipitação e a ação das máquinas agrícolas, podendo acumular mais água e ar, favorecendo a penetração das raízes e a exploração de um maior volume de solo, aumentando assim o acesso aos nutrientes e água, pelo que uma boa agregação do solo potencia a produção vegetal. Pedrotti e Dias Junior (1996) comentam que a alteração da estrutura do solo provoca alterações nas relações solo-ar-água, interferindo na temperatura, resistência mecânica e, conseqüentemente, no crescimento das plantas.

Lipiec et al. (2006) referem que o revolvimento do solo tem uma forte influência nas características dos agregados do solo. Ter informação sobre o tamanho, forma e estabilidade dos agregados é crítico para conhecermos a estruturação do solo, que fortemente influenciam o fluxo de ar do solo, movimento e permeabilidade da solução aquosa que carrega os nutrientes as plantas (Mileusnić et al., 2022).

De acordo com vários autores, a compactação do solo está causando a degradação de milhões de hectares de terras produtivas ao redor do mundo, especialmente nas áreas onde ocorre produção agrícola intensiva (Graves et al., 2015; Keller et al., 2019; Peixoto et al., 2019; Daigh et al., 2020).

Tendo isso em vista, garantir a estabilidade dos agregados do solo é essencial, já que o processo de desagregação restringe o desenvolvimento de raízes e afeta diretamente o aporte de água e nutrientes às plantas, resultando numa menor produtividade das culturas.

5 Conclusão

Os tratamentos não mobilizado rodado e mobilizado rodado apresentam valores de qualidade inferior para quase todos os parâmetros físicos do solo analisados, em ambas as profundidades (0 – 10 e 10 – 20 cm), comprovando que a pressão exercida sobre o solo pelo maquinário de colheita mecânica de azeitona causa compactação e afeta negativamente a estrutura do solo, a permeabilidade, densidade, porosidade, capacidade de armazenamento e retenção de água, entre outros fatores, ou seja, contribui para uma perda da qualidade do solo. Em relação à estabilidade dos agregados, observa-se que a classe de agregados menores (0,25 mm) apresenta maior estabilidade que a classe de agregados maiores (0,40 mm), sendo mais estáveis na camada superficial (0 – 10 cm).

A compactação do solo por maquinários agrícolas é uma preocupação de longa data, apresentando consequências negativas tanto agronomicamente como ambientalmente. A mudança da estrutura do solo, da distribuição espacial das partículas, da porosidade do solo, assim como a destruição dos agregados do solo afetam parâmetros físicos, químicos e biológicos do solo, que são fundamentais na produtividade e na saúde dos mesmos. A compactação compromete a coesão dos agregados do solo, resultando na perda da estrutura do solo e aumento da exposição da matéria orgânica, que é um componente essencial para a manutenção da saúde e fertilidade do solo.

A compactação também se relaciona com a erosão do solo, pois facilita que as partículas do solo sejam carreadas com a chuva ou vento após desagregação das partículas, apresentando impactos negativos adicionais, como a perda de nutrientes e matéria orgânica, redução da capacidade de retenção de água, degradação da estrutura do solo e diminuição da atividade biológica benéfica (Martins e Fernandes, 2017). Esses efeitos combinados podem levar a uma redução na produtividade das culturas, aumento da suscetibilidade a pragas e doenças, além de contribuir para a contaminação de corpos de água próximos por sedimentos e nutrientes carregados pela erosão (Fonseca et al., 2017).

É fundamental adotar práticas de manejo adequadas para mitigar os efeitos da compactação do solo e prevenir a erosão. Isso inclui o uso de técnicas de manejo conservacionistas, como a manutenção das coberturas verdes, controle do tráfego de máquinas agrícolas, manejos do solo seguindo o declive, assim como a utilização de tratores de tamanhos adequados para a operação e a utilização de pneus com maior largura. Essas abordagens contribuem para a preservação da estrutura do solo, a redução da erosão e a manutenção da matéria orgânica, promovendo a sustentabilidade e a produtividade a longo prazo dos sistemas agrícolas.

6 Referências

- ALMEIDA, A. C. F. **Avaliação e seleção de sistemas de colheita mecânica de azeitona**. Doctoral Thesis, Universidade de Évora, 2002.
- BERTOL, I., MARIA, I. C., SOUZA, L. S. **Manejo e Conservação do Solo e da Água**. 1. ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019.
- BOTTA, G. F. **Influence of the axle load, tyre size, and configuration on the compaction of a freshly tilled clayey soil**. *Journal of Terramechanics* 39, 47-54, 2002.
- BOTTA, G. F., VASQUEZ, J. M., TOLON-BECERRS, A., BALBUENA, R., STADLER, S. **Soil compaction distribution under land clearing in calden (*Prosopis Caldenia* Burkart) forest in Argentinean pampas**. *Soil Tillage Research* 119, 70-75, 2012.
- BRAIDA, J. A., REICHERT, J. M., VEIGA, M., REINERT, D. J. **Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 30, 605-614, 2006.
- CARVALHO, J. L. N., AVANZI, J.C., SILVA, M.L.N., MELO, C.R., CERRI, C.E.P. **Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 34, 277-290, 2010.
- COSTA, J. B. **Caracterização e constituição do solo** (7a Edição). Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 528p, 2011.
- DAIGH, A. L. M., DEJONG-HUGHES, J., ACHARYA, U. **Projections of yield losses and economic costs following deep wheel-traffic compaction during the 2019 harvest**. *Agricultural & Environmental Letters* 5 (1), e20013, 2020.
- DEFOSSEZ, P., RICHARD, G. **Models of soil compaction due to traffic and their evaluation**. *Soil and Tillage Research* 67 (1), 41-64, 2002.
- FERNANDES, R. **A matéria orgânica do solo**. Em: *Vida Rural* n.º 1817: 24-26, 2016.
- FERRERO, A., USOWICZ, B., LIPIEC, J. **Effects of tractor traffic on spatial variability of soil strength and water content in grass-covered and cultivated sloping vineyard**. *Soil and Tillage Research* 84 (2), 127-138, 2005.
- FIGUEIREDO, T. DE. **Uma panorâmica sobre os recursos pedológicos do Nordeste Transmontano**. Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior Agrária, 2013.
- FIGUEIREDO, T. DE, ALMEIDA, A., ARAUJO, J. **Edaphic characteristics of olive-tree areas in the Trá-Os-Montes Region (Portugal): a map-based approach**. *Acta horticulturae*, 2002.
- FIGUEIREDO, T. **Determinação laboratorial da condutividade hidráulica do solo e Realização de exercícios sobre exploração de aquíferos**. Mestrado em Tecnologia Ambiental. Escola Superior Agrária de Bragança, 2011.
- FONSECA, F., FIGUEIREDO, T. **Effects of site preparation on physical and chemical properties as indicators of forest soil quality**. *Gaia Sci.* 10 (2), 38-46, 2016.

FONSECA, F., FIGUEIREDO, T., NOGUEIRA, C., and QUEIRÓS, A. **Effect of prescribed fire on soil properties and soil erosion in a Mediterranean mountain area.** *Geoderma* 307, 172–180, 2017.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (ED.). **Food systems for better nutrition.** Rome: FAO, 2013.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (ED.). **The future of food and agriculture: trends and challenges.** Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAOSTAT – **Food and Agriculture Organization of the United Nations.** Disponível em <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>

FRIDLEY, R. B. **Vibration and Vibratory Mechanisms for the Harvest of Tree Fruits, in Principles & Practices for Harvesting & Handling Fruits & Nuts,** AVI Publishing Company, Inc, Westport, Connecticut: 157-185, 1983.

GARCIA, A. G. **Nueva Olivicultura,** Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, 1991.

GRAVES, A. R. **The total costs of soil degradation in England and Wales.** *Ecological Economics* 119, 399-413, 2015.

GREENE, W. D., STUART, W. B. **Skidder and Tire Size Effects on Soil Compaction.** *Southern Journal of Applied Forestry* 9 (3), 154-157, 1985.

HAMZA, M. A., ANDERSON, W. K. **Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes, and possible solutions.** *Soil and Tillage Research* 82 (2), 121-145, 2005.

HÅKANSSON, I., REEDER, R. C. **Subsoil compaction by vehicles with high axle load—extent, persistence, and crop response.** *Soil and Tillage Research* (29) (2-3), 277-304, 1994.

INÁCIO, M., PEREIRA, V., PINTO, M. **The Soil Geochemical Atlas of Portugal: Overview and applications.** *Journal of Geochemical Exploration, Geostatistics Applied to Environmental Studies* 98 (1), 22-33, 2008.

JACTO. **Agregados do solo: saiba como promover um solo mais fértil na lavoura!** Disponível em: <https://blog.jacto.com.br/agregados-do-solo-entenda-o-que-sao-e-por-que-a-estabilidade-importa/>. Acesso em: 7 jul. 2023.

JORDÃO, P., MARCELO, M. E., MARTINS, P., ALBARDEIRO, A. S., CORDEIRO, A., SEMPITERNO, C., CAMBOIAS, L., VELOSO, A., CALDERÓN, R. A., MARTINS, J. C., MANO, R. **Caracterização do estado de fertilidade de solos com olivais em sebe no Alentejo.** *Actas Portuguesas de Horticultura* 36, 107-118, 2022.

KELLER, T., SANDIN, M., COLOMBI, T., HORN, R., OR, D. **Historical increase in agricultural machinery weights enhanced soil stress levels and adversely affected soil functioning.** *Soil and Tillage Research* 194, 104293, 2019.

LEPTOSOL | FAO soil group | Britannica. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/Leptosol>. Acesso em: 24 jan. 2023.

LIPIEC, J., KUS, J., NOSALEWICZ, A., TURSKI, M. **Tillage system effects on stability and sorptivity of soil aggregates.** International Agrophysics 20, 189-193, 2006.

MAIA, F.B. **Contribuição para o estudo da fenologia de quatro variedades de oliveira (Olea europaea L.): Arbequina, Cobrançosa, Galega vulgar, e Picual.** Master Thesis, ISA, Lisboa, 2010. Disponível em: <https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/15199>.

MARTÍNEZ-ZAMORA, L., PEÑALVER, R., ROS, G. **Olive Tree Derivatives and Hydroxytyrosol: Their Potential Effects on Human Health and Its Use as Functional Ingredient in Meat.** Foods 10 (11), 2611, 2021.

MARTINS, C. J., FERNANDES, R. **Processos de degradação do solo – medidas de prevenção,** 2017.

MCGARRY, D.; SHARP, G. **A Rapid, Immediate, Farmer-Usable Method of Assessing Soil Structure Condition to Support Conservation Agriculture.** In GARCÍA-TORRES, L. et al. (Eds.). Conservation Agriculture: Environment, Farmers Experiences, Innovations, Socio-economy, Policy. Dordrecht: Springer Netherlands, 375-380, 2003.

MCGARRY, D. **Tillage and Soil Compaction.** In GARCÍA-TORRES, L. et al. (Eds.). Conservation Agriculture. Dordrecht: Springer Netherlands, 307-316, 2003.

MILEUSNIĆ, Z. I., SALJNIKOV, E., RADOJEVIĆ, R. L., PETROVIĆ, D. V. **Soil compaction due to agricultural machinery impact.** Journal of Terramechanics 100, 51-60, 2022.

MILHEIRO, A. V. **Olivicultura.** Direcção-Geral de Extensão Rural 1, 1982.

MOITINHO, M. R. **Emissão de CO₂ e sua relação com propriedades, manejo do solo e palha em áreas de cana-de-açúcar,** Master Thesis, UNESP, 2013.

ONU. **População mundial deve crescer em 2,2 bilhões até 2050.** Disponível em: <https://unric.org/pt/populacao-mundial-deve-crescer-em-22-bilhoes-ate-2050/>. Acesso em: 10 jan. 2023.

PACHECO, A. I. S. **Vegetação espontânea de olivais intensivos no Baixo Alentejo.** Master Thesis, Universidade de Lisboa, 2009.

PEDROTTI, A., DIAS JUNIOR, M. S. **Compactação do solo: Como evitá-la.** Agropecuária Catarinense 9 (4), 1996.

PEIXOTO, D. S., SILVA, B. M., SILVA, S. H. G., KARLEN, D. L., MOREIRA, G. S., SILVA, A. A. P., RESENDE, A. V., NORTON, L. D., CUR, N. **Diagnosing, Ameliorating, and Monitoring Soil Compaction in No-Till Brazilian Soils.** Agrosystems, Geosciences & Environment 2 (1), 180035, 2019.

PORTA, J., LÓPEZ-ACEVEDO, M., ROQUERO, C. **Edafología Para la Agricultura y el Medio Ambiente.** Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2003.

PORTUGAL'S SECOND REPORT to be submitted to the Conference of Parties to the Framework Convention on Climate Change. Em: CONFERENCE OF PARTIES TO THE FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. Nov. 1997. Disponível em:

<https://www.apambiente.pt/sites/default/files/Clima/ReportesUNFCCC/NC2Portugal.pdf>. Acesso em: 24 jan. 2023.

SÁ, M. A. C., JUNIOR, J., DOS S. **Compactação do solo: consequências para o crescimento vegetal**. Portal Embrapa, 2005.

SANTOS, L., RAMOS, A. **A cultura da oliveira. 12996/86**. ed. Castelo Branco: Instituto Politécnico de Castelo Branco, p. 94, 1987. ISBN: 972-8324-03-0 Disponível em: https://repositorio.ipcb.pt/bitstream/10400.11/301/1/CULTURA_OLIVEIRA.pdf.

SHAXSON, T. F. **Conservation-effectiveness of farmers' actions: a criterion of good land husbandry. Acceptance of soil and water conservation: strategies and technologies** 3, 103-128, 1993.

TEIXEIRA, C. P., DONAGEMMA, G. K., FONTANA, A., TEIXEIRA, W. G. **Manual de métodos de análise de solo**. Embrapa, 3 ed. rev. e ampl., p. 574, 2017.

TOLÓN-BECERRA, A. BOTTA, G.F., LASTRA-BRAVO, X., TOURN, M., DAVID, R. **Subsoil compaction from tractor traffic in an olive (*Olea europea L.*) grove in Almería, Spain**. Soil Use and Management 28 (4), 606-613, 2012.

TOMBESI, A. **PHYSIOLOGICAL AND MECHANICAL ADVANCES IN OLIVE HARVESTING**. Acta Horticulturae 286 399-412, 1990.

TOTH, G. **Soils of the European Union**. Disponível em: <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC46573>. Acesso em: 24 jan. 2023.

VALLIN, G. **Degradação do solo: conheça as causas e soluções**. Disponível em: <https://blog.syngentadigital.ag/degradacao-do-solo/>. Acesso em: 1 ago. 2023.

VIANA, J. M. M. L. (2020). **Mobilização do solo - Manual do Formador**. Disponível em: <https://jovemagricultor.azores.gov.pt/noticia.aspx?f=30&t=4&i=62>

ZILMAR ZILLER, M., RANZANI, G. **Estrutura, agregação e água do solo**. 1968.