



Efeito de mobilizações com tração animal nas propriedades físicas do solo

Renecleide Viana dos Santos

Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Agroecologia no âmbito da dupla diplomação com a Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

Orientada por

Prof. Doutor Tomás de Aquino Rosa Figueiredo – IPB

Prof.^a. Doutora Felícia Maria da Silva Fonseca - IPB

Prof. Doutor Odair Del'Arco Vinhas Costa – UFRB

Bragança

2019

RENECLEIDE VIANA DOS SANTOS

**EFEITO DE MOBILIZAÇÕES COM TRAÇÃO ANIMAL NAS
PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO**

Trabalho apresentado ao Instituto Politécnico de Bragança, como requisito parcial para conclusão da dissertação do mestrado em Agroecologia no âmbito da dupla diplomação com a Universidade Federal do Recôncavo da Bahia

**Bragança
2019**

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por ter me capacitado a realizar este trabalho.

Ao professor Doutor Tomás Figueiredo pela paciência e ensinamentos no decorrer da pesquisa, pelo auxílio no desenvolvimento das metodologias, pelas dicas na discussão e por toda ajuda no direcionamento do estudo.

A professora Doutora Felícia Fonseca pela gentileza e apoio.

Ao professor Doutor Oldair Vinhas pela prestatividade e pelas grandes contribuições e conselhos.

Ao Engenheiro Arsénio Araújo pela assitência e explicações.

A Universidade Federal do Recôncavo da Bahia por me impulsionar a buscar mais conhecimentos, por me fazer crescer enquanto pessoa e profissional, por ter me proporcionado essa grande oportunidade e pelo imenso apoio durante toda minha trajetória acadêmica.

Ao Instituto Politécnico de Bragança, em especial a Escola Superior Agrária, pela grande oportunidade, acolhimento e possibilidade de desenvolver esta pesquisa nas instalações.

Agradeço imensamente a toda minha família, em especial a família Viana, por serem meu alicerce, por sempre fazerem dos meus sonhos os deles e por acreditarem no meu potencial. A meus pais (Cleuza e Roque) por todo o esforço que tiveram na criação das três filhas com todo amor e cuidado, apesar das adversidades enfrentadas. Vocês são meu exemplo e me impulsionam a ser uma pessoa melhor a cada dia. As minhas irmãs (Neia e Rejane) pelo apoio incondicional, pelo amor, carinho e preocupação. A meu sobrinho (Nicolas) por ser meu raio de sol e sempre arrancar um sorriso do meu rosto.

A Edmir Moniz, por todo apoio durante essa trajetória, pela enorme paciência, pelo cuidado e por todo amor.

A todos os meus amigos do Brasil, que sempre acreditaram em mim e me proporcionaram momentos inesquecíveis. Em especial a Stefane, Jamily e Helena, por serem as melhores amigas sempre, pelos conselhos, pelos sermões e pelas experiências inesquecíveis. Vocês têm uma parte do meu coração. Obrigada por cada momento vivido!

A todos os meus amigos de intercâmbio por ajudarem a fazer os momentos mais leves, pelo carinho, apoio, e por toda a diversão. Sem dúvidas, vocês foram um fator essencial para essa experiência ter sido tão maravilhosa.

Muito obrigada a todos e todas que fizeram parte dessa conquista, e que de alguma forma afetaram a minha vida. Essa conquista é nossa!

“A terra, que compreende o solo e a água, e a vida vegetal e animal que lhes está associada, é um dos recursos de que o homem dispõe. O seu uso não deve conduzir à sua degradação nem à sua destruição, já que a sobrevivência do homem está ligada à manutenção da capacidade produtiva dos solos” (Princípio 1 da Carta Mundial dos Solos, Conferência da FAO, Roma, 1982).

RESUMO

A degradação do solo se refere aos processos que afetam a complexidade das suas propriedades, prejudicando as funções por ele desempenhadas e seu potencial de uso. Os desafios impostos pelas mudanças edafoclimáticas provocam impactos diretos no manejo das propriedades agrícolas, e afetam principalmente os pequenos agricultores por forçarem mudanças nos sistemas de produção. Apesar da marginalização do uso da tração animal nos países industrializados, resultante da modernização na agricultura, os animais permanecem sendo um recurso extremamente importante. Eles são uma alternativa sustentável para a agricultura, possuem baixo impacto ambiental e são uma possibilidade eminentemente viável em pequenas propriedades. O objetivo desse estudo foi observar o efeito de mobilizações com tração animal nas propriedades físicas do solo. O experimento foi conduzido na Quinta do Poulão em 2018. Foram estudadas duas parcelas, uma se encontrava em pousio longo e a segunda com o cultivo de milho. As parcelas sofreram divisão temporal, sendo a amostragem realizada imediatamente antes e depois das operações culturais. As alfaias utilizadas foram o escarificador, o arado e a combinação de ambos, separadas em dois grupos, para tração mecânica (grupo A) e para tração animal (grupo B). As variáveis de estudo foram permeabilidade, densidade aparente, capacidade máxima para água, capacidade de campo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e percentagem de elementos grosseiros. Os resultados demonstraram que não houve diferenças estatisticamente significativas entre os dois tipos de tração empregados na área do milho, exceto no caso da macroporosidade. Na área do pousio, a tração motorizada com o uso do arado obteve os melhores resultados em relação aos parâmetros avaliados, dado que a tração animal não teve potência para trabalhar o solo devido a impedimentos físicos. O uso do escarificador evidenciou os efeitos deletérios ocasionados pela sobreposição do tráfego com o trator, principalmente nos parâmetros relacionados com o movimento da água e compactação do solo.

Palavras-chave: Animais de trabalho; Maquinário Agrícola; Degradação do solo; Maneio do solo; Conservação do Solo.

ABSTRACT

Soil degradation refers to the processes that affect the complexity of its properties, damaging the functions it performs and its potential of use. The challenges posed by edaphoclimatic changes have a direct impact on farm management, and affect mainly small farmers by forcing changes in production systems. Despite the marginalization of the use of animal traction in industrialized countries, resulting from the modernization of the agricultural sector, animals remain an extremely important resource. They are a sustainable alternative to agriculture, have low environmental impact and are an eminently feasible possibility in small farms. The objective of this study was to observe the effect of mobilizations with animal traction on the physical properties of the soil. The experiment was conducted at Quinta do Poulão in 2018. Two plots were studied, one in long fallow and the second in maize cultivation. The plots were divided temporally, with sampling done immediately before and after cultural operations. The tools used were the scarifier, the plow and the combination of both, separated into two groups, for mechanical traction (group A) and for animal traction (group B). The study variables were permeability, bulk density, maximum capacity for water, field capacity, total porosity, macroporosity, microporosity and percentage of coarse elements. The results showed that there were no statistically significant differences between the two types of traction used in the maize area, except in the case of macroporosity. In the fallow area, the motorized traction with the use of the plow obtained the best results in relation to the evaluated parameters, since the animal traction did not have the power to work the soil due to physical impediments. The use of the scarifier showed the deleterious effects caused by the traffic overlap with the tractor, especially in the parameters related to water movement and soil compaction.

Keywords: Working animals; Agricultural machinery; Soil degradation; Soil management; Soil Conservation.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
2	REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1	Relação entre práticas de manejo e degradação do solo	3
2.1.1	Degradação do solo	3
2.1.2	Principais formas de degradação do solo associadas às práticas de manejo.....	6
2.1.2.1	Erosão.....	6
2.1.2.2	Diminuição da matéria orgânica	8
2.1.2.3	Compactação do solo.....	9
2.1.3	Práticas convencionais e alternativas de manejo do solo	11
2.2	Impacto da tração animal	16
2.2.1	Pequenos agricultores e tração animal.....	19
2.2.2	Importância dos animais de trabalho	23
3	MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1	Localização e caracterização da área de estudo	28
3.2	Ensaio experimental de campo	30
3.2.1	Histórico da área.....	31
3.3	Ensaio de Permeabilidade	32
3.3.1	Medições: Método da carga constante	34
3.3.2	Cálculo e classificação da condutividade hidráulica	35
3.3.3	Densidade aparente	37
3.3.4	Porosidade Total.....	37
3.3.5	Capacidade de Campo e Capacidade Máxima para Água	38
3.3.6	Microporosidade e Macroporosidade	38
3.4	Ensaio de Crivagem	39
3.4.1	Determinação do teor de humidade.....	41

3.4.2	Determinação da percentagem de elementos grosseiros	42
3.5	Tratamento estatístico	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1	Normalidade do conjunto de dados	44
4.2	Análise de Variância (ANOVA)	45
4.2.1	Teste de homogeneidade das parcelas	45
4.2.2	ANOVA para área do pousio	45
4.2.3	ANOVA para área do milho	46
4.3	Resultados	48
4.3.1	Permeabilidade	48
4.3.2	Densidade Aparente	50
4.3.3	Porosidade	51
4.3.4	Capacidade de Campo	52
4.3.5	Capacidade Máxima para Água	53
4.3.6	Macroporosidade	54
4.3.7	Microporosidade	56
4.3.8	Elementos grosseiros	57
4.4	Discussão	61
5	CONCLUSÃO	66
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
7	ANEXOS	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processos de degradação do solo e redução da resistência e da resiliência dos ecossistemas a eventos extremos. Alexandre (2015).....	5
Figura 2: Compactação do solo em função do número de transições de engrenagens e humidade do solo (diminuindo os níveis de umidade H1, H2, H3). Adaptado de Pishedda (2009).	11
Figura 3: Preparo do solo com tração animal. Rodrigues, APTRAN.	16
Figura 4: Implementos agrícolas concebidos para vinhas em uma treliça na França. Rodrigues <i>et al.</i> (2017).....	18
Figura 5: Partição de propriedades por área de classe no subconjunto de 81 países da FAO - World Census of Agriculture (WCA). HLPE (2013).....	20
Figura 6: Conteúdo de N aplicado ao solo advindo do estrume animal em 2016. FAOSTAT (2019).	22
Figura 7: Pomar de pêssigo na China com aração por tração animal. Adaptado de Cherlet <i>et al.</i> (2018).....	23
Figura 8: Localização da área de estudo.	28
Figura 9: Esquema de identificação das amostras (Barbieri, 2018).....	30
Figura 10: Vista frontal e superior do permeâmetro.....	32
Figura 11: Etapas para introdução das amostras no permeâmetro.	34
Figura 12: Agitador de peneiros para solos.	39
Figura 13: Processo de separação das partículas de elementos grosseiros e terra fina.	41
Figura 14: Permeabilidade inicial (K_i) (1) e final (K_f) (2) na camada de 0-5 cm na área do milho.	49
Figura 15: Permeabilidade inicial (K_i) (1) e final (K_f) (2) na camada de 0-5 cm na área do pousio.	49
Figura 16: Densidade aparente (d_{ap}) na camada de 0-5 cm na área do milho (1) e pousio (2).	51
Figura 17: Porosidade (P) na camada de 0-5 cm na área do milho (1) e pousio (2).	52
Figura 18: Capacidade de Campo (CC) na camada de 0-5 cm na área do milho (1) e pousio (2).	53

Figura 19: Capacidade Máxima para Água (CMA) na camada de 0-5 cm na área do milho (1) e pousio (2).	54
Figura 20: Macroporosidade (MacroP) na camada de 0-5 cm na área do milho (1) e pousio (2).	55
Figura 21: Microporosidade (MicroP) na camada de 0-5 cm na área do milho (1) e pousio (2).	56
Figura 22: Elementos Grosseiros (EG) na camada de 5-10 cm na área do milho (1) e pousio (2).	59
Figura 23: Elementos Grosseiros (EG) na camada de 5-10 cm na área do milho (1) e pousio (2).	60
Figura 24: Elementos Grosseiros (EG) na camada de 10-20 cm na área do milho (1) e pousio (2).	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Benefícios da energia animal e mecânica. Adaptado de Ayache (2011).	15
Tabela 2: Vantagens e desvantagens do uso da tração animal (FRAB, 2011; Fraenkel, 1994; Kendel, 2005; Hoogmoed, 1994; Lhoste <i>et al.</i> , 2010).....	25
Tabela 3: Análises químicas do solo superficial da área experimental.	29
Tabela 4: Classificação da permeabilidade dos solos (SCS/USDA).	36
Tabela 5: Teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov.	44
Tabela 6: Teste de homogeneidade das parcelas quanto as variáveis estudadas. .	45
Tabela 7: ANOVA a dois factores para os parâmetros estudados na área do pousio.	46
Tabela 8: Análises de variância a dois factores para os parâmetros estudados na área do milho.	47
Tabela 9: Exemplo da relação D/A para área do milho com emprego da tração animal.	47

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Al³⁺ - Alumínio

APTRAN - Associação Portuguesa de Tração animal

AT - Acidez de Troca

Ca⁺⁺ - Cálcio

CC - Capacidade de Campo

CCI - Centro Comum de Investigação

CMA - Capacidade Máxima de Água

CO₂ - Dióxido de Carbono

COM - Comissão das Comunidades Europeias

CTCe - Capacidade de Troca de Catiônica Efetiva

Dap - Densidade Aparente

DP - Desvio Padrão

EG - Elementos Grosseiros

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Mandioca e Fruticultura

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations

FRAB - Fédération Régionale des Agriculteurs Biologiques

GSSBe - Grau de Saturação de Bases Efetivo

HLPE - High Level Panel of Experts

HSD - Honestly Significant Difference

IPMA - Instituto Português do Mar e da Atmosfera

K - Permabilidade

K⁺ - Potássio

K₂O - Óxido de potássio

MacroP. - Macroporosidade

Mg⁺⁺ - Magnésio

MicroP. - Microporosidade

MO - Matéria Orgânica

MOS - Matéria Orgânica do Solo

SEAPPA - Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária, Pesca e Abastecimento

Na⁺ - Sódio

NO₃⁻ - Nitrato

P - Porosidade Total

P₂O₅ - Pentóxido de Fósforo

pH - Potencial de Hidrogénio

SBT - Soma de Bases de Troca

SEAFDA - Secretaria de Agricultura Familiar e Cooperativismo

SOCO - Sustainable Agriculture and Soil Conservation

UN - Nações Unidas

UNEP - United Nations Environment Programme

INTRODUÇÃO

O uso a qual se destina a terra implica diretamente na sua durabilidade, afinal, o solo é um recurso limitado e a intensidade das mais diversas atividades nele desempenhadas podem ter impactos positivos, portanto compatíveis com os serviços ecossistêmicos que o mesmo desempenha (aprovisionamento, ciclagem de nutrientes, regulação e suporte, habitat). Ao contrário disso, o habitual são atividades que geram a remoção do solo, como a pressão das infraestruturas, crescentes índices de monocultivos, uso intensivo de máquinas agrícolas e ocupação urbana, contribuindo para a sua degradação (Alexandre, 2015; Martins & Fernandes, 2017; Bucella, 2015).

Embora apresente diversos benefícios, principalmente por ser uma fonte potencial de desenvolvimento sustentável, a importância da tração animal é negligenciada por agentes de extensão, universidades, governos e ONG's. Essa constante desvalorização do poder animal incide na geração de poucos incentivos a pesquisas científicas na área, bem como, gera estagnação do desenvolvimento de tecnologias que poderiam otimizar a atividade (FAO, 2010a).

Em meio à crise ecológica mundial que revela graves impactos nos países agrícolas desenvolvidos, houve, ao longo da última década, uma progressiva retomada ao uso de atividades consideradas ultrapassadas (Ayache, 2011). Diante do panorama atual, com o alerta de esgotamento dos recursos em um contexto agrícola de intensificação com a degradação, os agricultores e silvicultores redescobriram o valor da tração animal, da necessidade de redução do consumo de energia fóssil e do estímulo a processos favoráveis a natureza. Esse despertar, em certas situações, consegue remediar uma porção dos danos causados (Chevillot, 2014; COM, 2002; Merino, 2013).

A relação entre a força de trabalho humana, animal ou mecânica está na exclusividade que as mesmas detêm, notavelmente porque cada uma tem suas características e funções, bem como geram impactos específicos, que vão depender do contexto socioeconômico, magnitude e ambiente. Embora associem a posse de

grandes máquinas a poder e prestígio, o seu uso em pequenas propriedades e em terrenos acidentados muitas vezes é inacessível e inadequado, o que torna a contribuição dos animais um factor essencial para continuidade dos processos (FAO, 2014a e SEAPPA, 2016).

Diante do exposto, é inegável a importância dos animais como alternativa para a conscientização sobre a necessidade de fontes de energia renováveis, que permitem associar práticas agrícolas e silvícolas a uma gestão ambiental de qualidade, promovendo o desenvolvimento socioeconômico sustentável. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi observar o efeito de mobilizações com tração animal nas propriedades físicas do solo.

O estudo desenvolve-se em quatro partes principais, com início na fundamentação teórica, que engloba a linha tênue entre práticas de manejo e degradação do solo; e faz um apanhado sobre o impacto da tração animal nas propriedades físicas do solo e sua importância para o desenvolvimento socioeconômico sustentável. Na sequência, são abordados os materiais e métodos utilizados, seguidos dos resultados obtidos e sua discussão. Após é apresentado o item de conclusão do estudo e por fim segue a lista das referências utilizadas no desenvolvimento da pesquisa.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 Relação entre práticas de manejo e degradação do solo

O solo é um corpo heterogêneo, constituído por porções de origem mineral, orgânica, bem como de água e ar. Esse conjunto se encontra disposto em camadas e desempenha uma variedade de funções dentro dos ecossistemas. Ele está compreendido na pedosfera, camada exterior da terra, sendo a interação entre a biosfera, litosfera, hidrosfera e atmosfera (Alexandre, 2015; COM, 2006; EMBRAPA, 2006)

Existe uma grande diversidade de tipos de solos no mundo devido às variações existentes nas suas propriedades físicas, químicas e biológicas, como textura, estrutura, pH, capacidade de troca de cátions e tipos e teores de matéria orgânica. O processo de formação do solo é essencialmente longo e depende de factores como material de origem, clima, organismos, topografia e tempo. Por outro lado, a velocidade do processo degradativo é capaz de ser muito rápida e por vezes irreversível. Analisando o contraste entre tais processos, o solo é basicamente um recurso não renovável (COM, 2006; Lepsch, 2010).

1.1.1 Degradação do solo

A degradação do solo se refere aos processos que afetam a complexidade das suas propriedades, principalmente a estrutura, prejudicando assim as funções por ele desempenhadas e seu potencial de uso. Ela é provocada por fenômenos naturais ou principalmente por ação antropogénica e tem como resultado a perda da capacidade produtiva deste recurso (Lal, 1997).

A Comissão Europeia apresentou ao Parlamento em 2002 uma estratégia temática de protecção do solo (COM (2002) 179) onde foram identificados os oito principais tipos de degradação dos solos na União Europeia, que são: a erosão, a diminuição da matéria orgânica, a contaminação, a salinização, a compactação, a

perda de biodiversidade, a impermeabilização, os deslizamentos de terras e as inundações.

Muitos desses tipos de degradação estão diretamente associados a má gestão do solo, que leva à erosão excessiva, a diminuição da matéria orgânica e a compactação. As práticas de gestão adotadas comumente na agricultura tendem a favorecer o aumento na produtividade em detrimento da conservação dos recursos utilizados para tal. As consequências de tais práticas não respeitadoras do solo são a diminuição da sua fertilidade, a eutrofização de corpos d'água, a emissão de gases de efeito estufa, dentre outras. Como resultado, a relação entre degradação e desertificação (Figura 1) se torna cada vez mais próxima e irreversível (Alexandre, 2015; Geslain-Laneelle, 2015).

A Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação (UN, 1994), definiu como desertificação “a degradação da terra nas regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários factores, entre os quais as variações climáticas e as actividades humanas”. Logo, este é um processo natural e intensificado por atividades antropogénicas (Orgiazzi *et al.*, 2016). De acordo a COM (2012), a desertificação, junto com a degradação do solo e a seca afetam cerca de 1,5 bilhões de pessoas distribuídas em mais de 110 países, sendo que 90% delas vivem em regiões de baixos rendimentos.

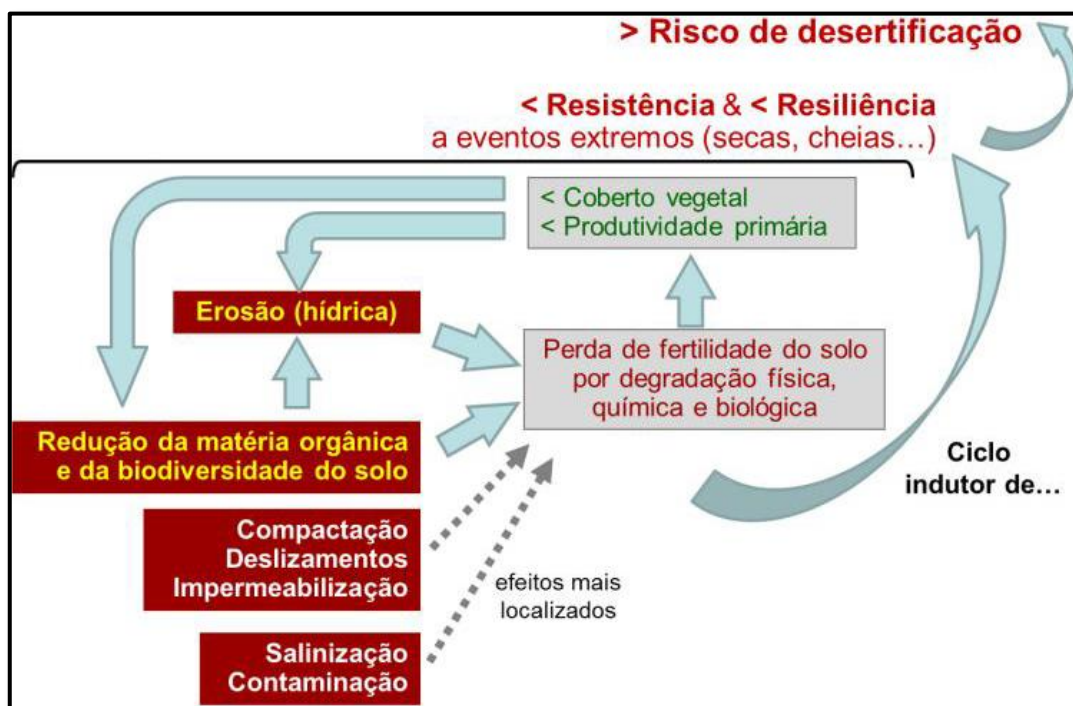


Figura 1: Processos de degradação do solo e redução da resistência e da resiliência dos ecossistemas a eventos extremos (Alexandre, 2015).

Em nível mundial, aproximadamente 40% do globo terrestre é revestido por terras secas e grande partes delas estão demasiadamente afetadas pela degradação, com esgotamento gradual da sua funcionalidade e produtividade do ecossistema. A consequência mais severa do processo degradativo do solo é a desertificação (Sardans, 2013; Orgiazzi *et al.*, 2016; Geslain-Laneelle, 2015). Segundo dados da UNEP (2007), estima-se que anualmente são perdidos 24 bilhões de toneladas da camada superficial do solo e que as taxas de perdas dos últimos 20 anos poderiam cobrir a superfície das áreas destinada ao cultivo dos Estados Unidos.

Tendo em vistas os casos constantes de incêndios florestais nas áreas montanhosas de Portugal, é necessário atenção especial à degradação do solo, principalmente por erosão. O fogo se espalha rapidamente pela floresta, acelerando a destruição das estruturas de conservação do solo usadas na agricultura de montanha (socalcos, canais de regularização torrencial, canais de regas, etc.). A

degradação do solo nessas áreas é especialmente pronunciada devido ao relevo naturalmente acidentado, o solo formado majoritariamente por elementos grosseiros e sua espessura delgada. O impacto dessas perdas em zonas sensíveis a qualquer tipo de retirada pode gerar reações em cadeia levando a resultados catastróficos e com altos custos (Alexandre, 2015).

1.1.2 Principais formas de degradação do solo associadas às práticas de manejo

1.1.2.1 Erosão

A erosão é um processo natural gerado pela suscetibilidade do solo ao processo erosivo e por agentes erosivos, como o vento e a chuva, que provoca a remoção de partículas do solo, levando assim a diminuição das reservas de matéria orgânica e de elementos químicos presentes no mesmo. Apesar de ser um fenômeno pedológico, nas últimas décadas, ações antropogênicas têm agravado muito esse processo através do desmatamento, agricultura, criação de pastos e impermeabilização do solo, podendo em algumas situações ser irreversível. Anualmente perdem-se 50 000 km² de terras no mundo devido a degradação dos solos, principalmente por erosão (UNEP, 2007; Merino, 2013; Morgan, 2005).

Em condições naturais, os solos encontram-se, em regra, cobertos de vegetação ou de resíduos vegetais, dessa forma as taxas de erosão mantêm-se relativamente baixas. Entretanto, com as práticas de manejo convencionais, como o emprego da aração intensiva como forma de preparo do solo, há favorecimento do processo erosivo e de outras formas de degradação. O resultado são perdas de solo, de matéria orgânica, de elementos químicos e da capacidade de armazenamento de água utilizável (Feiden, 2005 e Figueiredo, 2012a).

Além de ocasionar diminuição na fertilidade do solo e na produtividade das culturas, a erosão exerce impactos no ambiente com a contaminação do lençol freático, devido ao constante aporte de fertilizantes e agrotóxicos. Esse fenômeno

também interfere no balanço hidrológico, devido as alterações no ciclo da água, no ciclo fenológico das culturas, e até mesmo na composição do ar. (Merino, 2013; Morgan, 2005).

O processo erosivo é estimulado por factores edáficos (solos de textura sedimentosa e de elevado gradiente textural, baixo aporte de matéria orgânica ou delgada camada arável), climáticos (secas duradouras que antecedem chuvadas), declividade acentuada, manejo do solo (monocultivo, falta ou ineficiência de cobertura) e catástrofes ecológicas (incêndios florestais) (COM, 2002). O resultado desse processo são perdas acentuadas de solo em ecossistemas terrestres, que ultrapassam 75 bilhões de toneladas por ano. Na Europa, essas perdas são resultado, quase que em sua totalidade (90%), de atividades antropogénicas (Verheijen *et al.*, 2009; Merino, 2013).

Em seu trabalho sobre medidas de conservação do solo, Figueiredo & Fonseca (2009) definiram os valores críticos das perdas de solo (2 e $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), acima dos quais pode-se observar risco real de erosão a depender do tipo de solo. O primeiro valor é o limite estabelecido para solos de espessura delgada, encontrados sobre material de origem pouco alterado; e o segundo, o valor máximo tolerado para solos profundos, desenvolvidos em material parental bastante alterado. O Centro Comum de Investigação (CCI) estimou através de um modelo recente que a superfície afetada pela erosão hídrica é 1,3 milhões de km^2 na EU-27. Aproximadamente 20% dessa superfície apresentou perdas de solo que ultrapassaram $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (COM, 2012).

A zona Mediterrânea apresenta o maior factor – R na Europa. Esse factor se refere a erosividade da chuva, ou seja, a intensidade da precipitação que leva a erosão. Isso explica as grandes taxas de perda de solo mediterrânico, sendo em média $4,61 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. (Panagos *et al.*, 2015; Schick, 2014). Considerando que os solos da zona em questão são geralmente rasos, e que o limite, em teoria, tolerado das perdas deve ser no máximo igual a taxa de formação do solo, é possível entender o impacto ambiental causado pela degradação do solo em um curto espaço de tempo (Figueiredo & Fonseca, 2009).

1.1.2.2 Diminuição da matéria orgânica

A matéria orgânica do solo (MOS) é extremamente importante para conservação das principais funções exercidas pelo mesmo, sobretudo nas zonas temperadas, onde é essencial para a sua qualidade física, propiciando maior resistência a erosão e preservação da fertilidade (COM, 2002). Ela é indispensável para manutenção da resiliência do solo, assegurando sua recuperação diante dos impactos gerados com a degradação, além de propiciar efeitos positivos na sua agregação (Martins & Fernandes, 2017).

No meio agrícola, a MOS é um factor preponderante para a estrutura, fertilidade e manutenção das funções do solo, pois exerce influências nas características químicas (aumento da capacidade de troca de catiões, da quantidade de nutrientes e da capacidade tampão), físicas (aumento da agregação, do número de macroporos e da capacidade de retenção de água) e biológicas (maior reserva de energia e disponibilidade de nutrientes para os organismos edáficos) (Fernandes, 2016; Costa *et al.*, 2013).

A MOS é formada por fragmentos de biomassa viva, resíduos vegetais em decomposição e húmus (Brady and Weil, 2002). Ela é encontrada principalmente nos horizontes superficiais do solo, onde há concentração da atividade biológica. Da mesma forma, é na superfície do solo que as atividades agrícolas são mais intensificadas, assim, a probabilidade de ocorrerem alterações desfavoráveis a constituição e ao teor de MO é alta, afetando também a dinâmica estrutural e a fertilidade do solo (Fernandes, 2016).

A diminuição da matéria orgânica do solo é uma das principais causas de degradação do recurso na Europa, tendo em vista que pelo ao menos 45% dos solos europeus apresentam baixos de níveis de matéria orgânica (menos de 2% de C orgânico) (Jones *et al.*, 2012). Isso se deve especialmente ao clima mediterrâneo, bem como às técnicas de manejo com sistemas de cultivo não sustentáveis (Mulas *et al.*, 2015), com intensificação das lavouras e defasada incorporação dos restos

culturais no solo, que não permitem a reposição dos níveis da MOS (Fernandes, 2016).

O declínio da matéria orgânica exerce impactos negativos na biodiversidade do solo, com diminuição da sua resistência e conseqüentemente maior suscetibilidade a outras formas de degradação, principalmente a erosão. A continuação desse processo pode gerar possíveis restrições ao uso da terra perdas na produtividade potencial (Panagos *et al.*, 2012).

1.1.2.3 Compactação do solo

A compactação é a degradação física do solo resultante das transformações sofridas nos macro e micro agregados, devido a pressões aplicadas na superfície deste, podendo se estender a camadas mais internas (Panagos *et al.*, 2012; Orgiazzi, 2016). Esse processo ocorre também, em menor escala, por meios naturais, como pela precipitação de carbonatos ou de crostas de ferro interno (Merino, 2013).

De acordo com Araújo *et al.* (2012) a diminuição no número de macroporos pode ser resultante da pressão exercida pela mecanização agrícola, do impacto da gota da chuva, do baixo aporte de matéria orgânica e nutrientes, dos ciclos de humedecimento e secagem do solo que provocam a constrição do ar nos microporos dos agregados e da aração profunda.

As técnicas de lavoura levam ao fracionamento dos agregados e estímulos a compactação do solo, especialmente quando é empregado maquinário agrícola pesado. Esse impacto na estrutura do solo leva a aumentos na densidade, e assim o surgimento de barreiras para o crescimento das raízes (Merino, 2013), bem como para a capacidade de infiltração da água (Panagos *et al.*, 2012).

A compactação do solo provoca diminuições na porosidade, na permeabilidade, nos habitats disponíveis para os organismos edáficos e na atividade biológica dos mesmos (Turbé *et al.*, 2010), além de aumentar o risco a erosão, devido as maiores taxas de escoamento (Panagos *et al.*, 2012). A nível

superficial, a compactação é provocada em consequência do peso das máquinas e também do pastoreio intensivo, principalmente com aumento da humidade. Da mesma maneira, o processo pode se estender as camadas mais internas do solo, devido a atividade cumulativa ao longo dos anos, sendo os efeitos camuflados por ocorrer abaixo da superfície (Panagos *et al.*, 2012; Van den Akker, 2004). No entanto, a reversão desse tipo de compactação pode ser extremamente laboriosa e a depender da intensidade, irreversível (Ruser *et al.*, 2006; Martins & Fernandes, 2017; Orgiazzi, 2016).

O estado e as estimativas do risco de compactação em determinadas áreas também são influenciados pelas propriedades do solo, como humidade, textura, teor de carbono orgânico e factores externos como o clima e o uso da terra. Alguns estudos apontaram que cerca de 36% dos solos europeus possuem alta suscetibilidade a compactação (Van Camp *et al.*, 2004).

É comum a ideia de que circular pelo terreno evita os sulcos criados pela passagem das máquinas de transporte, e isso ameniza os impactos visuais da degradação do solo. Entretanto, cerca de 90% da compactação da superfície do solo ocorre entre as três primeiras passagens das máquinas (Figura 2), ou seja, a macroporosidade diminui drasticamente entre a primeira e a terceira passagem em condições de elevada humidade no solo (H1) (Pischedda, 2009).

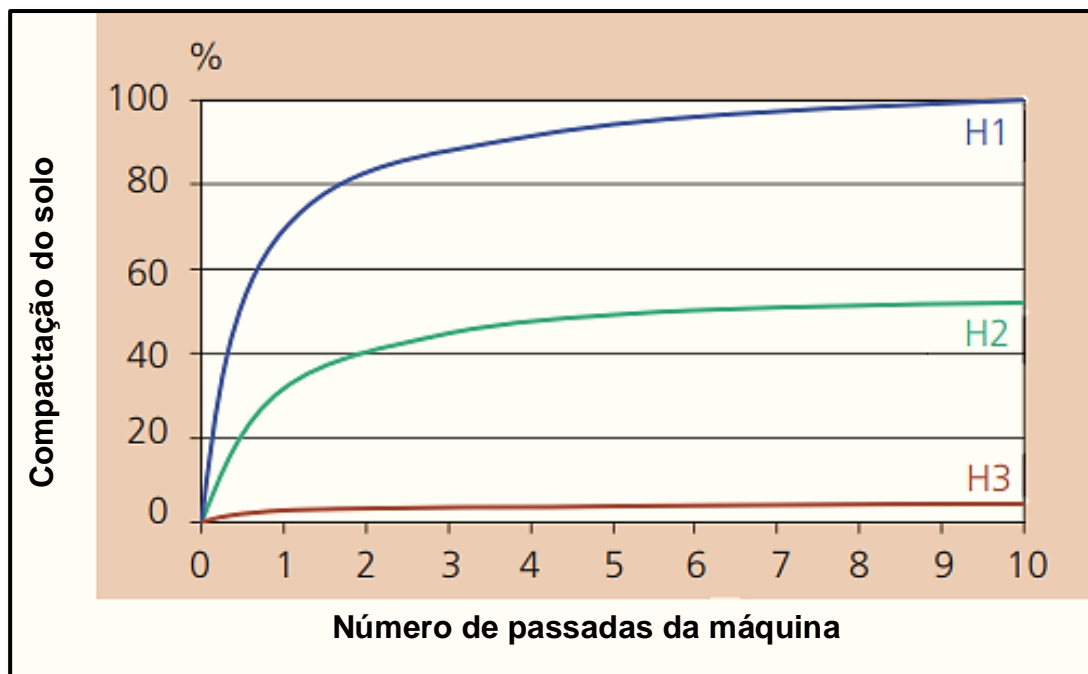


Figura 2: Compactação do solo em função do número de transições de engrenagens e umidade do solo (diminuindo os níveis de umidade H1, H2, H3). Adaptado de Pishedda (2009).

O estado de compactação do solo pode ser estimado através de uma série de atributos, com destaque para a densidade aparente, resistência a penetração, porosidade total, macro e microporosidade, permeabilidade ao ar, condutividade hidráulica, e geometria do rastro do pneu. Sendo as avaliações efetuadas imediatamente após o tráfego e em diferentes profundidades para ter uma base da distribuição desse tipo de degradação do solo (Araújo, 2004).

1.1.3 Práticas convencionais e alternativas de manejo do solo

A intensidade do processo degradativo do solo é determinada principalmente por suas propriedades pedológicas, por factores climáticos e biológicos, além do uso ao qual o mesmo se destina. Assim, pode-se observar que

a degradação desse recurso afeta o complexo de relações dentro dos ecossistemas e sua conservação requer uma gestão integrada e que seja compatível com os processos que ocorrem naturalmente no meio (SOCO, 2009).

O tipo de sistema adotado para o cultivo tem impactos na estrutura do solo, favorecendo ou não a agregação e podendo afetar a densidade. No sistema de plantio convencional, onde as atividades de preparo do solo são majoritariamente com utilização de maquinário agrícola pesado, há estímulos da compactação na zona onde houve a passagem das rodas, com a formação de sulcos na superfície. A degradação da estrutura do solo gerada pela compactação leva a deterioração do mesmo como um meio de suporte para o desenvolvimento das culturas, restringindo o crescimento das raízes, levando a alterações nas suas propriedades hidráulicas, estabilidade de agregados e fertilidade (COM, 2002; Merino, 2013).

A incorreta aplicação de técnicas de gestão do solo, principalmente em cultivos agrícolas gera perdas na fertilidade, riqueza de organismos, na qualidade e na produtividade das culturas. O emprego de práticas convencionais, com auxílio de implementos agrícolas torna possível a exploração de áreas extensas, entretanto, o uso desenfreado gera impactos muitas vezes irreversíveis na estrutura do solo, denotando a necessidade crescente de medidas alternativas que visem a manutenção da qualidade do solo, a fim de conservar sua capacidade produtiva (Fieira & Batista, 2009).

Quando são abordadas as práticas de manejo alternativas, o foco se concentra em estimular a diversidade de relações que ocorrem naturalmente solo. A principal referência para atingir esse objetivo está intrinsecamente ligada a conservação e aumento da MOS, sobretudo nas zonas temperadas, devido melhoras evidentes na fertilidade e biologia do solo. E principalmente por desempenhar efeitos benéficos consideráveis nos indicadores de qualidade física do solo (SOCO, 2009) como textura, densidade, porosidade, espessura do horizonte A, capacidade de retenção d'água e estabilidade de agregados (Araújo *et al.*, 2012)

No regime mediterrânico chove mais concentradamente no final outono e inverno, ocorrendo 50% da erosividade do ano inteiro em 3 meses (outubro,

novembro e dezembro) (IPMA, 2019). Nestas estações, normalmente, a cobertura do solo é quase inexistente, deixando o mesmo mais suscetível e menos protegido. De acordo com Carvalho (2013), os sistemas convencionais são os mais passíveis de sofrerem perdas por erosão. Ao contrário, o sistema de plantio direto, pode ser muito eficaz na diminuição do escoamento superficial e na quantidade de sedimentos transportados pela água.

Em Portugal há grande preocupação sobre a pauta de uso e conservação do solo, tendo em vista que o recurso na maioria do país tem baixas taxas de formação e grande frequência de terrenos com elevadas ondulações e declives, além das características geológicas pouco favoráveis (elevada pedregosidade e rochiosidade). Como consequência, a produtividade do solo não é alta, e as respostas no campo agrícola não são muito promissoras, principalmente pelos riscos de degradação em resposta às técnicas de gestão do solo e às condições climáticas mediterrânicas (Geslain-Laneelle, 2015).

A agricultura de conservação visa perturbar o mínimo possível a diversidade de relações existentes no solo, estimulando a produção agrícola através da correta gestão dos recursos existentes, de forma otimizar o potencial natural dos solos, levando a reduções na degradação do mesmo (SOCO, 2009; Primavesi, 2008).

Segundo Carvalho (2013), a prática de plantio direto influencia positivamente a sustentabilidade dos cultivos arvesenses no Sul de Portugal, devido aos acréscimos na MOS e sua influência na redução da erosão do solo. Ele observou que com a manutenção da cobertura do solo pela palhada dos cereais houve melhoras evidentes na fertilidade do mesmo, bem como na produtividade e eficiência nutricional pelas culturas.

No sistema de plantio direto há melhor drenagem da água, devido a melhorias na estrutura do solo. Isso facilita a trafegabilidade, principalmente no clima mediterrânico, onde a grande variabilidade representa uma barreira para a preparação do solo no estado correto. Com o uso do maquinário certo, como tractores agrícolas com pneus de baixa pressão, ameniza-se os efeitos negativos na

estrutura do solo, e dessa forma é possível realizar as operações de campo necessárias (Carvalho, 2013).

Devido ao crescente interesse da humanidade com a necessidade de preservação do meio ambiente, muitos agricultores, nos últimos anos, têm optado por mudanças nas técnicas tradicionais de manejo, a fim de conservar a estrutura do solo. Tais mudanças concernem a manutenção dos resíduos de culturas na superfície do solo, estímulos a rotação e a associação de culturas e diminuição ou suspensão do uso de máquinas agrícolas, visando diminuir a mobilização do solo. Como resultado são observados incrementos na diversidade vegetal, que estimula a diversidade dos organismos edáficos e as inúmeras atividades por eles desempenhadas. E melhorias, principalmente na estrutura do solo, devido à redução na densidade e aumento na macroporosidade, (Merino, 2013; Martins & Fernandes, 2017).

A tração animal é uma alternativa sustentável para agricultura, possui baixo impacto ambiental e é possibilidade eminentemente viável em pequenas propriedades (Tabela 1), onde muitas vezes o acesso a máquinas não é uma opção, o que torna a contribuição dos animais de trabalho um factor essencial no seu cotidiano (FAO, 2014a; Orgiazzi, 2016; SEAPPA, 2016). Apesar da marginalização do uso da tração animal nos países industrializados, resultante da modernização na agricultura, os animais permanecem sendo um recurso extremamente importante. A exemplo Índia, onde dois terços da área agrícola são arados com energia animal e 14 milhões de carretas puxadas por animais que podem transportar até 15% do frete total do país (FAO, 2018a).

Tabela 1: Benefícios da energia animal e mecânica. Adaptado de Ayache (2011).

Benefícios do uso de animais	Benefícios do uso de máquinas
Impacto mínimo no meio ambiente: poucos danos, pouca compactação do solo.	Elevada potência ou energia hidráulica; Muito poderoso, pode transportar grandes cargas.
Boa aderência ao solo, mesmo em ambiente húmido (exceto em solo franco-argiloso).	
Maleável, permite fazer pequenas manobras.	
Bons rendimentos em distâncias curtas.	Rapidez; Altos rendimentos.
Rentável em pequenos volumes e em pequenas operações; Interessante no plano energético: melhor balanço de carbono; Redução da poluição fóssil, ausência de poluição sonora.	
Pode ajudar o trator.	Intervém em longas distâncias.
Pode passar em lugares inacessíveis às máquinas.	

A energia animal pode ser utilizada para a realização de diversas tarefas, como transporte de materiais, construção de estradas, preparo do solo (Figura 3), colheita, moagem e escavação. São empregados muitos tipos de animais, como equinos, bovinos, asininos e camelídeos (FAO, 2010a).

Em muitos países há expansão do uso da energia animal, com destaque para África subsaariana, partes da Ásia e América latina, que apresentam números crescentes de animais de trabalho para realização de atividades agrícolas. Da mesma forma, em países com altos índices de desenvolvimento como Portugal, Espanha, Grécia, França, o uso da tração animal continua sendo relevante em pequenas propriedades (FAO, 2010a).



Figura 3: Preparo do solo com tração animal. Rodrigues, APTRAN.

1.2 Impacto da tração animal

A modernização da agricultura fortaleceu o uso mais frequente de equipamentos, principalmente nas grandes propriedades, com promessas de exploração de grandes áreas em menor espaço de tempo. Assim, as máquinas se tornaram cada vez maiores e pesadas, e os trabalhos realizados no solo se intensificaram na mesma proporção. Os efeitos adversos que essa situação poderia ocasionar no solo não tiveram mesma prioridade, levando a aumentos nas taxas de degradação. O tráfego de máquinas agrícolas é a principal causa de compactação do solo e leva a severas alterações nas suas propriedades físicas (Richart *et al.*, 2005).

Globalmente mais de 1,3 bilhão de pessoas utilizam a terra para cultivo. Dessa totalidade, apenas 30 milhões utilizam a tração motorizada, 430 milhões fazem uso da tração animal e as 800 milhões que restam trabalham exclusivamente com auxílio de ferramentas manuais (FAO, 2010a).

A importância dos animais de trabalho em pequenas e médias propriedades tem crescido na União Europeia devido ao seu potencial de contribuição nas atividades diárias, além de poderem ser utilizados em outras áreas, como na silvicultura (Rodrigues *et al.*, 2017). Pesquisas apontam os benefícios da tração animal em comparação com sistemas convencionais de produção, a exemplo de Johansson *et al.* (2013), que em seu estudo sobre o impacto na produtividade dos alimentos pela independência do combustível fóssil em uma pequena fazenda orgânica integrada Suécia, observaram que a eficiência de biomassa para um cavalo de tração é 17%, isso demonstra que 17% do consumo de forragem é convertido em energia de tração.

O cavalo é constantemente encontrado em fazendas orgânicas na França, e sua utilização é empregada em muitas etapas da produção, desde o preparo do solo até a coleta de produtos. Isso se deve aos efeitos benéficos proporcionados. A exemplo das vinhas, onde as operações com cavalos (Figura 4) não provocam adensamento do solo entre as fileiras das videiras, prologando a produção da cultura (Chevillot, 2014). Outra vantagem da intervenção com o animal é pela vertente energética, pois ele não contribui para a poluição sonora, não produz gases de efeito estufa e, além de tudo produz estrume, que pode ser utilizado como adubo orgânico (Cordilhac e Lefebvre, 2011).



Figura 4: Implementos agrícolas concebidos para vinhas em uma treliça na França. Rodrigues *et al.* (2017).

A aração com tração animal leva mais tempo por área a ser preparada do que com o trator, entretanto exerce menor pressão sobre o solo, assim o impacto ocasionado é menor. Outra vantagem é no preparo do solo, quando o mesmo é revolvido com uso da energia animal as camadas mais férteis ficam na superfície. No processo com o uso do trator ocorre o inverso, devido à pressão ocasionada pelos discos do arado que empurram as camadas mais férteis para baixo e expõem as faixas de solo mais pobres (SEAPPA, 2016).

Pereira *et al.* (2006) em seu estudo sobre a mecanização de Sistemas Agroflorestais (SAFs) com tração animal comparada com trabalhos estritamente manuais em Rondônia no Brasil, observaram que houve aumento de 28 a 54% da produtividade e redução de 30% das perdas em culturas anuais e 5% em culturas perenes com o uso do transporte da produção pelos animais de trabalho. Além disso, calcularam que esses animais contribuíram com aproximadamente 15 t ano^{-1} de adubo orgânico, utilizado nas culturas plantadas. Assim, concluíram que o efeito

da tração animal nos SAFs foi consideravelmente benéfico, devido a diminuição as perdas, aumento da produtividade e crescimento a área explorada sem prejudicar a mão-de-obra familiar.

1.2.1 Pequenos agricultores e tração animal

A FAO publicou o “Censo Mundial da Agricultura 2000”, com os principais resultados dos censos agrícolas de 114 países no período de 1996 a 2005. Apenas 81 desses países forneceram dados sobre o número de fazendas, seu tamanho e formato possíveis de serem comparados. Nesse contexto, há representação de dois terços da população mundial e 38% da área agrícola (arável) do mundo, com 435 milhões de fazendas identificadas. Os países asiáticos são os principais portadores dessas propriedades. Dos dados fornecidos pelos 81 países (Figura 5), quase a totalidade das fazendas possuem área menor que 2ha (85%), mostrando a importância dos pequenos agricultores no panorama agrícola mundial (FAO, 2010b e HLPE, 2013). Em contraste, as fazendas com mais de 50 ha representam apenas 1 % do total e controlam 65% das terras agrícolas globais. Essa discrepância na distribuição de terras expressa nitidamente os países onde a criação extensiva de gado é dominante, bem como a existência das grandes fazendas em países de renda alta a média-alta (FAO, 2014c).

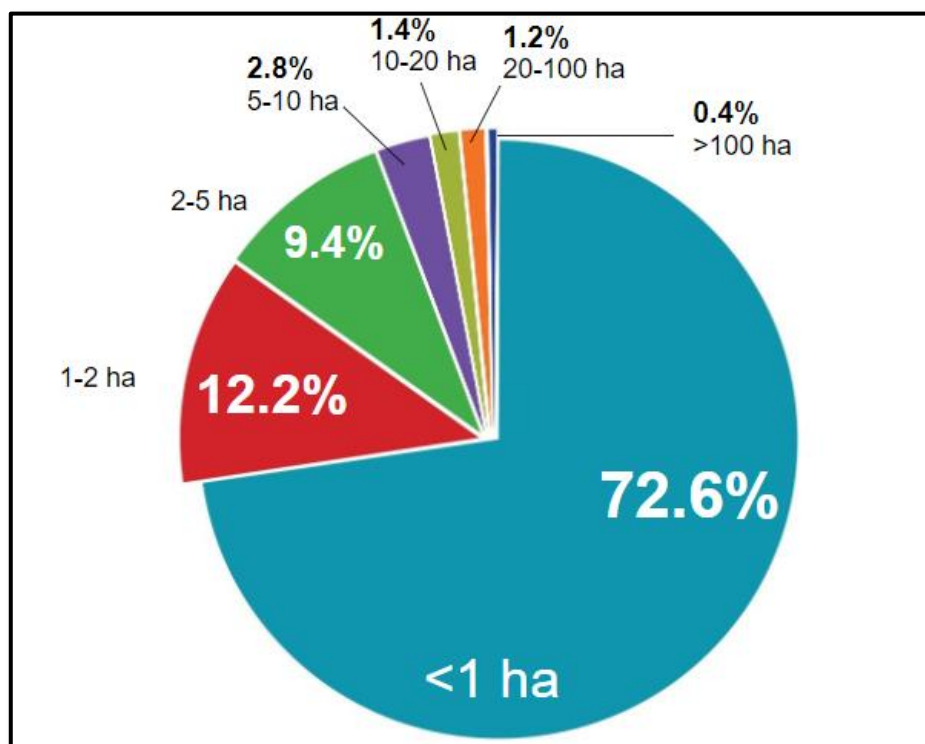


Figura 5: Partição de propriedades por área de classe no subconjunto de 81 países da FAO - World Census of Agriculture (WCA). HLPE (2013).

O uso da tração animal normalmente é a escolha mais acessível aos pequenos agricultores por ser mais conveniente e econômico. Diferente do trator, que fortuitamente é viável (mais adequando em grandes áreas), a menos que seja implantado o sistema cultivo intensivo, a produção de culturas de alto valor e/ou irrigação o solo (como a produção de arroz irrigado) (FAO, 2000).

Na União Europeia, atualmente existem 2 milhões de pequenas propriedades agrícolas (área total < 5 ha). Em Portugal, as pequenas propriedades caracterizadas como familiares representam uma categoria de grande importância no conjunto das explorações agrícolas. O emprego da tração animal nessas superfícies é extremamente válido e relevante, tendo em vista que o uso da tração animal é eficaz em até 10 ha (Barbosa, 2014).

A FAO (2014c) define a agricultura familiar como todas as atividades agrícolas que majoritariamente necessitam da gestão por uma família, incluindo

mulheres e homens. Ela é uma forma de organizar a produção agroflorestal, pastoril, pesqueira e aquícola, que está relacionada com diversas áreas do desenvolvimento rural. Essa atividade normalmente é conduzida em pequenas propriedades e tem o setor de produção de alimentos como a forma principal de agricultura, tanto nos países desenvolvidos como nos em desenvolvimento.

Globalmente cerca de 80% propriedades agrícolas familiares estão localizadas em países em desenvolvimento. Os indivíduos relacionados com estas unidades têm a produção agrícola como único meio de subsistência. Além de contribuir para a segurança alimentar mundial (produzem 80% do valor alimentar), a agricultura familiar é um meio de conservação dos agroecossistemas, estimulando o património sociocultural local devido a produção de alimentos tradicionais. Em adição, gera estímulos a socioeconômicos e é um agente importante no combate a fome e a pobreza (FAO, 2014b e FAO, 2018b).

A qualidade no desenvolvimento das funções e atividades da agricultura familiar sofrem influências diretas de factores como aspetos socioeconômicos e culturais, situação agroecológica, dinâmicas territoriais, políticas e financeiras, condições demográficas, acesso à terra, recursos naturais, mercado, financiamento, serviços de tecnologia e educação, dentre outros (FAO, 2014c).

O Brasil é o quinto país que mais fatura anualmente com a produção de alimentos (US\$ 84,6 bi ano⁻¹). A agricultura familiar exerce um papel notadamente importante para sua economia, com um faturamento de US\$ 55,2 bi ano⁻¹. Isso significa que a produção do país poderia exclusivamente familiar, e ainda assim ele ocuparia o ranking de oitavo maior produtor de alimentos no mundo (SEAFDA, 2018).

Em Portugal, o Estatuto da Agricultura Familiar foi recentemente publicado em Diário da República, através do Decreto-Lei n.º 64/2018, possibilitando um estudo mais aprofundado do panorama da agricultura familiar no país. Existem cerca de 242,5 mil explorações agrícolas que são classificadas como familiares, abrangendo quase a totalidade de explorações existentes (94%). Além de representar 54% da superfície agrícola cultivada e ultrapassar 80% do trabalho total

agrícola. Também, foi verificado um decréscimo de 17% no número de explorações familiares entre 2009 e 2016.

Os desafios impostos pelas mudanças edafoclimáticas provocam impactos diretos no manejo das propriedades agrícolas, e afectam principalmente os pequenos agricultores por forçarem mudanças nos sistemas de produção. Associada a isso, há uma crescente percepção global dos prejuízos provocados pela agricultura intensiva. Dessa forma, a utilização do poder animal é crucial para dar o suporte aos agricultores familiares, em destaque os que se encontram a margem da sociedade, estimulando uma agropecuária sustentável (Silva, 2014 e Belières *et al.*, 2013). Principalmente porque os animais são uma fonte de trabalho renovável, convertem o alimento consumido em energia e adubos naturais (Figura 6), requisitam quantidades mínimas de insumos externos e são tolerantes a condições climáticas adversas (Hoffmann 2010).

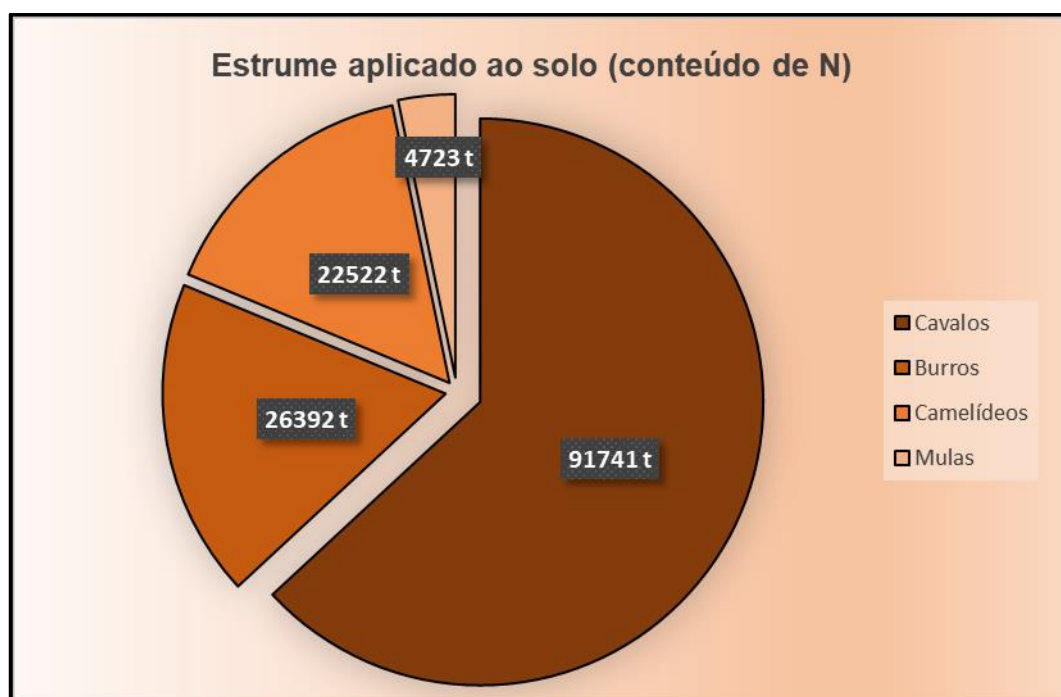


Figura 6: Conteúdo de N aplicado ao solo advindo do estrume animal em 2016. FAOSTAT (2019).

1.2.2 Importância dos animais de trabalho

Apesar da presença frequente das inovações tecnológicas no campo, muitos agricultores ainda optam por métodos tradicionais, considerados ultrapassados por muitos, para uma gestão eficiente do solo. Um exemplo é o arado com tração animal (Figura 7), ferramenta utilizada desde a idade antiga (4.000 a. C.), que tem baixo impacto ambiental e é muito útil para o pequeno agricultor que deseja produzir de maneira sustentável (SEAPPA, 2016).



Figura 7: Pomar de pêssago na China com aração por tração animal. Adaptado de Cherlet *et al.* (2018).

O uso da força animal para a realização de trabalhos exerce um papel importante para a agricultura de pequenas propriedades, principalmente em países em desenvolvimento. Com o auxílio dos animais os agricultores podem explorar áreas maiores mais rápido e de forma mais eficiente do que com trabalho estritamente manual, gerando assim aumentos na sua autonomia e produtividade,

além de diminuir a penalidade causada pelos trabalhos de campo. Os animais de trabalho são muito eficientes e versáteis porque além de fornecer energia para executar tarefas (tração e transporte), podem fornecer também alimentos (leite, carne), adubos (esterco) e outros produtos como couro (FAO, 2014a; Lhoste *et al.*, 2010).

De acordo com Hoogmoed (1994), a energia exigida dos animais para realização das operações agrícolas depende de factores como, a raça (a adaptação e apetidão para desempenho do trabalho variam por tipo de animal), peso (estima-se que o animal converte no máximo 20% do seu peso corporal em força de tração), a alimentação (é importante que o animal seja bem alimentado para expressar seu potencial máximo), a profundidade de preparo do solo (profundidades maiores requerem mais energia), o tipo e a condição do solo (pode ser impossível para o animal realizar as tarefas agrícolas se o solo estiver muito seco e duro), o tipo de equipamento (pode facilitar ou dificultar o trabalho do animal), a velocidade de trabalho (maior velocidade requer maior força de tração), o tempo (os animais tem tempo de trabalho limitado, raramente excede 5 horas por dia em temperaturas tropicais).

As vantagens advindas do uso dos animais em relação ao trabalho estritamente manual são inegáveis devido a potência de tração que é muito superior (Fraenkel, 1994). Apesar disso, o desempenho do animais de tração é influenciado por factores genéticos, ambientais e nutricionais (Elhimdy & Chiche, 1988). Da mesma forma, há poucas pesquisas que indicam o rendimento da tração animal em comparação com a tração motorizada. Além do desempenho mais lento nas operações agrícolas, em média 20%. A tração animal apresenta do benefícios inegáveis, entretanto existem algumas inconveniências que devem ser levadas em consideração para que se possa explorar esse nicho de mercado da melhor forma possível (Tabela 2).

Tabela 2: Vantagens e desvantagens do uso da tração animal (FRAB, 2011; Fraenkel, 1994; Kendel, 2005; Hoogmoed, 1994; Lhoste *et al.*, 2010).

Vantagens	Desvantagens
Amenização da austeridade do trabalho de campo e liberação parcial de membros da família.	Necessidade de trabalhar com 2 pessoas (reações imprevisíveis do animal).
Independência energética: dispensa a necessidade de adquirir insumos externos, autoprodução de energia (forragem) e fertilizantes (estrume)	Demanda diária com os cuidados dos animais, regulação do conjunto de arreios, assistência veterinária, etc.
Melhorias na biodiversidade do solo e diminuição considerável da compactação.	Necessidade de boas condições físicas do solo para passagem das ferramentas.
Alargamento das janelas de trabalho (possibilidade de trabalhar em condições ligeiramente mais húmidas).	Necessidade de treinamento adequado dos animais para aprenderem a utilizar as ferramentas de trabalho.
Valorização de territórios com forte desvantagem natural (altitude, inclinação, etc).	Vantagens econômicas a serem consideradas apenas a longo prazo.
Desenvolvimento de pequenas áreas e auxilia na manutenção do tecido agrícola.	A velocidade de execução das operações é menor do que na tração motorizada.
Melhora a segurança alimentar das pequenas explorações e a sustentabilidade dos sistemas de produção familiar.	Os animais de tração têm um limite de trabalho diário e necessitam de descanso entre operações.

O bem-estar dos animais é um dos pilares para uma pecuária responsável, dessa forma, deve por obrigação ser levado em consideração em sistemas que utilizam a energia animal para realização de atividades. Além disso, o bem-estar animal está diretamente relacionado com a saúde destes e sua eficiência ao realizar

os mais diversos trabalhos. É comum não ser dada a devida atenção para este componente, apesar do poder animal afetar toda a dinâmica social dos seus proprietários (FAO, 2014a).

De acordo com Chirgwin (1996), considerando a variedade dos animais de fazenda, o número de animais utilizados para trabalho no mundo se encontra na faixa de 250 milhões, podendo ultrapassar 300 milhões, sendo as operações realizadas por eles limitada aos pequenos agricultores. O banco de dados da FAOSTAT indica que em 2016 haviam cerca de 43 milhões de asininos, 28 milhões de camelídeos, 59 milhões de cavalos e 9 milhões de mulas distribuídos no mundo que se encontram majoritariamente nos países em desenvolvimento (FAO, 2014a).

O uso de burros, cavalos e mulas é difundido para o transporte rural em muitos países. O número de asininos utilizados em produções agrícolas tem tendência a aumentar devido a eficiência, longevidade, resistência e fácil gestão desses animais. O emprego de jumentos possui baixo custo de implantação e pode ser uma alternativa interessante para as mulheres do campo. Isso porque apesar do crescente aumento do envolvimento de pessoas do gênero feminino nas atividades agrícolas, há entraves que dificultam o desenvolvimento das tarefas por elas, como a falta de acesso aos animais de tração e serviços de apoio (FAO, 2010a).

Paul *et al.*, (2006) realizaram um estudo com a abordagem econômica do cavalo na floresta e afirmaram que o animal continua sendo uma ferramenta muito poderosa e eficiente em algumas operações silvícolas. Os autores concluíram que o equino é consideravelmente mais econômico do que o trator para transportar suportes contendo madeira de volume médio, $\leq 0,25 \text{ m}^3$ e podendo ser eficazes até $0,5 \text{ m}^3$. Os autores também ressaltaram a importância do cavalo como patrimônio cultural e organismo que respeita o meio ambiente, causando impactos mínimos na estrutura do solo.

A tração animal representa contribuições diretas e indiretas ao capital, humano, financeiro e principalmente social. Isso porque o trabalho com animais fornece subsídios a segurança alimentar e geração de renda para muitas pessoas que se encontram na linha da pobreza (FAO, 2014a), além de promover o

património genético (Ayache, 2011). Observando as tendências adaptativas, os pequenos agricultores parecem ser a solução, em vez do problema, para a degradação do solo (Cherlet *et al.*, 2018).

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado em fevereiro de 2018, numa área agrícola inserida na Quinta do Poulão, estação experimental do Instituto Politécnico de Bragança, localizada no Nordeste de Portugal, em Bragança ($41^{\circ} 46' 49.39''$ N, $6^{\circ} 47' 59.68''$ W) (Figura 8).

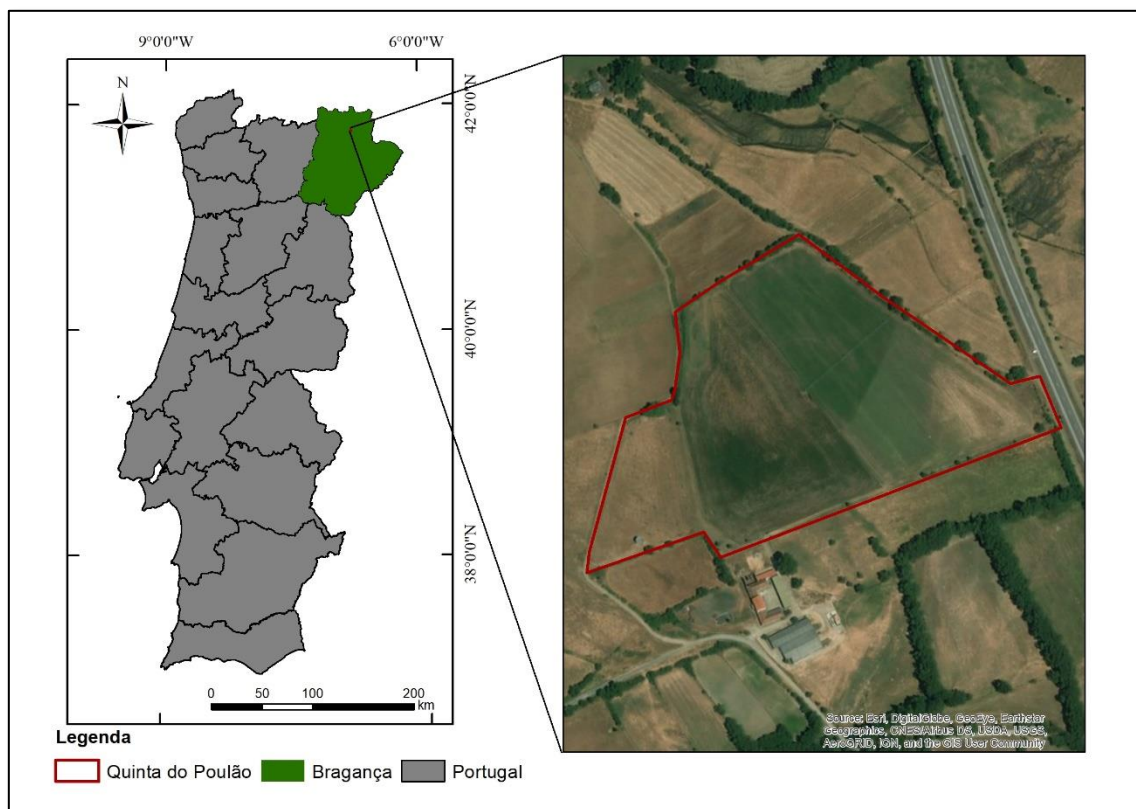


Figura 8: Localização da área de estudo.

Segundo a classificação de Köppen (Köppen, 1936) o clima é Csb, temperado com verão seco e suave. A precipitação média anual é de 773 mm, sendo a distribuição típica mediterrânica sazonal, com verões secos, e com chuvas concentradas no outono e inverno. A temperatura média anual é de $12,7^{\circ}$ C (IPMA,

2019). O relevo local é plano a suave ondulado, com declive < 5% e elevação média de 690 m acima do nível do mar.

Com base nas características apresentadas, o solo foi classificado como fluvisolo de acordo com a Base Mundial de Referência para Recursos do Solo (WRB, 2014), desenvolvido a partir de depósitos aluvionares e com propriedades flúvicas (Agroconsultores e Coba 1991), com textura franco-argilosa, profundo (2 m), com um horizonte Apde 0-30 cm seguido de uma sequência de horizontes C correspondentes aos estratos do depósito aluvionar; a espessura dos horizontes e a textura variam espacilmente mas sempre nas classes franco-argiloso (Figueiredo, 2019). Possui teor médio de MO (3%) e tendência a pH ácido (H₂O = 5,6% e KCl = 5). Para efeitos de caracterização do solo da área experimental, apresentam-se os resultados analíticos da Tabela 3 feitas no laboratório de solos da Escola Superior Agrária seguindo as metodologias em curso.

Tabela 3: Análises químicas do solo superficial da área experimental.

Profundidade	0 - 5 cm	DP	5 - 10 cm	DP	10 - 20 cm	DP	
M.O.%	3.59	1.12	3.07	0.75	2.44	0.50	
pH	H ₂ O	5.71	0.19	5.56	0.18	5.61	0.16
	KCl	5.07	0.16	4.93	0.27	4.94	0.21
Fósforo e Potássio extraíveis, Egner-Rihem, mg kg⁻¹							
P₂O₅	51.06	30.33	37.02	25.92	20.81	8.36	
K₂O	187.00	141.64	141.00	93.14	105.33	46.88	
Complexo de troca, Cmol(+) kg⁻¹							
Ca⁺⁺	8.99	0.99	8.55	1.02	8.07	0.86	
Mg⁺⁺	4.24	0.43	3.99	0.31	3.80	0.47	
K⁺	0.51	0.40	0.39	0.28	0.27	0.13	
Na⁺	0.82	0.03	0.83	0.04	0.84	0.04	
AT	0.50	0.40	0.33	0.08	0.28	0.08	
Al³⁺	0.38	0.33	0.33	0.08	0.28	0.08	
CTCe	15.06	1.26	14.10	1.01	13.26	1.10	
SBT	14.56	1.04	13.76	1.04	12.97	1.12	
GSBe	96.78	2.41	97.61	0.68	97.84	0.62	

Nota: Valores médios de 6 amostradas tomadas aleatoriamente na área por profundidade.

DP: Desvio padrão; CTCe: Capacidade de troca de cátions efetiva; SBT: Soma das bases de troca; GSBe: Grau de saturação de bases efetiva.

2.2 Ensaio experimental de campo

No experimento em questão foram estudadas duas parcelas, a primeira corresponde a uma fração onde o solo se encontrava em pousio longo e a segunda se refere a área utilizada para cultivo de milho. As parcelas sofreram divisão temporal, sendo a amostragem realizada imediatamente antes e depois das operações culturais, a fim de entender seu impacto na estrutura do solo. As alfaias utilizadas foram o escarificador, o arado de aivecas e a combinação de ambos, que foram classificados em dois grupos, A e B, distinguidos de acordo com a tração empregada: para tração mecânica (grupo A) e para tração animal (grupo B). Cada grupo possuía 3 subparcelas de 60 m² (20 m x 3 m) (Figura 9). Os trabalhos foram realizados por uma equipa envolvendo investigadores e estudantes de pós-graduação do IPB e APTRAN, e da Universidade da Corunha, Espanha.

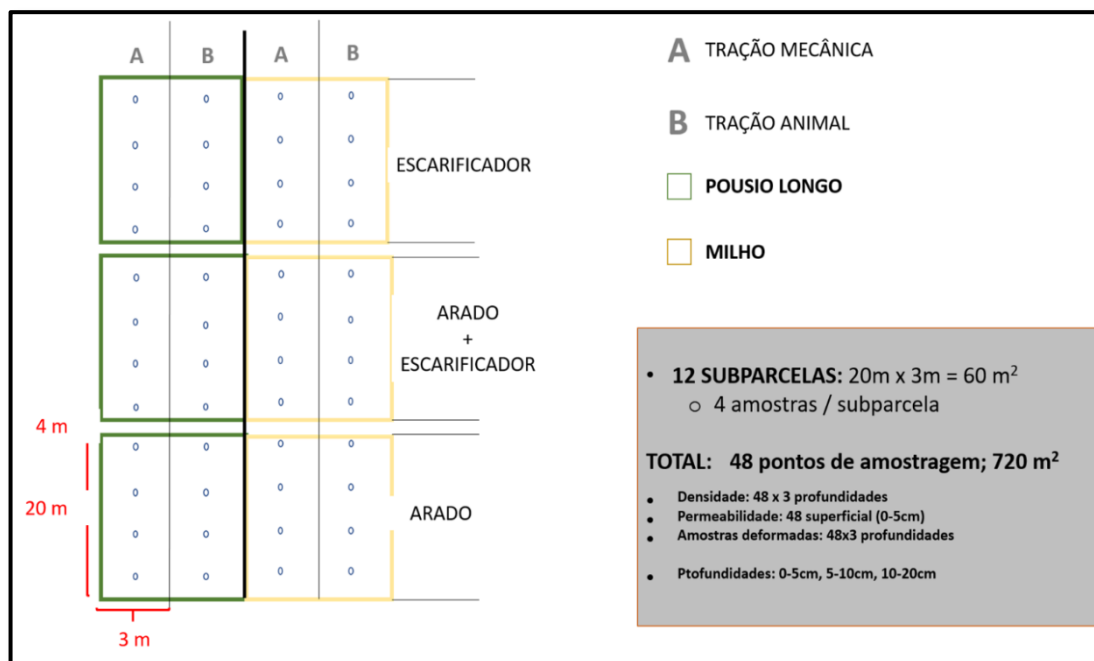


Figura 9: Esquema de identificação das amostras (Barbieri, 2018).

tração motorizada foi realizada com uso de um trator agrícola John Deere 5620, com peso de 3.549 kg e potência nominal de 53,7 kW. O animal de tração empregado foi uma égua da raça Ardennais com aproximadamente 800 kg de peso vivo.

Nota: Devido a condição do solo, que apresentou impedimentos físicos na área de pousio, a passagem dos animais foi inviabilizada. Assim, não foi possível coletar as amostras depois do emprego das alfaias (escarificar, arado e a combinação dos dois), tanto as não perturbadas quanto as perturbadas para esta tração.

2.2.1 Histórico da área

Segundo informações do responsável técnico da Quinta João Condado Pires, a área de milho (*Zea mays*) é de rotação quadrienal, instalada há 12 anos, entre prado (pastagem semeada) e milho (para silagem), com rega no verão por aspersão com pivot central. No ano em que cultiva-se o milho é feita, na primavera (abril/maio), a preparação do solo com uma lavoura e duas passagens de escarificador, com profundidade de trabalho normalmente entre 20-25 cm e 10 cm, respectivamente. A adubação é realizada com NPK e em alguns anos estrumação (esterco de vaca). A sementeira é feita em linhas e a rega faz-se em julho e agosto. A colheita é feita em setembro/outubro e o restolho da colheita permanece no terreno durante o outono/inverno, havendo crescimento de infestantes sobre o terreno. O destino da colheita é a alimentação animal. O ensaio decorreu no 3º ano do milho, e mais ou menos a meio do período entre colheita do 2º ano e sementeira do 3º ano.

A área de pousio se encontrava sem qualquer método de intervenção há mais de 15 anos. A última cultura implantada foi o lúpulo, que foi abandonada por razões comerciais e a área não foi reconvertida.

2.3 Ensaio de Permeabilidade

Para o ensaio de permeabilidade foram coletadas 4 amostras de solo não perturbadas em cada subparcela na profundidade de 0-5 cm, totalizando assim 48 pontos de amostragem. Tendo em vista que o processo foi dividido temporalmente (antes e depois do emprego das alfaías), ao final totalizou-se 96 pontos de amostragem, com a retirada das 12 amostras que não foram coletadas no caso da tração animal, o total geral foi de 84 amostras.

O equipamento utilizado foi o permeâmetro de circuito fechado, de carga constante, capaz de receber simultaneamente 24 amostras de solo não perturbadas, contidas em anéis de aço inoxidável com volume de 100 cm^3 ($20\text{ cm}^2 \times 5\text{ cm}$). O equipamento encontra-se instalado no Laboratório de solos na Escola Superior Agrária do IPB, sendo utilizado em atividades de cunho pedagógico e de investigação (Figura 10).



Figura 10: Vista frontal e superior do permeâmetro.

A coleta de anéis foi realizada com auxílio de uma sonda extração. A colheita foi efetuada com cautela, certificando-se que os anéis utilizados continham o volume

adequado de solo, e que o solo não se encontrava aderido a extremidade biselada de corte dos anéis.

Antes de colocar as amostras no permeâmetro foi necessário realizar a limpeza da parte externa do anel, para eliminar resquícios de materiais ali aderidos. Após, foi adicionada a gaze hidrófila na extremidade não biselada do anel, seguida do filtro. O próximo passo foi encaixar o anel, com a parte do filtro para baixo, na armadura de suporte. Dessa forma, durante a medição, o fluxo da água através da amostra seria no sentido correto, uma vez que o fluxo natural no solo se dá de forma descendente. Por último, o grampo foi travado e em seguida apertou-se o batente de nylon contra a tampa do filtro, de modo a fixar o anel na armadura de suporte. O suporte contendo o anel então estava pronto para ser introduzido no permeâmetro (Figura 11).



Figura 11: Etapas para introdução das amostras no permeâmetro.

Com as amostras devidamente colocadas no equipamento foi dado início a primeira etapa que precede a realização das medições, a saturação das amostras. Nesta etapa, o nível da água permaneceu aproximadamente 1 cm abaixo do limite superior da armadura de suporte. As amostras permaneceram 48 horas saturando e só então iniciou-se as primeiras medições. Vale lembrar que este período depende do tipo de solo, de forma que uma amostra de solo com textura grosseira estará saturada em poucas horas, enquanto uma amostra de solo com textura mais fina e pouco permeável, pode levar semanas.

2.3.1 Medições: Método da carga constante

Para as medições foi empregado o método da carga constante, aplicado em praticamente todos os tipos solos, incluindo materiais pouco permeáveis, tais como argila e turfa.

Inicialmente os sifões foram introduzidos dando início a circulação de água no sistema. Para assegurar o enchimento do sifão com água, o mesmo foi movido debaixo d'água, inclinándolo lentamente um par de vezes com intuito de se certificar que não havia bolhas de ar. Então o sifão foi colocado com uma extremidade no cilindro da amostra e com a outra no tubo sintético de evacuação numerado, de modo a assegurar o fecho do circuito hidráulico (sem sifão não há circuito). As medições só foram iniciadas uma hora mais tarde para assegurar que o circuito hidráulico estaria devidamente estabilizado em cada amostra.

A primeira medição realizada foi o nível de água dentro e fora do cilindro para posterior cálculo da diferença de nível (dH), parâmetro necessário para o cálculo do coeficiente de permeabilidade saturada. Esta diferença é estabelecida de acordo com a permeabilidade dos solos, variando entre 2 mm, para solos altamente permeáveis e 20 mm, para solos pouco permeáveis. A aferição dos níveis da água foi feita por meio de um medidor, instalado no aparelho. O medidor possui sensor que indica quando a ponteira presente nele entra em contato com a água, entretanto o sensor se encontrava danificado, então a aferição foi realizada visualmente.

Seguidamente mediu-se o volume de água que fluiu através de cada amostra numa unidade de tempo, fechando a torneira da bureta e medindo o volume retido nesta. Estes parâmetros foram medidos individualmente nas amostras contidas no equipamento por 4 dias seguidos.

O cálculo da permeabilidade inicial (K_i) foi realizado com os resultados obtidos no primeiro dia de medições após a saturação da amostra e a permeabilidade final (K_f) foi obtida com a média das três últimas medições.

2.3.2 Cálculo e classificação da condutividade hidráulica

A Lei de Darcy é utilizada para cálculo de K (permeabilidade saturada) quando é aplicado o método da carga constante, considerando:

V → volume de água que flui através da amostra (1 ml = cm³);

K → coeficiente de permeabilidade ou condutividade hidráulica (cm / h);

dH → diferença de nível de água dentro e fora do cilindro da amostra (cm);

L → comprimento da amostra de solo (cm);

A → superfície da secção transversal da amostra (cm²) ;

t → tempo estabelecido para a medição do volume V (h).

O comprimento (L) e a superfície da secção transversal (A) foram constantes para todas as amostras, 5 cm e 20 cm², respetivamente.

K foi calculado da seguinte forma:

$$K = (V * L) \div (A * t * dH)$$

Os valores de K obtidos foram submetidos a classificação da permeabilidade dos solos (Tabela 4).

Tabela 4: 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

Nota: Mesmo com a precisão do permeâmetro, é possível que os valores obtidos para a permeabilidade saturada sejam diferentes das condições in loco. Isso se deve não uniformidade do solo e a irregularidades na colheita das amostras. A permeabilidade resultante reflete a permeabilidade do solo onde a amostra foi coletada. Para que os resultados obtidos sejam realmente representativos, é preciso um número grande de amostras no ensaio (Figueiredo, 2011).

2.3.3 Densidade aparente

A Densidade Aparente (d_{ap}) é um valor adimensional, determinado pela razão entre a massa volúmica aparente do solo (ρ_s) e a da água ($\rho = 1 \text{ g / cm}^3$).

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

A massa volúmica aparente do solo foi calculada por:

$$\rho_s = M_{\text{solo seco}} \div V_{\text{cilindro}}$$

em que $M_{\text{solo seco}}$ foi obtida por pesagem da amostra seca na estufa a 105°C até peso constante (durante pelo menos 24h) e $V_{\text{cilindro}} = A * L$.

Com as amostras submetidas ao ensaio de permeabilidade foi possível realizar outros procedimentos suplementares que permitiram determinar, por estimativa, outros parâmetros como se indica abaixo.

2.3.4 Porosidade Total

A porosidade total do solo (P) foi calculada a partir da razão entre água de saturação e o volume do cilindro (Figueiredo, 2011):

$$\%P = 100 * (M_{\text{solo saturado}} - M_{\text{solo seco}}) \div V_{\text{cilindro}}$$

em que $M_{\text{solo saturado}}$ foi obtida por pesagem da amostra a saída do permeâmetro após 1 hora de drenagem, $M_{\text{solo seco}}$ foi obtida depois da secagem da amostra na estufa a 105°C até peso constante (durante pelo menos 24h) e $V_{\text{cilindro}} = A * L$.

2.3.5 Capacidade de Campo e Capacidade Máxima para Água

Ao fim do ensaio, as amostras ficaram drenando por 24 horas, estimando-se que o teor de humidade obtido corresponde à capacidade de campo do solo (CC), ou seja, a uma estimativa da água retida nos seus microporos (Figueiredo, 2011). Determinou-se este teor de humidade através da diferença entre o peso da amostra nessas condições ($M_{\text{solo húmido}}$), e o peso obtido depois da secagem da amostra na estufa a 105°C ($M_{\text{solo seco}}$):

$$\%CC = 100 * (M_{\text{solo húmido}} - M_{\text{solo seco}}) \div M_{\text{solo seco}}$$

A capacidade máxima para água (CMA) foi determinada da seguinte forma:

$$\%CMA = 100 * (M_{\text{solo saturado}} - M_{\text{solo seco}}) \div M_{\text{solo seco}}$$

2.3.6 Microporosidade e Macroporosidade

A microporosidade (MicroP) é a expressão volumétrica do teor de humidade, calculada por:

$$\%MicroP = \%CC * Dap$$

A macroporosidade (macroP) foi estimada por diferença:

$$\%MacroP = P - MicroP$$

2.4 Ensaio de Crivagem

Para o ensaio de crivagem foram coletadas 4 amostras de solo para cada subparcela em 3 profundidades (0-5, 5-10 e 10-20 cm), totalizando assim 144 pontos de amostragem. Tendo em vista que o processo foi dividido temporalmente (antes e depois do emprego das alfaías), ao final totalizaram-se 288 pontos de amostragem, com a subtração daqueles em que não foi possível a coleta (36 pontos), o total geral foi de 252 amostras.

O equipamento utilizado foi o agitador de peneiros (Figura 12), capaz de receber uma amostra por vez. O equipamento encontra-se instalado no Laboratório de solos da Escola Superior Agrária do IPB, sendo utilizado em atividades de cunho pedagógico e de investigação.

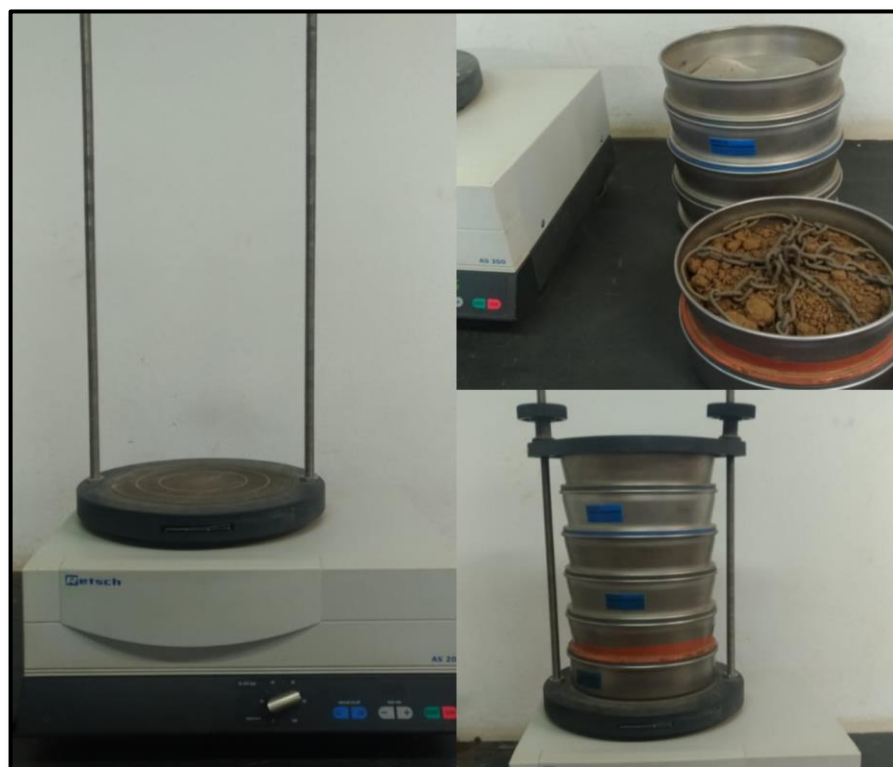


Figura 12: Agitador de peneiros para solos.

A crivagem para separação dos elementos grosseiros da terra fina foi feita em amostras de solo perturbadas, coletadas em sacos plásticos abrindo uma pequena cova, na parede da qual foram retiradas as amostras.

O processo foi realizado em cada uma das amostras separadamente. Para começar, a amostra contida no saco foi despejada no crivo de 2 mm, em seguida foram acoplados outros crivos, com intuito de formar uma coluna, assegurando a estabilidade do aparelho durante a vibração. Então o conjunto foi fechado, impedindo que houvesse perdas durante a vibração, e devidamente fixado com o auxílio de roscas.

O aparelho foi ligado, e cada amostra permaneceu nele durante 7 minutos a uma agitação de 70 hz, para a completa separação de partículas. Ficou retido na malha do crivo os elementos grosseiros (partículas com diâmetro superior a 2 mm) e a terra fina (partículas com diâmetro inferior a 2 mm) passou pela malha e ficou retida no recipiente logo abaixo. Em seguida pesou-se separadamente os elementos grosseiros e a terra fina. Ao fim do processo, foi retirada uma porção de 10 g de terra fina para secagem a 105 °C na estufa por 24h e realização de cálculos de correção da humidade (Figura 13).



Figura 13: Processo de separação das partículas de elementos grosseiros e terra fina.

2.4.1 Determinação do teor de humidade

O teor de humidade foi obtido com a pesagem de 10g da amostra de terra fina, deixada secar na estufa a 105°C durante 24 h. O teor de humidade expresso em % é obtido por (WRB, 2014):

$$\% \text{Humidade} = 100 * (A - B) \div B$$

Onde:

A → peso antes da amostra ir à estufa

B → peso da amostra depois de ir à estufa a 105°C

O factor de correção de humidade (Fch) para aplicar aos resultados analíticos ou para aplicar à quantidade de amostras a pesar é:

$$F_{hc} = (100 + \%Humidade) \div 100$$

2.4.2 Determinação da percentagem de elementos grosseiros

A percentagem de elementos grosseiros foi calculada da seguinte forma:

$$\%EG = 100 * (Massa EG \div Msolo seco)$$

E a percentagem de terra fina foi calcula por diferença:

$$\%TF = 100 - EG$$

2.5 Tratamento estatístico

O tratamento estatístico dos resultados obtidos incluiu a análise de variância (ANOVA) a um e a dois factores, com intuito avaliar o efeito destes nos valores das variáveis estudadas. Após a ANOVA realizou-se a comparação de médias entre tratamentos através do Teste de Tukey da Diferença Honestamente Significativa (HSD - Honestly significant difference), a 5% de probabilidade.

Foi também feita uma análise de correlação para avaliar o sinal e o grau de ajustamento linear entre as variáveis estudadas, considerando separadamente os resultados obtidos antes e depois das operações culturais e distinguindo área de milho e área de pusio.

O tratamento de todos os dados foi realizado utilizando as ferramentas do software Excel, exceto o Teste de Normalidade de Kolmogorov-Smirnov, aplicado

em todas as séries dos resultados anteriormente descritos, utilizando o calculador disponível em <https://www.socscistatistics.com/tests/kolmogorov/>. A comparação de médias a dois factores foi realizada recorrendo ao calculador disponível no site VassarStats (<http://vassarstats.net/anova2u.html>).

No caso do pousio, como não foi possível a colheita das amostras na tração animal, adotou-se uma outra estratégia de análise estatística, utilizando apenas os efeitos da tração motorizada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Normalidade do conjunto de dados

Antes de realizar a ANOVA, o conjunto de dados foi submetido ao teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov. Ao final do teste é informado o P-value (valor-P) que se refere ao nível de significância de normalidade dos dados de entrada. Apenas os resultados com P maior que o nível de significância ($P > 0,05$) são considerados normais e assim pode ser aplicada a análise de variância (Tabela 5). O teste mostrou que para os parâmetros K_i , K_f e Macroporosidade (no caso dos valores originais para área do milho) a distribuição não era normal, com valores de $P < 0,05$. Nestas séries realizou-se um procedimento complementar, à transformação de variável (neste caso logaritmizadas), sendo o teste repetido com a variável transformada.

Tabela 5: Teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov.

Parâmetros	Valor-P					
	Relação D/A		Valores originais			
	Milho	Pousio - Tração Motorizada	Milho		Pousio - Tração Motorizada	
			Antes	Depois	Antes	Depois
Ki *	0.53	0.97	0.44	0.38	0.46	0.46
Kf *	0.69	0.87	0.75	0.35	0.35	0.71
Dap	0.96	0.96	0.24	0.93	0.96	0.86
P	0.96	0.91	0.91	0.96	0.93	0.46
CMA	0.99	0.71	0.96	0.85	0.82	0.87
CC	0.98	0.84	0.96	0.98	0.83	0.95
Microp.	0.99	0.81	0.83	0.93	0.86	0.48
Macrop.	0.18	0.63	0.75*	0.09*	0.54	0.91
EG 0-5	0.64	0.57	0.88	0.57	0.96	0.80
EG 5-10	0.81	0.86	1.00	0.66	0.80	0.62
EG 10-20	0.87	0.30	0.86	0.40	0.83	0.99

Relação D/A: Razão entre depois (D) e antes (A).

* : Dados em que foi aplicada a logaritmização.

EG: Elementos Grosseiros.

3.2 Análise de Variância (ANOVA)

3.2.1 Teste de homogeneidade das parcelas

A fim de testar a uniformidade das áreas de estudo em que foram realizados os tratamentos, foi realizada a ANOVA a um factor nos dados coletados antes dos emprego das alfaías para as duas parcelas. Os resultados encontrados com $P < 0,05$ indicam que houve diferenças significativas as parcelas de amostragem, sendo assim, há heterogeneidade na área experimental, que pode exercer influência nos resultados obtidos (Tabela 6).

Tabela 6: Teste de homogeneidade das parcelas quanto as variáveis estudadas.

ANOVA a 1 factor		
Parâmetros	GL = 5	GL = 5
	Milho Antes (valor-p)	Pousio Antes (valor-p)
Ki	0.971	0.191
Kf	0.949	0.381
Dap	0.981	0.586
P	0.029	0.064
CMA	0.667	0.390
CC	0.681	0.386
Microp.	0.046	0.085
Macrop.	0.146	0.940
EG 0-5 cm	0.032	0.111
EG 5-10 cm	0.014	0.525
EG 10-20 cm	0.054	0.062

3.2.2 ANOVA para área do pousio

Em relação ao pousio foi realizada apenas uma análise de variância a dois factores para a tração motorizada com intuito de perceber o efeito do momento

(antes e depois) e das alfaias (arado, escarificador e arado+escarificador) (Tabela 7).

Tabela 7: ANOVA a dois factores para os parâmetros estudados na área do pousio.

Parâmetros	P (alfaias)	P (momento)	P (interação)
	GL=2	GL=1	GL=2
Ki	0.27	0.69	0.40
Kf	0.21	0.64	0.41
Dap	0.25	0.02	0.19
P	0.07	0.10	0.10
CMA	0.12	0.17	0.08
CC	0.11	0.06	0.07
Microp.	0.13	0.92	0.09
Macrop.	0.76	<.0001	0.38
EG 0-5 cm	0.70	0.19	0.06
EG 5-10 cm	0.41	0.30	0.20
EG 10-20 cm	0.30	0.31	0.49

3.2.3 ANOVA para área do milho

Na parcela do milho, foram aplicadas dois métodos de análises de variância a dois factores (Tabela 8). Na primeira (ANOVA 1) foi utilizada a razão entre os valores obtidos para cara parâmetro no mesmo ponto depois e antes da aplicação dos tratamentos (D/A), a título de normalizar a condição anterior as mobilizações em todas as parcelas, independentemente do valor inicial de cada parâmetro. Com essa relação pode-se inferir que os valores > 1 implicam em aumento do parâmetro em estudo e os < 1 implicam em sua a diminuição (

Tabela 9). Dessa forma foi possível considerar somente os factores tração (animal e motorizada) e alfaias.

Uma vez que o efeito das alfaias não se revelou significativo na maior parte das variáveis, optou-se por realizar em complementaridade outra análise (ANOVA 2), com os valores originais, considerando agora o momento e a tração.

Tabela 8: Análises de variância a dois factores para os parâmetros estudados na área do milho.

Parâmetros	ANOVA 1			ANOVA 2		
	P (tração)	P (alfaias)	P (interaç.)	P (tração)	P (momen.)	P (interaç.)
	GL=1	GL=2	GL=2	GL=1	GL=1	GL=1
Ki	0.468	0.821	0.980	0.569	0.006	0.428
Kf	0.468	0.896	0.990	0.450	0.007	0.432
Dap	1.000	0.465	1.000	0.530	0.0002	1.000
P	1.000	0.174	0.300	0.194	0.345	0.447
CMA	0.703	0.482	0.797	0.255	0.001	0.700
CC	1.000	0.444	0.862	0.292	0.0003	0.863
Microp.	1.000	0.213	0.213	0.279	0.099	0.793
Macrop.	0.014	0.405	0.195	0.318	0.0003	0.017
EG 0-5 cm	0.525	0.235	0.544	0.888	0.627	0.682
EG 5-10 cm	0.424	0.097	0.216	0.003	0.070	0.552
EG 10-20 cm	0.398	0.1	0.689	0.842	0.012	0.731

Tabela 9: Exemplo da relação D/A para área do milho com emprego da tração animal.

Milho - Microporosidade (%)			
Alfaia	Antes	Depois	D/A
Arado	43.9	48.8	1.11
	44.8	49.1	1.10
	44.8	44.8	1.00
	48.5	46.1	0.95
Arado + Escarificador	43.6	41.2	0.94
	47.2	44.8	0.95
	46.4	37.5	0.81
	40.6	45.1	1.11
Escarificador	43.9	52.3	1.19
	43.8	43.1	0.98
	38.2	47.0	1.23
	40.3	42.0	1.04

3.3 Resultados

Visando a melhor apresentação e comparação dos resultados, a estratégia de explicação adotada foi através da percentagem de incremento ou redução destes, tendo como referência o aspecto abordado. A exemplo do momento, onde o factor de comparação é o valor encontrado antes das operações culturais. No caso da tração, o factor de referência utilizado pode ser a animal em relação a motorizada ou vice-versa. O mesmo se aplica para as alfaias. No caso da permeabilidade, como a amplitude de variação em relação ao momento foi muito grande, optou-se por exprimir o resultado através da razão de aumento ou diminuição.

3.3.1 Permeabilidade

A permeabilidade (K) se refere a velocidade com que a água se desloca dentro do solo, e isso se relaciona com as taxas de infiltração e a drenagem no interior deste, que são pontos essenciais na composição do escoamento superficial (Figueiredo, 2011).

Globalmente, os valores médios de K foram classificados como muito rápidos. As permeabilidades inicial (K_i) e final (K_f) apresentaram diferenças significativas na área do milho em relação ao momento (antes e depois), sendo identificado dobro do valor depois do emprego das alfaias, tanto na tração animal, quanto na motorizada. O aumento da permeabilidade para a tração animal foi sutilmente superior ao da tração motorizada em 10% para o K_i e 3% para o K_f (Figura 14).

Em relação a área do pousio, o comportamento dos valores de K não seguiu a mesma linha e apesar de não apresentarem diferenças significativas, as médias calculadas foram muito menores em comparação com a área do milho (Figura 15). Registrou-se aumento de 2,6 (K_i) e 3,2 (K_f) vezes depois da aração com tração motorizada. O contrário foi observado no caso das demais alfaias, sendo registrada uma diminuição brusca de 11 (K_i) e 15 (K_f) vezes quando empregou-se do

escarificador; e no caso no arado+escarificador a diminuição foi mais sutil (inferior a 2 vezes). Apesar desse contraste, globalmente, a classificação da permeabilidade não se alterou, permanecendo muito rápida.

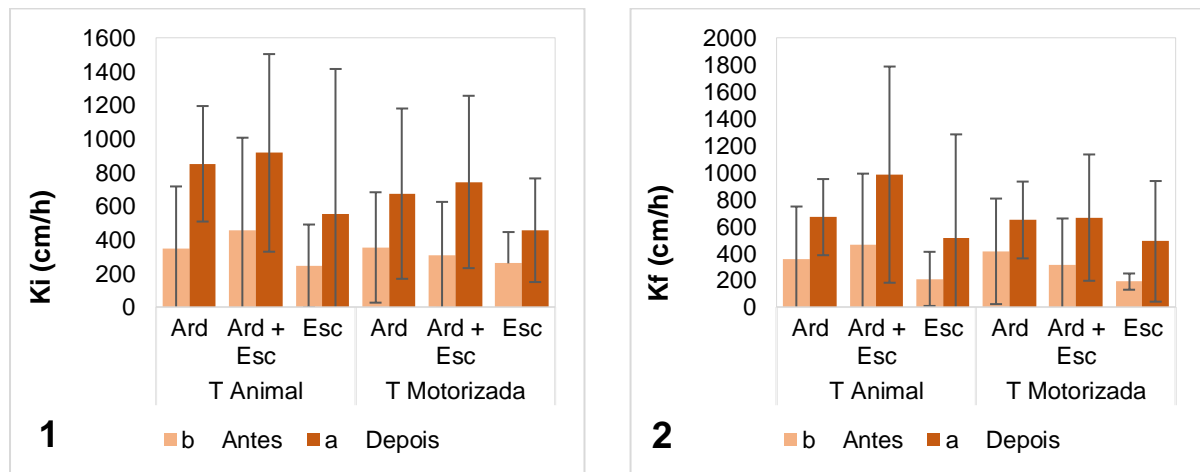


Figura 14: Permeabilidade inicial (Ki) (1) e final (Kf) (2) na camada de 0-5 cm na área do milho.

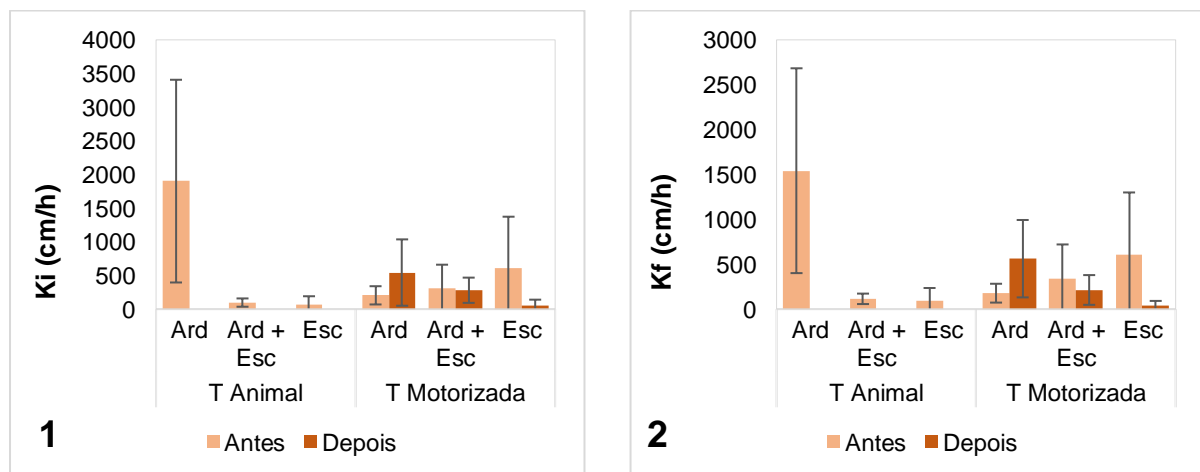


Figura 15: Permeabilidade inicial (Ki) (1) e final (Kf) (2) na camada de 0-5 cm na área do pousio.

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste de Tukey HSD, $P < 0,05$).

3.3.2 Densidade Aparente

O parâmetro densidade aparente (dap) apresentou diferenças significativas tanto na parcela do milho, quanto na do pousio em relação ao momento (antes e depois), sendo verificado essencialmente decréscimos de 13%, 14% após as operações com tração animal, e motorizada na área do milho, respectivamente, e de e 16% para tração motorizada na área do pousio (Figura 16).

Não foram verificadas diferenças significativas para as alfaias em nenhum dos tratamentos. Ainda assim, analisando o comportamento destas na área do milho, nota-se que a percentagem de diminuição da dap foi maior quando empregou-se o arado, tanto na tração animal (17%), quanto na motorizada (19%). E que a queda na densidade após as operações com o arado+escarificador, tracionados com energia animal, foi maior em 7% em relação a tração motorizada. Em contraste, o uso do escarificador com tração animal teve um efeito 7% menor na diminuição da dap em relação ao mesmo implemento com tração motorizada.

Em relação as alfaias na área do pousio, pode-se observar que o comportamento do arado e arado+escarificador foi diferente do escarificador. Nos dois primeiros casos o momento atuou verdadeiramente, com decréscimos de 26% e 23% respectivamente e, no último caso, a comparação entre os momentos quase não sofreu alterações, com acréscimo de apenas 1%.

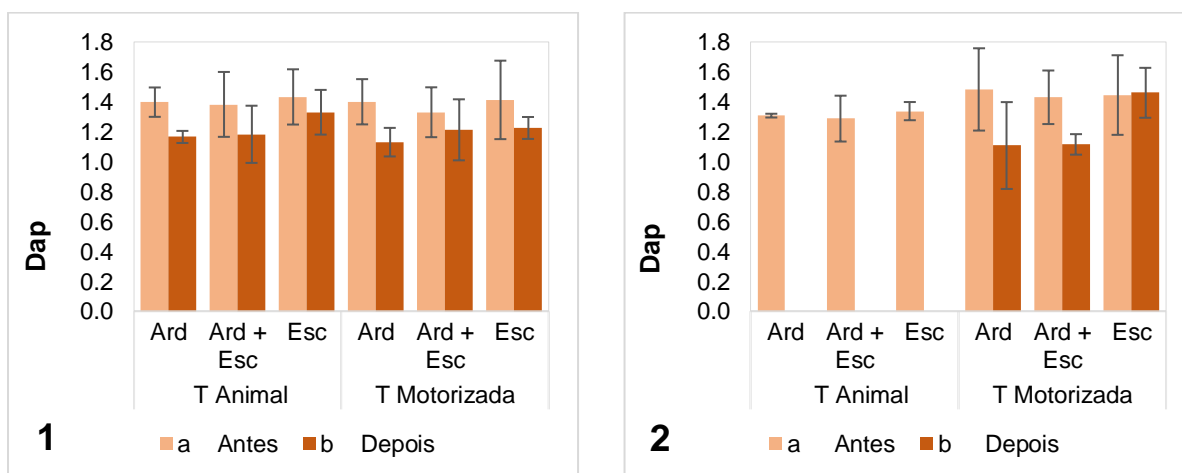


Figura 16: Densidade aparente (dap) na camada de 0-5 cm na área do milho (1) e pousio (2).

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste de Tukey HSD, $P < 0,05$).

3.3.3 Porosidade

A porosidade total do solo diz respeito a fração deste que não é ocupado por sólidos, mais sim por água e/ou ar. Este parâmetro exerce influências na drenagem e retenção de água, na aeração e no enraizamento das culturas (Almeida *et al.*, 2017; Pischedda, 2009).

De maneira geral, o comportamento da porosidade não foi muito alterado em relação aos tratamentos aplicados na área do milho e teve tendência a diminuir na área do pousio. Para este parâmetro não foram observadas diferenças estatisticamente significativas (Figura 17).

Ao realizar uma observação mais minuciosa, foi possível visualizar que, apesar da percentagem global de poros não ter sofrido alterações na fração em que foi utilizada a tração animal na área do milho, houve mudanças nos valores quando analisou-se individualmente o efeito das alfaías. No caso do arado+escarificador foi notado um decréscimo de 7% na quantidade de poros e o inverso ocorreu para o

escarificador, com acréscimo de 7% na porosidade total. A passagem do arado quase não exerceu mudanças, com aumento menor que 1%. Na tração motorizada, foram observados acréscimos sutis na quantidade de poros, sendo o maior aumento resultante da operação com o uso do arado (7%).

Na área do pousio, a tendência foi de diminuição na porosidade. A única alfaia que representou um leve aumento na percentagem dos poros foi o arado (3%), e nas demais alfaias foram observados decréscimos de 6% (arado+escarificador) e 13% (escarificador).

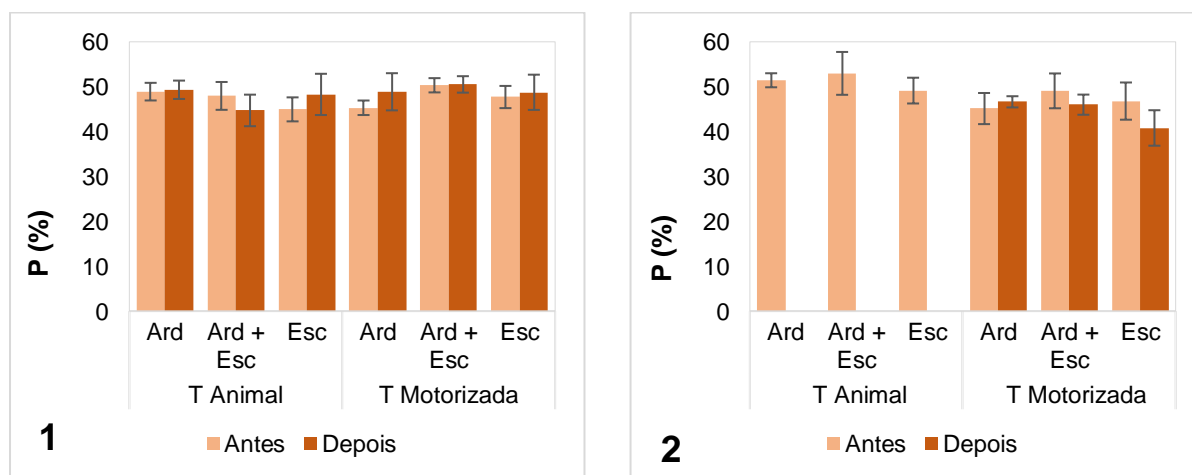


Figura 17: Porosidade (P) na camada de 0-5 cm na área do milho (1) e pousio (2).

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste de Tukey HSD, $P < 0,05$).

3.3.4 Capacidade de Campo

As médias dos valores da capacidade de campo (CC) foram similares para as duas trações empregadas na área do milho, diferindo estatisticamente entre si no quesito momento (antes e depois), onde foi possível observar um considerável aumento dos valores depois da aplicação dos tratamentos (Figura 18).

O aumento nos valores da CC para a fração onde foi utilizada a tração animal e a tração motorizada na área do milho foram muito próximos, 19% e 20%,

respetivamente. Seguindo a mesma linha, foram observados maiores incrementos quando fez-se aração, 24% e 33%, na mesma ordem.

Na área do pousio não foram observadas diferenças significativas. Apesar disso, pode-se notar que efeito das alfaias arado e arado+escarificador foram contrastantes em relação ao efeito do escarificador, com incrementos na CC de 51% e 23% para os dois primeiros e queda em 13% para o último.

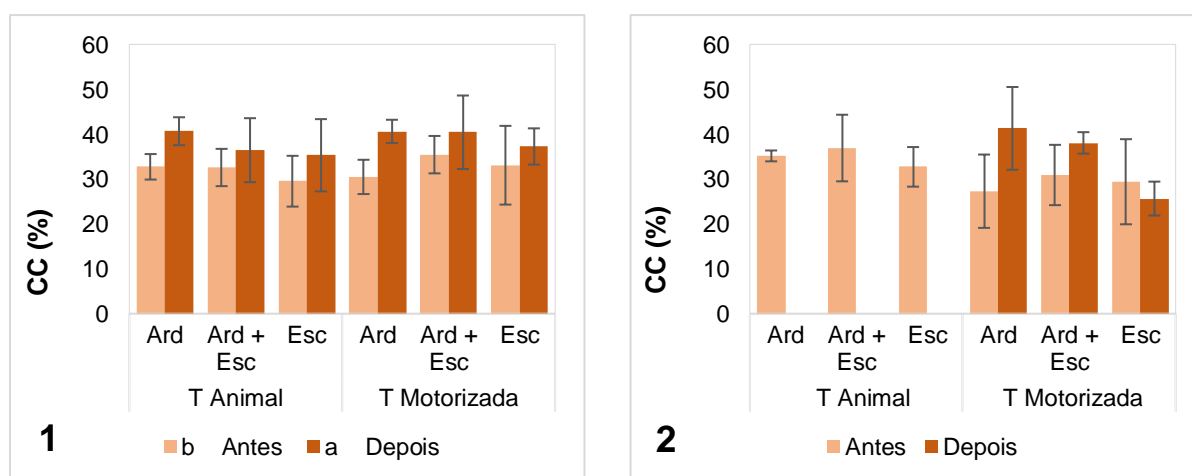


Figura 18: Capacidade de Campo (CC) na camada de 0-5 cm na área do milho (1) e pousio (2).

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste de Tukey HSD, $P < 0,05$).

3.3.5 Capacidade Máxima para Água

A capacidade máxima para água (CMA) seguiu a mesma tendência da CC, apresentando diferenças significativas apenas para área do milho em relação ao momento e com pequenas variações nas percentagens dos valores (Figura 19). Assim, o aumento global do parâmetro na área do milho foi de 16% para tração animal e de 19% para motorizada. As maiores contribuições foram após a passagem do arado, com adições de 20 e 32% na CMA, respetivamente.

Do mesmo modo, a área em pousio longo apresentou diferentes efeitos entre alfaías, com acréscimos de 39 e 18% para o arado e arado+escarificador, respetivamente, e queda de 16% no caso do escarificador.

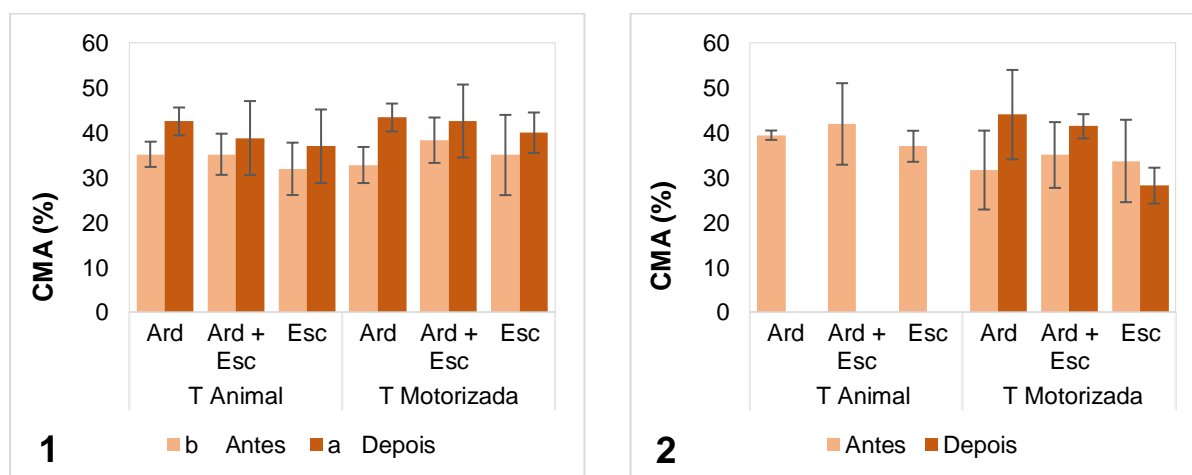


Figura 19: Capacidade Máxima para Água (CMA) na camada de 0-5 cm na área do milho (1) e pousio (2).

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste de Tukey HSD, $P < 0,05$).

3.3.6 Macroporosidade

O comportamento da macroporosidade nas duas áreas estudadas foi de diminuição dos valores iniciais após o emprego dos tratamentos. Foram observadas diferenças significativas na área do milho tanto para o momento (antes e depois), quanto para a tração. Na área do pousio as diferenças significativas foram apenas em relação ao momento (Figura 20).

Analisando o efeito do momento e da tração, foi possível notar uma queda muito maior na quantidade de macroporos para a área em que foi utilizada a energia animal (33%) do que na parcela onde utilizou-se a tração motorizada (3%). Observando separadamente o efeito das alfaías, nota-se que na tração animal houve diminuição na macroporosidade para todas, sendo a maior queda registrada

no arado (37%), seguida do escarificador (36%) e por último a combinação de ambos (27%). Para a tração motorizada, foi registrada uma queda de 30% com o uso do arado+escarificador, bem como uma pequena diminuição quando empregou-se o arado (3%). No caso do escarificador foi registrado um aumento na macroporosidade (23%), isso contribuiu para que a média global desse tratamento fosse superior ao de tração animal.

Na área em pousio, houve diminuição de quase metade da percentagem de macroporos (44%) depois das operações com tração motorizada, sendo o arado a alfaia que mais contribuiu para essa queda pronunciada (55%), seguido do escarificador (41%) e por último a combinação dos dois (36%).

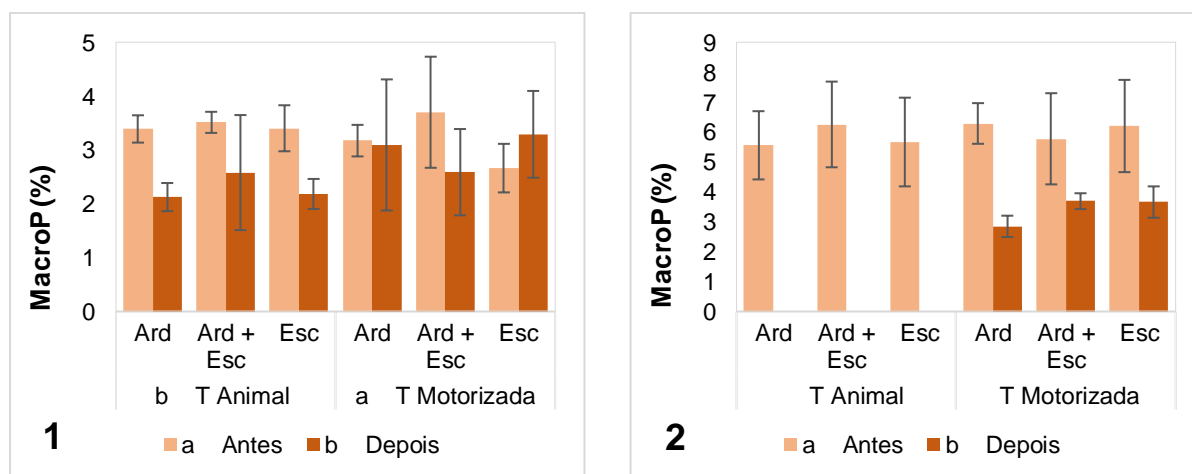


Figura 20: Macroporosidade (MacroP) na camada de 0-5 cm na área do milho (1) e pousio (2).

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste de Tukey HSD, $P < 0,05$).

3.3.7 Microporosidade

A percentagem média de microporos nos tratamentos, de maneira geral, sofreu pequenas alterações e não foram observadas diferenças significativas em nenhum dos casos (Figura 21).

Na área do milho em que o preparo do solo foi feito com tração animal houve pequeno acréscimo de 3% na quantidade de microporos. Em relação as alfaías, no caso do arado e do escarificador houve incrementos de 4 e 11% na microporosidade e o inverso ocorreu para a combinação de ambos, com uma queda de 5%. As operações com tração motorizada indicaram um aumento de 4% na média do tratamento, sendo observados acréscimos na percentagem de microporos para todas as alfaías, 9%, 3% e 1% respetivamente para o arado, arado+escarificador e escarificador.

Na parcela do pousio a média global do tratamento com tração motorizada quase não sofreu alterações (0,6%). Observando as alfaías foi possível notar que no caso do arado, a percentagem de microporos cresceu 12% em contraste com o arado+escarificador e escarificador, onde ocorreu uma redução de 2% e 9%, respetivamente

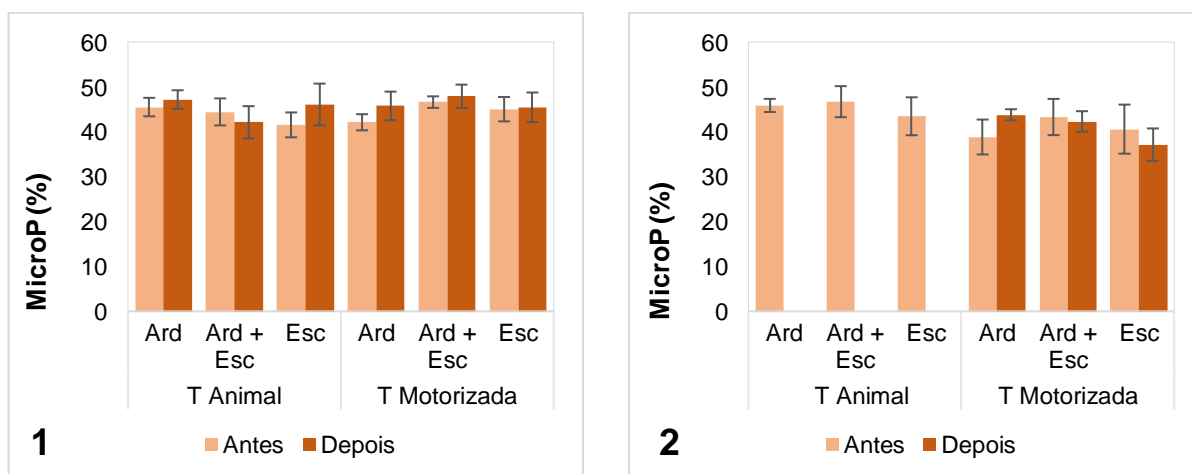


Figura 21: Microporosidade (MicroP) na camada de 0-5 cm na área do milho (1) e pousio (2).

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste de Tukey HSD, $P < 0,05$).

3.3.8 Elementos grosseiros

As médias da percentagem de elementos grosseiros na camada de 0-5 cm não diferiram em nenhuma das parcelas. Em relação a camada de 5-10 cm foram observadas diferenças significativas no elemento tração (animal e motorizada) na área do milho. E na camada de 10-20 cm houve diferenças significativas para o momento (antes e depois) na área do milho.

O efeito da tração animal (área do milho) na profundidade de 0-5 cm foi muito sutil (Figura 21), com pequenos acréscimos na quantidade de elementos grosseiros de 3% e 5% em relação ao arado e arado+escarificador, e decréscimo de 6% no caso do escarificador. A variação global desse tratamento em relação ao valor original foi quase nula (0,7%). Analisando a tração motorizada foi observado o aumento global de 5% na média do tratamento, sendo o arado+escarificador a alfaia que apresentou grandes incrementos na %EG (21%), as demais alfaias apresentaram pequenas diminuições de 5% (arado) e 2% (escarificador).

Na área que se encontrava em pousio houve aumento de 19% nos elementos grosseiros após o emprego da tração motorizada, sendo que o arado+escarificador foi a alfaia que mais contribuiu para tais incrementos (36%), seguida do escarificador (29%) e o arado apresentou comportamento inverso, com diminuição de 8%.

Genericamente, na profundidade de 0-5 cm observou-se, em todos os casos, que as maiores percentagens de aumento nos elementos grosseiros ocorreram após as operações com o arado+escarificador. Sendo registrado aumento de 5% na tração animal e 21% na tração motorizada em relação a área do milho e 36% (tração motorizada) para área do pousio.

Na profundidade de 5-10 cm foi examinada uma queda nas médias globais dos elementos grosseiros (Figura 23). Em referência a área do milho, após o

emprego de todas as alfaias com tração animal, foi percebida uma diminuição na quantidades dos EG (7%). A maior queda registrada ocorreu com o uso do escarificador (14%), seguida do arado e arado+escarificador, ambos com 3%. A redução observada na tração motorizada foi um pouco menor (3%), devido aos incrementos na percentagem dos EG pós-aração (10%). Nas outras duas alfaias foram observados decréscimos de 13% (arado+escarificador) e 6%(escarificador).

Em relação ao pousio, globalmente foi registrada uma queda de 4%, influenciada principalmente pela operação com arado, que resultou em uma diminuição de 13% na percentagem de elementos grosseiros. As operações com as outras alfaias quase não modificaram a quantidade de EG, com aumentos de apenas 0,3% (arado+escarificador) e 2%(escarificador).

Na profundidade de 10-20 cm também foi observada uma diminuição global na quantidade de EG (Figura 24). Para a área do milho, nas operações com tração animal constatou-se uma queda de 12% na pedregosidade, representadas pelos decréscimos de 9%, 16% e 12% nas alfaias arado, arado+escarificador e escarificador, nesta ordem. Com relação a tração mecanizada, a queda do tratamento foi de 9%; sendo registrado aumento de 2% para o arado e diminuição de 16% e 12% no caso do arado+escarificador e escarificador, respetivamente.

Relativamente ao pousio, a diminuição global na percentagem de EG foi de apenas 5%, sendo que o arado e o arado+escarificador contribuíram com 7% e 12% das reduções e o uso do escarificador resultou em acréscimo de 3%.

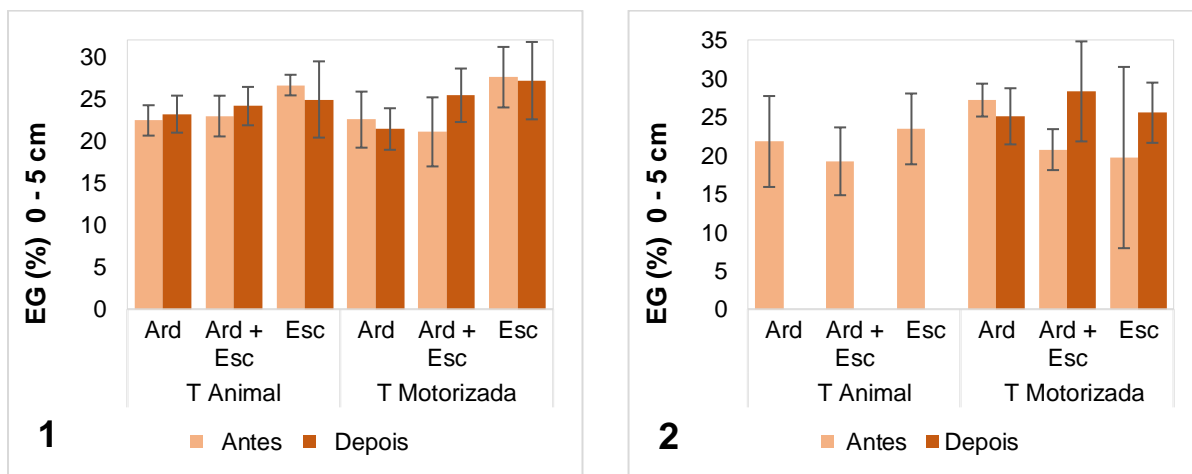


Figura 22: Elementos Grosseiros (EG) na camada de 0-5 cm na área do milho (1) e pousio (2).

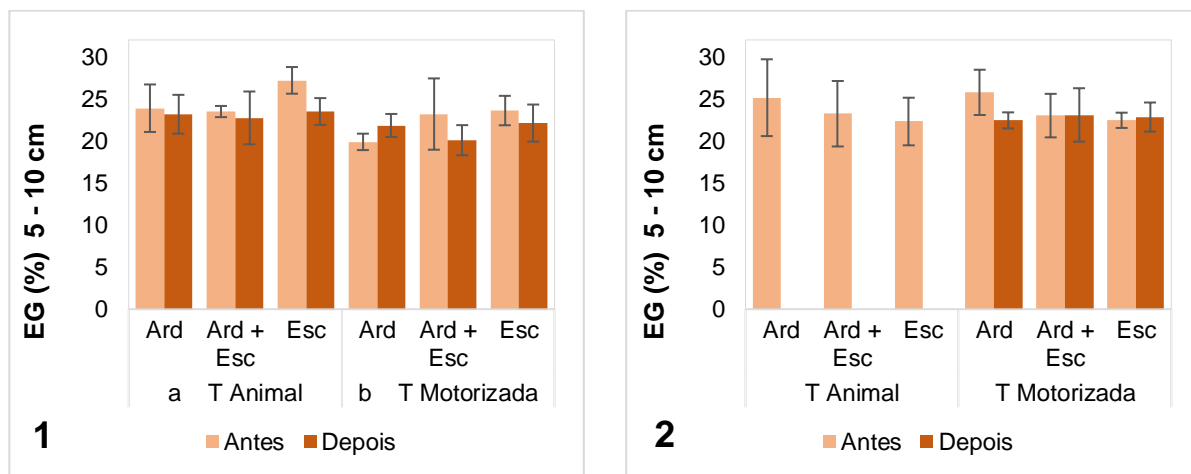


Figura 23: Elementos Grosseiros (EG) na camada de 5-10 cm na área do milho (1) e pousio (2).

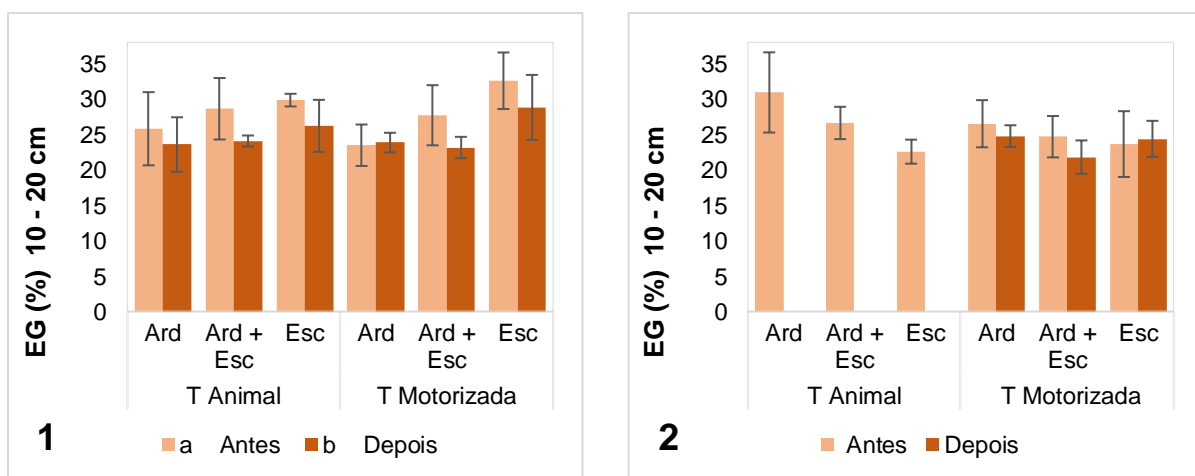


Figura 24: Elementos Grosseiros (EG) na camada de 10-20 cm na área do milho (1) e pousio (2).

Nota: Médias representadas por pares de colunas com letras diferentes diferem significativamente entre si (Teste de Tukey HSD, $P < 0.05$).

3.4 Discussão

Os aumentos observados para a permeabilidade na área do milho têm relação direta com o preparo do solo que, no primeiro momento, ocasiona mudanças na conformação porosa, permitindo assim que a água infiltre com maior velocidade por não serem fornecidos impedimentos físicos. Analisando as tendências na área do pousio, uma explicação pertinente para os diferentes comportamentos da permeabilidade é a grande variabilidade na série de dados, devido aos contrastes na classificação dos K dentro do mesmo conjunto amostrado. Outro factor que pode ter exercido grandes influências é que, ao contrário da área do milho, onde já são realizados anualmente procedimentos de preparo do solo, a área em pousio permaneceu por muito tempo sem ser submetida a qualquer tipo de mobilização, e assim quando o maquinário agrícola foi introduzido, provocou uma grande mudança na conformação porosa.

Por outro lado, os valores de K são muito influenciados pelo manejo, porque as técnicas adoptadas são refletidas na estrutura do solo, exercendo alterações que podem afetar em maior ou menor grau as taxas de infiltração, a retenção e o movimento da água, e conseqüentemente as taxas de escoamento durante uma chuvada erosiva (Figureiredo, 2015; Mooney & Nipattasuk, 2003).

Com o propósito de melhor compreender as relações entre os parâmetros estudados foi calculada uma matriz de correlação em cada área de estudo. Efetuou-se a apreciação dos elementos mais relevantes para a discussão. As tabelas de correlação encontram-se disponíveis nos anexos.

Inicialmente não havia uma correlação definida entre a permeabilidade e os outros parâmetros analisados, entretanto, após as operações de preparo do solo na área do pousio, houve estímulos a correlação deste parâmetro com densidade aparente, capacidade máxima para água e capacidade de campo. No caso da dap, a correlação resultante foi negativa, sugerindo que o aumento desta, leva a diminuição nos valores de permeabilidade. Segundo García-Tomillo *et al.* (2017) os

impactos estruturais devido a operações de preparo do solo são refletidos na distribuição dos poros, logo, na velocidade do fluxo de água no interior do solo.

A densidade aparente também é influenciada pelo modo de ação das alfaias. O arado é uma ferramenta de reviramento, que atua revolvendo as camadas do solo; já o escarificador é uma ferramenta de corte, que tem um efeito de “pente” e atua mais superficialmente. Dessa maneira, é possível perceber que o grau de perturbação de uma alfaia de corte é menor do que uma alfaia de reviramento. Por isso globalmente foi verificada uma diminuição mais pronunciada da densidade no caso do arado e arado+escarificar, já que com o reviramento do implemento agrícola há aumento no volume do solo mobilizado e conseqüentemente no espaço poroso. Além disso, foi identificada uma correlação muito forte e negativa entre este parâmetro em relação a capacidade de campo e a capacidade máxima de água, logo, a queda no valor da densidade aparente exerceu influências no aumento da retenção e movimento da água do solo.

Vale a pena ressaltar que as condições experimentais deste estudo sugerem impacto que a ação do implemento, tracionado pelo animal ou pelo trator, provoca no solo imediatamente após a sua passagem. Dessa forma, apesar de serem observadas diminuições nos valores de dap, que estimulam resultados positivos em outros parâmetros, sabe-se que a recorrência das técnicas de lavoura, principalmente com tráfego intensivo do maquinário agrícola pesado, estimula os efeitos adversos no solo, afetando principalmente sua estrutura (Merino, 2013).

A contínua exposição da MOS leva a sua oxidação e redução do seu conteúdo, provocando perdas de CO₂ e aumento na concentração de iões NO₃⁻ sujeitos a lixiviação. Dessa maneira, o arranjo das partículas do solo é afetado, gerando uma diminuição brusca na quantidade de poros. O resultado é a atenuação no movimento da água e do ar, redução da infiltração e o surgimento de limitações ao crescimento das raízes (Merino, 2013; Martins & Fernandes, 2017). Como é comprovado por García-Tomillo *et al.* (2017) que observaram aumentos de em média 10% na densidade aparente (0-5 cm) de todo os tratamentos, bem como,

diminuições na porosidade e na permeabilidade, sendo a amplitude de variação superior na sub-parcela do trator em relação a tração animal.

Uma tendência particular, que reflete as condições experimentais a partida na área do pousio, foi observada após a passagem do escarificador com tração motorizada. Os resultados obtidos sugerem que houve quedas em todas as médias amostradas na parcela, exceto no caso da densidade aparente e percentagem de elementos grosseiros, que se mantiveram quase iguais ou demonstraram leves aumentos. Comparando valores de dap a partida nas áreas destinadas a tração motorizada, é possível perceber que o solo na área do pousio apresentava valores maiores (1,45) do que na área do milho (1,38). Isso reflete o maior grau de coesão das partículas devido ao tempo sem nenhum tipo de operação agrícola naquela área, denotando as limitações para entrada do escarificador a partir de um certo grau de consolidação pré-existente.

Os resultados obtidos na área em que as operações culturais foram feitas com o escarificador refletem que a ação dessa alfaia foi quase nula, sendo devido as diminuições em quase todas variáveis, principalmente na permeabilidade, macroporosidade, CMA e porosidade total, sugerindo que o efeito provocado foi apenas devido ao tráfego do trator, que se sobrepôs. Da mesma forma, Streck *et al.* (2003), verificaram reduções na macroporosidade nos primeiros 5 cm de profundidade e a tendência de decréscimos nos valores de porosidade total nos tratamentos trafegados em comparação ao não trafegado. Segundo Hillel (1998), COM (2002) e Pishedda (2009), interferências na relação entre a massa e o volume do solo, geram aumentos da densidade deste e diminuem a porosidade total além de diminuir o tamanho e a conformação de poros.

O preparo do solo pode destruir ou mesclar em fragmentos maiores os agregados ali presentes, alterando assim sua estrutura, dessa maneira é observada a diminuição do número dos macroporos e compactação do solo (Horn *et al.*, 1995; Delgado *et al.*, 2007). Essa perda de macroporidade gera uma queda significativa no movimento da água, afetando assim a capacidade de drenagem do solo (Pishedda, 2009).

Perturbações geradas na estrutura do solo devido a intensidade de operações no preparo deste ocasionam estresses na macroporosidade, que posteriormente são refletidos na microporosidade. O resultado principal é a compactação dos agregados e sua consequente reorganização num plano progressivamente lamelar, com redução dos interstícios. Essa reação em cadeia incide na redução da porosidade total do solo que estimula a diminuição do fluxo de água, bem como do espaço ocupado pelo ar, ocasionando impedimentos a penetração das raízes e fenómenos de asfixia radicular e, portanto, restrições ao desenvolvimento e produtividade das culturas (Pischedda, 2009).

Aparentemente a análise de correlação mostrou que a macroP não se correlacionou com nenhuma das outras variáveis, indicando que seu comportamento é de uma variável independente. Apesar do comportamento observado em relação a este parâmetro no caso da tração animal na área do milho, sabe-se que o peso do animal e o peso do trator são muito diferentes e, portanto, a expectativa seria que a ação do trator tivesse maior impacto. Por isso, não é clara a razão pela qual esses resultados se apresentam assim. Como é confirmado por Pischedda (2009), o tráfego com tração animal que faz parte da pequena mecanização pode, em alguns casos, ser uma ótima alternativa, devido a seu mínimo impacto sobre o solo. O autor completou afirmando que o tráfego de máquinas pode induzir a diminuição do espaço poroso nas camadas mais internas do solo, provocando um assentamento em profundidade sem que haja qualquer tipo de mudanças a nível superficial.

Resultados de outros estudos confirmaram que a tração animal, de facto, exerce menos perturbações nas propriedades do solo. Garcia-Tomillo *et al.* (2017) explicam que o facto de as operações com animais serem tracionadas com menor velocidade e com cargas mais leves no solo, em comparação as operações tracionadas por tratores, denotam que o uso da energia animal representa menor impacto sobre a estrutura do solo. Da mesma forma Levien & Cogo (2001) observaram menores perdas de solo por erosão no tratamento efetuado com tração animal em relação ao trator, mesmo em plantio convencional.

A percentagem de elementos grosseiros também não revelou ter correlação com nenhuma das variáveis em estudo, demonstrando que, neste caso, não exerceu influências diretas sobre os demais parâmetros.

O comportamento da percentagem de elementos grosseiros, no geral, sofreu efeito da ação das alfaias, por exemplo, subiu em 29% (0-5 cm) após a passagem do escarificador, provavelmente devido a segregação desses elementos, já que quando o implemento passa há uma leve vibração que pode ter libertado os elementos grosseiros presos na estrutura do solo, fazendo-os emergir. A tendência observada para este parâmetro de maneira geral, foi de aumentos na profundidade mais superficial (0-5 cm) e quedas nas posteriores.

Segundo Figueiredo (2012b) e Figueiredo (2015), apesar da análise desse parâmetro ser ignorada em algumas avaliações, a pedregosidade exerce um papel importante na redução da suscetibilidade do solo a erosão (erodibilidade), principalmente em regiões onde há domínio de solos pedregosos. Os elementos grosseiros atenuam o impacto das gotas da chuva no solo, favorecem a retenção superficial, limitam a formação e reduzem a velocidade do escoamento, favorecendo assim o movimento da água em solos de granulometria desfavorável.

Em Trás-os-Montes a pedregosidade é um marco pedológico e geomorfológico que caracteriza os solos da região (Figueiredo, 2001). Ela exerce influências diretas no uso do solo, bem como nas práticas culturais a ele interligadas, e também afeta a sua qualidade e aptidão agrícola (Agroconsultores e Coba, 1991).

4 CONCLUSÃO

O estudo demonstrou que não houve diferenças estatisticamente significativas entre os dois tipos de tração empregados na área do milho, exceto para a macroporosidade, onde a diminuição do parâmetro foi mais acentuada com o uso da tração animal. Esse resultado foi inconclusivo e sem correlação com os outros parâmetros, denotando a necessidade de estudos complementares para avaliar mais profundamente o efeito desse tipo de tração nas propriedades do solo.

Na área do pousio, a tração motorizada com o uso do arado obteve os melhores resultados com relação aos parâmetros avaliados, dado que a tração animal não teve potência para trabalhar o solo devido a impedimentos físicos. Esse resultado também indica que o trabalho com animais tem limites e exerce menores impactos sobre o solo em relação ao trator, devido a menor velocidade de trabalho e menor pressão sobre o mesmo.

Os resultados obtidos na área do pousio com o uso do escarificador evidenciam os efeitos que o tráfego com maquinário agrícola pesado acarreta ao solo. O impacto provocado após a passagem do trator causou a queda dos valores médios na maioria dos parâmetros analisados, principalmente dos relacionados com o movimento e retenção da água no solo, evidenciando os aspectos deletérios da compactação superficial, que com recorrência, podem ser irremediáveis.

A tração animal é uma prática alternativa e extremamente viável em pequenas propriedades e seus benefícios no meio rural têm sido negligenciados há muito tempo. É fundamental a promoção de incentivos a pesquisa sobre os aspectos que cercam essa atividade e sua relação com o campo, bem como, a criação de meios que facilitem o acesso e as técnicas manejo dos animais afim de incentivar o pequeno agricultor a obter rendimentos na produção, sem deixar de lado a conservação do solo, que é o recurso imprescindível para tal.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agroconsultores e Coba. (1991). Carta do Solos, Carta do uso Actual da Terra e Carta da Aptidão da Terra do Nordeste de Portugal. Universidade de Trás-as-Montes e Alto Douro.
- Alexandre, C. (2015). Funções, usos e degradação do solo. In *Proteção do solo e Combate à Desertificação: oportunidade para as regiões transfronteiriças* (pp. 1–14).
- Almeida, B. G., Freitas, P. L., Teixeira, W. G., Viana, J. H. M., Donagemma, G. K. (2017). Capítulo 9: Porosidade. In *Manual de métodos de análise de solo* (Teixeira, P. C. et al.). 3. Ed. Rev. e Ampl., Embrapa, 573 pp.
- Araújo, A. G. (2004). Estimativa e classificação da compactação do solo pelo tráfego de máquinas agrícolas através da modelagem nebulosa. (Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo).
- Araújo, E.A., Ker, J. C., Neves, J. C. L. & Lani, J. L. (2012) – Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, Guarapuava-PR, v.5, n.1, p.187-206.
- Ayache, S. (2011). Energie animale et gestions des espaces naturels. Conservatoire Rhône d'Alpes des Espaces Natureles et ONF, France, 19 p.
- Barbieri, R. (2018). Influência do preparo do solo por tração animal e mecânica na variabilidade espacial de algumas propriedades físicas do solo e no bem-estar animal. Relatório de estadia de investigação no IPB ao abrigo do Programa IACOBUS.
- Barbosa, J. (2014). O regresso da tração animal. *Vida rural*, pp. 22-25.
- Belieres, J., Bonnal, P., Bosc, P., Losch, B., Marzin, J., Sourisseau, J., Cirad. (2014). Les agricultures familiales du monde: Définitions, contributions et politiques publiques. *A savoir*, 28, pp.195, Paris.
- Brady and Weil – (2002) *The Nature and Properties of Soils*. 13th edition. NY. USA.
- Bucella, P. (2015). Uso sustentável da terra na União Europeia. In *Cultivar: Cadernos de Análise e Prospetiva*, n.2, (GPP, pp. 13-20).

- Carvalho, M. (2013). Case Study 5: The role of no-till and crop residues on sustainable arable crops production in Southern Portugal. In *Run off erosion* (Evelpidou, N. *et al.*, pp. 308–321).
- Cherlet, M., Hutchinson, C., Reynolds, J., Hill, J., Sommer, S., von Maltitz, G. (Eds.). (2018). *World Atlas of Desertification*. Publication Office of the European Union, Luxembourg.
- Chevillot, V. (2014). La traction animale en milieux agricole et forestier : Enquête sur l'emploi et les formations. *Equi-ressources*, 16:14, pp.24.
- Chirgwin, J. C. (1996). Multipurpose use of animals. *World Animal Review* FAO. Rome.
- COM. (2002). Comunicação da Comissão ao conselho, ao parlamento Europeu, ao Comité Económico e social e ao Comité das regiões: Para uma estratégia temática de protecção do solo. Comissão Europeia, 179 final. Bruxelas, 16.4.2002.
- COM. (2006). Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the protection of soil and amending Directive 2004/35/EC (presented by the Commission). Commission of the European Communities, 232 final. Brussels, 22.9.2006.
- COM. (2012). Relatório da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões. Aplicação da estratégia temática relativa ao solo e atividades em curso. Comissão Europeia, 46 final. Bruxelas, 13.2.2012.
- Cordilhac, C., Lefebvre, S. (2011). La traction animale dans les collectivités territoriales bas-normandes. *Equi-ressources*, 1-20.
- Costa, E. M., Silva, H. F., Ribeiro, P. R. A. (2013). Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. *Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer, v.9, n.17, pp. 1842-1860, Goiânia.
- Decreto-Lei n.º 64/2018 (2018). Estatuto da Agricultura Familiar. *Diário da República*, 1ª série, 151, 3946-3949.
- Elhimdy, B., Chiche, J. (1988) Rentabilité de la traction animale dans les petites

- exploitations marocaines. In *La Traction Animale pour le Développement Agricole* (Starkey, P., Faye, A.) FAO. (Consultado em 07.01.2019). <http://www.fao.org/wairdocs/ilri/x5455b/x5455b0o.htm>
- Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (2006). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2.ed. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 306p.
- FAO. (2000). *Une nouvelle image pour les animaux de trait*. FOCUS. <http://www.fao.org/Ag/fr/magazine/0009sp1.htm>
- FAO. (2010a). *Draught Animal Power: An Overview*. Agricultural Engineering Branch, Rome. pp.12
- FAO. (2010b). *2000 World Census of Agriculture: Main Results and Metadata by Country (1996-2005)*. Rome.
- FAO. (2014a). *The role, impact and welfare of working (traction and transport) animals*. Animal Production and Health Report. No. 5, 36 pp., Rome.
- FAO. (2014b). *Dia Mundial da Alimentação celebra o tema “Agricultura familiar: alimentar o mundo, cuidar do planeta”*. Lisboa. (Consulta em 30.01.19). <http://www.fao.org/portugal/noticias/detail/en/c/260582/>
- FAO. (2014c). *IYFF (International Year of Family Farming)*. Rome, Italy. <http://www.fao.org/family-farming-2014/home/what-is-family-farming/en/>.
- FAO. (2014d). *The State of Food and Agriculture: Innovation in family farming*. 139 pp.
- FAO. (2018a). *Harnessing the power of livestock to drive sustainable development*. Rome. (Consultado em 25.01.19). <http://www.fao.org/news/story/en/item/1157729/icode/>.
- FAO. (2018b). *FAO's work on family farming: Preparing for the Decade of Family Farming (2019–2028) to achieve the SDGs*. <http://www.fao.org/3/ca1465en/CA1465EN.pdf>
- FAOSTAT. *Estrume aplicado ao solo (conteúdo de N) em 2016*. (Consulta em 01.02.19). <http://faostat.fao.org/>.
- Feiden, A. (2005). *Agroecologia: Introdução e Conceitos*. In *Agroecologia:*

- Princípios e Técnicas para uma Agricultura Orgânica Sustentável* (AQUINO, A., pp. 50–70).
- Fernandes, R. (2016). A matéria orgânica do solo. Dossier Técnico. INIAV, Vida Rural, pp. 26-28.
- Feira, C., & Batista, K. A. (2009). AGROECOLOGIA E O MANEJO ECOLÓGICO DO SOLO.pdf. *Synergismus Scyentifica UTFPR*, 04(1), 1–3.
- Figueiredo, T. (2012b). Pedregosidade dos Solos em Trás-os-Montes: importância relativa e distribuição espacial. Série Estudos, Nº 83. IPB, Bragança. 79 pp.
- Figueiredo, T. & Fonseca, F. (2009). Soil Conservation Measures: classification and description. In *Soil Protection in Sloping Mediterranean Agri-Environments: lectures and exercises* (Evelpidou, N.; Figueiredo, T, pp. 77-85).
- Figueiredo, T. (2001). Pedregosidade e Erosão Hídrica dos Solos em Trás-os-Montes: contributo para a interpretação de registos em vinhas ao alto na Região do Douro. (Tese de doutoramento), UTAD, Vila Real.
- Figueiredo, T. (2011). Determinação laboratorial da condutividade hidráulica do solo e Realização de exercícios sobre exploração de aquíferos. Mestrado em Tecnologia Ambiental. Escola Superior Agrária de Bragança.
- Figueiredo, T. (2012a) - Erosão hídrica dos solos em Portugal: contributo para uma revisão. V Congresso Ibérico da Ciência do Solo 2012 - Uso e manejo do solo. Bragança: Instituto Politécnico de Bragança - IPB.
- Figueiredo, T. (2015). Proteção do Solo em Viticultura de Montanha: Manual Técnico para a Região do Douro. ADVID, 107 pp.
- Figueiredo, T. (2019). Orientador do estudo em vigor (Comunicação pessoal).
- FRAB. (2011). TRACTION ANIMALE - Les Fiches Thématiques : Des agriculteurs bios partagent leur savoir-faire. FRAB Midi-Pyrénées/Prommata, pp. 1-6, Toulouse, France.
- Fraenkel, P.L. (1994). Chapitre 4: Alimentation en énergie des installations de pompage. In *Bulletin FAO d'irrigation et de drainage 43: Les machines élévatoires*. FAO, Rome. (Consultado em 05.01.19). <http://www.fao.org/3/ah810f/AH810F09.htm>

- García-Tomillo, A., Figueiredo, T., Almeida, A. Rodrigues, J., Dafonte, J., ... Hernandez, Z. (2017). Comparing effects of tillage treatments performed with animal traction on soil physical properties and soil electrical resistivity: preliminary experimental results. *Open Agriculture*, 2, pp. 317-328.
- Geslain-Laneelle, C. (2015). Solos agrícolas: um trunfo para a segurança alimentar e o clima. In *Cultivar: Cadernos de Análise e Prospetiva*, n.2, (GPP, pp. 21-26).
- HILLEL, D. Environmental soil physics. San Diego : Academic, 1998. 757p.
- HLPE. 2013. Investing in smallholder agriculture for food security. A report by the High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security, Rome.
- Hoffmann, I. (2010). Livestock biodiversity. *Rev. Sci. Tech. OIE*, 29, pp.73-86.
- Hoogmoed, W. (1994). Chapitre 8 – ÉNERGIE. In *Le Travail du Sol pour une Agriculture Durable* (Hoogmoed, W.B., Klaij, M.C.). FAO. (Consultado em 07.01.19). <http://www.fao.org/3/w7304f/w7304f08.htm>
- IPMA. Normais Climatológicas - 1981-2010 (provisórias) - Bragança. (Consultado em 01.02.19). <http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/003/>
- Johansson S., Belfrage K., Olsson M. (2013). Impact on food productivity by fossil fuel independence – a case study of a Swedish small-scale integrated organic farm, *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 63, pp. 123-135.
- Jones, A., Panagos, P., Barcelo, S., Bouraoui, F., Bosco, C., Dewitte, O., ... Yigini, Y. (2012). *The state of soil in Europe. JRC reference reports*, Luxembourg. <https://doi.org/10.2788/77361>
- Jorge Dafonte Dafonte, Antonio Paz-González, João Nunes, Zulimar Hernandez
- Kendell, C. (2005). Horse powered traction and tillage - some options and costs for sustainable agriculture, with international applications. <https://studylib.net/doc/7423850/horse-powered-traction-and-tillage>
- KÖPPEN, W. (1936). Das geographische System der Klimate. *Handbuch der Klimatologie*, v.1, Part C (W. Köppen & R. Geiger, eds.). Gerbrüder Bornträger, Berlin, pp. 1-44.

- Lal, R. (1997). Degradation and resilience of soils. *Phil. Trans. R. Lond. B* 352, 997-1010.
- Lepsch, I. F. (2010) *Formação e conservação dos solos*. Oficina de textos 2. ed. São Paulo.
- Levien, R., Cogo, N. P. (2001). Erosão na cultura do milho em sucessão à aveia preta e pousio descoberto, em preparo convencional e plantio direto, com tração animal e tratorizada. *R. Bras. Ci. Solo*, 25, pp. 683-692.
- Lhoste, P., Havard, M., Vall, E. (2010). *La traction animale*. Quae/CTA/Presses agronomiques, 243 pp., France.
- Martins, J. Casimiro; Fernandes, R. (2017). Processos de degradação do solo - medidas de prevenção. *Vida Rural*, 34–36.
- Merino, A. (2013). Runoff Erosion and Human Societies. In *Run off erosion* (Evelpidou, N. *et al*, pp. 172–229).
- Mooney, S. J. & Nipattasuk, W. (2003). Quantification of the effects of soil compaction on water flow using dye tracers and image analysis. *Soil Use and Management*, 19, pp. 356-363.
- Morgan, R.P.C. (2005). *Soil erosion and conservation*. (Blackwell Publishing, Ed.) (3 ed.). Australia.
- Mulas, R., Lafuente, F., Turrión, M. B., López, O. & Ruipérez, C. (2015). Efectos de los cambios de uso y manejo del suelo sobre la calidad y cantidad de la materia orgánica edáfica. In *Proteção do solo e Combate à Desertificação: oportunidade para as regiões transfronteiriças* (pp. 15–25).
- Orgiazzi, A., Bardgett, R.D., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M.J.I., Chotte, J-L., ...W.H., Wall, D.H. (Eds.). (2016). *Global Soil Biodiversity Atlas*. European Commission, Publications Office of the European Union, Luxembourg. 176 pp.
- Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., van der Zanden, E.H., Poesen, J., Alewell, C. (2015). Modelling the effect of support practices (P-factor) on the reduction of soil erosion by water at European Scale. *Environ. Sci. Policy*, 51, pp. 23-34
- Paul, M., Lombaerde, F., Jourez, B. (2006). *Approche Économique du Cheval en Forêt*. *Forêt Wallonne*, 81, pp. 15-25.

- Pereira, R. G. A., Costa, N. L., Toussend, C. R., Magalhães, J. A., Marcolan, A. L., Salman, A. K. D. (2006). Mecanização de SAFs com tração animal em Rondônia: Uma prática para apoiar a transição agroecológica. Embrapa.
- Pires, J. C. (2019). Responsável técnico da Quinta do Poulão. (Comunicação pessoal).
- Pischedda, D. (Coordination). (2009). Guide Pratique: Pour une exploitation forestière respectueuse des sols et de la forêt « PROSOL ». FCBA et Office national des forêts, 107 pp.
- Primavesi, A. M. (2008). Agroecologia e manejo do solo. *Agriculturas*, 5, nº 3, 7–10. Retrieved from <http://aspta.org.br/wp-content/uploads/2014/10/Artigo-1-Agroecologia-e-manejo-do-solo.pdf>
- Richart, A., Tavares Filho, J., Rodrigues Brito, O., Fuentes Llanillo, R. & Ferreira, R. (2005). Compactação do solo: causas e efeitos. *Semina: Ciências Agrárias*, 26 (3), 321-343.
- Rodrigues, J. B. APTRAN – Associação Portuguesa de Tracção Animal. Programa de Capacitação de Recursos Humanos nas Artes e Ofícios Tradicionais Relacionados com a Tração Animal.
- Rodrigues, J. B., Schlechter, P., Spsychiger, H., Spinelli, R., Oliveira, N., Figueiredo, T. (2017). As montanhas do século XXI: manejo sustentável de áreas montanhosas baseadas na tração animal. *Open Agriculture*, 2, pp. 300–307.
- Ruser, R., Flessa, H., Russow, R., Schmidt, G., Buegger, F., Munch, J.C. (2006). Emission of N₂O, N₂ and CO₂ from soil fertilized with nitrate: effect of compaction, soil moisture and rewetting. *Soil Biology & Biochemistry*, 38, pp. 263–274.
- Sardans, J.C., J., Peñuelas, J. (2013). Plant-soil interactions in Mediterranean forest and shrublands: Impacts of climatic change. *Plant and Soil* 365: 1-33
- Schick, J. (2014). Factores R e K da USLE e perdas de solo e água em sistemas de manejo sobre um cambissolo húmico em Lages, SC. (Tese de Mestrado, Universidade do Estado de Santa Catarina. http://www.cav.udesc.br/arquivos/id_submenu/838/tese_jefferson_schickdesprot

egida.pdf

SEAFDA (2016). O que é a agricultura familiar. (Consultado em 01.02.2019).

<http://www.mda.gov.br/sitemda/noticias/o-que-%C3%A9-agricultura-familiar>.

SEAFDA. (2018). Agricultura familiar do Brasil é 8ª maior produtora de alimentos do mundo. (Consultado em 01.02.2019).

<http://www.mda.gov.br/sitemda/noticias/agricultura-familiar-do-brasil-%C3%A9-8%C2%AA-maior-produtora-de-alimentos-do-mundo>

SEAPPA. (2016). Arado de boi enriquece o solo e previne erosão. Rio Rural, Rio de Janeiro. (Consultado em 25.01.19).

<http://www.rj.gov.br/web/seapec/exibeconteudo?article-id=2728147>

Silva J. (2014). The Family Farming Revolution. An opinion article by FAO-Director General José G. da Silva. (Consultado em 07.02.2019) <http://www.fao.org/about/who-we-are/director-gen/faodg-opinion-articles/detail/en/c/212364/>

SOCO (Sustainable Agriculture and Soil Conservation). (2009). Fichas informativas. Comunidades Europeias. JRC. (Consultado em 10.09.18). <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/projects/SOCO/FactSheets/PT%20Fact%20Sheet.pdf>

Streck, C. A., Reinert, D. J., Reichert, J. M., Kaiser, D. R. (2003). Modificações em propriedades físicas com a compactação do solo causada pelo tráfego induzido de um trator em plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.34, n.3, p.755-760.

Turbé, A., De Toni, A., Benito, P., Lavelle, P., Lavelle, P., ... Mudgal, S. (2010). Soil biodiversity: functions, threats and tools for policy makers. Bio Intelligence Service, IRD, and NIOO, Report for European Commission (DG Environment).

UNEP. (2007). *Global Environment Outlook – GEO 4: environment for development*. Progress Press LTD, Malta. 540 pp.

UN. (1994). *United Nations Convention to Combat Desertification in those Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa*. A/AC.241/27. Paris. (Consultado em 20.11.2018) <https://treaties.un.org/doc/Treaties/1996/12/19961226%2001->

46%20PM/Ch_XXVII_10p.pdf

- Van den Akker, J. J. H. (2004). SOCOMO: a soil compaction model to calculate soil stresses and the subsoil carrying capacity. *Soil & Tillage Research*, 79, pp. 113–127.
- Van-Camp. L., Bujarrabal, B., Gentile, A-R., Jones, R.J.A., Montanarella, L., Olazabal, C. and Selvaradjou, S-K. (2004). Reports of the Technical Working Groups Established under the Thematic Strategy for Soil Protection. EUR 21319 EN/3, 872 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Verheijen, F.G.A.; Jones, R.J.A.; Rickson, R.J.; Smith, C.J. (2009). Tolerable versus actual soil erosion in Europe. *Earth-Science Reviews*, 94, pp.23-38.
- WRB – World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. *World Soil Resources Reports*, FAO, Rome, 2014. No. 106.

6 ANEXOS

ANEXO A - Matriz de correlação entre os parâmetros avaliados na área do milho antes das operações culturais

	Ki	Kf	Dap	P	CMA	CC	MicroP	MacroP	EG 0-5 cm	EG 05-10 cm	EG 10-20 cm
Ki	1										
Kf	0.97	1									
Dap	-0.40	-0.33	1								
P	-0.01	-0.03	-0.19	1							
CMA	0.32	0.25	-0.93	0.51	1						
CC	0.32	0.25	-0.93	0.51	1.00	1					
MicroP	0.00	-0.01	-0.19	0.98	0.50	0.53	1				
MacroP	-0.08	-0.09	0.00	0.14	0.03	-0.05	-0.06	1			
EG 0-5	-0.09	-0.16	0.15	-0.36	-0.25	-0.22	-0.28	-0.43	1		
EG 05-10	-0.26	-0.33	0.30	0.01	-0.26	-0.27	-0.02	0.16	0.35	1	
EG 10-20	-0.18	-0.19	-0.04	0.09	0.12	0.13	0.11	-0.11	0.55	0.27	1

Nota: Resultados obtidos com os valores originais do estudo.

ANEXO B - Matriz de correlação entre os parâmetros avaliados na área do milho depois das operações culturais

	Ki	Kf	Dap	P	CMA	CC	MicroP	MacroP	EG 0-5cm	EG 05-10cm	EG 10-20cm
Ki	1										
Kf	0.94	1									
Dap	-0.19	-0.11	1								
P	-0.51	-0.59	-0.23	1							
CMA	-0.09	-0.18	-0.88	0.65	1						
CC	-0.07	-0.19	-0.87	0.66	0.99	1					
MicroP	-0.47	-0.60	-0.20	0.97	0.62	0.65	1				
MacroP	-0.23	-0.06	-0.15	0.25	0.22	0.09	0.01	1			
EG 0-5	0.27	0.30	0.07	-0.22	-0.17	-0.16	-0.22	-0.05	1		
EG 05-10	0.08	0.04	0.18	-0.20	-0.25	-0.25	-0.19	-0.09	0.22	1	
EG 10-20	-0.02	0.07	0.35	-0.32	-0.44	-0.47	-0.38	0.21	0.48	0.28	1

Nota: Resultados obtidos com os valores originais do estudo.

ANEXO C - Matriz de correlação entre parâmetros avaliados na área do pouso antes das operações culturais

	Ki	Kf	Dap	P	CMA	CC	MicroP	MacroP	EG 0-5 cm	EG 5-10 cm	EG 10-20 cm
Ki	1										
Kf	0.96	1									
Dap	-0.28	-0.28	1								
P	0.27	0.30	-0.85	1							
CMA	0.27	0.28	-0.96	0.95	1						
CC	0.31	0.31	-0.95	0.94	0.99	1					
MicroP	0.34	0.34	-0.84	0.96	0.92	0.95	1				
MacroP	-0.31	-0.23	0.21	-0.12	-0.13	-0.26	-0.38	1			
EG 0-5	0.03	0.02	-0.04	-0.14	-0.03	-0.01	-0.08	-0.16	1		
EG 05-10	-0.22	-0.24	-0.09	0.00	0.03	0.00	-0.04	0.16	0.27	1	
EG 10-20	0.39	0.25	-0.05	0.07	0.08	0.10	0.11	-0.18	0.15	0.04	1

Nota: Resultados obtidos com os valores originais do estudo.

ANEXO D - Matriz de correlação entre parâmetros avaliados na área do pousio depois das operações culturais

	Ki	Kf	Dap	P	CMA	CC	MicroP	MacroP	EG 0-5 cm	EG 05-10 cm	EG 10-20 cm
Ki	1										
Kf	0.95	1									
Dap	-0.76	-0.76	1								
P	0.43	0.46	-0.54	1							
CMA	0.78	0.79	-0.95	0.76	1						
CC	0.78	0.80	-0.94	0.76	1.00	1					
MicroP	0.44	0.48	-0.55	0.99	0.76	0.78	1				
MacroP	-0.14	-0.23	0.17	-0.11	-0.19	-0.23	-0.25	1			
EG 0-5	-0.05	0.00	0.07	0.19	-0.03	-0.05	0.12	0.46	1		
EG 05-10	-0.02	0.02	0.07	0.11	0.01	-0.01	0.05	0.40	0.35	1	
EG 10-20	-0.09	-0.08	0.34	-0.01	-0.16	-0.14	0.04	-0.31	-0.65	0.04	1

Nota: Resultados obtidos com os valores originais do estudo.