



Eficácia de condicionadores do solo para a redução da sua erodibilidade no Nordeste de Portugal avaliada com simulação de chuva

Leonardo Alves de Moraes

Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental

Orientado por

Prof. Doutor Tomás d'Aquino Freitas Rosa de Figueiredo (ESA-IPB)

Profa. Doutora Felícia Maria da Silva Fonseca (ESA-IPB)

Prof. Doutor Marcelo Ávila Chaves (FEA-FUMEC)

Bragança

2019

Leonardo Alves de Moraes

Eficácia de condicionadores do solo para a redução da erodibilidade no Nordeste de Portugal avaliada com simulação de chuva

Dissertação de Mestrado apresentado ao programa de Dupla Diplomação do Instituto Politécnico de Bragança, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Professor Orientador IPB: Prof. Doutor Tomás D'Aquino Rosa de Figueiredo
Professora Orientadora IPB: Profa. Doutora Felícia Maria da Silva Fonseca
Professor Orientador FUMEC: Prof. Doutor Marcelo Ávila Chaves

Bragança, Portugal

Fevereiro de 2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me permitido viver esta oportunidade.

Agradeço meus orientadores, Professor Doutor Tomás de Figueiredo e Professora Doutora Felícia Fonseca, da Escola Superior Agrária de Bragança, pelo apoio prestado durante todo o estudo, em trabalhos de campo, definição de metodologias e interpretação de resultado. Agradeço a dedicação, por serem presentes, por compartilharem comigo o seu conhecimento, tempo e sua amizade, me sinto privilegiado por ter tido vocês como orientadores.

Agradeço ao meu orientador Professor Doutor Marcelo de Ávila Chaves, da Universidade FUMEC, pelas indicações de material de estudos e por se mostrar sempre disponível em ajudar.

Agradeço à Professora Doutora Eliane Almeida, da Universidade FUMEC, por sempre nos incentivar a buscar crescer e adquirir conhecimento.

Agradeço ao Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior Agrária, e aos professores da instituição, por me acolherem e terem me permitido adquirir conhecimento.

À Universidade FUMEC, pela oportunidade oferecida e pelo apoio prestado.

Agradeço aos meus exemplos, meu irmão, Paulo Eduardo Tomaz de Moraes, e meus pais, Orival Tomaz de Moraes e Eliana Alves de Azevedo Moraes, por serem sempre presentes, me apoiando, torcendo e me incentivando sempre. Sem vocês esta oportunidade não seria possível, muito obrigado.

Agradeço aos meus amigos, Rafael de Quevedo, Eduardo Motta, Gregório Gomes, Isabela Silvia, Marcus Saviotti e Luiz Otávio Lopes, por todo apoio, paciência e companheirismo durante este intercâmbio, vocês foram muito importantes.

Agradeço ao Eduardo Motta, Amanda Alves, Kaique Ramon, Ana Caroline Royer, Vinícius Okada, Eveline Mendes e Marcos Aguilar pelo apoio prestado durante a pesquisa.

Agradeço à Letícia Alves de Oliveira, a Ana Clara e Maria Eduarda Leão Dutra, por todo apoio, carinho e torcida durante este intercâmbio.

Agradeço à Luisa Aragão Nogueira de Freitas pelo apoio, paciência, carinho, incentivo e torcida no último ano.

Agradeço ao Fernando Tomaz, Andreia e Rogério Paixão, Rayane Figueiredo, Carla Beatriz e Eduardo Dutra, por todo apoio e por sempre estarem dispostos a me ajudar.

Gratidão!

RESUMO

O ser humano é completamente dependente do solo. Para que um ecossistema funcione de maneira sustentável é necessário que o solo esteja em um estado em que suas funções assegurem interação favorável com outras componentes do ecossistema. Porém, o mau uso e ocupação do solo danifica o recurso e o expõe à ação de processos de degradação, designadamente os erosivos, fazendo com o que o solo perca qualidade em termos de propriedades físicas e químicas importantes para a manutenção do cenário geográfico e temporal em que este estaria inserido. No Nordeste de Portugal o processo de erosão hídrica afeta comumente os solos da região, já que a topografia, com gradientes de relevo favoráveis, e as características dos solos proporcionam tal ação do agente erosivo. Este trabalho visa analisar a erodibilidade dos solos do NE de Portugal através de simulação de chuva e a eficácia de tratamentos com condicionadores nos solos regionalmente considerados mais susceptíveis a erosão. Os condicionadores aplicados foram: um corretivo orgânico agrícola (CO) e poliacrilamida (PAM). Ocorreram 21 simulações de chuva, de 30 minutos de duração, sobre 3 tabuleiros, de área de 322 cm², de solo por simulação, submetidos as condições padronizadas de 15% de inclinação e intensidade 66 mm h⁻¹, a partir disso foi possível determinar os parâmetros salpico, escoamento superficial e perda de solo e, a partir destes, calcularam-se indicadores como concentração de sedimentos em suspensão, coeficiente de escoamento, destacabilidade e erodibilidade, tendo em vista a comparabilidade dos resultados obtidos. Este estudo possibilitou visualizar a eficiência de ambos os condicionadores, mostrando que a PAM é mais eficaz na prevenção da perda de solo que, em média, obteve cerca de 62% de redução em erodibilidade e 68% em destacabilidade de todos os solos, do que o composto orgânico, com 14% de redução em erodibilidade e 24% em destacabilidade.

Palavras Chave: Erosão hídrica; simulador de chuva; erodibilidade; condicionadores do solo; poliacrilamida

ABSTRACT

The human being completely depends on the soil. An ecosystem, to work in a sustainable way, needs the soil to be on a state where its functions assure a favorable interaction between all the ecosystem components. However, the bad management of the soil damages the natural resources and expose it to degradation processes, which are namely erosives, making it lose the physical and chemical properties that are important to the maintenance of the geographical and temporal scenarios in which this soil is inserted. The hydric erosive processes in the northeast of Portugal commonly affect the soils in that region, since the topography consisted by favorable relief gradients and the soil characteristics increase the erodible agent action. This study seeks the analysis of the soil erodibility in the northeast of Portugal through a rain simulation, and the effectiveness of conditioners on those soils which are considered the most susceptible to erosion. The conditioners applied were: an agricultural organic corrector (CO) and polyacrylamide (PAM). Twenty-one rain simulations were made, each one lasting 30 minutes, on top of three soil trays with area of 322cm², under the standard conditions of 15% of inclination, and 66 mm h⁻¹. With that being made, it was possible to determine the splashing parameters, surface runoff and soil loss, in order to later calculate indicators such as suspended sediments concentration, flow coefficient, detachability and erodibility. The study also made possible to prove the effectiveness of both conditioners, showing that PAM is more reliable in matters of soil loss prevention. On average, there was 62% less erodibility and 68% less detachability in all soils, rather than the organic compound, which had just 14% less erodibility and 24% detachability.

Keywords: Soil; water erosion; rain simulator; erodibility; conditioners

Sumário

1	Introdução.....	3
2	Fundamentação Teórica	5
2.1	Solos	5
2.2	Horizontes do solo.....	5
2.3	Solos do NE de Portugal	6
2.4	Fatores de formação do solo	7
2.5	Aptidão dos solos do NE de Portugal	9
2.6	Uso actual dos solos do NE de Portugal	12
2.7	Processos Erosivos.....	13
2.7.1	Erosão hídrica.....	13
2.8	Métodos de avaliação da erosão.....	15
2.8.1	Erodibilidade.....	16
2.9	Métodos de proteção e prevenção a erosão.....	17
2.9.1	Condicionadores do solo.....	18
3	Material e Métodos	22
3.1	Unidades solo em estudo	22
3.2	Área de coleta amostras de solo	25
3.3	Preparação das amostras e análises físico-químicas	28
3.4	Simulador de chuva e sua calibração	29
3.5	Dispositivos de suporte das amostras sob simulação.....	31
3.6	Preparação dos solos a serem ensaiados	33
3.7	Definição dos tipos de tratamento	35
3.8	Parâmetros determinados nas simulações	37
3.8.1	Amostras de escoamento superficial e sedimento em suspensão	37
3.8.2	Coeficiente de escoamento.....	40
3.8.3	Concentração de sedimentos suspensos.....	40
3.8.4	Amostras de sedimento de frente	40
3.8.5	Perda de solo.....	41
3.8.6	Erodibilidade	42
3.8.7	Amostras de salpico.....	42
3.8.8	Destacabilidade	43
3.8.9	Intensidade da precipitação simulada	43
3.8.10	Eficiência	44
3.9	Análises estatísticas	44
4	Resultados e discussão	45
4.1	Precipitação das chuvadas.....	45

4.2 Síntese dos resultados da ANOVA.....	46
4.3 Escoamento superficial	46
4.4 Coeficiente de escoamento	49
4.5 Salpico	50
4.6 Destacabilidade.....	51
4.7 Perda de solo	53
4.8 Concentração de sedimentos em suspensão	54
4.9 Concentração de sedimentos global.....	55
4.10 Erodibilidade	56
4.11 Destacabilidade x Erodibilidade.....	58
5. Conclusões.....	61
5.1 Escoamento	61
5.2 Destacabilidade.....	61
5.3 Erodibilidade	62
REFERÊNCIAS	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Horizontes do solo. Fonte: USDA, 2015.....	6
Figura 2. Tipos de solo do NE de Portugal. Fonte: Adaptado de Figueiredo (2001).....	7
Figura 3. Distribuição dos solos em Portugal. Fonte: Figueiredo et al. (2000b).....	7
Figura 4. Espessura do solo do NE de Portugal. Fonte: Adaptado de Figueiredo 2013.	10
Figura 5. Carência de água no solo. Fonte: Adaptado de Figueiredo (2013)	10
Figura 6. Pedregosidade dos solos do NE de Portugal. Fonte: Adaptado de Figueiredo (2013)	11
Figura 7. Declive médio do NE de Portugal. Fonte: Adaptado de Figueiredo (2013)...	11
Figura 8. Aptidão dos solos do NE de Portugal. Fonte: Adaptado de Figueiredo (2001)	12
Figura 9. Utilização actual dos solos do NE de Portugal. Fonte: Figueiredo (2013)	12
Figura 10. Efeito “Splash”. Fonte: Guerra, 1998.....	15
Figura 11. Erosão Laminar. Fonte: Defra, 2010.	15
Figura 12. Erosão em sulcos. Fonte: Neil Bradfield (?.)	15
Figura 13. Erosão em Ravinas. Fonte: Denis Aparecido Valério, 2014.	15
Figura 14. Estrutura química da Acrilamida e Poliácridamida. Fonte: Almeida (2008)..	21
Figura 15. Poliácridamida aniônica. Fonte: Solo Stocks [?].....	21
Figura 16. Pontos de coleta dos solos. Fonte: Adaptado de Google Earth (2019)	25
Figura 17. Coleta de amostra deformada para simulação	27
Figura 18. Coleta de amostra não deformada.....	27
Figura 19. Solo escavado para coleta. Fonte: O autor (2018)	27
Figura 20. Simulador de Chuva. Fonte: O autor (2018).....	30
Figura 21. Estrutura de suporte para o ensaio.	32
Figura 22. Recipiente dos solos.....	32
Figura 23. Amostras sob ensaio. Fonte: O Autor (2018)	32
Figura 24. Placa metálica de colheita de salpico.....	33
Figura 25. Solo em processo de saturação. Fonte: O Autor (2018).....	34
Figura 26. Solo com PAM. Fonte: O autor (2019)	35
Figura 27. Medição do volume de escoamento superficial. Fonte: O autor (2019)	38
Figura 28. Gráfico de interpolação das alturas para obtenção da equação de volume	38
Figura 29. Partículas não arrastadas pelo escoamento superficial. Fonte: O autor (2019)	41
Figura 30. Recipientes de salpico e sedimento de frente. Fonte: O autor (2019)	41
Figura 31. Comportamento do escoamento superficial, no solo original, à presença da matéria orgânica	47
Figura 32. Comportamento do escoamento com CO à presença da matéria orgânica	48
Figura 33. Comportamento do escoamento com PAM à presença da matéria orgânica	48
Figura 34. Escoamento superficial nos solos por simulação.	48
Figura 35. Efeito dos tratamentos no CE dos solos.	50
Figura 36. Resultado do Salpico dos solos e dos efeitos dos tratamentos. Tratamentos (Legenda) e Solos (eixo horizontal) seguidos de letras diferentes apresentam diferenças significativas entre si (LSD, 5%)	50
Figura 37. Reação da destacabilidade dos solos aos tratamentos aplicados.	52
Figura 38. Eficácia dos tratamentos em relação a destacabilidade.	52
Figura 39. Resultado de perda de solo dos tratamentos submetidos. Tratamentos (Legenda) e Solos (eixo horizontal) seguidos de letras diferentes apresentam diferenças significativas entre si (LSD, 5%)	53

Figura 40. Resultados da concentração de sedimentos suspensos e as reações aos tratamentos aplicados.....	54
Figura 41. Resultado da reação dos solos aos tratamentos aplicados. Legendas com letras diferentes significam diferenças significativas, entre solos e tratamentos.....	56
Figura 42. Reação da erodibilidade dos solos submetidos aos tratamentos. Legendas com letras diferentes significam diferenças significativas, entre os tratamentos.	57
Figura 43. Comparação das eficiências dos tratamentos aplicados sobre a erodibilidade.	57
Figura 44. Relação Destacabilidade / Erodibilidade dos solos entre os tratamentos...	58
Figura 45. Comparação de eficácia dos tratamentos quanto a destacabilidade e erodibilidade	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Representatividade dos solos selecionados no NE de Portugal	23
Tabela 2. Classificação de susceptibilidade à erosão	23
Tabela 3. Análises físico-químicas dos solos mais erodíveis.	28
Tabela 4. Análises químicas dos solos mais erodíveis.....	28
Tabela 5. Classificação da permeabilidade dos solos (SCS/USDA, 1985).....	29
Tabela 6. Características físicas médias dos solos tratados	29
Tabela 7. Características do Composto orgânico utilizado.....	37
Tabela 8. Intensidade das chuvadas medida em algumas simulações	43
Tabela 9. Precipitação média (mm/h) das simulações por solo e tratamento.	43
Tabela 10. Resultados de energia cinética de Ramos (2008)	45
Tabela 11. Resultados estimados da EC real e Ei30 das gotas de chuva.....	45
Tabela 12. Resultados dos parâmetros submetidos a ANOVA	46
Tabela 13. Valores de escoamento superficial (mm) dos ensaios nos diferentes tratamentos.....	46
Tabela 14. Relação do Escoamento x Porosidade e Matéria orgânica	47
Tabela 15. Valores do Coeficiente de escoamento nos solos por tratamento.	49
Tabela 16. Valores de salpico (g/m ³) por solo e tratamento	51
Tabela 17. Resultados da destacabilidade (g/m ² .mm) dos solos por tratamento.....	52
Tabela 18. Resultados da perda de solo (g/cm ³).....	54
Tabela 19. Valores de médias e desvio padrão dos resultados de Concentração de sedimentos em suspensão (g/L)	55
Tabela 20. Resultados de CSg (g/L) dos solos ensaiados	56
Tabela 21. Valores da erodibilidade dos solos nos tratamentos aplicados.....	57
Tabela 22. Relação erodibilidade e matéria orgânica.....	58
Tabela 23. Relação destacabilidade / erodibilidade	59
Tabela 24. Relação de eficácia dos tratamentos sobre destacabilidade / erodibilidade em %	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Tipos de condicionadores do solo	19
Quadro 2. Classificação dos solos selecionados para o estudo.....	22
Quadro 3. Classificação das zonas climáticas de acordo com temperatura e precipitação médias anuais.....	23
Quadro 4. Informação genérica sobre os solos selecionados para o estudo.....	24
Quadro 5. Caracterização dos solos em campo.....	26
Quadro 6. Tratamentos designados para cada tipo de solo.	36
Quadro 7. Tratamentos das amostras a ensaiar.	36

1 Introdução

O solo, assim como os outros elementos (água, fogo e ar), tem extrema importância em toda história e no cotidiano da humanidade, assim como aponta Rezende (2015) – discordando de vários historiadores quando diziam que o marco da evolução da espécie seria a invenção da escrita – ao considerar que este marco acontece no momento em que o ser humano se capacita a explorar os recursos disponibilizados pelo solo.

Soil Survey Staff (1999, 2010) define solo como um composto de sólidos (minerais e matéria orgânica), líquidos e gases que ocorre à superfície da terra, ocupa espaço e é caracterizado por um ou ambos dos seguintes critérios: tem horizontes ou camadas, diferenciadas pela composição, em resultado das adições, perdas, transferências e transformações de energia e matéria ou tem a capacidade para suportar plantas enraizadas em ambiente natural.

Um dos principais agentes formadores do solo, o intemperismo, pode ser considerado uma erosão em escala geológica, ou seja, quando o tempo de degradação do recurso se equivale ao tempo de formação deste, dando forma ao relevo e as características do solo (Bertoni & Lombardi Neto, 2010). Entretanto, mesmo sendo um processo natural, há também a forma acelerada e agressiva do processo erosivo, causada por uma intensa intervenção antrópica (Guerra et al., 2013), aliada à um mal uso e ocupação do solo sem preocupação com as práticas conservacionistas (Wadt, et al., 2003).

A erosão dos solos e a consequente perda de seus processos, funções e serviços, geram inúmeros prejuízos para a sociedade, desde o empobrecimento mineral, perda de biodiversidade, o assoreamento e contaminação de corpos hídricos e até a necessidade de supressão de vegetação para a exploração de novas áreas produtivas (de Andrade et al. 2010). Dentre todos os tipos de erosão, a mais preocupante é a erosão hídrica (Guerra, et al., 2014), desde o contato direto do solo com a chuva, até a formação de grandes enxurradas pelo escoamento superficial pós precipitação (De Ploey, 1983).

O solo é um recurso natural e não renovável à escala da vida humana (Figueiredo, 2013). Portugal é considerado o país do sul da Europa com solos que contem maior risco de erosão e degradação deste recurso (Giordano et al., 1991). Segundo Alves et al. (2007), isso se dá, principalmente, pelo clima mediterrâneo, o qual Portugal está localizado, na maioria do território há pouca humidade e temperaturas elevadas, em relação a outros países europeus, que acarreta em uma mineralização de forma mais rápida neste recurso, que logo, resulta em solos com baixos níveis de

fertilidade e pouca disponibilidade de nutrientes. Diante disso, fica clara a importância de se obter conhecimento de forma antecipada, para agir preventivamente com corretos usos e manejos deste tipo de recurso em suas respectivas localidades (Aquino et al., 2007). Os solos do NE de Portugal, área de estudo, tem como o tipo de erosão principal, que causa de degradação deste recurso, a erosão hídrica, o que conduz em uma classificação de risco de potencial degradação severa destes solos (Figueiredo et al., 2015). O estudo em questão tem como objetivo analisar a erodibilidade dos solos do Nordeste de Portugal a partir de simulação de chuva e logo, submeter os solos considerados mais erodíveis a tratamentos com condicionadores, um corretivo orgânico e outro sintético, logo, avaliando a eficácia destes sobre os solos.

Este trabalho está estruturado com fundamentação teórica, visando mostrar uma perspectiva do NE de Portugal, erosão hídrica e condicionadores do solo, posteriormente, apresenta-se os materiais e métodos utilizados, com os tópicos que abordam as unidades de solo, a preparação das amostras, o simulador utilizado e os parâmetros medidos. Em sequência é discutido os resultados obtidos no estudo, abrangendo as medições nas simulações e os indicadores utilizados, seguindo da conclusão dos resultados, finalizando com a lista de referências.

2 Fundamentação Teórica

2.1 Solos

Há várias definições para o recurso solo de diferentes autores e organizações, desde as mais detalhadas as mais simples. Frey e Nielsen (1984) relatam que a terra é muitas coisas para muitas pessoas. Para a Soil Science Society of America (2008) o solo é o material não consolidado, mineral ou orgânico, existente à superfície da terra e que serve de meio natural para o crescimento das plantas. Já a COM (2006) define da seguinte forma: “O solo é geralmente definido como a camada superior da crosta terrestre, formada por partículas minerais, matéria orgânica, água, ar e organismos vivos. O solo constitui a interface entre a terra, o ar e a água e aloja a maior parte da biosfera.” Há também a definição e a importância do solo para as diferentes ciências que o estudam. Para a geologia o solo é o resultado do intemperismo, físico ou químico, da rocha, já para a engenharia civil, solo é um material de sustentação para estruturas e, para a agronomia, o solo é uma camada detentora de recursos, capaz de sustentar outras formas de vida (Oliveira e Brito, 1998).

As pessoas consideram o solo importante porque ele sustenta plantas que fornecem alimentos e suprem outras necessidades dos humanos (Soil Survey Staff, 2014). COM (2006) complementa esse pensamento afirmando que o solo ainda tem funções de armazenagem de genes e carbono e desempenha papel imprescindível como habitat e que, por isso, reforça a ideia da importância da proteção desse recurso.

2.2 Horizontes do solo

O solo é produto de degradação, de material de origem pelo intemperismo e de resíduos orgânicos por organismos contidos no solo e de processos de agredação de novos complexos, como a formação de novos minerais e estabilização do material orgânico-mineral, o resultado destes processos se dá na formação em contrastes no solo, chamada horizontes do solo (Brady & Weil, 2010).

Para Lespach (2010) estes horizontes são separados, do mais superficial ao mais profundo, pelas letras: O, A, E, B e C. O horizonte O, ou o chamado solo orgânico, por Brady & Weil (2010), é formado pela junção da parcela orgânica e da parte mais superficial do solo.

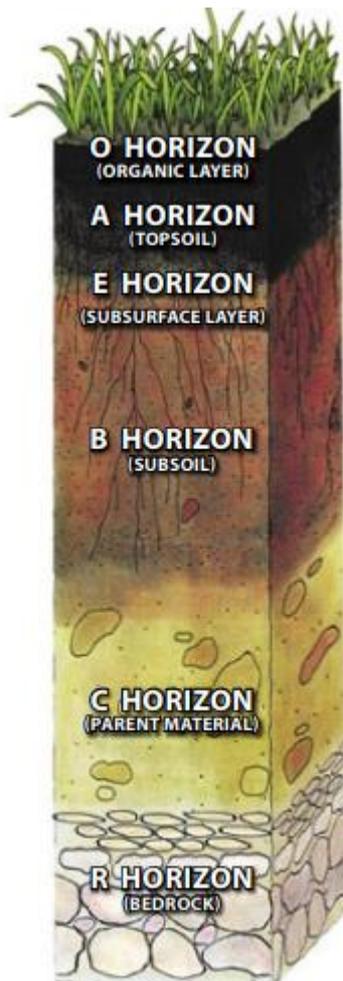


Figura 1. Horizontes do solo.
Fonte: USDA, 2015

Ainda para os autores, a decomposição do horizonte acima, com a percolação de água, concomitante a interação com minerais do solo, forma-se o solo mais próximo da superfície com domínio de minerais, porém tem mudança de cor devido à grande presença de matéria orgânica, é o chamado horizonte A.

Logo abaixo, o horizonte E, é identificado por ser formado a partir de solos intensamente lixiviados e intemperizados e, em solos que sofreram pouca erosão, há a presença do horizonte B, que possui mais partículas primárias, como limo e areia (Lepsch, 2010; Brady, N. C. & Weil, R. R., 2010).

Logo após, Singer & Munns (2002), consideram o horizonte C, uma parte do solo que não foi modificada e ainda contém mais características do material de origem daquele solo, acima da rocha matriz, horizonte R.

2.3 Solos do NE de Portugal

Segundo Agrosconsultores e Coba (1991), a maior parte dos solos do Nordeste são resultado de materiais de alteração e desagregação de rochas consolidadas, o restante são advindos de materiais não, ou pouco consolidados, de aluviões acumulados ou acumulados por colúviação. Figueiredo (2001), diz que o Leptossolo, é o tipo de solo mais recorrente no nordeste de Portugal. Para Agrossolos e Coba (1991), essa presença se faz principalmente pelo tipo de relevo da região de Trás-os-Montes, o qual, o autor destaca ser um relevo bastante movimentado, resultando em um solo com pouca espessura, seja consequente de pouca meteorização do material originário, devido a uma taxa de infiltração reduzida, ou por uma elevada erosão, advinda da grande quantidade de água que escoia superficialmente. Em menor proporção estão os Cambissolos, que ocupam quase a metade da área que não é dominada pela presença dos Leptossolos. Os antrossolos, mais presentes na área do vale do Douro, é o terceiro solo mais presente na região. Os Luvissolos, Alissolos e Pódzois também se fazem

presentes, mesmo que em quantidade quase que mínima, como mostra a figura, a seguir:

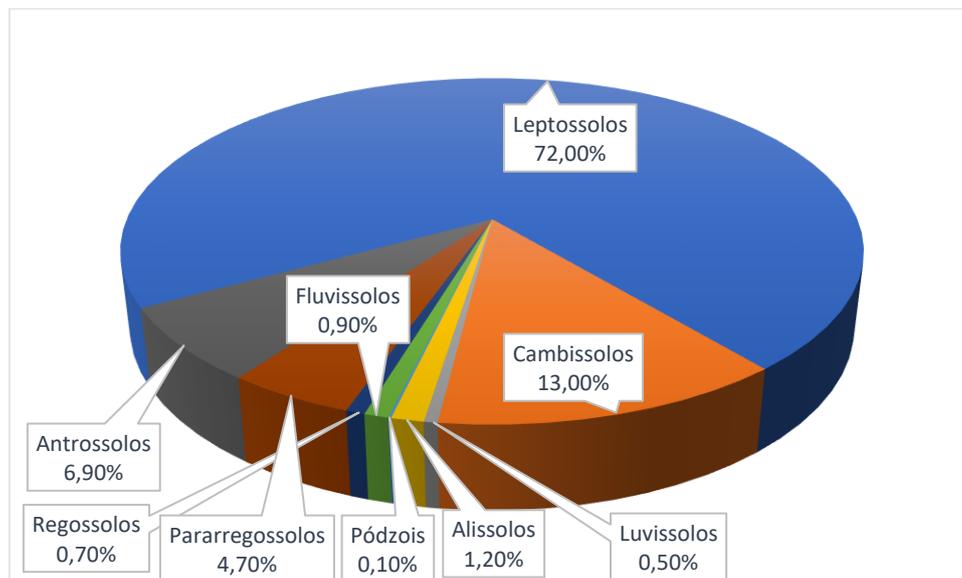


Figura 2. Tipos de solo do NE de Portugal. Fonte: Adaptado de Figueiredo (2001)

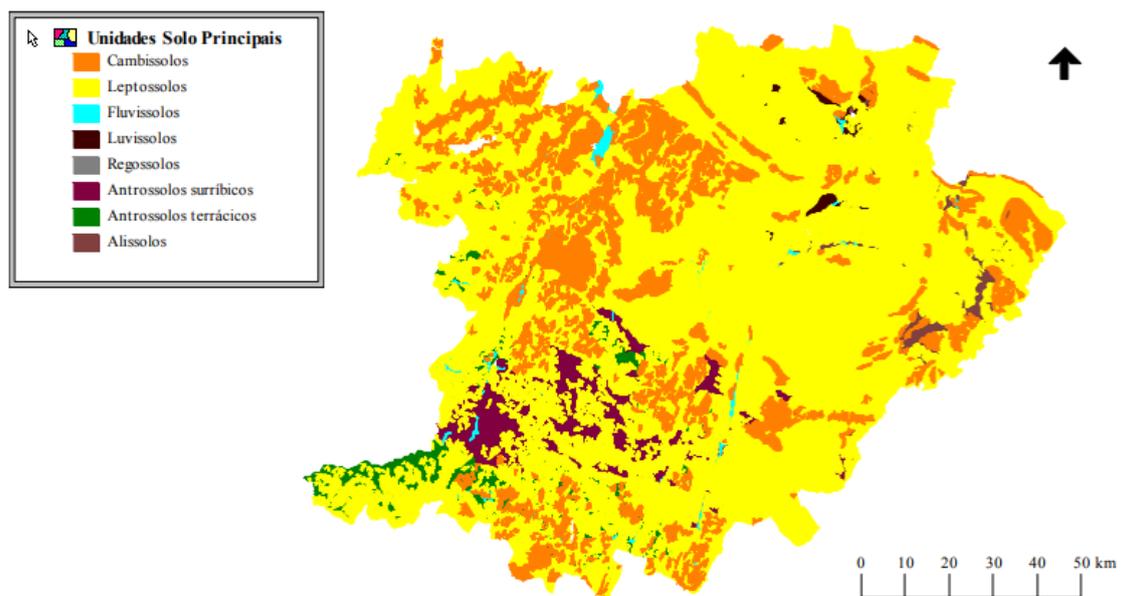


Figura 3. Distribuição dos solos em Portugal. Fonte: Figueiredo et al. (2000b)

A Figura acima remete, ainda, sobre a distribuição dos solos no NE de Portugal e evidencia a disparidade e a dominância da presença de Leptossolos nesta área.

2.4 Fatores de formação do solo

O solo é desenvolvido por diversos factores de formação, entre eles estão: clima, relevo, material de origem, organismos (vegetação e homem) e tempo (Costa, 1999; Lepsch, 2010). Segundo Figueiredo (2013), o clima influencia a taxa de meteorização das rochas e Agroconsultores e Coba (1991) ainda diz que o clima é

definidor dos regimes de humidade e de temperatura do solo, da ação erosiva da precipitação e transporte do material desagregado, afetando a espessura do solo e a pedregosidade deste, o que para Figueiredo (2013) pode-se relacionar pedregosidade com risco potencial de erosão, considerando a grande quantidade de solos pedregosos na região, principalmente os oriundos de granitos e depósitos sedimentares.

A influência do material de origem é vista quanto a granulometria do solo, refletindo a resistência da rocha matriz a erosão, onde, na área de estudo, a granulometria aumenta em direção as rochas mais ácidas (xistos e granitos) e as suas concentrações de ácidos e bases, visto que na região, xistos e granitos dão origem a solos mais dístricos, enquanto rochas básicas originam os êutricos (Figueiredo, 2013). Em relação aos organismos, Agroconsultores e Coba (1991) fazem relatos quanto a vegetação, que esse fator tem importância, principalmente, no teor de matéria orgânica presente, que se explica pela mineralização dos componentes orgânicos e erosão biológica da rocha matriz, que para os autores, a vegetação ainda é um fator importante para conservação do solo, tendo função de uma camada de proteção a chuvadas, pois, amortecem as gotas diminuindo a força cinética destas e deste fator também podem formar composições de novos agregados. No Nordeste o teor de matéria orgânica é maior em culturas de incultos, florestas e pastagem (Figueiredo, 2013). A ação antropogênica modifica as características físicas, químicas e biológicas do solo e altera a evolução deste, com pastoreio, agricultura e seus manejos, e a exploração desordenada do recurso (Agroconsultores e coba, 1991).

O relevo, fator importante na formação do solo, devido a facilitação, ou não, da ação de agentes erosivos, que, no caso da região de Trás-os-Montes, é um fator muito expressivo, já que os solos regionais se encontram em estado de morfogénese ou pedogénese, contando também com a instabilidade do solo, oriunda da ação dos agentes erosivos já identificados na região que, além de reduzir a espessura útil dos solos, aumenta a pedregosidade superficial, visto que este cenário se faz diretamente proporcional a instabilidade de solos. (Figueiredo, 2013).

Agroconsultores e Coba (1991) resumem os solos do Nordeste de Portugal da seguinte forma:

- “O solo possui uma acumulação elevada de matéria orgânica nos perfis superiores, principalmente em áreas húmidas e frias, com precipitação superior a 800/1000 mm e atitude acima de 700m, o que se enquadra nos solos de regime údico”;

- “Considerável variação de teor de bases, consequente dos processos de lixiviação e desintegração em função do regime de precipitação e temperatura, com baixos valores em regiões mais húmidas (15-20%) e altos (> 50%) nas regiões mais áridas ou em áreas com presença de rochas básicas”;
- “Transporte e deposição excessiva de argila em áreas que o regime de humidade dos solos é predominantemente xérico ou em regiões mais quentes e secas”;
- “Crescente desenvolvimento de horizontes argílicos, principalmente, advindos da erosão de horizontes superiores ricos em argila, predominante em zonas de regime mediterrâneo”;
- “Erosão facilitada pelo cenário existente do relevo que é predominantemente acidentado, pelo regime de precipitações e pela degradação da cobertura vegetal, evidenciada pelo tipo de manejo desordenado da região”;
- “Alterações profundas do perfil do solo devido ao mal uso e exploração dos recursos, principalmente nas lavouras”.

2.5 Aptidão dos solos do NE de Portugal

As cartas de solos do Nordeste de Portugal, por Agorconsultores e Coba (1991) seguida das legendas recomendadas por FAO/UNESCO (1988), discriminaram as aptidões destes em três tipos de usos: uso para agricultura, pastagem melhorada e exploração florestal.

Diante do cenário exposto pelos autores nas cartas de solo, Figueiredo (2013) aborda a evidente limitação dos solos do NE para usos agrícolas e florestais. O autor considera o seguinte conjunto de parâmetros, citados na Carta de Aptidão das Terras do Nordeste de Portugal (Agroconsultores e Coba, 1991):

- Espessura do solo: No NE cerca de 74% dos solos estão em condições de 10 a 50 cm de profundidade (Figura 4), panorama que compromete as condições de crescimento da vegetação;

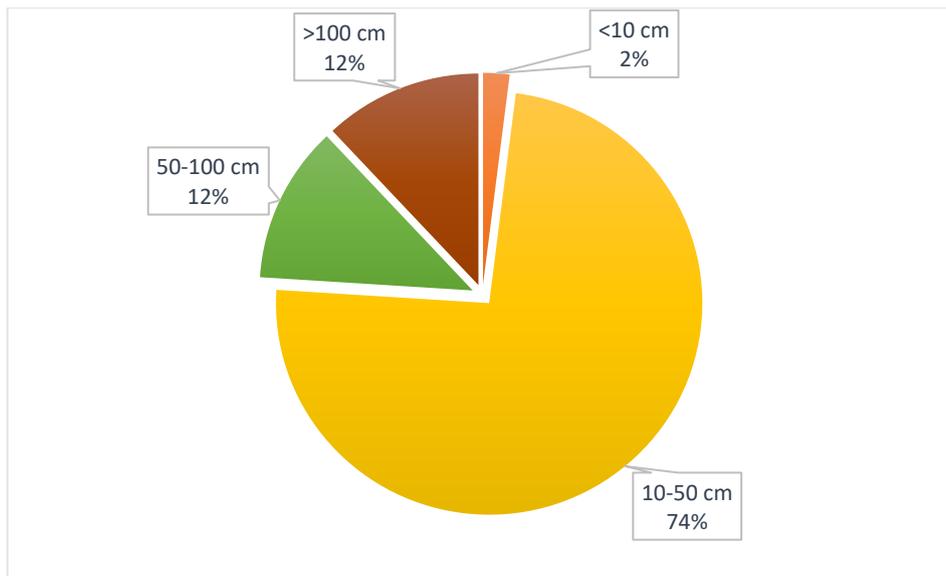


Figura 4. Espessura do solo do NE de Portugal. Fonte: Adaptado de Figueiredo 2013.

- Carência de água no solo: aproximadamente 50% dos solos do NE têm deficiência em retenção de água por, no mínimo, 4 meses, considerada elevada (Figura 5) em decorrência da pequena espessura dos solos da região, limitando o armazenamento de água deste;

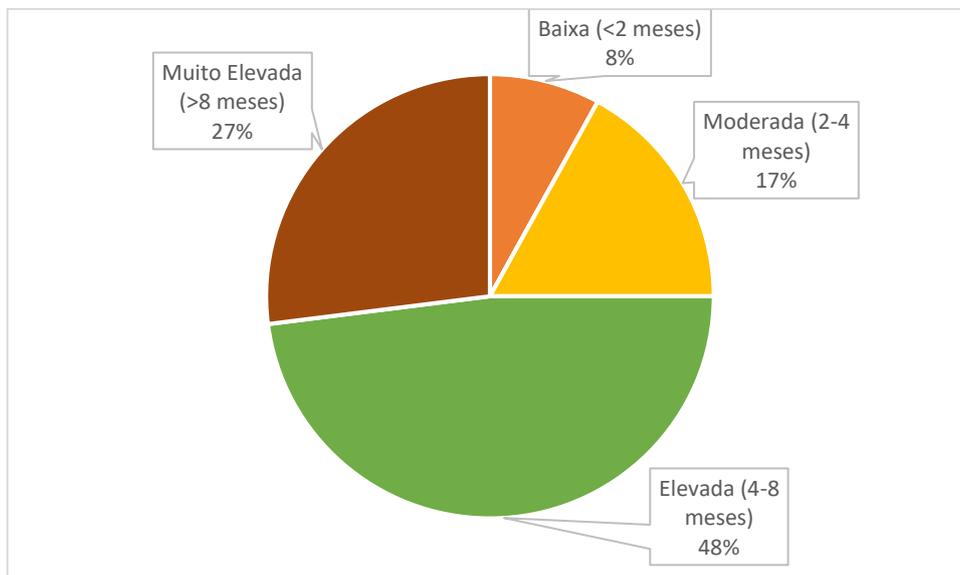


Figura 5. Carência de água no solo. Fonte: Adaptado de Figueiredo (2013)

- Pedregosidade: 84% dos solos do NE são classificados por Kellogg (1937), no mínimo, como pedregosos. Estes possuem acima de 15% de elementos grosseiros em sua composição (Figura 6), cenário que coloca estes solos no patamar de instáveis e passíveis de erosão, além de inviabilizar as práticas de plantio na região;

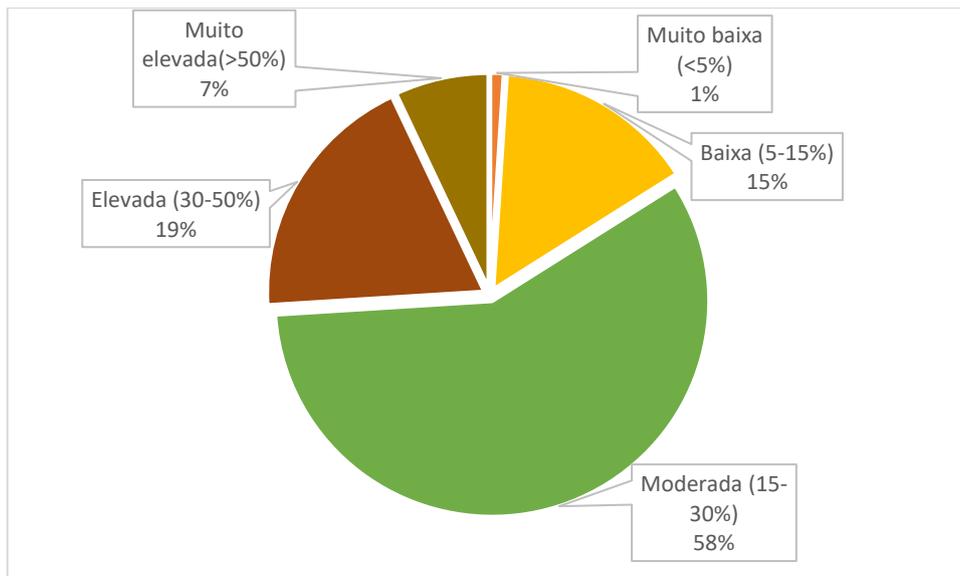


Figura 6. Pedregosidade dos solos do NE de Portugal. Fonte: Adaptado de Figueiredo (2013)

- Declive: Característica marcante da região, por ser uma região considerada mais acidentada. A maioria dos solos, cerca de 57%, possui declive acima de 12-15%, situação que não recomenda os manejos agrícolas mecanizados, podendo ainda resultar em uma exposição maior a risco de erosão do recurso.

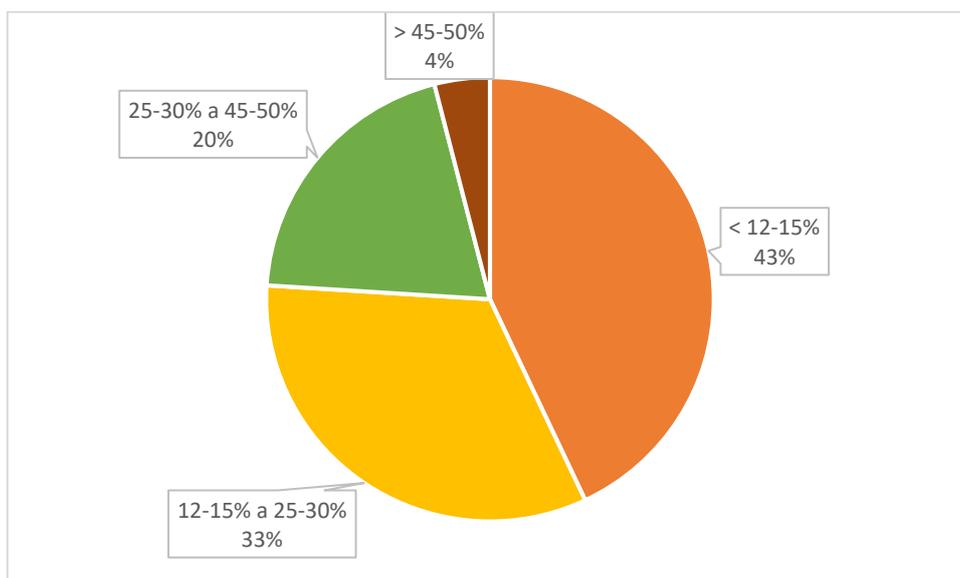


Figura 7. Declive médio do NE de Portugal. Fonte: Adaptado de Figueiredo (2013)

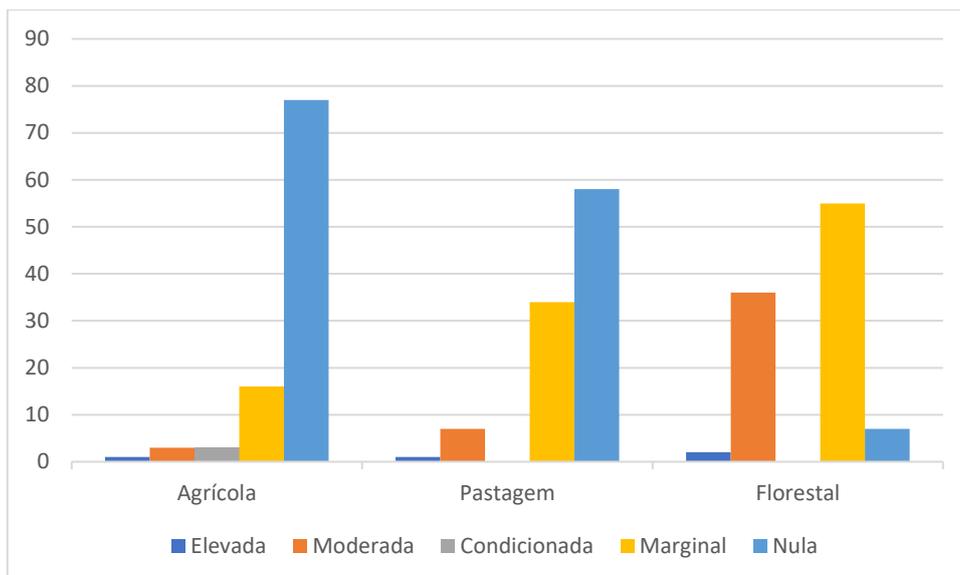


Figura 8. Aptidão dos solos do NE de Portugal. Fonte: Adaptado de Figueiredo (2001)

Figueiredo (2013), coloca que se espera o cenário de aptidão quase nulo, apenas 1%, para atividades agrícolas e de, aproximadamente, 3/5 de área inapta para pastagens (Figura 8).

2.6 Uso actual dos solos do NE de Portugal

Mesmo com a incapacidade do solo, a figura 7 mostra a disparidade da utilização e evidencia a má utilização das terras do Nordeste de Portugal (Figueiredo, 2013).

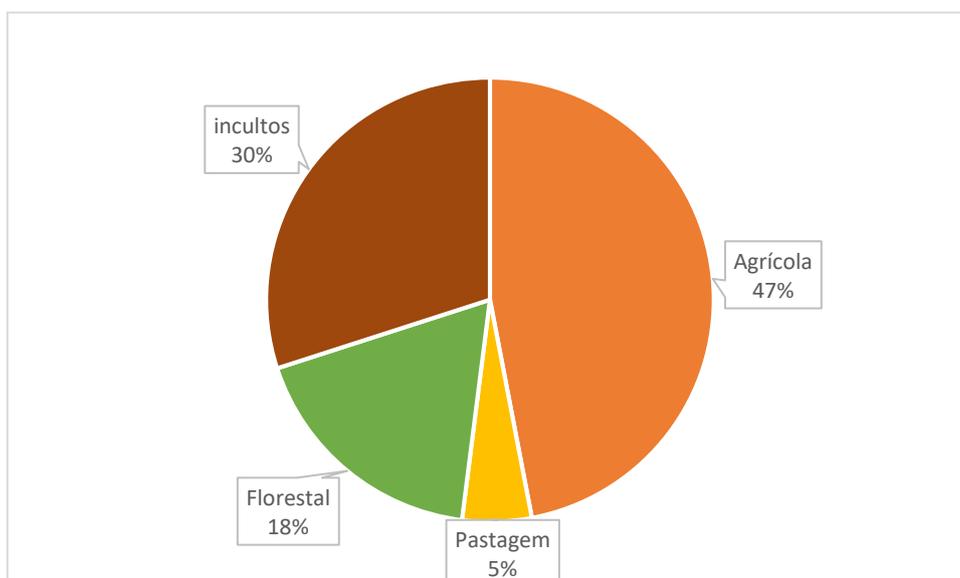


Figura 9. Utilização actual dos solos do NE de Portugal. Fonte: Figueiredo (2013)

Figueiredo (2013) sustenta o fato de que o solo é principalmente utilizado para fins agrícolas, mesmo que este tipo de manejo seja o que o solo é menos apto para suportar nesta região.

2.7 Processos Erosivos

Segundo Sharpe (1938) a erosão é um processo natural que modifica o relevo, chamada de erosão geológica por Brady e Weil (2010), que ainda completam que é um processo no qual não há intervenção humana e que, Guerra (2014) acorda dizendo que, mesmo que a erosão dos solos seja um processo natural, a atividade humana tem um papel importante sobre a aceleração deste evento. Imeson e Curfs (?) reforçam essa ideia quando dizem que os factores mais importantes para este tipo de processo são o uso e as práticas de gestão da terra.

O processo de erosão, por Morgan (2005), divide-se em três fases: destacamento, transporte e deposição. Os tipos de processos erosivos são identificados por Ellison (1948) e Imeson & Curfs (2008), principalmente por erosão eólica e hídrica. Já Zachar (2011) considera além desses, os seguintes processos:

- Erosão Glacial;
- Erosão da neve;
- Erosão orgânica;
- Erosão animal ou antropogênica.

Morgan (2005) e Zachar (1982), mencionam que os fatores que controlam a erosão do solo são a erosividade do agente erosivo, geralmente relacionada a erosão hídrica; a erodibilidade do solo (a resistência do solo ao desprendimento das partículas e o transporte destas); a inclinação do local, normalmente, quanto maior a inclinação maior a erosão; e a cobertura vegetal, que possui funcionalidade de camada protetora do solo, principalmente, dissipando a energia cinética da chuva.

2.7.1 Erosão hídrica

Dentre os tipos dos processos erosivos conhecidos o tipo de erosão mais ativo na degradação do solo e, portanto, o mais preocupante, é a erosão hídrica que, segundo Oldeman (1992), este tipo de processo é responsável por 56% da degradação dos solos. Segundo Figueiredo (2015), a erosão hídrica dos solos, a andamento geológico, é um processo natural e decisivo para a formação do relevo. Todavia, a intervenção humana, principalmente a partir de um o mal uso e conservação do recurso solo, tende a acelerar esse tipo de erosão (Wadt, et al., 2003; Meneses, 2011), criando um cenário propício à implicações para os recursos locais, modificação da paisagem, perda e degradação do

solo e, a jusante, podendo atingir à um corpo hídrico modificando a qualidade original da bacia hidrográfica (Figueiredo, 2015).

Conforme Bertoni & Lombardi-Neto (1990) e Lima (2010), a erosão hídrica tem início na precipitação quando o impacto da água, direto ou indireto, com o solo, faça com que algumas partículas se desprendam deste, com o efeito “*splash*” ou salpico (Figura 10).

O processo em seguida pode ser explicado por duas teorias, pelo mecanismo hortoniano de Horton (1947), e por Beven & Kirkby (1979) sobre áreas de afluência variável, onde, a partir destes, tem-se entendido que com o acúmulo de água no solo e a sua conseqüente saturação em algumas uniformidades do relevo, criam-se poças de água, o que possibilita o escoamento superficial da água em excesso, fazendo com que as partículas desprendidas sejam carreadas pela vertente, chamada erosão laminar (Figura 11) e depositadas em uma área de com menor grau de declive ou quando a quantidade de material transportado excede a capacidade de transporte (Minella et al, 2015). Morgan (2005) e Imeson e Curfs (2008) dão nomes aos processos citados. Eles dividem os tipos de erosão hídrica em:

- Erosão de Splash;
- Erosão Laminar;
- Erosão em sulcos;
- Erosão em ravinas.

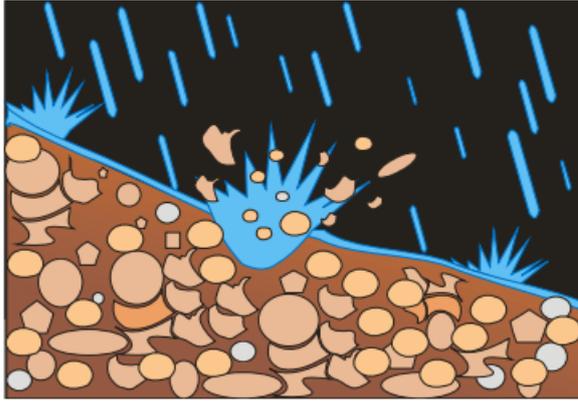


Figura 10. Efeito "Splash". Fonte: Guerra, 1998.



Figura 11. Erosão Laminar. Fonte: Defra, 2010.



Figura 12. Erosão em sulcos. Fonte: Neil Bradfield (?.)



Figura 13. Erosão em Ravinas. Fonte: Denis Aparecido Valério, 2014.

Segundo Lima (2010) e Figueiredo (2015), fatores físicos como: clima (erosividade do agente erodente), o tipo de solo (erodibilidade), a topografia da região e o uso e ocupação do solo são determinantes para a aceleração, ou redução da ocorrência desse fenômeno.

2.8 Métodos de avaliação da erosão

Diante deste cenário, Foster et al (1982) diz que as pesquisas sobre perdas de solo por processos erosivos têm como objetivo mensurar o quanto cada fator influencia no processo, permitindo a estimativa de perdas de solo e, com isso, elaborar planos de manejos adequados para as respectivas áreas. Para Morgan (2005), medir a erosão no terreno para todo estudo é impossível, assim, os modelos de equação se mostram necessários, simplificando a realidade para tomadas de decisões que não seriam possíveis caso fossem feitas as medições em campo.

Dentre os modelos utilizados, como SLEMSA (The Soil Loss Estimator for Southern Africa) e Finney method de Morgan (1984), as mais comuns e eficientes são a Universal Soil Loss Equation (USLE) por Wischmeier et al. (1971) e sua forma mais atualizada, a Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Segundo Renard (1997),

a RUSLE tem como finalidade prever a perda de solo anual, num período, pelos vários tipos de agentes erosivos, atualizando o conteúdo dos fatores da equação da USLE. Esta, ainda, utiliza do mesmo método de cálculo da USLE para determinação da perda de solo.

A USLE, segundo Wischmeier et al (1975) quantifica a erosão do solo pelo produto de seis fatores, entre intrínsecos e extrínsecos, representados pela equação (1), a seguir:

$$A: R K L S C P \quad (1)$$

onde:

- A: Perda média de solo por unidade de área por unidade de tempo;
- R: Fator erosividade da precipitação e escoamento superficial ($\text{MJ ha}^{-1} \text{mm h}^{-1}$);
- K: Fator Erodibilidade do solo ($\text{MJ ha}^{-1} \text{mm h}^{-1}$);
- L: Fator de comprimento da encosta (m);
- S: Fator da inclinação da encosta (%);
- C: Fator práticas de manejo de cobertura vegetal;
- P: Fator práticas conservacionistas do solo.

Morgan (2005) menciona que, a USLE, foi desenvolvida como ferramenta para a conservação do solo, entretanto, pela sua simplicidade, constantemente ela tem sido utilizada também para pesquisas.

2.8.1 Erodibilidade

Relacionada diretamente com a interação dos fatores físicos, químicos e biológicos, a erodibilidade do solo, por Lal (1994), é a susceptibilidade do solo em ser desprendido, degradado ou destacado e, logo, transportado pelos agentes erosivos.

Representada pelo “K” na USLE e RUSLE, o fator K é o único que engloba parâmetros intrínsecos na equação, expressando o resultado do comportamento de um solo desnudo, portanto, sem cobertura vegetal, sob condições de topografia de referência, em perda de solo por unidade de erosividade da precipitação, com isso, resultando na susceptibilidade do solo à erosão. O fator K, que representa a erodibilidade do solo, é geralmente estimado por equações matemáticas devido à dificuldade de obtenção do valor deste em experimentos (Correchel, 2003).

Conforme Lombardi Neto & Bertoni (1975), este fator demonstra o resultado dos solos em um cenário que os outros fatores, extrínsecos, permanecem num estado que permitem erosões constantes, sobretudo, os que afetam a resistência do solo, a desagregação, a capacidade de infiltração e a permeabilidade do solo. A resistência do

solo depende das características físicas, químicas, biológicas e do cenário em que o solo está localizado, declive do talude, uso e ocupação e cobertura vegetal (Correchel, 2003).

Dentre as propriedades físicas do solo, a textura, estrutura e permeabilidade são imprescindíveis ao assunto erodibilidade. A textura do solo indica quanto de solo poderá ser desagregado do conjunto. Segundo Resende (1985) e Figueiredo (2015) as partículas mais finas do solo tendem a ser mais facilmente carregadas pelos agentes erosivos. Os solos que apresentam maior porcentagem de limo, por ser a parte de menor granulometria do solo, são solos com maiores tendências de serem erodidos (Figueiredo, 2015).

Correchel (2003) coloca que quanto maior a estabilidade de agregados em água, maior será a permeabilidade dos solos, consigo, é menor o potencial de desprendimento, o arraste e o carregamento das partículas do solo, ou seja, quanto maior a taxa de infiltração, menor quantidade de escoamento superficial. A autora ainda coloca que a matéria orgânica modifica a estrutura do solo, criando mais espaços, potenciando numa maior retenção de água no interior deste. Figueiredo (2015) complementa o raciocínio dizendo que a matéria orgânica facilita a criação de agregados mais estáveis, aumentando a resistência do solo à erosividade das chuvadas.

2.9 Métodos de proteção e prevenção a erosão

Para Guerra (2007), deve-se levar em conta todo o contexto do cenário em que o solo está localizado, em relação a ambiente socioeconômico e ambiental, para a escolha das práticas conservacionistas. Segundo o autor as práticas devem ser feitas de modo simultâneo, para que não só previna parcialmente este tipo de processo erosivo.

Morgan (2005) cita que a estratégia para conservação do solo para este tipo de eventualidade, deve ser baseada na seguinte linha de pensamento:

- Proteger o solo do impacto das chuvadas com cobertura vegetal;
- Aumentar a capacidade de infiltração, reduzindo o escoamento superficial;
- Melhorar a estabilidade dos agregados do solo;
- Aumentar a variação de rugosidade do solo para diminuir a velocidade do escoamento superficial.

Estes tipos de práticas são classificados no âmbito da prevenção e correção, com medidas de controle da água de escoamento e da manutenção do solo, abrangendo uma série de possíveis medidas (Carvalho, 2006):

- Medidas preventivas: Visa prevenir que algum tipo de agente erosivo danifique o solo em questão;
- Medidas corretivas: Tem como objetivo minimizar os impactos que já foram causados por esses agentes;
- Medidas de estabilização: Propõe equilibrar a etapa da erosão existente, impedindo que avance mais o seu estado;
- Medidas de recuperação: Reabilita a área afetada permitindo que as funções desempenhadas, anterior ao cenário atual, voltem ao seu estado natural.

Morgan (2005), cita sobre as práticas mecânicas, ou físicas, de métodos edáficos, ou agrícolas e de manejo do solo. As práticas mecânicas manipulam a estrutura e a topografia do terreno, com o intuito de diminuir o risco de erosão, as medidas edáficas utilizam da própria vegetação para proteger o solo e não o deixar exposto a este tipo de processo. O manejo do solo visa preparar sua estrutura para o crescimento da vegetação e, assim, mais resistente à erosão. O autor ainda cita algumas práticas conservacionistas:

- Aumentar a cobertura vegetal do solo;
- Criar canais para o escoamento superficial;
- Terraceamento;
- Criar locais de armazenamento de água;
- Aumentar capacidade de infiltração.

2.9.1 Condicionadores do solo

Além desses tipos de práticas, há outras ações frequentemente feitas para melhorar as condições físicas e químicas do solo e evitar um desgaste maior pelo processo erosivo (Morgan, 2005).

O uso de condicionadores do solo se dá basicamente pela adição de produtos, proveniente de diferentes tipos de materiais orgânicos e inorgânicos e também, produzidos sinteticamente (Schamp, Huylebroec & Sadones, 1975). Sojka (2007) cita três principais tipos de condicionadores do solo:

Quadro 1. Tipos de condicionadores do solo

Tipo de condicionador	Finalidade
Materiais orgânicos naturais	<ul style="list-style-type: none"> • aumentar a capacidade de retenção e infiltração de água no solo; • melhorar a agregação; • fornecer substrato para atividades biológicas; • aumentar arejamento e resistência à compactação
Materiais inorgânicos ou minerais	<ul style="list-style-type: none"> • modificam processos químicos ou físicos do solo
Materiais sintéticos	<ul style="list-style-type: none"> • produzem interações físicas e químicas específicas no solo; • otimiza taxa de infiltração e força de coesão entre partículas do solo

Fonte: Adaptado de Sojka (2007), Leroy (2018).

No processo de recuperação de um solo, a aplicação de condicionadores, sintéticos ou naturais, se faz presente na maioria dos projetos para controlar a degradação e desertificação do solo (Maghchiche, 2010). Metzger e Yaron (1987), dizem que, a mais comum aplicação para aumentar a estabilidade de um solo é a incorporação de matéria orgânica nas camadas aráveis, porém, estudos feitos por Gabriels (1990), Bryan (1992) De Boodt (1993) e Sojka and Lentz (1994), provaram que o uso de polímeros sintéticos, como a poliacrilamida (PAM), foram efetivos mesmo quando usados em baixas concentrações.

2.9.1.1 Composto orgânico

A perda da matéria orgânica é uma característica comum entre solos com características de alta susceptibilidade à erosão. esta situação causa sérios problemas na estrutura do solo, afeta a disponibilidade de água, a agregação entre esta e o solo perdendo assim, estabilidade (Franco, et al. 1992; Duda, et al. 1999).

Franco, et al. (1991) e Montagnini & Sancho (1990), apontam que a recuperação ou proteção destes solos, pode ser feita por opções mais baratas, porém, eficazes, como a utilização de espécies leguminosas e micorrizadas associadas à adubação com compostos orgânicos, quando disponível. Kiehl (1985) cita que a aplicação de corretivos orgânicos pode influenciar algumas características físicas do solo, como, densidade aparente, estrutura, aeração, drenagem, retenção de água e consistência, diante disto, o objetivo da aplicação é visualizar o comportamento dos solos com nesta condição durante as chuvadas.

Segundo Morgan (2005) e Freire e Freire (2007), a incorporação de compostos orgânicos, como fertilizantes orgânicos, substâncias húmicas, esterco de curral, casca

de arroz e vinhaça, pode proporcionar um moderado controle no efeito das gotas de chuva, no efeito de salpico das partículas e no transporte das partículas já destacadas. Morgan (2005), ainda aponta que este condicionador oferece forte resistência ao escoamento superficial e controla, moderadamente, o destacamento advindo do escoamento.

2.9.1.2 Corretivo mineral

Segundo Rosa Junior et al. (2006), a aplicação destes tipos de condicionadores melhora as características físicas do solo, em especial, a estabilidade dos agregados. ABGE (2018), ainda coloca que este tipo de corretivo é um ótimo agente quando se trata da recuperação de áreas degradadas, auxiliando na manutenção e restauração da fertilidade do solo.

Os corretivos minerais mais comuns, geralmente, são ricos em cálcio e magnésio (EMBRAPA, [2005]). O gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), é o corretivo mineral mais utilizado dentre os disponíveis, como cloreto de cálcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), devido a sua alta solubilidade é considerado o mais eficiente, entretanto em novos estudos, o gesso aplicado de forma conjunta a um condicionador sintético (polímero) tem tido seu potencial aumentado (Sivapalan, 2002; Tang et al. 2006).

2.9.1.3 Corretivo sintético: Poliacrilamida

Os condicionadores sintéticos, criados em laboratórios, é um produto derivado da acrilamida (Figura 14) através de reações químicas (Almeida, 2008). São considerados compostos químicos de alto peso molecular e maior solubilidade em água.

Inicialmente utilizados na agricultura, os polímeros sintéticos são mais efetivos na melhoria de resistência e estabilidade de agregados (Schamp, Huylebroec & Sadones; 1975) contra a água, aumentando a coesão das partículas melhorando a estrutura física (Miller et al., 1998; Levy and Miller, 1999; Zhang, 2006; Mamedov et al., 2007).

O polímero mais usualmente utilizado, é o do tipo aniônico, que possui alto peso molecular e baixa densidade, o que requer baixas concentrações para aplicação (SIVIPALAN, 2006). A poliacrilamida (Figura 15) é o mais utilizado dentre os polímeros existentes (Almeida, 2008).

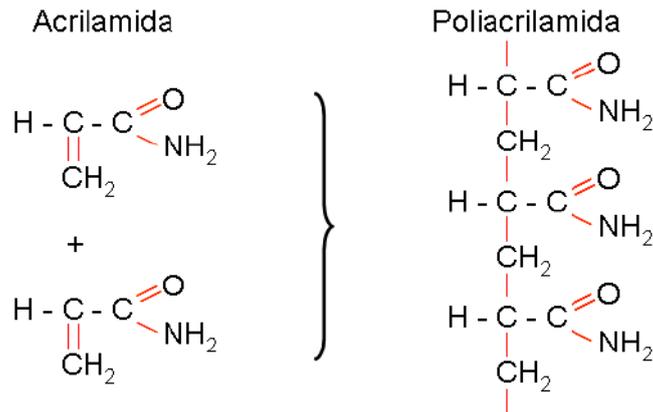


Figura 14. Estrutura química da Acrilamida e Poliacrilamida. Fonte: Almeida (2008)

De acordo com Barvenik (1994), este polímero teve suas primeiras pesquisas em meados dos anos 50, e logo, começou a ser utilizado por volta de 1980, na agricultura, para o aumentar a infiltração e diminuir a erosão demasiada nos solos, onde o condicionador já obtivera resultados significativos (Sojka, 2007).



Figura 15. Poliacrilamida aniônica. Fonte: Solo Stocks [?]

O processo de erosão do solo depende da interação das características do solo que defina sua resistência a erosão e da força do agente erosivo, no caso em questão, a água. A utilização da poliacrilamida, como agente inibidor da erosão, visa equilibrar esta relação e assim, proteger o solo (Ai-ping et al., 2011).

Em alguns estudos na aplicação do PAM obtiveram destaque no aumento da qualidade física e possibilidade de maior retenção de água (Sojka & Surapaneni, 2000; Sivapalan, 2002). Nos estudos de Trout et al. (1995) e Lentz e Sojka (2000; 2009), a presença do PAM diminuiu significativamente a erosão do solo em sulcos e Zhang e Miller (1996), apresentaram resultados semelhantes, com chuva simulada, aos estudos citados. No estudo de Alves (2018), o condicionador também se mostrou bastante efetivo em solos de áreas ardidas. Fox e Bryan (1992) apontaram resultados satisfatórios no Quênia, aplicando poliacrilamida para o controle da erosão pelo escoamento superficial.

3 Material e Métodos

3.1 Unidades solo em estudo

Para a seleção dos solos a estudar, foram considerados os seguintes critérios:

- Representação: Solos mais comuns no NE de Portugal;
- Distribuição: Solos típicos nas Zonas climáticas representadas no NE de Portugal;
- Suscetibilidade: Solos com Fator K variado, estimado por Figueiredo (1989), Lima (2016), Cavalli (2017) e Montero (2018);
- Matéria Orgânica: Solos com diferentes teores de MO; selecionados para aplicação dos tratamentos com condicionadores os com menor teor.

Aplicando estes critérios, selecionaram-se os solos apresentados no Quadro 2:

Quadro 2. Classificação dos solos selecionados para o estudo

Sigla	Solo
Bdog*	Cambissolo dístrico órtico de granitos
ldox*	Leptossolo dístrico órticos de xistos e rochas afins;
lebb*	Leptossolo êutrico câmbico de rochas básicas (metabásicas);
leox*	Leptossolo êutrico órticos de xistos e rochas afins;
lub	Leptossolo úmbrico de rochas básicas;
lug	Leptossolo úmbrico de granitos e rochas afins;
lux	Leptossolo úmbrico de xistos e rochas afins;
Uhs*	Alissolos de sedimentos detríticos não consolidados.

Fonte: Agroconsultores e Coba (1991); FAO/UNESCO (1987)

*- Solos submetidos aos tratamentos

A definição das zonas climáticas da região e a representatividade dos solos encontram-se, respectivamente, no Quadro 3 e Tabela 1.

Quadro 3. Classificação das zonas climáticas de acordo com temperatura e precipitação médias anuais

Classificação das zonas climáticas do Nordeste de Portugal	
Temperatura média anual	
A	Terra Fria de Alta Montanha, com temperatura média (T) $\leq 9^{\circ}\text{C}$
M	Terra Fria de Montanha, com $T > 9^{\circ}\text{C}$ e $T \leq 10^{\circ}\text{C}$
F	Terra Fria de Planalto, com $T > 10^{\circ}\text{C}$ e $T \leq 12,5^{\circ}\text{C}$
T	Terra de Transição, com $T > 12,5^{\circ}\text{C}$ e $T \leq 14^{\circ}\text{C}$
Q	Terra Quente, com $T \geq 14^{\circ}\text{C}$
Precipitação média anual	
1	Precipitação superior a 1200 mm
2	Precipitação entre 1000 e 1200 mm
3	Precipitação entre 800 e 1000 mm
4	Precipitação entre 600 e 800 mm
5	Precipitação abaixo de 600 mm

Fonte: Agroconsultores e Coba (1991) e Lima (2016).

Tabela 1. Representatividade dos solos seleccionados no NE de Portugal

Solo	Área (ha)
Bdog	62.195
Idox	296.164
lebb	10.158
leox	95.122
lub	10.191
lug	197.233
lux	78.177
Uhs	10.530

Fonte: Agroconsultores e Coba (1991)

Tabela 2. Classificação de susceptibilidade à erosão

Classe	Fator K	Designação
1	$<0,017$	Baixo
2	0,017 - 0,021	
3	0,021 - 0,024	
4	0,024 - 0,029	
5	0,029 - 0,035	Médio
6	0,035 - 0,040	
7	0,040 - 0,046	
8	0,046 - 0,053	Elevado
9	0,053 - 0,061	
10	0,061 - 0,069	
11	0,069 - 0,078	
12	$\geq 0,078$	

Fonte: Adaptado de Figueiredo (1989)

A partir da seleção, foi feita uma caracterização genérica dos solos em questão a partir dos critérios mencionados e pela bibliografia de Agroconsultores e Coba (1991).

Quadro 4. Informação genérica sobre os solos selecionados para o estudo

Sigla	Características comuns: Textura	Tipo de relevo	Zona climática	Fator K	Síntese
Bdog	Franco arenoso ou arenoso franco; cascalhento ou saibrento	Áreas de relevo ondulado ou muito ondulado - 4,5%	T3/F3/F4	-	Solo delgado com poucos horizontes, relevo com inclinação moderada, Clima semiárido
ldox	Franco, franco limoso ou franco arenoso, por vezes cascalhento	Muito diversificado, com declives muito variados	Q4/Q5/T4/T5	0,061 ¹	Solo delgado com poucos horizontes, relevo com inclinação moderada, clima semiárido
lebb	Franco ou franco limoso, franco argiloso; por vezes cascalhento	Áreas de relevo ondulado ou suavemente ondulado	T4/F2	-	Solo delgado com poucos horizontes, relevo com inclinação moderada, clima de subhúmido seco a chuvoso
leox	Arenoso franco, franco arenoso, franco ou franco limoso	Áreas de relevo muito diversificado, com declives muito variados	Q5	0,071 ¹	Solo delgado com poucos horizontes, relevo com inclinação moderada, clima semiárido
lub	Franco ou franco limoso, húmico ou cascalhento	Área de relevo movimentado	M1	0,042 ²	Solo delgado com poucos horizontes, relevo com inclinação moderada, clima húmido
lug	Franco arenoso ou arenoso franco; frequentemente húmico e por vezes cascalhento	Área de relevo movimentado	M2/F1/T5	0,036 ²	Solo raso com poucos horizontes, relevo com inclinação baixa, muita chuva (igual anterior)
lux	Franco arenoso, franco ou franco-limoso; Húmico e ou cascalhento	Área montanhosa	F1/Q1	0,035 ²	Solo raso com poucos horizontes, relevo com inclinação alta, muita chuva (igual anterior)
Uhs	Franco ou franco arenoso, frequentemente cascalhento ou pouco cascalhento	Áreas de relevo ondulado suave ou muito suave	T3/T4	-	Solo profundo com mais horizontes, relevo com inclinação baixa, muita chuva (igual anterior)

Fonte Adaptado de Agroconsultores e Coba (1991), ² - Lima (2016), ¹ - Cavalli (2017) e Montero (2018).

No total, foram coletados 11 solos, entre eles, no estudo, as unidades de solos “lub” e “lebb” foram colhidas novamente em algumas ocasiões (Quadro 4). Devido às

mudanças de cenário em que estes estavam localizados, foi considerado a importância de se saber o comportamento destes nas simulações.

3.2 Área de coleta amostras de solo

Para a coleta de amostras de solos, as unidades de solo selecionadas foram localizadas a partir da Carta de Solos do Nordeste de Portugal (Agroconsultores e Coba, 1991), sendo criada uma rota, no software Google Earth, a fim de auxiliar a orientação em direção as áreas identificadas com cada unidade, já que algumas ainda não tinham sido exploradas. Os pontos de coleta, com GPS, foram devidamente registrados e logo localizados pelas suas coordenadas no software Google Earth (Figura 16).

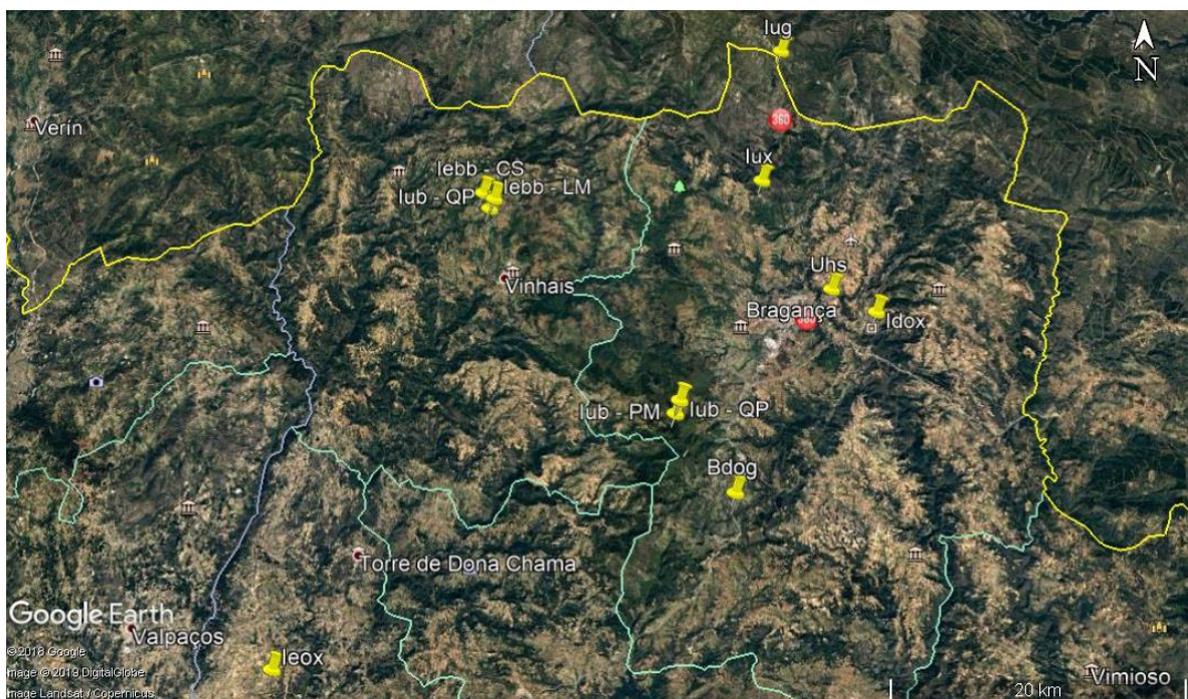


Figura 16. Pontos de coleta dos solos. Fonte: Adaptado de Google Earth (2019)

Em campo, algumas características locais como altitude, coberto vegetal, inclinação e uso atual do solo foram também anotadas, para completar informação sobre o contexto da amostragem e ajudar à interpretação de resultados, designadamente nos solos sujeitos a tratamento e simulação (Quadro 5).

Quadro 5. Caracterização dos solos em campo

Unidade Solo	Altitude (m)	Profundidade de amostragem (cm)	Inclinação	Uso/ocupação do solo	Coberto vegetal
lug	1293	30	20%	Vegetação arbustiva natural	Mato (Urze, Carqueja, Sargaço)
lub - PM	1181	30	Patamar de povoamento florestal - 1 a 3 %	Povoamento de resinosas	Pinheiro do Oregon
lub – QP	1179	30	25%	Vegetação arbórea climática	Carvalho negral
leox *	279	18 / 20	11%	Olival não mobilizado	Oliveiras
Bdog *	725	30	5%	Plantio de cereal segundo as curvas de nível	Restolho de cereal
Uhs* **	648	25	3%	Olival	Oliveiras
lux	1036	10 a 15	16%	Vegetação arbustiva natural	Mato (Urze, Carqueja, Sargaço)
ldox*	535	35	13%	Pousio de cereal	Vegetação herbácea
lebb – CS*	824	10	13%	Cereal de inverno	Restolho de cereal
lebb – LM	810	20	2%	Lameiro (pastagem permanente)	Vegetação herbácea perene
lub – VOQP	868	20	22%	Vegetação arbórea climática	Carvalho negral

*- Solos utilizados nos ensaios com tratamento

** - Presença de horizonte Bt aos 15 cm

O estudo contemplou uma coleta mais ampla de solos de diferentes características, todavia, do conjunto de 11 solos coletados, 5 foram levados a tratamento.

Aquando da coleta das amostras dos solos foi utilizado um trado manual para sondagem da profundidade do solo e seleção do ponto de amostragem. As amostras eram coletadas na parede da cova aberta para o efeito. Utilizaram-se pás no caso de

amostra deformada, pois não houve necessidade de mantê-las de forma original (não deformada) para as simulações (Figura 17). As amostras não deformadas eram colhidas, cautelosamente, através de anéis de aço inoxidável de 100 cm³ (Figura 18), estas eram colhidas com a finalidade de obter os resultados relacionados a permeabilidade.



Figura 17. Coleta de amostra deformada para simulação



Figura 18. Coleta de amostra não deformada

Os solos eram escavados até, aproximadamente, o horizonte C, em alguns casos até o horizonte de transição R-C. Após a escavação, media-se a profundidade do mesmo para se ter registrado nas características do cenário (Figura 19).



Figura 19. Solo escavado para coleta. Fonte: O autor (2018)

3.3 Preparação das amostras e análises físico-químicas

Após as características de campo serem analisadas, os solos considerados mais erodíveis, designados através da classificação de Figueiredo (1989), que posteriormente seriam submetidos aos tratamentos designados do estudo, foram levados à laboratório para análise.

Os solos em questão, com amostras perturbadas, foram crivados à uma malha 2 mm, para obtenção da porcentagem de elementos grosseiros, e foram destinadas ao laboratório de química do solo para análises físico-químicas. As amostras colhidas de modo não perturbadas foram submetidas a um permeâmetro de carga constante, possibilitando determinar a condutividade hidráulica dos solos e estimar outros indicadores, como porosidade, micro e macro porosidade.

A partir dos tratamentos feitos, obteve-se os seguintes resultados:

Tabela 3. Análises físico-químicas dos solos mais erodíveis.

Solo	M.O	pH	mg kg ⁻¹	
	%	H ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O
Idox	1,3158	4,59	42,18	113
Uhs	1,76988	5,57	3,66	183
Bdog	1,99434	4,38	25,44	59
leox	0,6192	5,49	6,18	55
lebb*	0,71	5,4	53,065	93,2

* - solo analisado por Montero (2018)

Tabela 4. Análises químicas dos solos mais erodíveis.

Solo	ANÁLISE AO COMPLEXO DE TROCA						
	Cmol(+) kg ⁻¹						
	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	AT	Al ³⁺	CTCe
Idox	4,73	1,16	0,43	0,90	1,20	1,00	8,43
Uhs	6,93	3,11	1,00	0,98	0,20	0,20	12,22
Bdog	1,78	0,78	0,19	0,86	1,70	1,80	5,31
leox	4,21	1,12	0,14	0,79	0,40	0,40	6,64
lebb*	1,13	0,30	0,17	0,14	0,20	0,11	1,94

* - solo analisado por Montero (2018)

Em relação a permeabilidade, foi considerado a classificação de USDA (1985), para a designação de cada solo (Tabela 4).

Tabela 5. Classificação da permeabilidade dos solos (SCS/USDA, 1985)

Classe de permeabilidade	Sigla	Valor (cm/h)
Muito rápida	MR	>25,4
Rápida	R	12,7 - 25,4
Moderadamente rápida	MODR	6,35 – 12,7
Moderada	MOD	2,00 – 6,35
Moderadamente lenta	MODL	0,50 – 2,00
Lenta	L	0,13 - 0,50
Muito lenta	ML	<0,13

A partir das médias da permeabilidade, inicial e final, os solos em questão obtiveram a seguinte classificação:

Tabela 6. Características físicas médias dos solos tratados

Solo	Kinicial (cm/h)	Classe	Kfinal (cm/h)	Classe	Dap (g/cm³)	CMA	CC	P	MicroP	MacroP	Elementos grosseiros
Bdog	111,50	MOD	106,31	MODR	1,28	41%	38%	52%	49%	3%	22%
lebb	296,08	MR	288,40	MR	1,30	42%	39%	55%	50%	4%	45%
ldox	146,61	MR	91,06	MR	1,34	30%	28%	41%	37%	3%	44%
leox	158,82	MODR	164,06	MR	1,55	25%	22%	39%	33%	6%	45%
Uhs	29,14	MODR	32,60	MODR	1,26	37%	34%	47%	43%	3%	47%
Uhs Bt	365,22	MR	367,03	MR	1,32	34%	32%	44%	42%	3%	-

3.4 Simulador de chuva e sua calibração

Para o estudo, foi utilizado um simulador de chuvas do tipo aspersor, contendo 4 patas de sustentação ajustáveis, para a criação de um cenário com uma altura pré-determinada, 2 cortinas de proteção ao vento, evitando que o mesmo tivesse interferência considerável durante o ensaio e um manômetro, para a verificação da pressão no bico do aspersor (Figura 20).



Figura 20. Simulador de Chuva. Fonte: O autor (2018)

Antes de iniciar as simulações, foi preciso calibrar o simulador de forma aceitável para as características de precipitação do NE de Portugal. A metodologia de determinação das características das simulações foi baseada no trabalho de Alves (2018).

O simulador foi instalado com suas patas em 2,70 metros de extensão e atingindo 2,45 metros em relação ao centro, formando um quadrado perfeito, a área formada pelas patas é de, aproximadamente, 9 metros quadrados.

Para que a simulação ocorresse, o simulador foi posicionado na saída do laboratório de solos de modo a contar com fácil alimentação de água. Uma bomba tipo “Grufos” bombeava água a partir de 2 bidões interligados, com nível constante para que não houvesse variação de caudal, pressão e intensidade no momento da simulação. Estes ainda foram colocados no segundo andar do laboratório a uma altura maior que a do bico do aspersor do simulador para que houvesse pressão adequada a uma melhor distribuição da chuva.

Para a verificação e calibração do simulador para o cenário de caudal, pressão e intensidade de chuva desejado foram feitos alguns testes. Para o teste de verificação de caudal era colocado um funil, com uma mangueira acoplada, no bico do aspersor e após a estabilização da pressão em 0,40 bar, a mangueira era direcionada a um recipiente de volume conhecido e cronometrado o tempo de enchimento do recipiente. No teste de intensidade, durante um tempo cronometrado de 10 minutos de chuvada,

potes de plástico eram posicionados na saída de uma mangueira, ligada a cada tabuleiro dos bidões da estrutura de apoio (Figura 21), após esse tempo, retirava-se o pote, media-se o volume precipitado na área do tabuleiro com uma proveta e logo, era calculado a intensidade do ensaio pela seguinte equação:

$$I = V / A \times 60$$

Onde:

I = intensidade da chuvada (mm/h)

V= volume medido (mm)

A = área do tabuleiro (cm²)

A partir disso, calibrou-se o simulador de tal forma que a intensidade da chuva se deu em média por 66,5 mm . h⁻¹. Estes testes ainda foram feitos no decorrer dos ensaios, para verificar se o padrão de simulação não sofreu alguma alteração.

3.5 Dispositivos de suporte das amostras sob simulação

Com o simulador instalado, foi colocada uma estrutura (Figura 21), no centro da área de projeção da chuva simulada. Sobre esta foram colocados 3 bidões de 10 litros, cortados em 3 partes em uma das laterais, deixando-a assim em formato de “tampa”. Esta foi posicionada na vertical com objetivo de servir de suporte para a placa de colheita de salpico. No vão formado por este corte encaixou-se um recipiente que pudesse suportar os tabuleiros com as amostras de solos a ensaiar. Ambos os recipientes, os de suporte e os tabuleiros das amostras de solo, foram perfurados para permitir a livre drenagem da água infiltrada nas amostras durante a chuvada simulada (Figura 22). A estrutura ainda contava com um tecido antiderrapante, evitando assim a movimentação dos bidões durante as chuvadas.



Figura 21. Estrutura de suporte para o ensaio.
Fonte: O Autor (2018)



Figura 22. Recipiente dos solos.
Fonte: O Autor (2018)

A estrutura de suporte foi projetada para que atingisse a inclinação de 15%, a qual assegura a estabilidade das amostras durante as simulações.

Nas simulações de chuva pôde-se coletar escoamento superficial, perda de solo e salpico que logo seriam levados ao laboratório para quantificação.

Para o escoamento superficial e a perda de solo (partículas desprendidas arrastadas por este escoamento), foi projetada uma rampa metálica tampada disposta à frente do tabuleiro com solo, a qual direcionava o escoamento ao local de colheita (Figura 23). Neste local, era colocado um pote, devidamente identificado, na extremidade da frente de cada placa metálica, para colheita do material exportado durante a chuvada (água e solo), durante um tempo estipulado de média de 3 minutos, repetido três vezes em cada chuvada (após cerca de 10, 20 e 30 minutos de chuvada simulada).



Figura 23. Amostras sob ensaio. Fonte: O Autor (2018)

O salpico foi coletado através de uma placa metálica, sustentada pela “tampa” feita através dos cortes na lateral do bidão, projetada para interceptar o material de salpico após o primeiro contato com a chuva e logo, era redirecionado à um recipiente de vidro a frente da placa (Figura 24).



Figura 24. Placa metálica de colheita de salpico.
Fonte: O autor (2018)

Para facilitar o manuseio e a desmontagem do dispositivo no final de cada simulação, bem como para facilitar a retirada do material coletado, todos os elementos do dispositivo utilizado foram projetados de modo a serem móveis.

Os parâmetros médios adotados para os ensaios de chuva foram:

- Intensidade da chuva: 67 mm h^{-1} ;
- Pressão: 0,40 bar;
- Caudal: $0,19 \text{ l s}^{-1}$;
- Altura da queda de chuva: 2,45 m;
- Inclinação do plano: 15%;
- Duração do ensaio: 30 minutos.

3.6 Preparação dos solos a serem ensaiados

Para as simulações, os solos foram, primeiramente, crivados à 9 mm, para se retirar o excesso de material grosseiro, com o intuito de não haver muita interferência destes no ensaio. Posteriormente, os solos foram depositados, em camadas uniformes, nos tabuleiros de ensaio sobre um pano que impedia a passagem do solo pelas

perfurações do tabuleiro. Dessa maneira, procurou-se que os solos que iriam ser ensaiados tivessem uma densidade aparente semelhante a original.

Após o preenchimento do tabuleiro, estes eram colocados em um recipiente e logo, era adicionado água (Figura 25), até que se atingisse o nível do tabuleiro e, por capilaridade, o solo era saturado. O tabuleiro permanecia por, no mínimo, 02 horas e 30 minutos em processo de saturação até o momento de drenagem, onde, neste processo o solo permanecia no mínimo 30 minutos e no máximo 1 hora e 30 minutos e logo, seria encaminhado para área de ensaio.

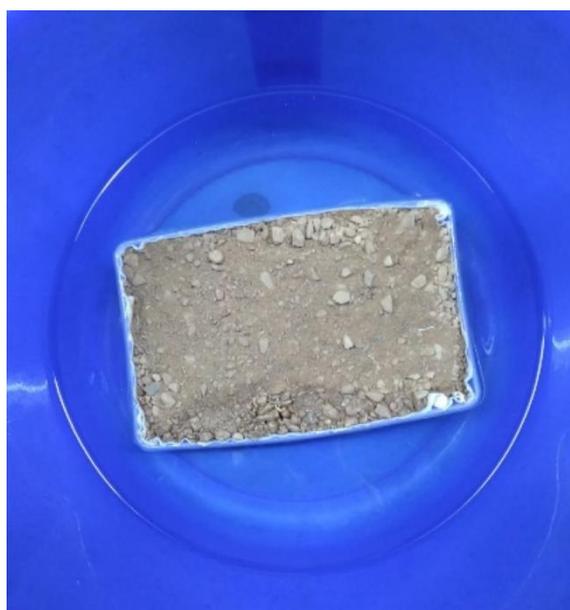


Figura 25. Solo em processo de saturação. Fonte: O Autor (2018)

O preparo dos solos com condicionadores eram realizados da mesma forma, modificou-se apenas o preenchimento da última camada. O composto orgânico era incorporado a última parcela de solo, em uma determinada concentração, até que a camada demonstrasse aspecto homogêneo. Já a PAM, também com concentração pré-determinada, foi aplicada, em estado sólido, uniformemente sobre o solo já no tabuleiro (Figura 26).



Figura 26. Solo com PAM. Fonte: O autor (2019)

3.7 Definição dos tipos de tratamento

Caracterizado e preparado as amostras de solo, os tratamentos definidos, para 3 baterias, de simulação foram:

- Solo original;
- Condicionador orgânico (Corretivo orgânico agrícola);
- Condicionador sintético (Poliacrilamida).

A escolha dos condicionadores foi pensada de maneira que houvesse uma comparação das eficiências e do comportamento dos solos sobre um tratamento com um condicionador biológico ou natural e outro sintético.

Os solos escolhidos para os tratamentos com CO e PAM, foram os solos considerados com menor teor de matéria orgânica (Quadro 6).

Quadro 6. Tratamentos designados para cada tipo de solo.

Solo	Tratamento
Bdog	SO; CO; PAM
ldox	SO; CO; PAM
leox	SO; CO; PAM
lebb	SO; CO; PAM
Uhs	SO; CO; PAM
lug	SO
lux	SO
lub QP-SN	SO
lub PM-SN	SO
lebb VO-LM	SO
lub VO-QP	SO

Para a definição da concentração do composto orgânico, foi considerado a dose comum de tratamento, de 11 t ha⁻¹, indicada pelo distribuidor do corretivo, calculada para a área do tabuleiro (0,0322 m²). A concentração de poliacrilamida, indicada por Sojka et al (2007) e Prats et al (2016), foi de 50 kg ha⁻¹, considerada uma dose “normal” para tratamento, também calculada para a área do tabuleiro com a amostra de solo.

Quadro 7. Tratamentos das amostras a ensaiar.

Bateria	Tratamento	Definição
1	SO	Amostras com solo original
2	CO	Amostras com 1,1 kg/m ² composto orgânico
3	PAM	Amostras com 5,0 g/m ² PAM

As pesagens do CO e de PAM foram feitas por uma balança de precisão, de 10⁻¹ e 10⁻⁴ g, respectivamente.

No estudo em questão, foi utilizado um corretivo agrícola orgânico, que tem como composição 85% de estrume de equídeos e 15% de húmus de casca de pinho e possui as seguintes características físico-químicas:

Tabela 7. Características do Composto orgânico utilizado.

Corretivo agrícola orgânico	
Características físico-químicas	
Azoto total (N)	2,98%
Fósforo total (P ₂ O ₅)	0,44%
Potássio total (K ₂ O)	1,08%
Cálcio total (CaO)	2,64%
Magnésio total (MgO)	0,32%
Boro total (B)	16,15 mg/kg
Metais pesados totais	
Cádmio (Cd)	0,49 mg/kg
Chumbo (Pb)	10,32 mg/kg
Cobre (Cu)	20,43 mg/kg
Crómio (Cr)	10,61 mg/kg
Mercúrio (Hg)	0,18 mg/kg
Níquel (Ni)	7,09 mg/kg
Zinco (Zn)	65,3 mg/kg
Razão Carbono / Azoto	12
Granulometria - 100%	< 20 mm
Humidade	34%
Matéria orgânica	70%
Carbono orgânico	41,45%
pH	7,8
Condutividade elétrica	0,34 mS/cm
Salmonella spp	ausente em 25g
E. Coli - n ^o /g de matéria fresca	< 1000
Materiais inertes antropogénicos	0%

3.8 Parâmetros determinados nas simulações

Ao termino de cada ensaio, recolhia-se os recipientes, as rampas e placas metálicas, que continham as amostras, que correspondia ao escoamento superficial, sedimento de frente e salpico, que seriam analisados posteriormente em laboratório e analisados estatisticamente.

3.8.1 Amostras de escoamento superficial e sedimento em suspensão

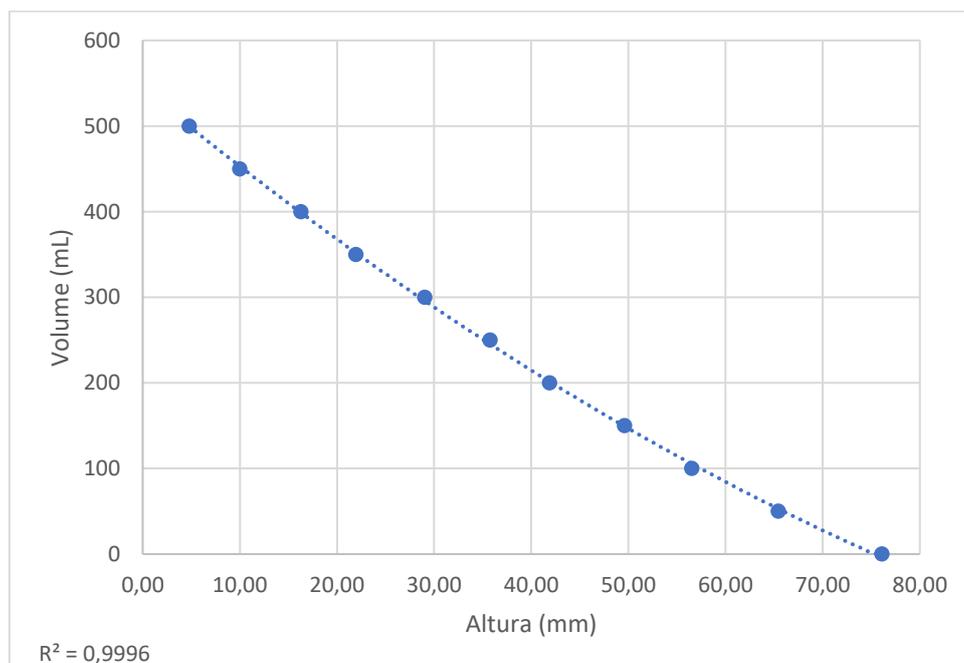
Os recipientes que continham o escoamento superficial mais partículas desprendidas era levado ao laboratório e com o auxílio de um paquímetro e uma régua como suporte (Figura 27), realizava-se a medição do volume contido neste.



Figura 27. Medição do volume de escoamento superficial. Fonte: O autor (2019)

Conhecido a altura do volume ocupado, com auxílio do software Excel, o volume do escoamento era alcançado através de uma equação feita a partir da interpolação realizada com diferentes alturas de volumes no próprio recipiente. Para a criação do gráfico abaixo, foi preciso realizar o enchimento dos potes, do modelo que seria utilizado nas simulações, com volumes de 50 mL por vez e logo media-se a altura do volume ocupado. Feito isto, criou-se um gráfico e a partir deste, a fórmula (2) que, posteriormente, seria utilizada para a obtenção dos volumes.

Figura 28. Gráfico de interpolação das alturas para obtenção da equação de volume



$$\text{Volume (mL)} = 0,0285h^2 - 9,365h + 543,71$$

(2)

Onde:

H = altura do volume medido (mm).

O recipiente então era levado a estufa a 105° Celsius durante 24 horas. Ao fim do tempo, pode-se obter o peso seco das partículas arrastadas pelo escoamento.

Com as variáveis medidas, foi possível determinar alguns indicadores para a análise do estudo, como:

- Escoamento;
- Coeficiente de escoamento;
- Concentração de sedimentos suspensos;
- Amostras de sedimento de frente;
- Perda de solo;
- Erodibilidade;
- Salpico;
- Destacabilidade;
- Eficiência dos tratamentos;
- Intensidade da precipitação simulada.

A partir dos volumes medidos, foram integrados a duração da chuvada e logo, assumiu taxas constantes nos períodos de medição, interpolando os resultados obtidos para cada tempo de simulação.

O cálculo de escoamento se deu a partir da seguinte fórmula:

$$E = (e/A) \times (I/I\text{média})$$

Onde:

E = Escoamento (mm);

e = volume de escoamento (mL);

A = Área do tabuleiro (m²);

I = Intensidade da chuva no ensaio (mm/hr);

I média = Intensidade média das chuvadas (mm/hr).

3.8.2 Coeficiente de escoamento

O coeficiente de escoamento é derivado da fórmula a seguir:

$$CE = E / P \text{ média} \times 100$$

Onde:

CE = Coeficiente de escoamento (%)

E = Escoamento (mm);

P média = precipitação média das chuvadas (mm).

3.8.3 Concentração de sedimentos suspensos

A avaliação da concentração de sedimentos suspensos foi possível a partir da seguinte equação:

$$CS_{ss} = 1000 \times SS / e$$

Onde:

CS_{ss} = Concentração de sedimentos suspensos (g/L);

SS = Sedimentos suspensos (g);

e = Escoamento do ensaio (L).

3.8.4 Amostras de sedimento de frente

Durante o ensaio, partículas desprendidas eram arrastadas pelo escoamento superficial, porém, algumas frações permaneciam na rampa metálica devido ao escoamento não possuir mais energia para arrastar aquela quantidade (Figura 29).



Figura 29. Partículas não arrastadas pelo escoamento superficial. Fonte: O autor (2019)

Estas partículas eram colhidas ao fim do ensaio e posteriormente colocadas em um novo recipiente (Figura 30).

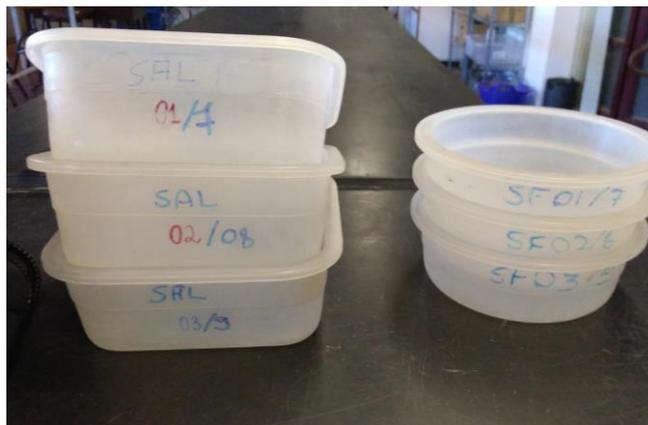


Figura 30. Recipientes de salpico e sedimento de frente. Fonte: O autor (2019)

Os recipientes em questão eram levados a estufa a 105° Celsius e ao fim de 24 horas os mesmos eram retirados afim de saber o peso seco das amostras, que, com esta variável, auxiliaria na determinação dos parâmetros.

3.8.5 Perda de solo

A partir dos resultados de sedimentos em suspensão e sedimento de frente, foi possível calcular o parâmetro de perda de solo.

O cálculo para a perda de solo se deu por meio da equação abaixo:

$$PS = (ps/A) \times (l/lm\u00e9dia)$$

Onde:

PS = Perda de solo (g/m²);

ps = perda de solo no ensaio (g);

A = Área do tabuleiro (m²)

I = Intensidade da chuva no ensaio (mm/hr);

I média = Intensidade média das chuvadas (mm/hr).

3.8.6 Erodibilidade

Relacionada diretamente a perda de solo, a erodibilidade foi obtida através da seguinte equação:

$$\text{EROD} = \text{PS} / \text{P}$$

Onde:

EROD = Erodibilidade (g/m².mm)

PS = Perda de solo (g/m²)

P = precipitação (mm)

3.8.7 Amostras de salpico

A parcela da amostra de salpico que permanecia na placa metálica era retirada e adicionada a amostra que seguia para o recipiente de vidro durante a simulação. Ambas eram adicionadas a um novo recipiente (Figura 30) que, em seguida, era levado à estufa a 105° Celsius por, no mínimo, 24 horas. Após este tempo, obtinha o peso seco da amostra, que possibilitou então o cálculo da quantidade do salpico nos ensaios.

A quantidade de salpico pôde ser calculada a partir da seguinte fórmula:

$$\text{SP} = (2 \times \text{sp} / \text{A}) \times (\text{I}/\text{I média})$$

Onde:

SP = Quantidade de salpico (g/m²)

sp = Salpico da amostra simulada (g)

A = Área do tabuleiro (m²)

I = Intensidade da chuva no ensaio (mm/hr);

I média = Intensidade média das chuvadas (mm/hr).

3.8.8 Destacabilidade

Ligada ao parâmetro Salpico, a destacabilidade foi obtida através da fórmula abaixo:

$$DET = SP / P$$

Onde:

DET = Destacabilidade (g/m².mm)

SP = Salpico (g/m²)

P = Precipitação (mm)

3.7.9 Intensidade da precipitação simulada

A tabela abaixo aponta os valores medidos em ensaio para o cálculo da intensidade das chuvadas.

Tabela 8. Intensidade das chuvadas medida em algumas simulações

Solo - Tratamento	Intensidade média	Desvio padrão
Bdog - SO	66,02	10,49
ldox - SO	65,53	6,88
Bdog - CO	64,53	2,65
leox - PAM	66,15	6,11
lebb - PAM	70,19	5,69

Os ensaios das chuvadas aconteceram de forma mais homogênea possível, já que se manteve sempre um padrão das variáveis que modificaria este parâmetro, como a posição do simulador, tabuleiros e base de suporte, caudal e pressão. A partir dos valores medidos, foi então calculada uma média de intensidade de 66,5 mm h⁻¹, a qual serviu para normalizar os resultados de cada ensaio. A tabela abaixo apresenta, para todas as simulações as médias das intensidades medidas e, na sua ausência, a média adotada, e seus desvios padrão.

Tabela 9. Precipitação média (mm/h) das simulações por solo e tratamento.

Solo	SO		CO		PAM	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Bdog	66,02	10,49	64,53	2,65	66,80	4,76
lebb	66,47	4,25	66,47	4,25	70,19	5,69
ldox	65,53	6,88	66,47	4,25	66,47	4,25
leox	66,47	4,25	66,47	4,25	66,15	6,11
Uhs	66,47	4,25	66,47	4,25	66,47	4,25

3.8.10 Eficiência

A eficiência dos tratamentos (CO e PAM), para destacabilidade e erodibilidade, foi obtida através das relações entre os resultados dos tratamentos com os resultados do solo original.

$$E = \text{EROD CO ou PAM} / \text{EROD SO} \quad \text{e} \quad E = \text{DET CO ou PAM} / \text{DET SO}$$

Onde:

E = Eficiência (%)

EROD = Erodibilidade

DET = Destacabilidade

3.9 Análises estatísticas

Com intuito de testar efeitos nos indicadores estudados (salpico, perda de solo, escoamento, coeficiente de escoamento, concentração de sedimentos, erodibilidade e destacabilidade) e a sua significância, foi utilizada análise de variância (ANOVA).

Os fatores (efeitos) considerados na ANOVA foram o tipo do solo, o tratamento aplicado e interação entre ambos, para isso utilizando ANOVA a dois fatores com repetição.

Com os resultados da ANOVA, utilizou-se o critério da Mínima Diferença Significativa (LSD - "Least Significant Difference"), a 5% de probabilidade para a separação de médias no caso efeitos testados serem significativos (ao nível de 5% de probabilidade).

Os recursos do software Microsoft Excel foram utilizados para o procedimento de tratamento estatísticos dos dados.

Todas as séries de valores dos indicadores obtidos passam o teste de Normalidade Kolmogorov-Smirnov (5%), utilizando o calculador <https://www.socscistatistics.com/tests/kolmogorov/Default.aspx>, onde todas foram consideradas normais.

4 Resultados e discussão

4.1 Precipitação das chuvadas

A partir dos valores de intensidade das chuvas, foi calculado o valor médio de 33,25 mm da precipitação dos ensaios.

Levando em consideração o trabalho de Ramos (2008), com simulador semelhante ao utilizado neste estudo, ressaltando apenas a modificação do bico aspersor, foi calculado a energia cinética, real e da chuva natural, pela equação empírica (3) de Wischmeier & Smith (1958), das gotas de chuva.

$$EC = 11,9 + 8,7 \text{ LOG}_{10} (I) \quad (3)$$

Onde:

Ec = Energia cinética (J m²/mm)

I = Intensidade da chuvada (mm h⁻¹)

Considerando a média dos resultados de intensidade, obtidos por Ramos (2008), semelhante ao do estudo atual, tem-se os seguintes valores de energia cinética das gotas de chuva:

Tabela 10. Resultados de energia cinética de Ramos (2008)

Intensidade	EC (J m ² /mm)	EC (J m ² /mm) Wischmeier	% Semelhança a precipitação real
69,285	14,745	27,95	53

Utilizando a equação de Wischmeier (1958), foi calculado a energia cinética da chuva real, posteriormente, utilizou a relação de semelhança a precipitação real, obtida por Ramos (2008) e a intensidade do estudo atual, assim, foi possível uma estimativa da energia cinética real das gotas de chuva das simulações deste trabalho. O resultado de EC ainda possibilitou a estimativa da erosividade da chuva (EI30), produto da energia cinética da gota e da intensidade da chuvada, dos ensaios do estudo.

Tabela 11. Resultados estimados da EC real e Ei30 das gotas de chuva

Intensidade	EC (J m ² /mm) Wischmeier	% Semelhança a precipitação real	EC (J m ² /mm)*	EI30 (J m ² /mm.h)*
66,5	27,76	53	14,71	978,3482

*- Valores estimados da chuva simulada

Considera que pra efeitos da estimativa de erodibilidade se toma com boa referência a precipitação das chuvadas dos ensaios, uma vez que esta se podem considerar homogêneas ao longo de 30 minutos de simulação quanto aos parâmetros caracterizadores da erosividade (intensidade, distribuição da dimensão das gotas, velocidade terminal das gotas).

4.2 Síntese dos resultados da ANOVA

Os valores dos parâmetros e indicadores foram submetidos à ANOVA de 2 fatores com repetição (Tabela 12).

Tabela 12. Resultados dos parâmetros submetidos a ANOVA. Resultados com diferenças significativas possuem $p < 0,05$

Parâmetro	Solo gl=4	Tratamento gl=2	Interação gl=8
	p		
Perda de solo (g/m^2)	0,355	0,000	0,191
Escoamento (mm)	0,770	0,326	0,393
Salpico (g/m^2)	0,004	0,000	0,003
Coeficiente de escoamento (%)	0,313	0,901	0,750
Concentração de sedimentos global (g/L)	0,001	0,000	0,000
Concentração de sedimentos em suspensão (g/L)	0,029	0,000	0,050
Erodibilidade ($\text{g/m}^2 \cdot \text{mm}$)	0,145	0,000	0,048
Destacabilidade ($\text{g/m}^2 \cdot \text{mm}$)	0,000	0,000	0,000

Os resultados apontados na tabela acima são discutidos de forma mais aprofundada nos tópicos abaixo.

4.3 Escoamento superficial

A tabela 13 mostra os resultados do parâmetro escoamento superficial dos ensaios do estudo, de cada solo e seus respectivos tratamentos.

Tabela 13. Valores de escoamento superficial (mm) dos ensaios nos diferentes tratamentos.

Solo	Escoamento superficial					
	SO		CO		PAM	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Bdog	19,9	9,5	21,0	1,5	34,1	13,6
lebb	25,6	1,8	25,9	7,5	29,3	7,0
ldox	25,9	8,9	27,0	8,3	21,5	12,4
leox	29,1	7,5	20,0	2,2	24,4	4,8
Uhs	20,4	5,7	20,6	6,0	25,6	3,2

Ao visualizar a tabela 14, pode-se perceber a relação do escoamento, em solo original, com a porosidade e a matéria orgânica. Observando um padrão de diminuição do parâmetro, à medida que os indicadores do solo, porosidade e matéria orgânica, aumentavam.

Tabela 14. Relação do Escoamento x Porosidade e Matéria orgânica

Solo	Escoamento (mm)	Porosidade	MO
leox	29,1	39%	0,62%
ldox	25,9	41%	1,32%
lebb	25,6	55%	1,29%
Uhs	20,4	47%	1,77%
Bdog	19,9	52%	1,99%

O Ministério da Agricultura de Desenvolvimento Rural e pescas (MADRP, s.d.) define uma das funções da matéria orgânica no solo como favorecimento da estrutura do solo, como criação de espaços e formação de agregados mais estáveis, Correchel (2003) e ABGE (2018), reforçam citando que quanto maior o teor de matéria orgânica no solo, mais espaços são criados na estrutura do solo, aumentando sua porosidade e coeficiente de infiltração, assim, diminuindo o escoamento superficial. Pode-se observar na figura a seguir, o comportamento do escoamento superficial com a presença da matéria orgânica, apontando uma linha de tendência negativa do escoamento superficial com o aumento da matéria orgânica.

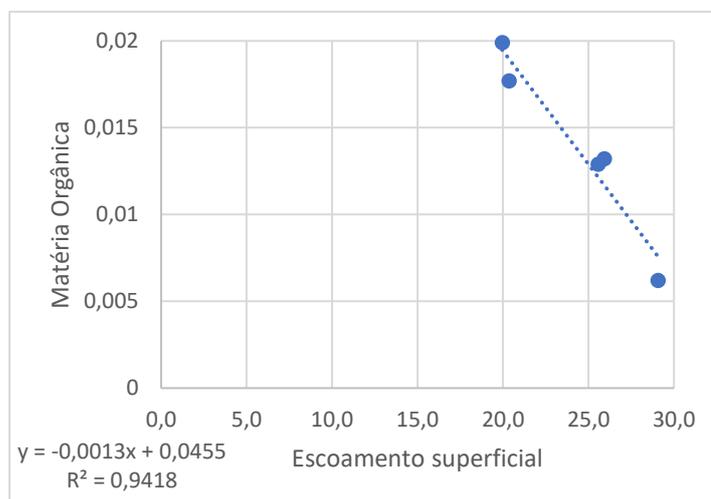


Figura 31. Comportamento do escoamento superficial, no solo original, à presença da matéria orgânica

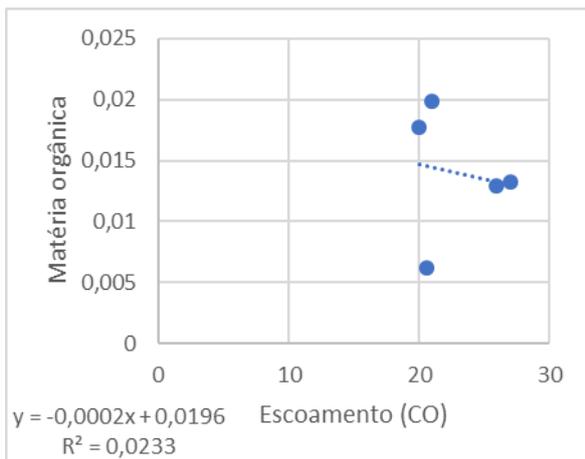


Figura 32. Comportamento do escoamento com CO à presença da matéria orgânica

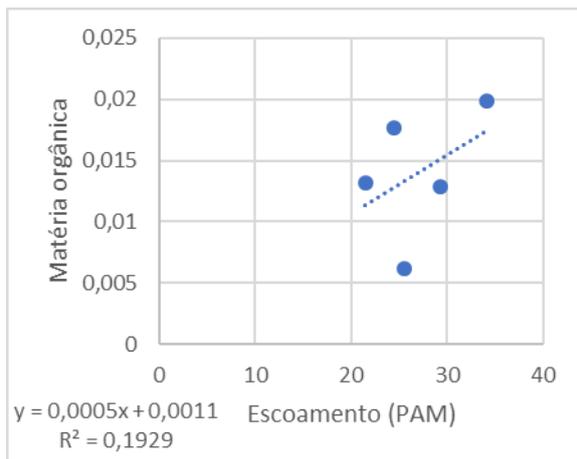


Figura 33. Comportamento do escoamento com PAM à presença da matéria orgânica

As imagens x e y, relatam a pouca interferência da matéria orgânica dos solos no escoamento quando estes estão sob tratamento, obtendo valores baixos de R^2 , podendo perceber que os tratamentos sobressaem ao efeito da matéria orgânica.

Analisando a Figura 34, pôde-se observar diferentes comportamentos, considerados não significativos estatisticamente, entre os solos ($p = 0,770$) e os tratamentos ($p = 0,326$). Em geral, o tratamento com composto orgânico aumentou o escoamento nos ensaios, apenas o leox obteve um decréscimo neste parâmetro. No tratamento com a poliácridamida houve um padrão semelhante ao composto orgânico do comportamento dos solos sob ensaio, porém, os solos ldox e leox apresentaram a diminuição do escoamento superficial em relação ao ensaio com solo original.

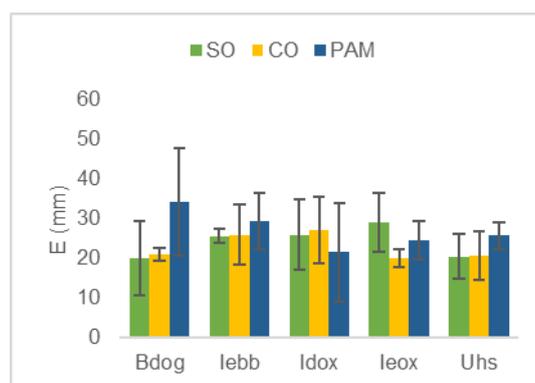


Figura 34. Escoamento superficial nos solos por simulação.

O cenário de um aumento no escoamento superficial nos solos tratados com condicionador orgânico pode ser explicado pela presença de compostos orgânicos hidrofóbicos. Oliveira e Parizotto (1994), Bertol et al. (2007) e Peles (2007), obtiveram resultados de menor taxa de infiltração e aumento do escoamento superficial em situações com solos tratados com corretivos que continham este fator. Estes compostos podem ser originados de diferentes substâncias (Vogelmann, et al., 2015), como a

vegetação, via deposição ou decomposição de sua matéria (Ellerbrock et al., 2005; Mataix-Solera et al., 2007). Ellerbrock et al. (2005) e Hallet (2008), relatam que este fenômeno é frequentemente observado em áreas com presença de *Pinus* e *Eucalyptus*, que possuem uma grande concentração de resinas, ceras e óleos aromáticos em sua estrutura, o que possibilita a justificativa, já que o corretivo possui de 15% de casca de pinho em sua composição.

Em alguns estudos foi constatado que a adição de PAM granular na superfície do solo exposto à chuva resultou num aumento do escoamento superficial (Yu et al., 2003; Soupir et al., 2004). Ai-ping et al. (2011), observou em seu estudo o aumento da viscosidade do produto quando aplicado em uma concentração maior que 2 g m⁻², o que pode resultar em um aumento do escoamento e na diminuição da permeabilidade do solo, este aumento é decorrente da resistência das partículas dos agregados do solo ao descolamento proporcionados pela poliacrilamida.

4.4 Coeficiente de escoamento

Os resultados do indicador (tabela 15) se mostraram não ter diferenças significativas entre os solos ($p = 0,313$) e os tratamentos ($p = 0,900$).

Tabela 15. Valores do Coeficiente de escoamento nos solos por tratamento.

Solo	Coeficiente de escoamento					
	SO		CO		PAM	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Bdog	0,585	0,183	0,650	0,033	0,548	0,483
lebb	0,774	0,104	0,772	0,174	0,835	0,182
ldox	0,778	0,192	0,801	0,196	0,645	0,359
leox	0,868	0,176	0,602	0,073	0,734	0,098
Uhs	0,607	0,143	0,614	0,148	0,775	0,117

O coeficiente de escoamento segue um padrão semelhante ao do escoamento superficial, onde observou-se aumento no indicador nos solos, lebb e Uhs, de modo gradativo em relação aos tratamentos. Entre os demais solos, há um padrão parecido entre o Bdog e ldox, onde possuem o maior coeficiente de escoamento no tratamento com composto orgânico. Apenas o leox possui comportamento diferente dos demais.

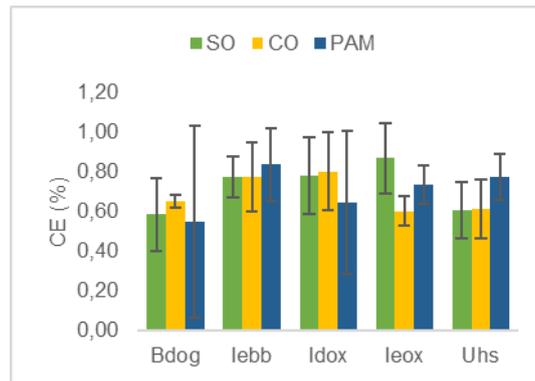


Figura 35. Efeito dos tratamentos no CE dos solos.

É importante ressaltar que os valores obtidos neste indicador são considerados valores altos, representando uma grande impermeabilidade ou uma situação de precipitação extrema. Segundo Vilela e Matos (1980), coeficiente de escoamento desta magnitude seriam classificados como e pavimentação de paralelepípedos, ladrilhos ou blocos de madeira sem as juntas tomadas, com CE de 0,5 a 0,7 e pavimentação de paralelepípedos, ladrilhos ou blocos de madeira com juntas bem tomadas, com CE de 0,7 a 0,85.

4.5 Salpico

Nos resultados do salpico (Figura 36), os tratamentos e os solos indicaram comportamentos significativamente diferentes quanto às perdas por salpico ($p = 0,000$ e $p = 0,004$, respectivamente). Os tratamentos, mostraram um decréscimo muito significativo nos solos tratados com PAM. No tratamento com CO, vê-se uma eficiência em 3 dos solos estudados (Bdog, ldox e leox), já nos outros 2 (lebb e Uhs), há um pequeno aumento no salpico.

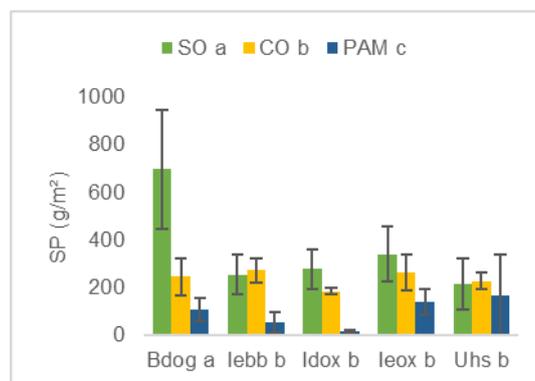


Figura 36. Resultado do Salpico dos solos e dos efeitos dos tratamentos. Tratamentos (Legenda) e Solos (eixo horizontal) seguidos de letras diferentes apresentam diferenças significativas entre si (LSD, 5%)

Baver et al (1973), menciona que a matéria orgânica tem sua eficiência mais visível em solos com menor presença de argila, o que pode explicar o pequeno aumento

no salpico nos solos em questão, Uhs e lebb, já que por vezes são classificados como argilosos por Agroconsultores e Coba (1991). Sob condições de chuva ou irrigação por aspersão, as gotas d'água agridem o solo exposto, causando compactação, desagregação dos agregados e deslocamento das partículas (Ai-Ping et al., 2011). Diante disso, possivelmente, devido ao tipo de aplicação do condicionador, incorporado a camada superficial do solo, em uma concentração maior, comparada a concentração do PAM, possibilitou a exposição do corretivo orgânico a ação da chuvada, permitindo a este, ser carreado ao recipiente de coleta do salpico.

A aplicação da PAM aumenta a estabilidade de agregados e diminui a ocorrência de selamento dos solos (Ajwa and Trout, 2006), diminuindo o impacto do efeito "splash" da chuvada, resultado que pôde ser visto neste trabalho.

A tabela 16 apresenta os resultados das médias e desvio padrão dos ensaios sobre os solos estudados.

Tabela 16. Valores de salpico (g/m³) por solo e tratamento

Solo	Salpico					
	SO		CO		PAM	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Bdog	695,8	251,8	245,6	78,9	108,3	48,8
lebb	254,5	82,1	271,4	50,9	52,4	43,9
ldox	277,8	84,1	184,1	14,2	16,4	3,3
leox	340,7	116,8	263,4	74,8	138,1	53,2
Uhs	213,4	107,8	227,8	33,3	169,2	171,7

4.6 Destacabilidade

Diretamente relacionada ao salpico, o indicador em questão mostra um o comportamento semelhante dos solos com o do parâmetro mencionado. Percebeu-se o aumento da destacabilidade nos solos relacionados com presença de argila em sua composição quando tratados com o composto orgânico, Uhs e lebb, já o Bdog apresenta um decaimento significativo neste indicador em ambos os tratamentos. Legendas com letras diferentes significam diferenças significativas, entre os tratamentos.

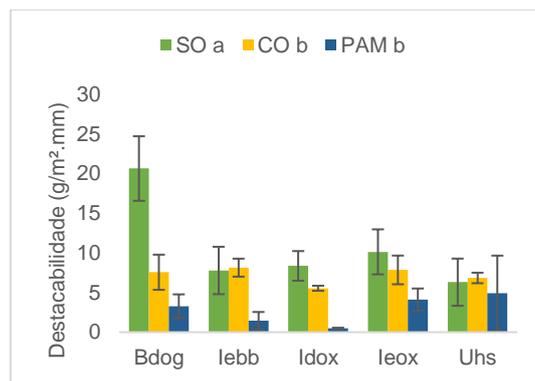


Figura 37. Reação da destacabilidade dos solos aos tratamentos aplicados.

A figura abaixo, representa a eficácia dos tratamentos sobre os solos em relação a destacabilidade destes. Como citado anteriormente, o aumento deste indicador nos solos, lebb e Uhs, mostra que o tratamento com composto orgânico não surtiu efeito sobre estes, entretanto, o Bdog apresentou 84% de redução da destacabilidade quando tratado com CO. O tratamento com PAM se mostrou efetivo em todos os solos, se destacando, principalmente, no ldox, com 94% de redução da destacabilidade neste.

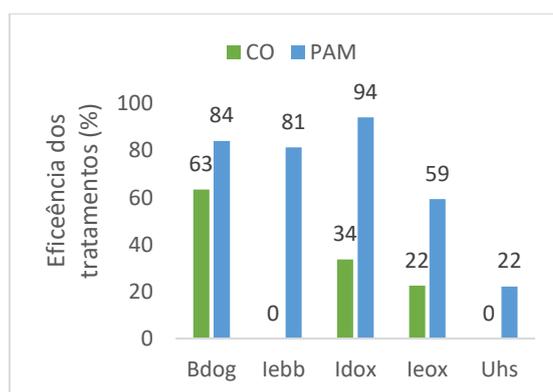


Figura 38. Eficácia dos tratamentos em relação a destacabilidade.

A tabela a seguir apresenta os resultados das médias e desvio padrão do indicador em questão. Os resultados dos tratamentos se mostraram com diferenças significativas em todos os solos ($p = 0,000$).

Tabela 17. Resultados da destacabilidade ($\text{g/m}^2.\text{mm}$) dos solos por tratamento.

Solo	Destacabilidade					
	SO		CO		PAM	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Bdog	20,6	4,1	7,6	2,2	3,3	1,5
lebb	7,8	3,0	8,1	1,1	1,4	1,1
ldox	8,4	1,9	5,5	0,3	0,5	0,1
leox	10,1	2,8	7,9	1,8	4,1	1,4
Uhs	6,3	3,0	6,8	0,7	4,9	4,7

4.7 Perda de solo

A figura 39 apresenta o resultado, com diferenças significativas entre os tratamentos ($p=0,000$) dos solos ($p=0,004$), dos ensaios com os 3 tipos de tratamento do parâmetro “Perda de solo”, onde se visualiza os efeitos do tratamento com composto orgânico (CO) e com a poliacrilamida (PAM).

Após a análise dos dados observou-se que a perda de solo decresce significativamente no tratamento com Poliacrilamida em todos os casos, já no tratamento com Composto Orgânico, pôde-se visualizar um menor decrescimento na perda de solo. Em específico, o tratamento com CO sobre o leox não obteve eficiência, já que o parâmetro aumenta em relação ao resultado com solo original.

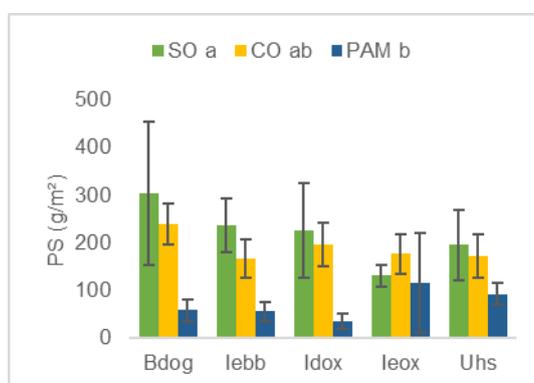


Figura 39. Resultado de perda de solo dos tratamentos submetidos. Tratamentos (Legenda) e Solos (eixo horizontal) seguidos de letras diferentes apresentam diferenças significativas entre si (LSD, 5%)

Wadt (2003), diz que em um solo exposto, o impacto direto das gotas de chuva no solo, causa desagregação deste e torna as partículas mais vulneráveis ao escoamento superficial. O autor ainda cita que este processo pode carrear materiais além do solo desagregado, Diniz Filho (2007) menciona que uma chuva de até 50 mm de intensidade tem energia suficiente para transportar até 3 cm da camada superficial do solo. Diante disto, provavelmente, a situação da unidade “leox” possa ser explicada pelo carreamento do próprio material do composto orgânico, devido ao tipo de aplicação do condicionador, incorporado na camada superficial do tabuleiro, resultando em uma concentração maior na perda de solo. Piccolo e Mbagwu (1990), dizem que a desvantagem da maioria dos compostos orgânicos é que necessitam de serem aplicados à uma concentração muito grande, entre 50 a 200 t/ha, para se obter melhorias significativas na estabilidade dos agregados de alguns solos, concentração maior do que a utilizada no estudo (11 t/ha). No restante dos solos o condicionador agiu da forma esperada, Tsadilas et al. (2005) e Garcia-Orenes et al. (2005), verificaram que a incorporação de condicionadores orgânicos no solo aumentou a estabilidade de

agregados e de outras propriedades físicas, evitando uma perda de solo maior, o que também ocorre no estudo em questão.

A Poliacrilamida aumenta a estabilidade de agregados (Green, et al., 2004) agindo como agente fortificador, ligando as partículas e mantendo o solo no lugar (Cook and Sheldon, 1986). Como nos trabalhos de Alves (2018) e Abrol et al. (2013), os resultados da aplicação da poliacrilamida, nesta mesma concentração, foi significativa, diminuindo a perda de solo em todos os solos.

A tabela 18 apresenta as médias e o desvio padrão da perda de solos dos solos ensaiados.

Tabela 18. Resultados da perda de solo (g/cm³)

Solo	Perda de solo					
	SO		CO		PAM	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Bdog	303,8	149,8	238,9	42,2	58,7	22,7
lebb	235,9	55,9	166,9	41,0	56,0	20,0
ldox	225,7	98,5	197,0	46,0	35,3	15,7
leox	130,8	22,6	176,4	42,4	116,4	104,7
Uhs	194,8	72,6	171,9	46,1	92,6	22,9

4.8 Concentração de sedimentos em suspensão

Os resultados da Concentração de Sedimentos de sólidos em suspensão (figura 40), permite a visualização do comportamento dos solos nos diferentes tratamentos utilizados. O tratamento com CO, possui relevância nos 3 primeiros solos, enquanto nos 2 últimos, há um acréscimo na concentração. O tratamento com PAM mostrou-se eficiente em todos os solos estudados. Legendas com letras diferentes significam diferenças significativas, entre solos e tratamentos.

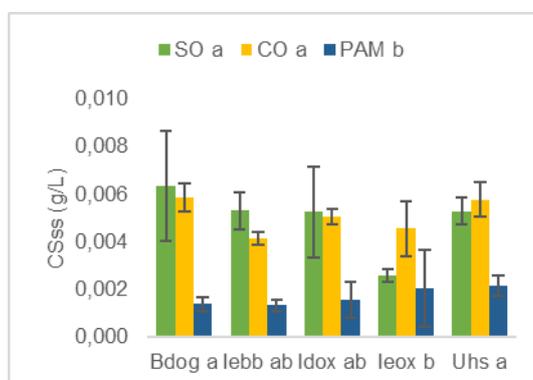


Figura 40. Resultados da concentração de sedimentos suspensos e as reações aos tratamentos aplicados.

Possivelmente, no caso do solo Uhs, além da relação entre argila e matéria orgânica, já citada anteriormente, o próprio corretivo orgânico pode ter se arrastado juntamente ao próprio solo, já que o mesmo obteve um aumento no escoamento quando tratado com este composto. A concentração dos sedimentos tem relação direta ao parâmetro perda de solo, como visto anteriormente, o solo leox, quando submetido ao tratamento com corretivo orgânico, este, não demonstrou ser efetivo, o que pode explicar a maior concentração de sedimentos em suspensão nos casos desse indicador.

A redução de sedimentos em suspensão, em solos tratados com PAM, é coerente ao trabalho de Sojka et al., (1998a,b), que obteve grande redução no sedimento em escoamento.

Os resultados apresentados (Tabela 19), indica diferenças significativas em relação aos dos solos ($p = 0,0290$) e dos tratamentos ($p=0,000$)

Tabela 19. Valores de médias e desvio padrão dos resultados de Concentração de sedimentos em suspensão (g/L)

Concentração de sedimento - sedimentos em suspensão						
Solo	SO		CO		PAM	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Bdog	0,0063	0,0023	0,0059	0,0006	0,0014	0,0003
lebb	0,0053	0,0008	0,0041	0,0003	0,0013	0,0002
ldox	0,0053	0,0019	0,0051	0,0003	0,0015	0,0008
leox	0,0026	0,0003	0,0045	0,0011	0,0020	0,0016
Uhs	0,0053	0,0006	0,0058	0,0007	0,0021	0,0004

4.9 Concentração de sedimentos global

O resultado da concentração de sedimentos global, mostrado pela Figura 41, nos dá uma perspectiva das eficiências dos tratamentos, os resultados indicam diferenças significativas sobre as reações aos tratamentos ($P = 0,000$) e aos próprios solos ($P = 0,001$). Os solos tratados com Composto orgânico, obtiveram resultados em um certo padrão, apenas o leox apresentou comportamento diferente dos demais. Em relação aos tratados com PAM, todos aparentaram resultados de decréscimo na concentração de sedimentos de padrão semelhante a perda de solo.

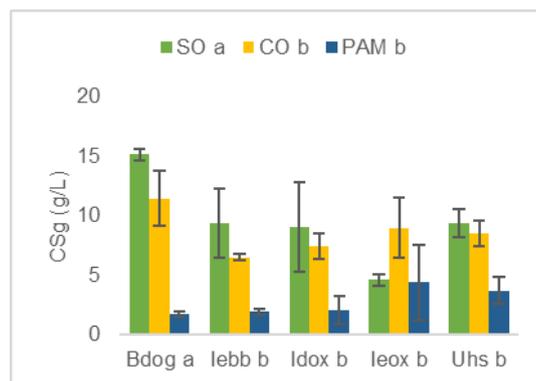


Figura 41. Resultado da reação dos solos aos tratamentos aplicados. Legendas com letras diferentes significam diferenças significativas, entre solos e tratamentos.

A reação do solo leox, submetido ao tratamento com CO, obteve padrão semelhante ao indicador de concentração de sedimentos em suspensão, já que este tratamento não obteve eficiência na perda de solo.

A tabela 20, indica os valores de médias e desvio padrão dos resultados dos solos ensaiados.

Tabela 20. Resultados de CSg (g/L) dos solos ensaiados

Concentração de sedimentos - global						
Solo	SO		CO		PAM	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Bdog	15,12	0,51	11,44	2,26	1,74	0,20
lebb	9,35	2,89	6,50	0,29	1,89	0,30
ldox	9,01	3,78	7,43	1,10	2,03	1,19
leox	4,58	0,46	8,94	2,51	4,38	3,14
Uhs	9,36	1,14	8,46	1,10	3,66	1,13

4.10 Erodibilidade

Na figura 42 é percebido que os solos seguem um padrão de comportamento semelhante ao de perda de solo em todos os casos de tratamento. O leox apresentou reação diferente do padrão dos demais, aumentando a erodibilidade quando tratado com o corretivo orgânico.

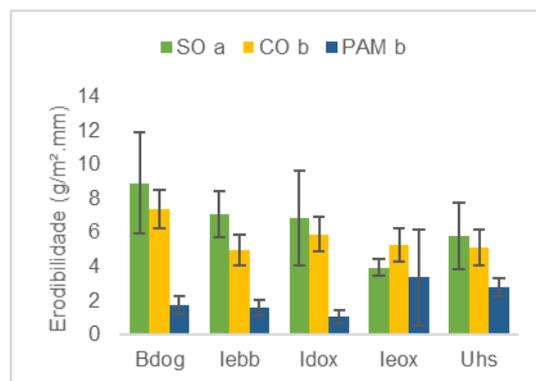


Figura 42. Reação da erodibilidade dos solos submetidos aos tratamentos. Legendas com letras diferentes significam diferenças significativas, entre os tratamentos.

A eficiência dos tratamentos, mostrados pela figura 34, nos apresenta a maior eficiência no tratamento com CO, no lebb, com aproximadamente 30% na redução da erodibilidade, por outro lado, observou um aumento de cerca de 34% no leox no mesmo tratamento. Em relação ao tratamento com PAM, o solo que obteve maior redução de erodibilidade foi o ldox, com 85% de redução da erodibilidade, o solo com menor taxa de eficiência foi o leox, contando com 14% de diminuição da erodibilidade.

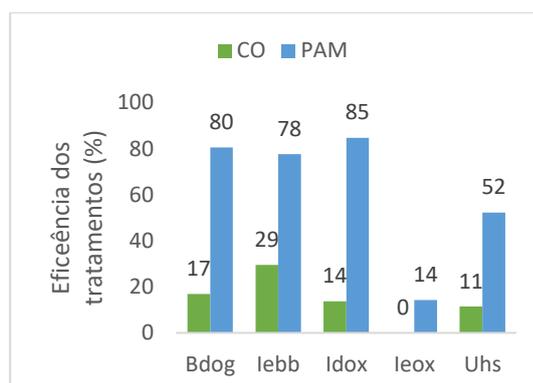


Figura 43. Comparação das eficiências dos tratamentos aplicados sobre a erodibilidade.

A tabela 21, complementa a informação facilitando a visualização da situação do leox no tratamento com CO, apesar deste caso isolado, os resultados apresentaram diferenças significativas nos tratamentos dos solos ($P = 0,000$).

Tabela 21. Valores da erodibilidade dos solos nos tratamentos aplicados.

Solo	SO		CO		PAM	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Bdog	8,9	3,0	7,4	1,1	1,7	0,5
lebb	7,1	1,3	5,0	0,9	1,6	0,5
ldox	6,8	2,8	5,9	1,0	1,0	0,4
leox	3,9	0,5	5,3	1,0	3,4	2,8
Uhs	5,8	1,9	5,1	1,1	2,8	0,5

Os resultados apontados na tabela a seguir, indicam a relação entre erodibilidade e matéria orgânica.

Tabela 22. Relação erodibilidade e matéria orgânica

Solo	Erodibilidade	Matéria orgânica (%)
Bdog	8,89	1,99
lebb	7,07	1,29
ldox	6,83	1,32
Uhs	5,79	1,77
leox	3,92	0,62

Todos os solos apresentam teor de matéria orgânica menor que 2,0% e para De Ploye (1983), solos neste estado são considerados com baixa estabilidade de agregados, Greenland et al. (Apud Cunha, 1995), aumenta a margem de concentração de MO. Para o autor, solos com concentração menor que 3,5% de matéria orgânica são considerados solos com agregados instáveis. Esta situação faz com que as partículas sejam mais facilmente desprendidas e assim, mais partículas são carregadas pelo agente erosivo. É possível observar um padrão de decréscimo da erodibilidade em relação ao aumento da matéria orgânica na maioria dos solos.

4.11 Destacabilidade x Erodibilidade

A figura 44, apresenta a relação entre a destacabilidade e a erodibilidade. Em geral, a destacabilidade foi maior do que a erodibilidade, com exceção de dois casos (lebb e ldox com PAM).

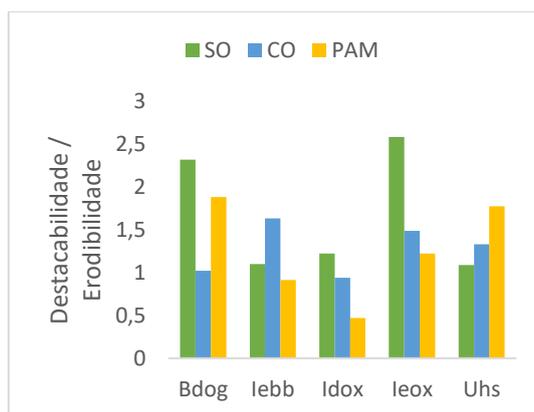


Figura 44. Relação Destacabilidade / Erodibilidade dos solos entre os tratamentos

O solo leox apresentou cerca de 250% a mais de destacabilidade em seu estado original, porcentagem que decaiu até 122% desta relação quando submetido ao tratamento com Poliacrilamida. O ldox, com comportamento semelhante ao leox, aproximou-se da relação 1:1 quando tratado com CO e chegou a ter um valor de,

aproximadamente, 50% do valor de erodibilidade em sua destacabilidade quando tratado com PAM. Demonstrando comportamento contrário, o Uhs, apresentou aumento gradativo nesta relação, do Solo original ao tratamento com PAM. O solo lebb, apresentou sua maior relação quando tratado com CO, que acontece ao contrário no caso do Bdog, onde a relação é a menor dentre os 3 tipos de tratamento, aproximando da relação de 1:1 (Tabela 23).

Tabela 23. Relação destacabilidade / erodibilidade

Solo	SO	CO	PAM
Bdog	232%	102%	188%
lebb	110%	163%	91%
ldox	123%	94%	47%
leox	258%	149%	122%
Uhs	109%	133%	178%

Em relação a eficácia entre os dois indicadores, os solos apresentaram um padrão em relação ao tratamento com CO, onde foram mais eficazes na destacabilidade, apenas dois dos solos se comportaram de maneira diferente. Já no tratamento com poliacrilamida apenas o Uhs apresentou um resultado diferente.

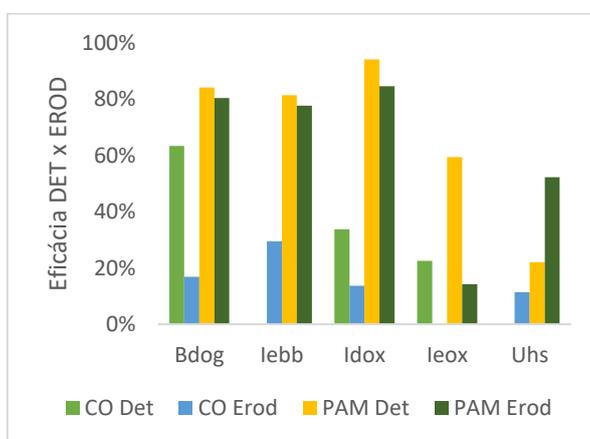


Figura 45. Comparação de eficácia dos tratamentos quanto a destacabilidade e erodibilidade

Os solos, Bdog, ldox e leox, apresentaram maior eficácia na destacabilidade em ambos os tratamentos submetidos, onde o Bdog se destaca em relação ao tratamento com CO, apresentando mais de 60% de eficácia na destacabilidade e menos de 20% no indicador de erodibilidade. Se comportando de modo contrário, os solos, lebb e Uhs, obtiveram melhores resultados na erodibilidade, já que o tratamento com corretivo orgânico não demonstrou eficiência sobre estes solos. No âmbito do tratamento com PAM o Uhs também foge do padrão do comportamento dos solos anteriores, aumentando a eficiência na erodibilidade, com cerca de 20% de eficiência na

destacabilidade e chegando a quase 60% de efeito de redução na erodibilidade deste solo (Tabela 24).

Tabela 24. Relação de eficácia dos tratamentos sobre destacabilidade / erodibilidade em %

Solo	CO		PAM	
	Det	Erod	Det	Erod
Bdog	63%	17%	84%	80%
lebb	0%	29%	81%	78%
ldox	34%	14%	94%	85%
leox	22%	0%	59%	14%
Uhs	0%	11%	22%	52%

5. Conclusões

O estudo teve como objetivo principal a avaliação da eficácia dos tratamentos dos solos que possuem maior erodibilidade do Nordeste de Portugal.

Para isso, foi preciso analisar parâmetros e gerar indicadores de maneira que fosse possível a avaliação da erodibilidade dos solos e logo, julgar se é favorável a utilização de algum dos corretivos utilizados em uma determinada área com os solos estudados.

Os resultados podem contribuir para futuras estimativas de perdas de solo dos solos estudados e principalmente, para a utilização, ou não, dos condicionadores utilizados neste trabalho.

5.1 Escoamento

Por ser o agente responsável pelo arraste das partículas este parâmetro é diretamente ligado à erodibilidade, contudo, este seguiu um padrão semelhante na maioria dos solos, com um aumento do escoamento entre os tratamentos, porém, este aumento não é significativo, no âmbito estatístico.

Foi possível concluir que as amostras se comportaram de forma coerente com os indicadores físicos de porosidade e matéria orgânica, aumentando o parâmetro de escoamento naqueles que possuíam menor porosidade e menor MO.

5.2 Destacabilidade

Os resultados de salpico expressos através da criação deste indicador, se apresentou importante para a visualização das reações dos solos em relação aos tratamentos e também, analisar sua relação com a erodibilidade, que avalia o carreamento pelo escoamento superficial das partículas já destacadas pela chuvada.

No indicador em questão, conclui-se que houve diferenças significativas entre os tratamentos aplicados. O tratamento com o composto orgânico se mostrou efetivo na maioria dos solos, entretanto, nos solos lebb e Uhs houve um aumento da destacabilidade, demonstrando ser ineficiente nas condições impostas no tratamento.

Em relação a aplicação de poliacrilamida, pôde-se concluir que os solos obtiveram decaimento significativo na destacabilidade, comprovando que o condicionador foi efetivo, melhorando as condições físicas do solo, como esperado, prevenindo que as partículas fossem desprendidas em demasiada quantidade.

5.3 Erodibilidade

Conhecendo a influência do escoamento e da destacabilidade sobre a erodibilidade dos solos, foi possível observar um padrão semelhante em alguns dos solos, principalmente no tratamento com a poliacrilamida.

Os resultados de perda de solo manifestados neste indicador, possibilitou averiguar que os resultados obtiveram diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos. No âmbito do solo original pôde-se constatar um padrão de comportamento, onde a erodibilidade decaía com o aumento do teor de matéria orgânica, o que demonstra a importância da MO no solo.

Em relação ao tratamento com condicionador de origem orgânica, constatou-se que este foi eficaz em 4 dos 5 solos estudados, todavia, nas condições apresentadas pelo leox, o tratamento não obteve significância no objetivo de melhorar as condições físicas deste. Contudo, na análise de solos com PAM, todos apresentaram uma diminuição significativa da erodibilidade, permitindo assim, concluir que o tratamento obteve sucesso em modificar a estrutura física do solo, evidenciando a eficiência do condicionador no quesito de prevenção de perda de solo.

Com isso, o trabalho prova a eficiência do corretivo orgânico agrícola em alguns solos como método alternativo à prevenção de processos erosivos, contudo, confirma a eficácia da aplicação da poliacrilamida em tratamento de solos para a preservação destes contra a ação da erosão hídrica. Espera-se também que este estudo contribua para o conhecimento e investigação dos solos do Nordeste de Portugal e que, principalmente, tenha evidenciado a importância da prevenção e proteção dos solos da região.

REFERÊNCIAS

ABGE. Geologia de engenharia e ambiental. Cap. 12, Controles de erosão p. 72-83, 2018.

AGROCONSULTORES, C. Carta dos solos, carta do uso actual da terra e carta da aptidão da terra do nordeste de Portugal. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro: Vila Real, Portugal. 1991.

AI-PING, W. A. N. G.; FA-HU, L. I.; SHENG-MIN, Y. A. N. G. Effect of polyacrylamide application on runoff, erosion, and soil nutrient loss under simulated rainfall. *Pedosphere*, v. 21, n. 5, p. 628-638, 2011.

AJWA, H. A. and TROUT, T. J. Polyacrylamide and water quality effects on infiltration in sandy loam soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70: 643–650. 2006.

ALVES, Amanda Leroy Ferreira. Efeitos de condicionadores do solo na erosão hídrica em áreas áridas no Nordeste de Portugal. Tese de Mestrado. 2018.

ALMEIDA, Brivaldo Gomes de. Métodos alternativos de determinação de parâmetros físicos do solo e uso de condicionadores químicos no estudo da qualidade do solo. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2008.

AQUINO, D. N. et al. A aplicação da USLE e SIG na estimativa da perda de solos em uma micro bacia hidrográfica do semi-árido do estado do ceará. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. 2007.

BARVENIK, Frank W. Polyacrylamide characteristics related to soil applications. *Soil science*, v. 158, n. 4, p. 235-243, 1994.

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. R. Física de Suelos. John Wiley & Sons Ltda, 1973.

BERTOL, Oromar João et al. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, n. 4, 2007.

BERTONI, José; LOMBARDI NETO, Francisco; BENATTI JUNIOR, Romeu. Metodologia para determinação de perdas por erosão. Circular IAC, Campinas, SP, n. 44, 15 p., 1975.

BRADY, N. C., & WEIL, R. R. Elements of the nature and properties of soils (No. 631.4 B733E.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Educational International. 2010

BRYAN, R. The influence of some soil conditioners on soil properties: laboratory tests on Kenyan soil samples. *Soil Technol.*, 5: 225-247. 1992.

CARVALHO, J. D., Sales, M. M., Souza, N. D., & Melo, M. D. S. Processos erosivos no Centro-Oeste brasileiro. *Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC*. 2006.

CAVALLI, Aline. Áreas áridas e risco de erosão potencial em zonas de montanha do NE Portugal. Tese de Doutorado. 2017

Colunista Comenta: Como acontece a erosão? Por Denis Aparecido Valério. ONG – Associação e Movimento Lagoa Viva. 2014. Disponível em: <http://onglagoavivapedroleopoldo.blogspot.com/2014/03/colunista-comenta-como-acontece-erosao.html>. Acesso em: 19 de jun de 2018.

COOK, Darrel F.; NELSON, Sheldon D. Effect of polyacrylamide on seedling emergence in crust-forming soils. *Soil Science*, v. 141, n. 5, p. 328-333, 1986.

CORRECHEL, V. Avaliação de índices de erodibilidade do solo através da técnica da análise da redistribuição do fallout do ¹³⁷Cs (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo). 2003.

CUNHA, SB da; GUERRA, A. J. T. B. Geomorfologia uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995.

DE ANDRADE, A. G.; DE FREITAS, P. L.; LANDERS, J. Aspectos gerais sobre o manejo e conservação do solo e da água e as mudanças ambientais. In Prado, R. B.; Turetta, A. P. D.; de Andrade, A. G., *Manejo e conservação do solo e da água no contexto das Mudanças Ambientais* (1° Ed, Cap 1, pp. 25-40). Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 2010

DE BOODT, M.F. Soil conditioning, a modern procedure for restoring physical soil degradation. *Pedologie*, 43: 157-195. 1993.

DEFRA – Department for Environment Food and Rural Affairs 2010. Runoff and erosion in Cross Compliance Guidance for Soil Management 2010 Edition. Disponível em: <<http://adlib.everysite.co.uk/adlib/defra/content.aspx?id=2RRVTHNXTS.809L94AM09UKA>>. Acesso em: 19 de jun de 2018.

DE PLOEY, J., – Rainfall simulation, runoff and soil erosion. 1ª ed. West Germany: Catena Supplement 4. 1983.

DINIZ FILHO, Edimar Texeira et al. A prática da compostagem no manejo sustentável de solos. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 2, n. 2, p. 27-36, 2007.

DUDA, G. P. et al. Avaliação de frações da matéria orgânica do solo para caracterização de áreas degradadas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, n. 3, p. 723-728, 1999.

ELLERBROCK, R. H. et al. Composition of organic matter fractions for explaining wettability of three forest soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 69, n. 1, p. 57-66, 2005.

ELLISON, W. D. Soil Erosion 1. *Soil Science Society of America Journal*, 12(C), 479-484. 1948.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: Condicionadores do solo, [2001]. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/eucalipto/arvore/CONT000h0181hfh02wx7ha07d3364aqh6z16.html>>. Acesso em: 14 de fev de 2019.

EUROPEIA, C. Comunicação da comissão ao parlamento europeu, ao conselho, ao comité económico e social europeu e ao comité das regiões. Estratégia temática para proteção do solo. 2006.

FAO/UNESCO. Soil Map of the World, Revised Legend. FAO, Roma. 1998.

FIGUEIREDO, T. de, Araújo, J. e Castro, J. P. M. de A Carta dos Solos do Nordeste de Portugal em SIG. ESAB, Bragança. 2000b

FIGUEIREDO, T. D. 84-Uma panorâmica sobre os recursos pedológicos do Nordeste Transmontano. 2013.

FIGUEIREDO, T. Protecção do Solo em Viticultura de Montanha: Manual Técnico para a Região do Douro. ADVID Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense, Peso da Régua. (autor e editor). 2015 Disponível em: <http://www.advid.pt/noticias?codNoticia=317>. Acesso em: 16 de mai. de 2018.

FIGUEIREDO, T., FONSECA, F., NUNES, L. Os solos e a suscetibilidade à desertificação no NE de Portugal. In Figueiredo, T., Fonseca, F., Nunes, L., Protecção do solo e combate à desertificação: oportunidades para as regiões fronteiriças (1ª ed., Cap 8, pp. 87-100). Bragança: Instituto politécnico de Bragança. 2015.

FOSTER, G. R.; MOLDENHAUER, W. C.; WISCHMEIER, W. H. Transferability of US Technology for Prediction and Control of Erosion in the Tropics 1. Soil erosion and conservation in the tropics, n. soilerosionandc, p. 135-149, 1982.

FRANCO, Avílio A. et al. Revegetação de solos degradados. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPBS, 1992.

GABRIELS, D. Application of soil conditioners for agriculture and engineering. In: M.F. De Boodt, M. Hayes and A. Herbillon (Editors), Soil Colloids and Their Associations in Aggregates. Plenum Press. New York, pp. 557-565. 1990.

GARCIA-ORENES F.; GUERRERO, C.; MATAIX-SOLERA J.; NAVARRO-PEDRENO J.; GOMEZ I, MATAIX-BENEYTO, J. Factors controlling the aggregate stability and bulk density in two different degraded soils amended with biosolids. Soil & Tillage Research, Amsterdam, v.82, n.1, p.65-76, 2005.

GREEN, V. Steven et al. Stability analysis of soil aggregates treated with anionic polyacrylamides of different molecular formulations. Soil Science, v. 169, n. 8, p. 573-581, 2004.

GUERRA, A. J. T., SILVA, S. S. BOTELHO, R. G. M. Erosão e conservação dos solos. Editora Bertrand Brasil, 3ª edição, 2007.

GUERRA, A. J. T., Fullen, M. A., Jorge, M. D. C. O., & Alexandre, S. T. Soil erosion and conservation in Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências*, 37(1), 81-91. 2014.

GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos, 2, 149-209. 1998.

HALLETT, P. D. A brief overview of the causes, impacts and amelioration of soil water repellency – a Review. Soil & Water Research, Slezská, v. 3, n. 1, p. 21-29, 2008.

HORTON, R. E. Erosion development of streams and their drainage basin: hydrophysical approach to quantitative morphology. Bulletin of the Geological Society of America, v. 56, p. 275-370, 1945.

IMESON, A. C., CURFS, M. Erosão do Solo. Lucinda, Land Care In Desertification Affected Areas, From Science Towards Application, série do fascículo B, nº 2. 2008.

KELLOGG, C. E. Soil survey manual (No. 274). US Department of Agriculture. 1937.

KIEHL, Edmar J. Fertilizantes Orgânicos. Piracicaba: Ceres, 1985.

KIRKBY, M. J., & Beven, K. J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. Hydrological Sciences Journal, 24(1), 43-69. 1979.

LAL, R., & Elliot, W. Erodibility and erosivity. Soil erosion research methods, 1, 181-208. 1994.

LENTZ, R. D. and Sojka, R. E. Applying polymers to irrigation water: Evaluating strategies for furrow erosion control. T. ASAE. 43: 1561–1568. 2000

- LENTZ, R. D. and Sojka, R. E. Long-term polyacrylamide formulation effects on soil erosion, water infiltration, and yields of furrow-irrigated crops. *Agron. J.* 101: 305-314. 2009.
- LEPSCH, I. F. *Formação e conservação dos solos* (2 ed). São Paulo. 2010.
- LIMA, Edson. *Comparação da eficácia de tecnologias para o controlo da perda de solo em áreas áridas no Nordeste de Portugal aplicando modelo de erosão*. Tese de Mestrado. 2016.
- LIMA, Herlander Mata. *Introdução à Modelação Ambiental: Erosão Hídrica*. Funchal (Portugal), 2010.
- MADRP, s.d. *Manual Básico de Práticas Agrícolas: Conservação do Solo e da Água*, s.l.: s.n.
- MAGHCHICHE, A., A. Haouam, and B. Immirzi. "Use of polymers and biopolymers for water retaining and soil stabilization in arid and semiarid regions." *Journal of Taibah University for science* 4.1: 9-16. 2010
- MATAIX-SOLERA, J. et al. Water repellency under different plant species in a calcareous forest soil in a semiarid Mediterranean environment. *Hydrological Processes*, Bristol, v. 21, n. 17, p. 2300-2309, 2007.
- MENESES, Bruno M. *Erosão Hídrica de Solos Caso de Estudo do Concelho de Tarouca*. Tese (Mestrado em Gestão do Território) – FCSH. Lisboa, p.138. 2011.
- METZGER, L. and Yaron, B: Influence of sludge organic matter on soil physical properties. In B.A.Stewart (ed.). *Advances in Soil Science* 7, 141-163, Springer-Verlag, New York. 1987.
- MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; REICHERT, J. M., CASSOL, E. A. *Processos e modelagem da erosão: da parcela à bacia hidrográfica*. In REZENDE, M. O. O.; Nunes, R. R., *Recurso solo: propriedades e usos* (1ª Ed, Cap 4, pp. 105-122). São Carlos: Editora Cubo. 2015.
- MONTAGNINI, F. & SANCHO, F. Impacts of native trees on tropical soils: a study in the atlantic lowlands of Costa Rica, Central America. *Ambio*, 19:386-390, 1990.
- MONTERO, Mirian Gutiérrez et al. *Evaluación y propuestas de mejora de suelos dedicados a diferentes usos en un sector del Parque Natural de Montesinho, Portugal*. *Spanish Journal of Soil Science*, v. 8, n. 1, p. 24-41, 2018.
- OLDEMAN, L. R. Global extent of soil degradation. In *Bi-Annual Report 1991-1992/ISRIC* (pp. 19-36). ISRIC. 1992.
- OLIVEIRA, Elir; PARIZOTTO, Maria L. V. *Características e uso fertilizantes do esterco de suínos*. Londrina: IAPAR, 1994.
- PELES, Daniela Perdas de Solo, Água e Nutrientes sob Aplicação de Gesso e Dejetos Líquidos de Suínos. *Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba*, 2007.
- Pensamento Verde: *Conheça os 6 tipos de erosão do solo e as diferenças entre os processos*, 2017. Disponível em: < <http://www.pensamentoverde.com.br/meio-ambiente/conheca-os-6-tipos-de-erosao-solo-e-diferencas-entre-os-processos/>>. Acesso em: 19 de jun de 2018.

PRATS, S., Wagenbrenner, J., Martins, M., Malvar, M., Keizer, J. – MidTerm and scaling effects os forest residue mulching on post fire, runoff and soil erosion. Science of the environmental. 2016.

RAMOS, Maria Alice Bompastor. Matos do Parque Natural de Montesinho: erosão hídrica e dinâmica do carbono: um estudo à micro-escala com simulação de chuva. Tese de Doutorado. Universidade dos Açores, Instituto Politécnico de Bragança. 2008.

RENARD, K. G. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). 1997.

REZENDE, M. O. O.; Nunes, R. R., - Recurso solo: propriedades e usos. – 1ª ed. – São Carlos: Editora Cubo. 2015.

SINGER, M. J. & Munns, D. N. Soil: an introduction. (5th ed) Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey. 1931- (2002)

SIVAPALAN, Siva. Potential use of polyacrylamides (PAM) in Australian irrigated agriculture. 2002.

SHAMP, N., Huylebroeck, J. & Sadones, M. - Adhesion and adsorption phenomena in soil conditioning. In: MODLDENHAUER, W.C. (Ed.). Soil Conditioners. Madison: Soil Science Society of America. Chap. 2, p. 13- 24. 1975.

SHARPE, C. S. What is soil erosion? (No. 286). US Department of Agriculture. 1938.

SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA. *Glossary of soil science terms 2008*. ASA-CSSA-SSSA. 2008.

SOIL SURVEY STAFF. Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. 2nd ed., Agriculture Handbook No. 436. Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture, 871 p. 1999.

SOIL SURVEY STAFF. *Keys to soil taxonomy*. Department of Agriculture: Natural Resources Conservation Service. (2014).

SOJKA, R.E. and Lentz, R.D. Time for yet another look at soil conditioners. Soil Sci., 158: 233- 234. 1994.

SOJKA, R.E., Entry, J.A. & Furhmann, J.J. The influence of high application rates of polyacrylamide on microbial metabolic potential in an agricultural soil. Appl. Soil Ecol. 32, 243-252. 2006.

SOJKA, R.E., Bjorneberg, D.L., Entry, J.A., Lentz, R.D. & Orts, W.J. (2007) - Polyacrylamide in agriculture and environmental land management. *Advances in Agronomy*, 92, 75–162. 2007.

SOJKA, R. E.; SURAPANENI, A. Potential use of polyacrylamide (PAM) in Australian agriculture to improve off and on-site environmental impacts and infiltration management. 2000.

SOUPIR, M. L., Mostaghimi, S., Masters, A., Flahive, K. A., Vaughan, D. H., Mendez, A. and McClellan, P. W. Effectiveness of polyacrylamide (PAM) in improving runoff water quality from construction sites. *J. Am. Water Resour. As.* 40: 53–66. 2004.

TROUT, T. J., Sojka, R. E. and Lentz, R. D. Polyacrylamide effect on furrow erosion and infiltration. *T. ASAE*. 38: 761–765. 1995.

TSADILAS, C.D.; MITSIOS, I.K.; GOLIA, E. Influence of biosolids application on some soil physical properties Communications in Soil Science and Plant Analysis, Oslo, v.36, n.4-6, p.709-716, 2005.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). From the ground down. An introduction to Iowa Soil Surveys. 2015.

USDA, Soil Conservation Service. National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology. U.S. Government Printing Office, Washington, DC. 1985.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. 2 ed. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil Ltda., 1980.

VOGELMANN, Eduardo Saldanha; PREVEDELLO, Juliana; REICHERT, José Miguel. Origem dos compostos hidrofóbicos e seus efeitos em florestas de Pinus e Eucalyptus. Ciência Florestal, v. 25, n. 4, p. 1067-1079, 2015.

WADT, P. G. S. Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas. *Embrapa Acre-Documentos (INFOTECA-E)*. 2003.

WISCHEMEIER, W. H.; SMITH, D. D. – Rainfall energy and its relationship to soil loss. TAGU, 39. 1958.

WISCHMEIER, W. H., Johnson, C. B., & Cross, B. V. Soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *Journal of soil and water conservation*. 1971.

WISCHMEIER, W. H., & Smith, D. D. Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning. Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning. 1978.

YU, J., LEI, T., SHAINBERG, I., MAMEDOV, A.I. & LEVY, G.J. - Infiltration and erosion in soils treated with dry PAM and gypsum. Soil Science Society of America Journal, 67, 630–636. 2003.

ZACHAR, D. - Soil Erosion. Developments in Soil Science 10. Bratislava: Veda, Publishing of house of the Slovak Academy of Sciences. 547 pp. 1982.

ZHANG, X. C. and Miller, W. P. Polyacrylamide effect on infiltration and erosion in furrows. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60: 866–872. 1996.