



**Propriedades Físico-Químicas de Solos com diferentes teores de Matéria Orgânica nas Regiões de Montanha no Nordeste de Portugal**

Kayque Ramon Bezerra Pereira

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção do Grau de Mestre em Agroecologia*

Orientado por

Prof. Doutor Tomás D'Aquino Rosa de Figueiredo (IPB)

Prof<sup>a</sup>. Doutora Felícia Fonseca (IPB)

Prof. Doutor José Fernandes de Melo Filho (UFRB)

Bragança, Portugal

2019



Kayque Ramon Bezerra Pereira

**Propriedades Físico-Químicas de Solos com diferentes teores de Matéria Orgânica nas Regiões de Montanha no Nordeste de Portugal**

Dissertação de Mestrado apresentado ao programa de Dupla Diplomação do Instituto Politécnico de Bragança, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agroecologia. Pesquisa sob orientação do Professor Doutor Tomás D'Aquino Rosa de Figueiredo (IPB), Professora Doutora Felícia Fonseca (IPB) e Professor Doutor José Fernandes de Melo Filho (UFRB).

Bragança, Portugal

2019

*A minha família em especial a Maria de Fátima Lima Bezerra, guerreira,  
companheira e “Grande Mulher” minha Mãe.*

*À memória de José Jurandir Pereira, meu Pai.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pelo dom da vida, ele é o nosso refúgio e fortaleza, socorro bem presente na angústia.

Ao Professor Doutor Tomás Figueiredo, pela paciência, orientação, humildade e por todo direcionamento dado durante todo o trabalho.

À Professora Doutora Felícia Fonseca, pela simpatia e apoio.

Ao Professor Doutor José Fernandes de Melo Filho pelas sugestões orientações prestadas.

A Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), universidade mais inclusiva do Brasil, por permitir que um jovem negro de família humilde ingressasse no tão sonhado ensino superior, por não medir esforços e ter contribuído para democratização da educação. Tenho, por isso, grande orgulho em dizer que “eu sou UFRB”!

Ao Instituto Politécnico de Bragança pela oportunidade de realizar o programa de Dupla Diplomação.

A toda minha Família, por todo apoio emocional e por sempre acreditarem em meus sonhos, em especial a minha Mãe Fátima por todo amor, cuidado, preocupação e carinho, aos meus irmãos Amanda, Juliana e Arthur, aos meus sobrinhos Pedro, Arthur, Junior, Tomás e minha sobrinha Amanda e aos meus cunhados e cunhadas. Aos meus primos, primas tios e tias de São Paulo e Fortaleza. As minhas primas Barbara e Luanda por franquear todo carinho e apoio durante essa jornada.

Não posso deixar de agradecer a minha segunda Mãe de Portugal Rosana, por todo amor, cuidado, dedicação, preocupação e as brigas para que eu me alimentasse melhor.

Ao meu mais novo irmão Miguel Encarnação, por me ajudar nas horas que mais precisei, principalmente em relação aos trabalhos de laboratório. Você é um exemplo de pessoa humana.

Aos meus amigos de intercambio em especial Renecleide por sempre está disposta a me ouvir e por partilhar suas experiencias e concelhos, cresci bastante ao seu lado.

Aos meus colegas do laboratório de solos Ana Carolina, Diego e Leonardo Morais pela troca de experiências e parceria.

A todos os meus amigos e amigas da África.

Ao meu Irmão Josias Luiz, por todo apoio dado durante minha graduação em Cruz das Almas.

Aos meus amigos do Brasil em especial Graça, Caeline, Sheila, Rita Barbosa e Jamila Café.

Ao Engenheiro Florestal e escritor Journey Pereira, pelo incentivo e amizade.

Ao meu amigo Magno Guedes pelos concelhos e por me ajudar nas horas mais difíceis.

Aos meus Amigos, Colegas, Conhecidos, Professores e Professoras da UFRB que contribuíram com a Vaquinha Online, Livro de Ouro e rifa. O meu muito obrigado.

Aos todos os Colaboradores do IPB em especial a Claudia Tennis, Marisa Pires, Aurora Rodrigues, Miguel Vara e a Psicóloga Nadini.

A todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a concretização desse trabalho o meu muito obrigado!

*“Sou Nordestino Brasileiro, do interior do Ceará  
Vim da Bahia estou em Bragança e o meu legado vou deixar  
Um legado de garra, força e determinação  
Carrego em meu discurso a marca da revolução  
Fique atento agora pois eu preciso escurecer  
Nem moreno, nem mulato fica o recado pra você  
o meu andado arrastado tem um grande significado  
Pois representa a resistência de um povo ainda massacrado.”  
(Pereira, 2019)*

## RESUMO

O solo é um recurso natural imprescindível para o desenvolvimento dos seres vivos e de inúmeras atividades antrópicas. Para além disso, possui papel fundamental na prestação de diversos serviços ecossistêmicos como regulação do ciclo do carbono, do ciclo da água e de vários nutrientes, por isso é de suma importância o estudo dos solos para avaliar suas condições, sua aptidão e técnicas de manejo para uma gestão sustentável deste recurso. No entanto, por apresentar um ciclo de renovação lento e que excede em muito o período de longevidade humana, é definido como um recurso natural não renovável. Nessa premissa, o presente estudo tem por objetivo avaliar as propriedades físico-químicas do solo em áreas de montanha com diferentes teores de matéria orgânica e buscar relações estatísticas entre essas propriedades. As áreas de estudo localizam-se em três regiões de montanhas: Serra de Montesinho (SM), Serra da Nogueira (SN) e Serra da Coroa (SC). Constatou-se que, assim como as propriedades físicas, as propriedades químicas dos solos são afetadas pelo teor de matéria orgânica e o uso do solo. Partindo de uma análise global dos dados amostrados, observa-se que os três locais estudados apresentam basicamente comportamentos distintos em relação a cada parâmetro analisado.

**Palavras-chave:** Conservação do solo e Manejo, Atributos dos solos, Qualidade do solo, Nordeste de Portugal.

## **ABSTRACT**

Soil is an indispensable natural resource for the development of living beings and numerous human activities. In addition, it plays a fundamental role in the provision of various ecosystem services, such as regulation of the carbon cycle, water cycle and various nutrients, so it is extremely important to study the soil conditions to assess their conditions, their aptitude and management techniques sustainable management of this resource. In this premise, the present study aims to evaluate the physical-chemical properties of the soil in mountain areas with different organic matter contents and to seek statistical relationships between these properties. The study areas were located in three mountain regions: Serra de Montesinho (SM), Serra da Nogueira (SN) and Serra da Coroa (SC). A conclusion was reached that just like the physical properties, the chemical properties of the soils are also affected by organic matter content and soil use. Based on an overall analysis of the sampled data, it is observed that the three studied sites present basically different behaviors in relation to every parameter analyzed.

**Key words:** Soil conservation and management, Soil attributes, Soil quality, Northeast Portugal.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	17
2.1 Solos: Importância, processos de formação e degradação .....	17
2.2 Erosão Hídrica do Solo .....	21
2.3. Qualidade do Solo.....	25
2.3.1 Indicadores físicos da qualidade dos solos.....	26
2.3.2 Indicadores Químicos e Biológicos de Qualidade de Solo.....	28
2.4. O Papel da Matéria Orgânica no solo .....	29
3. METODOLOGIA.....	30
3.1. Caracterização das áreas Experimentais.....	30
3.1.1. Localização das Áreas de Amostragem.....	30
3.1.2. Condições Climáticas .....	32
3.1.3. Caracterização dos Solos .....	33
3.1.4. Vegetação das áreas amostradas .....	34
3.2. Amostragem do Solo.....	34
3.3. Análises das Propriedades Físicas .....	36
3.3.1. Permeabilidade .....	37
3.3.1.1. Prodecimentos laboratoriais .....	37
3.3.2. Outras determinações.....	40
3.3.2.1. Densidade aparente.....	40
3.3.2.2. Capacidade de Campo e Capacidade Máxima para a Água .....	41
3.3.2.3. Porosidade Total.....	41
3.3.2.4. Microporosidade e Macroporosidade.....	41
3.3.2.5. Densidade Real .....	42
3.4. Análises Químicas .....	42
3.4.1. Matéria orgânica .....	42
3.4.2. Potencial hidrogeniônico - pH $H_2O$ .....	43
3.4.3. Fósforo e Potássio .....	43
3.4.4. Complexo de troca catiônica.....	44
3.4.4.1. Bases de Troca.....	44
3.4.4.2. Capacidade de Troca Catiônica.....	44
3.4.4.3. Grau de Saturação em Base .....	44

3.5. Análise estatística .....	45
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
4.1 Propriedades Físicas do solo .....	46
4.1.1 Permeabilidade dos solos .....	46
4.1.2 Densidade Aparente e Porosidade Total .....	47
4.1.3 Capacidade Máxima para Água e Capacidade de Campo .....	48
4.1.4 Microporosidade e Macroporosidade .....	49
4.2 Propriedades Químicas do Solo.....	50
4.2.1 Matéria orgânica .....	50
4.2.2 pH .....	50
4.2.3 Fósforo e Potássio .....	51
4.2.4 Complexo de Troca.....	52
4.3 Discussão geral dos Resultados .....	53
4.3.1 Propriedades físicas do solo:.....	53
4.3.2 Propriedades Químicas do Solo .....	56
4.3.3 Relação entre propriedades do solo .....	58
5. CONCLUSÃO.....	63
6. REFERÊNCIAS.....	64
7. ANEXOS .....	68

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Localização geográfica do local de amostragem SM (Serra de Montesinho). As coordenadas geográficas estão compreendidas entre as latitudes 41°57'51.2"N e 41°58'38.47"N e longitudes 6°45'56.37"O e 6°46'39.74"O na Serra de Montesinho. ....	30
<b>Figura 2:</b> Localização geográfica do local de amostragem SN - Serra da Nogueira, os pontos situam-se entre 41°44'0.3" e 41°44'30.2" latitude Norte e entre 6°51'48.5" e 6°52'02.1" longitude Oeste. ....	31
<b>Figura 3:</b> Localização geográfica do local de amostragem SC - Serra da Coroa, as latitudes situam-se entre 41°52'08.9"N e 41°52'46.4"N e as longitudes, por sua vez, entre 7°01'22.8"O e 7°01'57.3"O.....	31
<b>Figura 4.</b> Precipitação do Distrito de Bragança .....	32
<b>Figura 5:</b> Colheita de solo em Serra de Montesinho para análise química do solo (profundidade de 0- 5 cm).....	35
<b>Figura 6:</b> Colheita de Solo em Serra de Montesinho para análise Física do solo (profundidade de 0-5 cm) .....	35
<b>Figura 7:</b> Colheita de solo na Serra da Coroa para analise física do solo (profundidade de 0 - 5 cm). ....	36
<b>Figura 8:</b> Colheita de solo na Serra da Nogueira para analise física do solo (profundidade de 0 - 5 cm). ....	36
<b>Figura 9:</b> Coloca da amostra no suporte para em seguida depositar no equipamento para saturar. ....	37
<b>Figura 10:</b> Vista superior do permeâmetro (saturação das amostras).....	37
<b>Figura 11:</b> Vista frontal do permeâmetro detalhada (medições do volume da água). ....	39
<b>Figura 12:</b> Vista Frontal do permeâmetro em funcionamento.....	39
<b>Figura 13:</b> Primeira pesagem das amostras.....	39
<b>Figura 14:</b> Amostras dentro da estufa. ....	39
<b>Figura 15:</b> Permeabilidade Inicial: Média e desvio padrão. ....	46
<b>Figura 16:</b> Permeabilidade Final: Média e desvio padrão .....	46
<b>Figura 17:</b> Densidade aparente: média e desvio padrão. ....	48

<b>Figura 18:</b> Porosidade total: Média e desvio padrão.....	48
<b>Figura 19:</b> Capacidade máxima para água: Média e Desvio Padrão.....	48
<b>Figura 20:</b> Capacidade de Campo: Média e Desvio Padrão.....	48
<b>Figura 21:</b> Macroporosidade: Média e Desvio Padrão.....	49
<b>Figura 22:</b> Microporosidade: Média e Desvio Padrão.....	49
<b>Figura 23:</b> Matéria Orgânica: Média.....	50
<b>Figura 24:</b> Potencial de Hidrogénio em água: Média.....	51
<b>Figura 25:</b> Fósforo extraível: Média.....	51
<b>Figura 26:</b> Potássio extraível: Média.....	51
<b>Figura 27:</b> Soma de bases de troca: Média.....	52
<b>Figura 28:</b> Capacidade de troca catiônica efetiva: Média.....	52
<b>Figura 29:</b> Grau de saturação em bases Efetiva: Média.....	53
<b>Figura 30:</b> Correlação: Densidade Aparente (Dap), Capacidade máxima para água (CMA) e capacidade de campo (CC). (Significância $P > 0,6664$ ).....	58
<b>Figura 31:</b> Correlação: Capacidade de troca catiônica efetiva (CTCe) e Soma de bases de troca (SBT). (Significância $P > 0,6664$ ).....	59
<b>Figura 32:</b> Correlação: Potencial de Hidrogénio em água e Grau de saturação em Bases efetiva.....	59
<b>Figura 33:</b> Correlação: Potencial de Hidrogénio em água (pH) e Pentóxido de fósforo.....	60
<b>Figura 34:</b> Correlação: Potencial de Hidrogénio em água (pH) e Matéria orgânica (MO).....	61
<b>Figura 35:</b> Correlação: Matéria orgânica, Porosidade total (P), Microporosidade (MicroP) e Macroporosidade (MacroP).....	61
<b>Figura 36:</b> Correlação: Densidade Aparente (Dap), Matéria orgânica (MO) e Capacidade de troca catiônica efetiva.....	62

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Indicadores físicos do solo e métodos sugeridos para avaliação (LAL, 1999) apud (Gomes & Filizola, 2006).....	27
<b>Tabela 2:</b> Taxonomia dos solos segundo Agroconsultores & Coba (1991), Apontado pelo autor características da área estudada Serra de Montesinho (SM), Serra da Coroa Cereal (SC C), Serra da Coroa Pastagem (SC P), Serra da Nogueira <i>Quercus pyrenaica</i> (SN QP) e Serra da Nogueira <i>Pseudotsuga mensieziie</i> (SN QP).....	33
<b>Tabela 3:</b> Classificação USDA da permeabilidade dos solos (Figueiredo, 2011). .....	40
<b>Tabela 4:</b> Classificação dos solos quanto à percentagem de matéria orgânica (Costa, 1991).....	42
<b>Tabela 5:</b> Classes de pH do solo (Costa, 1991). ....	43
<b>Tabela 6:</b> Resultado do Teste de Normalidade (K-S) N=36.....	53
<b>Tabela 7:</b> Resultados da ANOVA Fator Único gl= 8 N 36.....	53
<b>Tabela 8:</b> Valores médios das propriedades físicas do solos avaliadas para os diferentes locais, e comparação dos diferentes locais amostrados (médias de um parametro seguidas de letras diferentes representam diferenças significativas entre locais, teste LSD, P< 0,05) .....	54
<b>Tabela 9:</b> Valores médios de uso do Solo para as propriedades físicas microporosidade e macroporosidade. ....	56

## 1. INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural imprescindível para o desenvolvimento dos seres vivos e de inúmeras atividades antrópicas. Ele exerce uma função essencial para a humanidade, em suprir suas diversas necessidades básicas como alimentação, abrigo, locomoção e lazer (Santana *et al.*, 1999). Para além disso, possui papel fundamental na prestação de diversos serviços ecossistêmicos, por isso é de suma importância o estudo dos solos para avaliar suas condições, sua aptidão e técnicas de manejo para uma gestão sustentável deste recurso (Gutiérrez, 2017).

A pedologia descreve o solo como um corpo tridimensional e, quando levado em consideração o fator tempo, é apresentado como um sistema de quatro dimensões: tempo, profundidade, largura e comprimento (Porta *et al.* 2003). Em função dos processos de gênese e de evolução, os solos desenvolvem propriedades físicas, químicas e biológicas que estão intrinsecamente associadas a cada tipo de solo, que influenciam diretamente a sua produtividade (Spera *et al.* 2004).

Nessa lógica, os principais atributos físico-químicos associados ao solo são: Textura, cor, plasticidade, adesividade, Densidade, Porosidade, condutividade hidráulica (ou permeabilidade), estrutura, Resistência à penetração (compactação), Capacidade de água disponível (reserva hídrica), Matéria Orgânica, teor de Nutrientes, capacidade de troca catiônica, grau de saturação em bases e soma de bases de troca, entre outras (Costa, 1999).

A erosão e a consequente perda de matéria orgânica, dentre outros processos, são considerados os principais fatores de degradação dos solos. A matéria orgânica do solo é um atributo chave nos ecossistemas, contribui para a nutrição das plantas, propriedades biológicas, físico-químicas do solo e sustentabilidade agrícola. As mudanças na sua abundância ou composição tem um efeito importantes em muitos dos processos que ocorrem dentro do sistema (Batjes, 1996). Vale ressaltar que a matéria orgânica oferece um contributo para o aumento das emissões biogênicas de CO<sub>2</sub>, a queda da qualidade e quantidade de matéria orgânica pode comprometer a produtividade agrícola bem como a segurança alimentar (Lal, 2006).

Assim, para avaliar a sustentabilidade de um sistema de manejo é crucial que ele permita manter os atributos físico-químicos do solo o mais próximo possível das condições originárias de formação e evolução, ou seja, protegido por cobertos de matas ou sob outro tipo de proteção vegetal (não desnudo), possibilitando maior proximidade das condições naturais, para manter a sua produtividade de forma racional (Llanillo *et al.* 2006).

Nesse enquadramento, o presente trabalho tem por objetivo avaliar as propriedades físico-químicas do solo em áreas de montanha com diferentes teores de matéria orgânica e buscar relações estatísticas entre essas propriedades. Para alcançar esses objetivos o trabalho foi estruturado em 4 capítulos. O primeiro capítulo trata da revisão bibliográfica, nela são apresentados os processos de formação do solo, erosão do solo, os indicadores físicos de qualidade do solo, indicadores químicos de qualidade de solo, indicadores biológicos de qualidade do solo e o papel da matéria orgânica no solo. No segundo capítulo é destinado à descrição das metodologias delineadas para a execução do trabalho bem como descrição da área de estudo e todas as etapas de dos trabalhos de campo e laboratoriais. No terceiro capítulo apresentam-se os resultados obtidos e a sua discussão. O quarto capítulo trata das principais conclusões do trabalho afim de cumprir o objetivo traçado. Por último, são apresentadas as referenciais biográficas que deram embasamento teórico para a realização desse trabalho.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Solos: Importância, processos de formação e degradação**

O solo é um recurso natural imprescindível para o desenvolvimento de inúmeras atividades antrópicas. No entanto, por apresentar um ciclo de renovação lento e que excede em muito o período de longevidade humana, é definido como um recurso natural não renovável. Assim, seus diferentes usos devem ser regidos pelo princípio da sustentabilidade, a fim de evitar futuras implicações (Figueiredo, 2015).

A gênese do solo é o resultado de processos de carácter geomorfológicos e pedológicos, desencadeados a partir das interações entre fatores bióticos e abióticos que atuam de forma integrada (Tabalipa & Fiori, 2012): rocha, clima, organismos, relevo e tempo.

Para entender melhor o processo de evolução e formação do solo, é indispensável compreender que o mesmo passa por diferentes etapas físico-químicas: perdas, transformação, transportes e adição. Estas fases físico-químicas aliadas às diferentes intensidades e aos fatores de formação definem a composição dos diversos tipos de solos existentes (Lima et al. 2007).

Durante as etapas de formação do solo, através da ação do intemperismo e com o crescimento de organismos nas rochas da litosfera, ocorrem várias alterações na constituição química dos minerais e em seus aspetos físicos (processo de meteorização), do qual se origina um composto denominado de semiconsolidado, base primaz para a formação do solo (Bertoni & Lombardi Neto, 2010)

Para a consumação do referido processo, o clima exerce um papel decisivo, sobretudo os fenómenos da temperatura e da precipitação pluviométrica, além de influenciar a taxa de meteorização das rochas (Figueiredo, 2013). A água no estado líquido é de suma importância para o processo de intemperismo e a subsequente gênese do solo, o que faz de lugares extremos (com ausência ou água no estado sólido) limitados quanto à formação dos solos.

Ainda neste contexto, Ahmed (2009) salienta que as elevadas temperaturas podem triplicar a velocidade de uma reação química, ocasionando alterações físico-químicas em maiores profundidades do terreno. O mesmo autor ainda ressalta que a influência da precipitação pluviométrica sobre a evolução pedogenética deve ser avaliada sob a ótica da ação hídrica, que gera uma série de modificações químicas dos minerais e contribui na dinâmica do movimento de soluções no processo de lixiviação do solo.

A fauna e a flora (macro e micro) atuam de forma relevante no processo de se estabelecer a distinção dos perfis dos solos, além de desenvolver um papel basilar na decomposição dos restos animais e vegetais, ação que viabiliza a formação do húmus. Essa decomposição favorece a união primária de suas partículas, contribuindo para a formação dos agregados na composição de sua estrutura (Correia, 1986).

Lima et al. (2007) ratificam a importância funcional dos organismos edáficos (fungos, bactérias, minhocas, insetos, vegetais e outros), bem como destacam que os mesmos desenvolvem ações diretas na formação do solo, além das modificações ou transformações dos elementos orgânicos e inorgânicos. Já a vegetação, além contribuir como fonte de matéria orgânica, também desempenha uma função primordial na proteção do solo, pois, através da cobertura proporcionada por sua biomassa, evita a ação direta da chuva sobre o solo e, conseqüentemente, ajuda a reduzir os efeitos erosivos da precipitação pluviométrica.

Contudo, as ações antrópicas – devastação de vegetação nativa, mobilizações do horizonte A e a adição de uma gama de fitossanitários, além de outras – têm contribuído para grandes impactos ambientais. Por conta disto, como uma resposta científica aos impactos causados por essas atividades, nos últimos tempos, inúmeros estudos estão sendo realizados sobre a temática do uso adequado do solo por meio de práticas de caráter conservacionista (Porta, 2003)

A topografia é um elemento condicionante da formação de diferentes tipos de solos, bem como proporciona uma visível variabilidade de cores e aspetos

aos mesmos, geralmente, resultado da desproporção no terreno da luz, calor, distribuição da água da chuva e erosão. Os diferentes tipos de relevo (plano, inclinado ou abaciado) podem inviabilizar ou possibilitar os processos erosivos dos solos, uma vez que a água da chuva infiltra no solo, transcorre na superfície causando erosão ou formando banhados com a aglomeração da água. Em relevos planos, geralmente a água é drenada quase que completamente e favorece a criação de solos profundos (Costa, 1999).

No caso do relevo inclinado, a água escoar pela área superficial e contribuir para os processos erosivos, limitando a formação do solo nessas áreas, onde predominam os solos rásos. Já nas áreas com relevo abaciado, retém-se a água que escorre de áreas inclinadas, além da água da chuva que corrobora para a formação de várzeas (banhados), formando solos denominados hidromórficos, isto é, solos encharcados. Em caso de acúmulo de matéria orgânica de origem vegetal, os solos propendem a expor maiores quantidades de matéria orgânica (Lima et al. 2007).

De acordo Thomaz (2007), as áreas íngremes tendem a gerar solos mais rásos, devido à erosão, em especial hídrica, que carrega o solo frequentemente, impossibilitando assim o seu acúmulo e espessamento. Diferentemente, as áreas aplainadas tendem a formar solos profundos, isso ocorre em razão da menor intensidade da erosão, que possibilita o aprofundamento do solo.

Outro fator determinante para a formação dos solos é o tempo; para exemplificar, é possível apontar que na gênese da constituição dos solos o tempo permite que os organismos se desenvolvam em uma faixa esguia (delgada) de rocha decomposta. Caso não ocorra erosão acelerada, os atributos desses solos apresentam-se mais distintos, ou seja, os horizontes ficam espessos e distintos. Deste modo, é possível evidenciar a espessura como uma particularidade influenciada diretamente pelo tempo, visto que os solos jovens geralmente são menos espessos que os velhos (Tabalipa & Fiori, 2012).

O desempenho dos processos de formação dos solos está indubitavelmente alinhado ao tempo. Assim, é importante destacar quais são os fatores que determinam a sua duração, a saber: tipo de rocha, clima e relevo. Solos estruturados por meio de rochas facilmente intemperizadas são formados

rapidamente quando comparados com os que se originam a partir de uma rocha de difícil alteração. Por exemplo, quando os solos são derivados de quartzito, o tempo de formação é maior em comparação aos solos originados do diabásio, pois o quartzo é um mineral bastante resistente ao intemperismo. Os relevos inclinados – montanhas, montes, etc. – apresentam um processo de formação mais demorado em relação aos relevos planos (Lima et al. 2007).

Nota-se que em solos mais jovens o teor de argila é menor que os solos mais velhos, isso ocorre, por ação do tempo de formação que decorre os minerais primários, oriundos da rocha e que compõem as frações mais rústicas do solo (areia e limo), posteriormente, convertem-se em argila, que é a parcela mais tênue do solo (Porta, 2003).

Já no tocante aos solos mais velhos, originados de uma mesma rocha, geralmente, evidenciam menor quantidade de nutrientes, que são removidos pelas águas das chuvas. Acredita-se que os solos jovens são mais férteis que os solos mais velhos. Entretanto, é sabido que um solo jovem normalmente terá baixa fertilidade, caso a rocha originária seja desprovida de nutrientes (Morgan, 2005).

Na contemporaneidade, o crescimento da economia e a grande demanda dos produtos agrícolas têm intensificado o sistema produtivo cada vez mais, o que requer maiores consumos de bens naturais e gera graves impactos ao meio ambiente (Juntolli, *et al.* 2013). Seguindo raciocínio similar, Lima et al. (2007), apontam que na busca incessante pelo aumento de áreas agricultáveis, o homem vem mudando sua forma tradicional de trabalho e com isso desencadeou diversos impactos sobre os espaços naturais, e que essas mudanças feriram a saúde ambiental e, principalmente, a integridade do solo.

Assim, com o aparecimento de novas tecnologias para o controle de pragas e doenças, o aumento da produtividade e o uso inadequado do solo têm provocado uma série de alterações indesejáveis nos serviços ecossistêmicos. Lepsch (2010), afirma que a visão acerca do solo depende do enfoque científico de interesse. Para o engenheiro de minas, o solo é um material desprezado que esconde os minérios e que deve ser removido. O engenheiro civil visualiza como parte da matéria-prima para diversos tipos de construções. Ecólogos veem o

solo como uma porção do ambiente condicionado por organismos vivos e que, por sua vez, também exerce influência sobre esses organismos.

O solo é um elemento essencial do ecossistema terrestre, porque detém uma gama de funções que garantem a qualidade de vida e a saúde ambiental, além de contribuir para serviços ecossistêmicos. Igualmente, o solo é responsável pelo fornecimento de substratos que auxiliam a planta no seu crescimento e multiplicação. Oferece também uma pluralidade de funções como: regulação da distribuição, armazenamento, escoamento e infiltração da água da chuva (Porta, *et al.* 2003)

Portanto, para garantir suas funções essenciais à vida e ao meio ambiente é importante conservá-lo, e para que ocorra mudança do cenário mundial atual é preciso garantir a sustentabilidade da agricultura e adotar mudanças significativas, a fim de potencializar os serviços ecossistêmicos para garantir a conservação ambiental e o bem-estar humano (Prado *et al.* 2016).

## **2.2 Erosão Hídrica do Solo**

A erosão é um fenômeno natural que, em razão de diversas ações antrópicas, vem sendo intensificado, o que pode afetar diretamente o meio ambiente: aumentar as taxas de perda de solo assim como reduzir a sua produtividade e a disponibilidade de água (Gomes *et al.*, 2017). O solo sofre diversas perturbações, destacando-se as operações de lavoura e o pisoteio animal que leva ao desprendimento de partículas individuais do solo e o transporte por agentes erosivos como a água e o vento. Assim, três fases compõem o processo de erosão do solo: desprendimento, transporte e deposição do material erodido (Morgan, 2005)

A degradação do solo é um problema de interesse mundial em virtude do seu uso intensivo associadas às práticas inadequadas de manejo. Esse tema vem preocupando diversos pesquisadores, pois compromete a manutenção, a conservação ambiental e a sustentabilidade dos agroecossistemas (Panachuki *et al.*, 2006). Uma das principais causas da degradação do solo é a erosão, podendo ser ocasionado por um ou vários agentes erosivos, seja o vento, a

chuva, gelo, rios e mares. O escoamento superficial laminar, por exemplo, é o primeiro processo erosivo ocasionado pela ação da chuva, o impacto das gotas da chuva, é o salpico, erosão por salpicamento. A erosão laminar é o primeiro impacto do escoamento superficial, que pode evoluir para a formação de sulcos ou provocar danos mais impactantes, como as chamadas ravinhas (Walter et al.,2014).

A erosão hídrica é decorrente das precipitações e do escoamento superficial, considerada um fenômeno natural que integra os processos geodinâmicos. Figueiredo (2015) afirma que a erosão hídrica está associada a diversos fatores: erosividade, topografia, ocupação cultural, práticas culturais e erodibilidade.

A erosão acelerada, resultado das ações antrópicas ou não associadas aos elementos ambientais e às práticas de uso da terra, podem gerar severos impactos socioambientais, principalmente sobre a qualidade da água e sobre a degradação do solo. No entanto, vale destacar que apesar da erosão ser um processo natural, que por vezes não pode ser totalmente evitado, este ao menos pode ser restringido a um ponto máximo aceitável e/ou a limites de tolerância para perda de solos (Aguar 2000).

A ação da chuva no solo é a causa elementar para que ocorra a erosão hídrica, e sua quantificação submete-se à erosividade que está relacionada à aglutinação do poder da chuva de causar erosão no solo e a erodibilidade, ou seja, a capacidade de resistir à ação da chuva (Bryan, 1987; Bagatini et al., 2011). Os processos de erosão estão profundamente vinculados ao percurso explorado pela água em seu movimento, seja no coberto vegetal ou na superfície do solo (Morgan, 2005). É possível reconhecer as etapas de maior perigo de erosão hídrica, para tal, é preciso observar o desenvolvimento do coberto vegetal durante o ano, e realizar uma comparação com a distribuição temporal da erosividade das precipitações (Figueiredo & Gonçalves, 2008).

A erosão hídrica pode ser fragmentada em três fases: desagregação, transporte e deposição. A precipitação inicial, com o impacto das gotas de água, humedece os agregados, minimizando as forças coesivas. Devido a ininterrupção da chuva, os agregados são desmembrados em menores

partículas, tipificando a fase desagregação. Com a elevação da energia cinética da precipitação, a porção de agregados desintegrados aumenta, em consequência da velocidade, da intensidade e do tamanho das gotas da chuva. Desse modo, quando a precipitação excede a taxa de infiltração da água no solo, inicia o transporte do solo, que, com o tempo, pode diminuir, em virtude do humedecimento do solo e pelo selamento superficial. O transporte de sedimento dará início quando o escoamento superficial for determinado, e só será depositado se a carga for superior a capacidade do transporte do escoamento superficial (Flores, 2008). Para Guerra (2007), o ponto de partida da erosão acontece por meio da chuva que causa o efeito “splash” conhecido como salpicamento, o mesmo é provocado quando as gotas da chuva caem sobre os agregados sedimentares e os rompem, submergindo o solo, limitando a porosidade e formando poças, e conseqüentemente o escoamento superficial das águas. Esse evento é intensificado com o aumento da chuva (intensidade ou a energia cinética), visto que quanto maior a intensidade, maior o número de gotas de água que irão atingir o solo.

Os processos citados anteriormente contribuem para o aparecimento da erosão hídrica a partir do escoamento superficial do tipo: laminar, sulcos e ravinas, que são classificadas de acordo com intensidade, causas e profundidade (Carvalho *et al*, 2001).

A erosão laminar pode ser caracterizada pela deterioração e o arraste regular e suave em toda a dimensão sujeita ao agente, pela ação do escoamento difuso (não canalizado). Inicialmente ocorre o desprendimento das partículas de argila e matéria orgânica, porções de solo com maiores quantidades de nutrientes para as plantas. Embora sua ação seja de difícil visibilidade, é possível observar seus efeitos sobre a produção das culturas, pois a queda é significativa, em campo, são notórias as marcas no caule das plantas e o solo que foi arrastado (Magalhães, 2001).

É possível evidenciar suas conseqüências principalmente em zonas agricultáveis, pois leva uma quantidade significativa de nutrientes, desestabiliza as plantações, além de atingir a cobertura de suas raízes. Embora não seja tão grave, a erosão laminar pode causar, por exemplo, grandes problemas de ordem

monetária às terras agrícolas e contribuir para o assoreamento de rios, lagos e albufeiras (Carvalho *et al.*, 2001).

Já a erosão em sulcos, é facilmente identificada em campo. Suas incisões nos solos variam de até 0,5 m de profundidade, devido ao microrelevo ou em virtude de feições feita pelo homem ou animais (estradas não pavimentadas caminhos, trilhas de gado, entre outros) (Morgan, 2005). É importante enfatizar que com o aumento no volume do fluxo d'água, maiores quantidades de partículas de solo são carregadas. Neste sentido, diversos pesquisadores buscam categorizar os sulcos de erosão de acordo com a sua profundidade e largura (Govers & Rauws, 1986). Os sulcos que são possíveis de serem cruzados por equipamentos agrícolas e se rompem pela normalização dos terrenos são denominados superficiais; na ocasião em que podem ser atravessados por equipamentos agrícolas, entretanto, não se rompem, quando do preparo do solo são chamados de rasos, para finalizar, quando não podem mais ser atravessados por equipamentos são chamados de profundo (Bertol *et al.*, 1997).

Freitas *et al.* (2008) acreditam que a erosão entre sulcos é um processo complexo, os mesmos ainda apontam que os fatores erosividade, tamanho das gotas, velocidade terminal e energia estão relacionados a intensidade da erosão. Complementam que também deve ser levado em consideração as características do solo e da superfície (vegetação, microtopografia, rugosidade e declividade). Logo, é admissível denominar erosão entre sulco como a junção de dois processos distintos: a degradação do solo (impacto da gota chuva) e o fluxo entre sulco.

Lafayette (2006) afirma que, quando as forças do cisalhamento do escoamento ultrapassam as forças coesivas do solo, é superada a tensão crítica do cisalhamento e ocorre então a erosão em sulco. De tal modo, é possível ratificar que a mesma é também o resultado da interação da capacidade do escoamento em erodir, e a resistência do solo às ações de degradação e transporte pelo escoamento.

Diferente da erosão em sulcos, as ravinas são consideradas o estágio mais crítico da erosão hídrica. Basicamente, ocorrem a partir da abertura de

valas onde se concentram o fluxo superficial. Quanto a sua formação, ocorre graças à resistência variada à erosão, que está relacionada geralmente a variação da declividade dos terrenos ou elevação; sendo considerada a fase mais evoluída da erosão acelerada. Durante a referida fase, ocorre a passagem do processo de ravinamento, podendo atingir o lençol freático com o aparecimento de surgência d'água (Magalhães, 2001).

Resultantes do aumento da erosão em sulco, as ravinas podem provocar, em pouco tempo, grandes prejuízos ambientais, além da destruição de grandes extensões de terras (caso não seja feita intervenções) e o aumento do assoreamento das várzeas, dos leitos fluviais e das represas (Tominaga et al. 2009).

A erosão é um processo natural de improvável erradicação e de laboriosa monetarização ou controle; mas que nocivamente pode ser catalisada pelas ações antrópicas (Nascimento et al. 2017). Portanto, se faz necessário a adoção de práticas adequadas de manejo do solo, bem como a construção de estratégias de sensibilização da sociedade.

### **2.3. Qualidade do Solo**

O solo possui vasta capacidade de fornecer serviços ecossistêmicos que proporcionam o bem-estar e a saúde da humanidade. A qualidade dos solos denota as atividades e propriedades do solo em fornecer suporte ao ecossistema, proporcionando efeito positivo ao meio ambiente, produtividade biológica, ecológica e a saúde ambiental (Raiesi & Kabiri, 2016). Entretanto, devido às mudanças climáticas e ações antrópicas o solo passa a sofrer sérias mudanças que podem comprometer sua função e, uma das principais ameaças é a erosão, que contribui para a diminuição da biodiversidade e perda de matéria orgânica, a salinização, a compactação e o deslizamento de terras; fatores que preocupam diversos estudiosos do meio científico.

Nesse sentido, vários investigadores se debruçaram sobre o estudo da qualidade dos solos, analisando parâmetros físicos, químicos, biológicos e as características dos solos, que são agrupados e comparados de forma sistêmica.

Vrščaj *et al.*(2008) definem a qualidade do solo como uma competência ecológica que o solo realiza associado com outros aspetos nocivos. Reichert *et al.*, (2003) explicitam que a matéria orgânica como um dos melhores indicadores de qualidade do solo devido a sua vasta possibilidade de interagir com várias propriedades do solo.

Chaer & Tótola(2007) coadunam que a avaliação da qualidade do solo é cada vez mais recomendada como um indicador integrado da qualidade ambiental e da sustentabilidade nos sistemas agrícolas e florestais. Essa avaliação pode ser feita em curto, médio e longo e prazo; para tal, devem ser identificados os indicadores químicos, físicos e biológicos. Depois estes três aspetos devem ser analisados em relação à percepção às alterações e perturbações causadas pelo manejo e monitorados, observando-se assim o nível de impacto do manejo adotado sobre a qualidade do solo.

Vrščaj *et al.*(2008) ressaltam que a avaliação da qualidade do solo, pois o termo qualidade do solo está relacionado à atributos do solo como pH, estabilidade da estrutura do solo, teor de matéria orgânica e oferta de nutrientes, ou seja, envolve vários atributos. Portanto, sua avaliação deve englobar atributos físicos, químicos e biológicos para quantificar e detalhar aspectos relevantes quanto às características e manejo dos solos. A avaliação deve ser realizada através dos indicadores de qualidade do solo (IQS).

### **2.3.1 Indicadores físicos da qualidade dos solos**

Os indicadores físicos de qualidade do solo destacam-se por sua relevância dentro dos processos hidrológicos, bem como no escoamento superficial, taxa de infiltração, drenagem e erosão. Além de executar alguns serviços primordiais, tais como: suprir, armazenar, reciclar a água, nutrientes, energia e oxigénio no solo. Araújo *et al.* (2012) estabelecem os seguintes indicadores físicos como os mais usados para avaliar a qualidade do solo: textura, espessura, densidade do solo, resistência a penetração, porosidade, capacidade de retenção d'água, condutividade hidráulica e estabilidade de agregados.

No tocante à perspectiva agrícola, os indicadores físicos de qualidade do solo (Tabela 1) essenciais são: a resistência à penetração, a capacidade de água disponível, a estrutura, a profundidade de enraizamento, e a percolação ou transmissão da água e o sistema de cultivo (Gomes & Filizola, 2006).

A análise física contempla os aspectos concernentes à estrutura do solo, que se manifestam pelo tamanho, formato e disposição das partículas sólidas e dos poros. A estrutura recomendável às plantas é a que apresenta mais estabilidade, pois tende a ter poros, que vão acumular a água disponível, além contribuir para a infiltração, aeração e para que não ocorram empecilhos para o desenvolvimento das raízes das plantas.

Tabela 1: Indicadores físicos do solo e métodos sugeridos para avaliação (LAL, 1999); (Gomes & Filizola, 2006).

<b>Indicador</b>	<b>Metodologia</b>	<b>Referência</b>
Textura	Método da pipeta ou do hidrômetro ou Bouyoucos (densímetro).	Gee & Bauder, 1986 Lal, 1979 a.
Estrutura	Agregados estáveis em água > 1mm e diâmetro geométrico médio; densidade de amostras indeformadas	Kemper & Rosenau, 1986; Edward & Bremner, 1967.
Resistência à penetração (compactação)	Método do penetrômetro (resistência à penetração em teor de umidade conhecido). Índices de compactação por meio da avaliação direta da densidade.	Singh <i>et al.</i> , 1992; Karlen <i>et al.</i> , 1990 Blake & Hartge, 1986; Bradford, 1986.
Profundidade de enraizamento	Método dos torrões indeformados.	Bohm, 1979.
Capacidade de água disponível (reserva hídrica)	Capacidade de campo; ponto de murcha.	Klute, 1986; Bruce & Luxmoor, 1986.
Percolação (transmissão) da água	Condutividade hidráulica saturada em amostras não deformadas; taxa de infiltração (anéis)	Klute & Dirksen, 1986; Klute, 1986; Baver <i>et al.</i> , 1972.

A textura é considerada como um dos indicadores mais estáveis, podendo ser modificada de acordo com o cultivo e outras atividades que realizam a mistura de outras camadas (ARSHAD *et al.*, 1996). Entretanto, é uma propriedade que interage de forma direta com a retenção e o transporte de água, estrutura do solo, teor de nutrientes e de matéria orgânica, contribuindo também

para os processos erosivos do solo. (Feller & Beare, 1997); (Gomes; Filizola 2006).

Já a estrutura do solo refere-se à dimensão e disposição das partículas de areia, limo e argila; poros do solo e a agregação. A atividade da agregação apresenta interação entre os fatores ambientais relacionados à planta, ao solo e suas propriedades, tais como: composição mineral, textura, carbono orgânico do solo, processos pedogenéticos, atividade microbiana, capacidade de troca catiónica, reserva nutricional e disponibilidade de água constantemente apresentada em situações de estabilidade de agregados (Bronick & Lal, 2005).

Em relação à resistência do solo à penetração, esta normalmente é usada para avaliar a compactação, pois esse atributo mantém uma relação intrínseca ao crescimento das plantas. Pode também ser utilizada para avaliar as limitações, desenvolvimento e crescimento do sistema radicular, mas é possível que ocorram erros em relação à efetiva capacidade das raízes em exercer a pressão (Araújo *et al.*, 2012).

A permeabilidade, ou condutividade hidráulica dos solos, revela a capacidade que este meio poroso possui para drenar ou conduzir a água. Esta propriedade é dependente da geometria dos poros, que por sua vez, é função da estrutura e textura do solo e, de outra forma, depende também das características do fluido que por ele circula. As propriedades que interferem na condutividade hidráulica dos fluidos são a densidade e a viscosidade (Figueiredo, 2011).

### **2.3.2 Indicadores Químicos e Biológicos de Qualidade de Solo**

As condições químicas, tais como pH, salinidade, matéria orgânica, capacidade de troca de cátions (CTC), grau de saturação em bases (GSB), disponibilidade de nutrientes, bem como a concentração de elementos, metais pesados, contaminantes ou macronutrientes, essenciais para o crescimento da vegetação. As características do solo que são influenciados pela composição química podem ser reunidas em: relação solo planta, qualidade da água, capacidade tamponante, mobilidade de contaminantes, disponibilidade de

nutrientes, assim como de água para os seres vivos, entre outros (Santana, 1999).

Constituem a parte microbiológica do solo todos os organismos vivos, tais como fungos filamentosos, leveduras, protozoários, microfauna, bactérias. Eles estão relacionados com a decomposição e transformação da matéria orgânica, além dos processos de ciclagem de nutrientes, da fixação do nitrogênio, biodegradação de agrotóxicos, dentre outros. (Gomes & Filizola, 2006)

#### **2.4. O Papel da Matéria Orgânica no solo**

Ao investigar o conceito de matéria orgânica, para assim compreender posteriormente a importância desta para o solo. É possível descrevê-la da seguinte maneira: composto orgânico com gama de variedades de substâncias, inclui seres vivos (fauna do solo), restos vegetais e animais em diversos estágios de decomposição, mistura de vários materiais orgânico, possivelmente decomposto ou sintetizado, nesse caso designado húmus, que caracteriza geralmente 60-80 % da matéria orgânica do solo ( Varennes, 2003). Vários pesquisadores a estimam como um dos artefatos essenciais de um solo proveitoso. Conforme Primavesi (2003), “Matéria orgânica é o alimento da vida do solo”.

Varennes (2003) destaca que, a matéria orgânica representa 1 a 6 % da massa total da camada arável dos solos que vai influenciar de forma direta nos atributos do solo. Nesse viés, a matéria orgânica contribui significativamente para o solo, gerando melhorias na produtividade deste. Por esse ângulo, nota-se que ela funciona como suporte para que os solos continuem igualado em suas propriedades químicas, físicas e biológicas. De acordo com Braidá et al. (2011), a matéria orgânica está tanto diretamente implicada com o comportamento físico do solo, quanto de forma indireta. Se tratando da forma direta está presente nas características da matéria orgânica do solo que influi elementos físicos e químicos no solo. Já de maneira indireta, ela irá interferir no desempenho físico do solo, por seus resultados sobre a agregação e consistência do solo.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Caracterização das áreas Experimentais

##### 3.1.1. Localização das Áreas de Amostragem

O presente trabalho foi realizado no Nordeste de Portugal no concelho Vinhais (na freguesia de Vilar de Ossos) e no concelho de Bragança, ambos no distrito de Bragança. Especificamente, as áreas de estudo localizam-se em três regiões de montanhas: Serra de Montesinho (SM) (Figura 1), Serra da Nogueira (SN) () e Serra da coroa (SC) (Figura 3). A primeira e a terceira, estão situadas dentro Parque Natural de Montesinho (PNM), nos concelhos de Bragança e Vinhais, respetivamente, e a segunda situa-se também no concelho de Bragança.

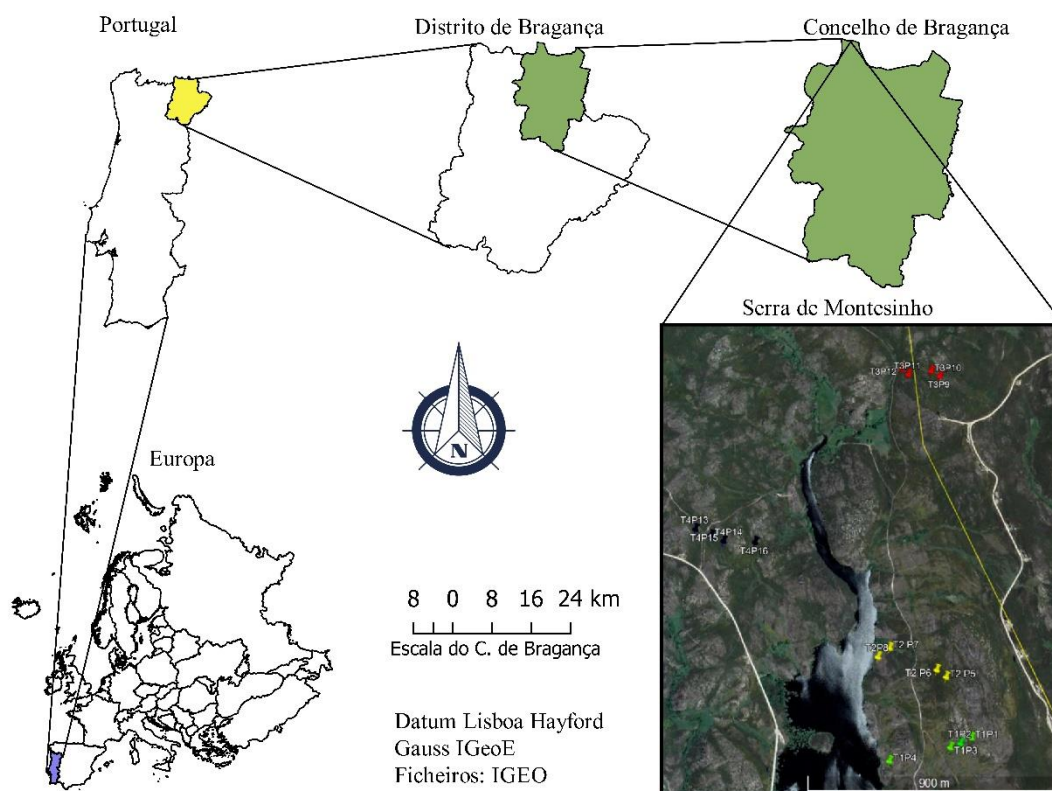


Figura 1: Localização geográfica do local de amostragem SM (Serra de Montesinho). As coordenadas geográficas estão compreendidas entre as latitudes  $41^{\circ}57'51.2''N$  e  $41^{\circ}58'38.47''N$  e longitudes  $6^{\circ}45'56.37''O$  e  $6^{\circ}46'39.74''O$  na Serra de Montesinho.

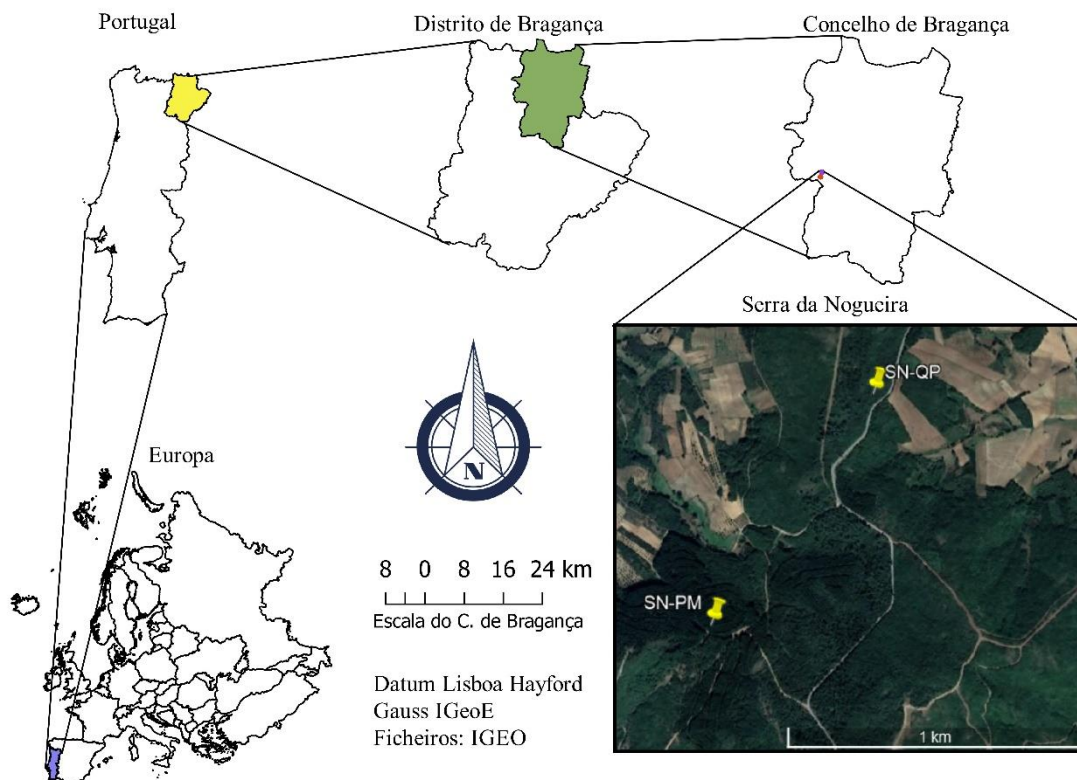


Figura 2: Localização geográfica do local de amostragem SN - Serra da Nogueira, os pontos situam-se entre  $41^{\circ}44'0.3''$  e  $41^{\circ}44'30.2''$  latitude Norte e entre  $6^{\circ}51'48.5''$  e  $6^{\circ}52'02.1''$  longitude Oeste.

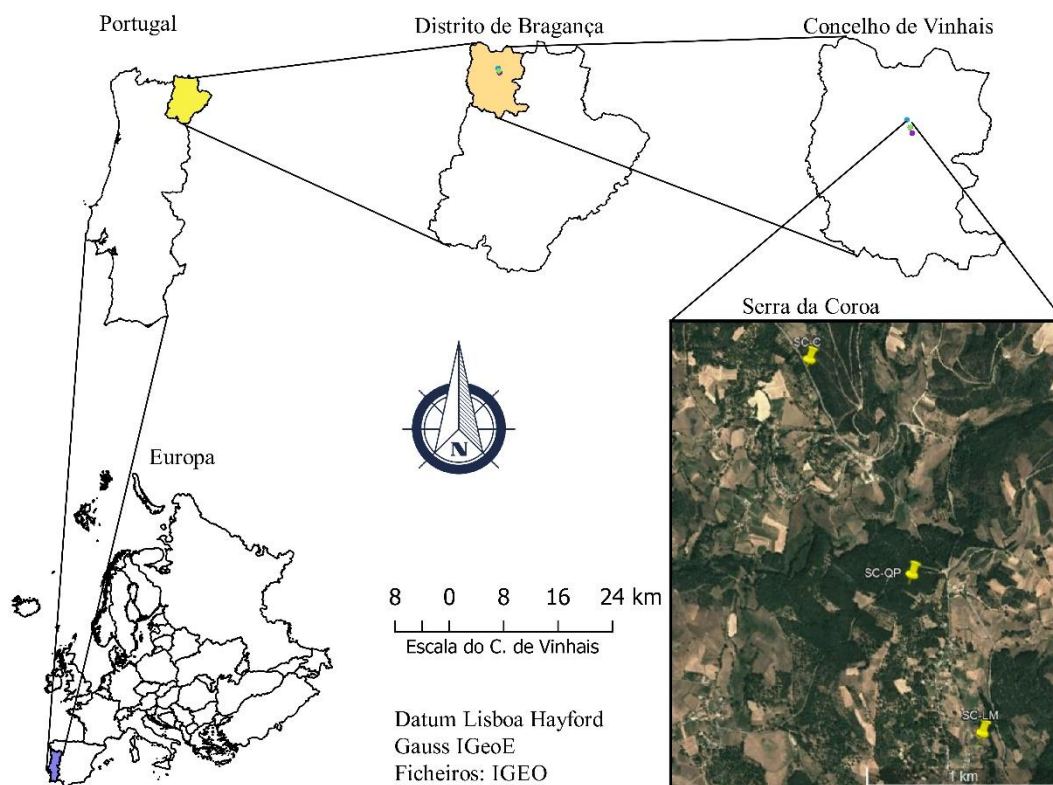


Figura 3: Localização geográfica do local de amostragem SC - Serra da Coroa, as latitudes situam-se entre  $41^{\circ}52'08.9''$ N e  $41^{\circ}52'46.4''$ N e as longitudes, por sua vez, entre  $7^{\circ}01'22.8''$ O e  $7^{\circ}01'57.3''$ O.

### 3.1.2. Condições Climáticas

De acordo com a classificação de Köppen, a área de estudo apresenta clima do tipo Csb, caracterizado por clima temperado com verão seco e suave, onde a temperatura média do ar no mês mais quente é igual ou inferior a 22°C e as temperaturas médias do ar nos 4 meses mais quentes é maior que 10°C (IPMA, 2019).

Agroconsultores & Coba (1991) adotaram uma classificação em função de zonas climáticas homogêneas, considerando os critérios de temperatura média anual, altitude e precipitação (Figura 4) , distinguindo assim domínios climáticos regionais, Terra Fria, Terra de Transição e Terra Quente. A área estudada na Serra de Montesinho, é classificada como A1 – Terra Fria de Alta Montanha (A), com temperatura média  $T < 9^{\circ}\text{C}$  e precipitações superiores a 1200 mm. As demais Serras, da Coroa e da Nogueira, variam entre Terra Fria de Montanha (M), com  $T > 9^{\circ}\text{C}$  e  $T \leq 10^{\circ}\text{C}$ , e Terra Fria de Planalto (F), com  $T > 10^{\circ}\text{C}$  e  $T \leq 12,5^{\circ}\text{C}$ .

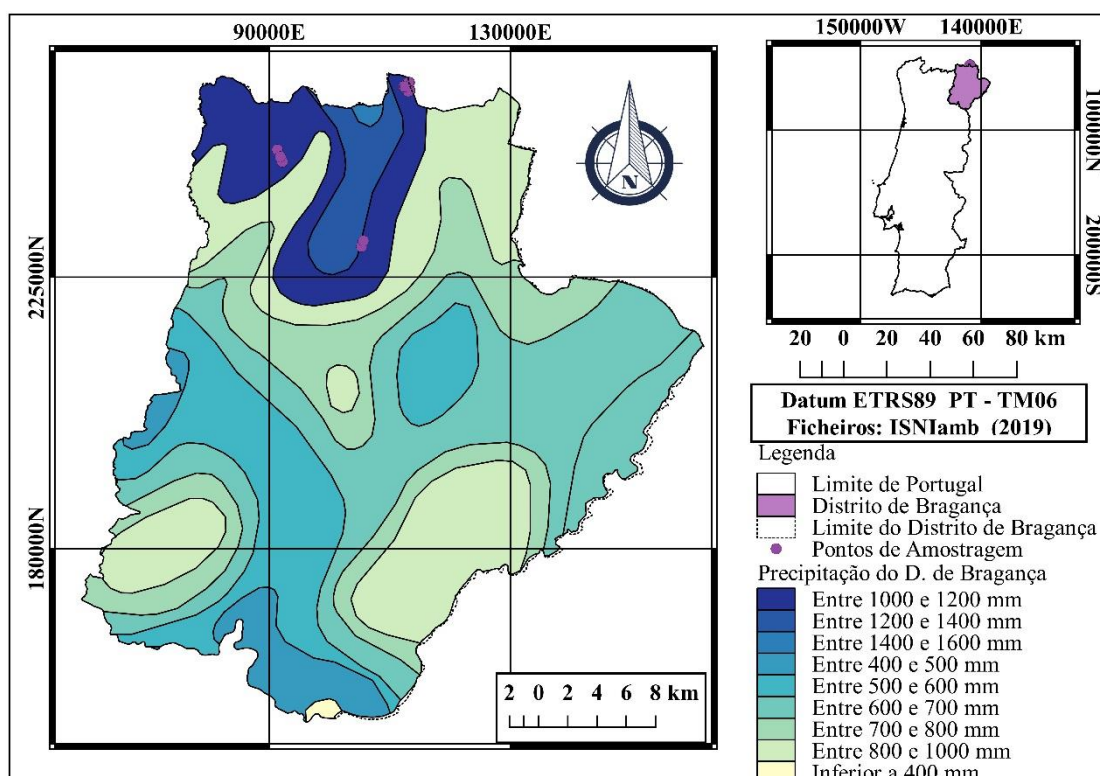


Figura 4. Precipitação do Distrito de Bragança

### 3.1.3. Caracterização dos Solos

Agroconsultores & Coba (1991), aponta que leptossolos são a classe de solos mais evidenciado em Trás-os-Montes. Figueiredo *et al* (2015) destaca que os leptossolos são considerados os mais degradados no Nordeste de Portugal. O mesmo ainda pontua que esses solos possuem o risco eminente de erosão, pois esses perfazem os fundamentos básicos para serem erodidos, ou seja, são solos delgados, possuem espessura inferior a 30 cm, apresentam pedregosidade elevada e muito elevada.

As áreas estudadas foram identificadas e classificadas de acordo com a carta de solos Agroconsultores & Coba (1991), taxonómicamente foi possível classificar (Tabela 2) os solos em: Leptossolos úmbricos de granitos (iug) e Leptossolo úmbrico de rochas básicas (lub).

Tabela 2: Taxonomia dos solos segundo Agroconsultores & Coba (1991), Apontado pelo autor características da área estudada Serra de Montesinho (SM), Serra da Coroa Cereal (SC C), Serra da Coroa Pastagem (SC P), Serra da Nogueira *Quercus pyrenaica* (SN QP) e Serra da Nogueira *Pseudotsuga menziesii* (SN QP).

Local	Solo	Altitude (m)	Coberto vegetal	Inclinação	Ocupação do solo
SM	<b>iug-</b> Leptossolos úmbricos de granitos	1293	Matos	20%	Vegetação autóctone
SC C	<b>lebb-</b> Leptossolo eutricos câmbico de rochas básicas.	824	Restolho de Cereal	13%	cereal de inverno
SC P	<b>lub -</b> Leptossolo úmbrico de rochas básicas.	810	Pastagem (lameiro)	2%	Gramíneas
SC QP	<b>lub -</b> Leptossolo úmbrico de rochas básicas.	868	Floresta	22%	vegetação autóctone
SN PM	<b>lub-</b> Leptossolo úmbrico de rochas básicas.	1181	Floresta	1 - 3 %	vegetação exótica
SN QP	<b>lub-</b> Leptossolo úmbrico de rochas básicas.	1179	Floresta	25%	vegetação autóctone

### 3.1.4. Vegetação das áreas amostradas

Nas regiões de montanha foram selecionadas áreas com sistema de uso e gestão do solo, integrando:

- Florestas Autóctone (FA) ou seja, formada por árvores nativas de Portugal Carvalho-Negral (*Quercus pyrenaica*);
- Arbustos Autóctones (AA) cobertura de matos urze *Erica* spp, carqueja (*Pterospartum tridentatum* subsp. *tridentatum*) e Sargaço (*Halimium lasianthum*);
- Floresta exótica (FE) formada por árvores não originárias da região *Pseudotsuga menziesii* popularmente conhecida como pinheiro-do-Oregon;
- Cereal (C) nesse solo as espécies são cultivadas a sequeiro intercalando entre trigo e centeio. Gutiérrez *et al.*(2018) aponta que nessa região uma inclinação de (7-13%) e está em rochas básico.
- Pastagem (P) composto por espécies culturas forrageiras, herbácea perene a predominância de gramíneas e leguminosas.

Essas diferentes áreas de uso do solo foram selecionadas para delineamento do trabalho levando em consideração os solos com diferentes teores de matéria orgânica, afim de investigar os atributos físicos e químicos nestes solos. As áreas foram selecionadas com maior uniformidade possível quanto ao tipo de solo e relevo, sendo que todo o trabalho foi monitorado e auxiliado por especialistas.

### 3.2. Amostragem do Solo

Na área de amostragem em Serra de Montesinho (SM) estabeleceram-se 4 transectos nas posições topográficas de topo de encosta, base de encosta e meia encosta, os quais drenam água para a albufeira, representados pelas siglas SM T1 (Serra de Montesinho transecto 1), SM T2, SM T3 e SM T4. Em seguida traçaram-se 16 pontos de amostragens, para a escolha dos pontos também foi levado em consideração o coberto vegetal (matos) com predominância de arbustos autóctones, e os pontos registrados por meio de GPS. Com auxílio de

uma pá e uma enxada foram abertas trincheiras em cada ponto. Para análise física do solo, coletou-se amostras não perturbadas na profundidade de 0-5 cm, em cilindros de aço (anéis volumétricos) de 5 cm de altura por 5 cm de diâmetro (Figura 6).



Figura 5: Colheita de solo em Serra de Montesinho para análise química do solo (profundidade de 0- 5 cm).



Figura 6: Colheita de Solo em Serra de Montesinho para análise Física do solo (profundidade de 0-5 cm)

O intuito foi avaliar a permeabilidade Inicial ( $K_i$ ), permeabilidade final ( $K_f$ ) densidade aparente ( $D_{ap}$ ), densidade real ( $D_r$ ), capacidade de campo (CC), porosidade ( $P$ ), capacidade máxima para água (CMA), macroporosidade (MacroP) e microporosidade (MicroP). Em cada transecto foram coletadas 4 amostras em pontos distintos totalizando 16 amostras. Segundo Figueiredo (2011) a colheita deve ser realizada com muita atenção e de forma minuciosa, verificando sempre se os anéis estão preenchidos com o volume adequado de solo e que não haja aderência do solo a extremidade de corte, biselada, dos anéis.

Para análise química foram coletadas na mesma área e nos mesmos pontos, 3 amostras deformada de cada ponto, nas profundidades 0-5 cm, 5-10 cm e 10-20 cm, colocadas em sacos plásticos devidamente etiquetados, somando um total de 48 amostras.

Nas áreas da Serra da Nogueira (SN) e Serra da coroa (SC) os métodos de amostragem foram semelhantes ao descrito para a área Serra de montesinho (SM). No entanto, em SN estabeleceu-se apenas 2 pontos de coletas o primeiro

ponto a predominância de coberto vegetal era de pinheiro-do-Oregon (*Pseudotsuga mensieziie*), designado pela sigla SN PM, e o segundo carvalho-negral (*Quercus pyrenaica*) - sigla SN QP, sendo 4 amostras por ponto, totalizando 8 amostras.



Figura 8: Colheita de solo na Serra da Nogueira para análise física do solo (profundidade de 0 - 5 cm).



Coroa para análise física do solo (profundidade de 0 - 5 cm).

Já em SC foram 3 pontos com cobertos vegetais totalmente distintos: o primeiro Herbácea perene com predominância de gramíneas (SC P), o segundo carvalho negral (*Quercus pyrenaica*) (SC QP) e o terceiro cereal de inverno (SC C). Ocorreram 4 coletas por ponto totalizando 12 amostras. Dessa forma, as duas áreas somaram um total de 20 amostras para análise física do solo. Quanto a análise química dessas duas áreas os dados foram consultados nos trabalhos de investigação realizados anteriormente.

A respeito das análises químicas dos solos da Serra da Coroa e Serra da Nogueira os dados foram obtidos dos trabalhos de Gutiérrez *et al.* (2017) e Vilela (2017).

### 3.3. Análises das Propriedades Físicas

Todas as análises físicas foram feitas no laboratório de solos da Escola Superior Agrária de Bragança (ESA).

### 3.3.1. Permeabilidade

#### 3.3.1.1. Procedimentos laboratoriais

Para a determinação da permeabilidade foi utilizado o equipamento de circuito fechado (permeâmetro), de carga constante, capaz de receber em operação simultânea 24 amostras não perturbadas, contidas em anéis de 100 cm<sup>3</sup>. Esse equipamento está instalado no laboratório de solos, da ESA- Escola Superior Agraria de Bragança no IPB.

O ensaio foi dividido em duas baterias, contendo 18 amostras em cada ensaio, devido ao limite máximo de amostras por operação. Antes de colocar as amostras no equipamento para saturar, cumpriu-se rigorosamente a seguinte sequência:

- Primeiro limpou-se a parte externa do anel;
- Em segundo, foi colocada a gaze hidrófila no filtro e a tampa deste na extremidade não biselada do anel;
- Terceiro foi colocado o anel da amostra, com a parte do filtro para baixo, na armadura de suporte. Assim, durante a medição, a água fluía através da amostra no sentido correto, uma vez que em situação natural o fluxo é descendente;
- Quarto fechou o grampo e apertou o batente de nylon contra a tampa do filtro, de modo a pressionar o anel firmemente contra a tampa, fixando o anel na armadura de suporte (Figura 9).



**Figura 9:** Coloca da amostra no suporte para em seguida depositar no equipamento para saturar.



**Figura 10:** Vista superior do permeâmetro (saturação das amostras).

Em seguida as amostras foram submetidas no equipamento para a saturação (Figura 10). Em relação as especificações do nível da água no equipamento, o nível permaneceu aproximadamente 1cm abaixo da parte inferior da amostra. Simultaneamente a essa operação, atualizava-se uma ficha de controle com data, hora, bem como a identificação das amostras de acordo com o respectivo permeâmetro. Levando em consideração os solos coletados a saturação foi realizada durante um período de 48 horas.

Após o período de saturação, verificava-se os níveis de água nos cilindros das amostras e no recipiente do permeâmetro, em seguida adicionou-se os sifões para que água circulasse no sistema. Para assegurar que os sifões não tinham bolha de ar, mergulhava-se o sifão debaixo da água inclinando lentamente um par de vezes para se certificar de que todo o ar escapou, depois colocava-se o sifão com uma extremidade no cilindro da amostra e com a outra no tubo sintético numerado. Durante as quatro medições, verificava-se se o sistema de cada amostra estava funcionando corretamente para que não ocorressem erros de leitura (Figura 12). Em seguida, era ajustado o nível de água no recipiente do permeâmetro na posição desejada deslizando o regulador de nível para cima ou para baixo. A diferença de nível (dH) dentro e fora do cilindro da amostra deve ser mantida constante. Esta diferença varia, dependendo da permeabilidade do solo, entre 2 mm, para solos altamente permeáveis, e 20 mm, para solos pouco permeáveis.

As medições do volume da água que fluía das amostras, eram realizadas por meio de uma bureta, numa unidade de tempo de acordo com cada amostra. As medições aconteciam da seguinte forma: fechava-se a torneira da bureta, em seguida disparava-se um cronómetro até que o fluxo da água que saía através amostra aproximar-se da condições estacionária, o que se verificará quando, numa unidade de tempo, um volume constante de água era lido na bureta. A leitura era feita em ml (Figura 11).

Para as medições relacionadas ao nível de água era operado por um botão rotativo de medição, que aciona um sinal de luz vermelha. No momento

em que a ponteira do medidor toca no nível da água, a luz acende e o nível da água pode ser lido (0,5 mm de precisão). O nível de água no recipiente e no cilindro da amostra eram lidos da mesma forma. A diferença de nível medido e a água é utilizada por cada amostra em certo intervalo de tempo são os registos necessários para o cálculo do coeficiente de permeabilidade saturada.



Figura 12: Vista Frontal do permeâmetro em funcionamento.

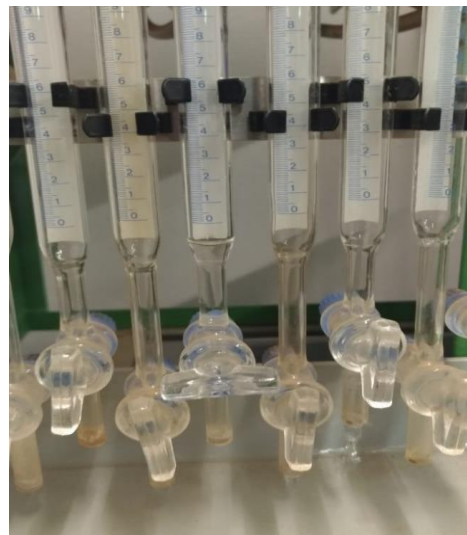


Figura 11: Vista frontal do permeâmetro detalhada (medições do volume da água).

Após a última leitura do ensaio baixou-se o nível da água por completo até que as amostras conseguissem drenar a água. Em seguida, após escoar o excesso da água, realizava-se a primeira pesagem (Figura 13) em uma balança de precisão, após 24 horas realizava-se a segunda pesagem, e em seguida as amostras foram levadas a estufa a 105°C durante 24 horas. Após esse tempo, realizou-se a terceira e última pesagem (Figura 14).



Figura 13: Primeira pesagem das amostras.



Figura 14: Amostras dentro da estufa.

### 3.3.1.2. Cálculo Permeabilidade

A Lei de Darcy é usada para calcular a permeabilidade (K) aquando da aplicação do método da carga constante e para classificar permeabilidade dos solos usam-se as designações apresentadas abaixo (**Tabela 3**).

K é calculado da seguinte forma:

$$K = \left( \frac{V * L}{A * t * dH} \right)$$

**V**- Volume de água que flui através da amostra (cm<sup>3</sup>)

**k** – coeficiente de permeabilidade, (cm/h)

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

**L** - Comprimento da amostra de solo (cm);

**A** – Superfície da secção transversal da amostra (cm<sup>2</sup>);

**t** – Tempo utilizado para o fluxo de água através da amostra.

**Tabela 3:** Classificação USDA da permeabilidade dos solos (Figueiredo, 2011).

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

### 3.3.2. Outras determinações

#### 3.3.2.1. Densidade aparente

Para determinar a densidade aparente ( $D_{ap}$ ) foram utilizadas amostras não deformadas colhidas num cilindro com um volume de  $100 \text{ cm}^3$  e aplicada a seguinte fórmula (Figueiredo, 2011):

$$D_{ap} = \frac{p}{V_c}$$

$D_{ap}$  – densidade aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$p$  – peso da amostra de solo seco a  $105^\circ\text{C}$  (g)

$V_c$  – volume do cilindro ( $\text{cm}^3$ )

### 3.3.2.2. Capacidade de Campo e Capacidade Máxima para a Água

Após o termino da bateria de ensaio de permeabilidade, as amostras são drenadas durante um período de 24 horas, após esse tempo determina-se então por estimativa a capacidade de campo, pois a água é retirada dos seus microporos (Figueiredo, 2011). Dessa forma, as amostras são pesadas e em seguida colocadas em estufa a  $105^\circ\text{C}$  para determinação de  $M_{\text{solo seco}}$ . O Calculo da Capacidade de Campo ( $CC$ ) foi realizado da seguinte forma:

$$CC = \frac{M_{\text{solo húmido}} - M_{\text{solo seco}}}{M_{\text{solo seco}}} \cdot 100$$

Para capacidade máxima para a água ( $CMA$ ) foi usada a seguinte fórmula:

$$CMA = \left( \frac{M_{\text{solo húmido}}}{M_{\text{solo seco}}} \right) - 1$$

### 3.3.2.3. Porosidade Total

Para determinar Porosidade total ( $P$ ) foi usada e formula seguinte:

$$P(\%) = D_{ap} \cdot CMA$$

### 3.3.2.4. Microporosidade e Macroporosidade

A microporosidade ( $MicroP$ ) é a expressão volumétrica deste teor de humidade, e foi determinada pela seguinte expressão:

$$MicroP(\%) = CC \cdot D_{ap}$$

Já a macroporosidade (MacroP), foi estimada pela seguinte expressão:

$$MacroP (\%) = P - MicroP$$

### 3.3.2.5. Densidade Real

Para densidade Real foi utilizado o cálculo seguinte:

$$Dr = \frac{Dap}{(1-P)}$$

Dap- Densidade Aparente

P- Porosidade Total (adimensional)

## 3.4. Análises Químicas

As análises dos parâmetros químicos do solo foram feitas pelo Laboratório de Solos e Plantas da Escola Superior Agrária de Bragança (ESAB), de acordo com os métodos de determinação indicados em seguida.

### 3.4.1. Matéria orgânica

Utilizou-se o método de Walkley-Black (Combs & Nathan, 1998) para determinar a quantidade de matéria orgânica (MO) e foi classificado obedecendo as determinações apresentadas na Tabela 4. O cálculo foi feito da seguinte forma:

$$\%c \text{ facilmente oxidável} = \frac{M(B-S) * M \text{ de Fe}^{2+} * 12}{\text{Gramas de solo} * 4000} * 100$$

$$\% \text{ de Matéria orgânica} = \frac{x\%c}{10.58!} \text{ ou } C * 1.72$$

B- mL de solução de ferro necessários para a titulação do branco

S -mL de solução de ferro necessários para a titulação da amostra

$$\frac{12}{4000} - \text{ peso de um miliequivalente de C (g)}$$

**Tabela 4:** Classificação dos solos quanto à percentagem de matéria orgânica (Costa, 1991).

Porcentagem de matéria orgânica		Designação do nível de matéria orgânica
Horizontes de textura grosseira	Horizontes de textura fina	
10 - 20	30 – 15	Muito alto
10 - 5	15 – 7	Alto
5 – 3	7 – 5	Medianamente alto
3 – 2	5 – 2	Médio
2 – 0,5	2 – 1	Baixo
< 0,5	< 1	Muito baixo

### 3.4.2. Potencial hidrogeniônico - pH (H<sub>2</sub>O)

A determinação de pH em H<sub>2</sub>O e KCl foi realizada por meio do método potenciométrico, em suspensões de solo: água e solo: KCl (1:2,5), segundo o método dito por van Reeuwijk (2002). A leitura foi realizada conforme a classes de pH do solo apresentado por Costa (1991). (Tabela 5)

**Tabela 5:** Classes de pH do solo (Costa,1991).

Designação do solo	pH
Hiperácido	4,5 ou menor
Ácido	4,6 – 5,5
Subácido	5,6 – 6,5
Neutro	6,6 – 7,5
Subalcalino	7,6 – 8,5
Alcalino	8,6 – 9,5
Hiperalkalino	9,6 ou menor

### 3.4.3. Fósforo e Potássio

Na extração de fósforo (P) e potássio (K), utilizou-se uma solução que combina lactato de amônio e ácido acético a pH 3,7. O potássio é avaliado por fotometria de chama (Almeida, 1960). E a leitura de fosforo foi realizada por meio Espectrofotômetro de absorção molecular.

### 3.4.4. Complexo de troca catiônica

#### 3.4.4.1. Bases de Troca

Na amostra dos solos os catiões foram extraídos usando a solução acetato de amónio ajustada a pH 7.0 Ca e Mg são determinados por espectrofotometria de absorção atômica (AAS);

Determinou-se K e Na usando fotometria de emissão de chama (FES) (van Reeuwijk, 2002). A soma de bases de troca (SBT) foi calculada da seguinte maneira:

$$SBT \text{ (cmol kg)} = (Ca + Mg + K + Na)$$

#### 3.4.4.2. Capacidade de Troca Catiônica

A capacidade de troca catiônica efetiva (CTCe) e o grau de saturação em bases foram calculados incluindo as bases de troca e a acidez de troca, ou seja:

$$CTC_e = SBT + AT$$

$$CTC_e = SBT + AT$$

SBT – soma das bases de troca (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)

AT – acidez de troca (cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)

Os catiões na amostra de solo são extraídos com uma solução de acetato de amónio ajustada a pH 7,0, Ca e Mg são determinados por espectrofotometria de absorção atômica (AAS); K e Na são determinados por fotometria de emissão de chama (FES) (van Reeuwijk, 2002).

#### 3.4.4.3. Grau de Saturação em Base

O grau de saturação em base efetivo (GSBe) é determinado da seguinte maneira:

$$GSB_e = \left( \frac{SBT}{CTC_e} \right) * 100$$

### **3.5. Análise estatística**

Todas as análises estatísticas realizaram-se com o auxílio do software o Microsoft Office Excel (editor de planilhas produzido pela Microsoft). Antes de realizar a análise, os dados passaram pelo teste de normalidade K-S, (Kolmogorov-Smirnov), os dados que não apresentaram normalidade em sua distribuição foram submetidos a logaritimização.

Posteriormente para a comparação estatística dos parâmetros do solo determinados para cada local de amostragem, aplicou-se a ANOVA - análise de variância, fator único, e a partir dos resultados desta, foram feitas a comparação múltipla de médias por meio do teste de LSD critério da Mínima Diferença Significativa (LSD – “Least Significant Difference”), a 5 % de probabilidade. Aplicou-se também a análise de correlação de Person entre os valores médios dos parâmetros estudados. Previamente, foram também calculadas as estatísticas descritivas média e desvio-padrão.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Propriedades Físicas do solo

#### 4.1.1 Permeabilidade dos solos

Os solos analisados na permeabilidade inicial ( $K_i$ ) (Figura 15), não apresentaram um comportamento homogêneo, visto que os valores médios variam entre 119 cm/h (SMT4) e 795 cm/h (SN QP). Entretanto não há uma distribuição uniforme dentro deste intervalo, já que os valores se concentram em torno da permeabilidade mínima e valores inferiores a 300 cm/h. Os desvios padrão da permeabilidade inicial em cada local foram genericamente muito elevados, variando desde 1006 a 110 cm/h essa última localizada na SC P.

A respeito da classificação de  $K_i$  em ambos os solos da serra da noqueira a categoria designada foi muito rápida, enquanto que para a serra da coroa em função do coberto vegetal houve oscilações das classes. Ao passo que nos solos SC QP as permeabilidades foram muito rápidas, nas amostras de SC C e SC P a classificação variou entre moderadamente lenta e muito rápida. Na Serra de Montesinho, também se observaram flutuações entre as classes de permeabilidade inicial, sendo que a maioria destas foram categorizadas em rápida e muito rápida, com exceção de um ponto que apresentou-se como moderada.

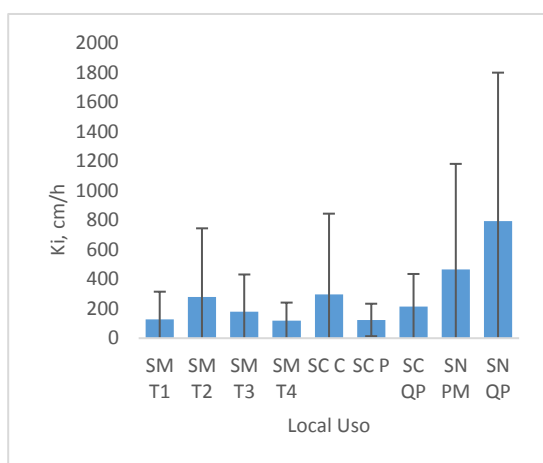


Figura 15: Permeabilidade Inicial: Média e desvio padrão.

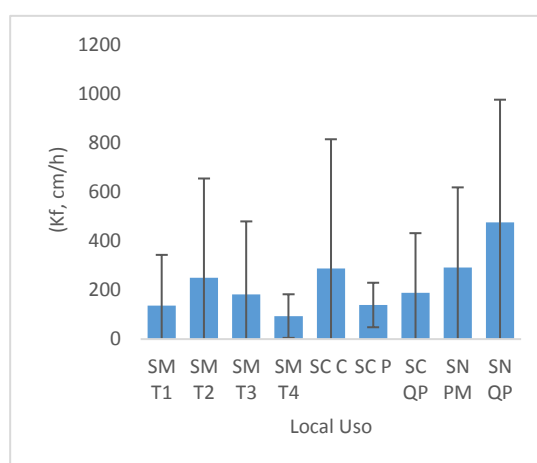


Figura 16: Permeabilidade Final: Média e desvio padrão

Já para o ensaio de permeabilidade Final ( $K_f$ ) (Figura 16), o intervalo de variação entre os valores médios foi menor, visto que o menor valor médio observado corresponde a 94 cm/h (SM T4) e o maior a 476 cm/h (SN QP). Com exceção desses pontos extremos, a média dos demais solos situa-se na faixa compreendida entre os valores 136 e 292 cm/h. Contudo, novamente não foi possível estabelecer um comportamento homogêneo entre as médias das amostras. Os desvios padrão da permeabilidade final aparentemente apresentam valores elevados, variando desde 527 a 89 cm/h.

No tocante às classes de Permeabilidade Final, o comportamento observado para a serra da noqueira foi classificado como muito rápido na maior parte das amostras exceto para dois pontos designados como rápido. Dentre as 16 amostras de solos da Serra de Montesinho, em 2 delas, a categoria de permeabilidade observada foi moderadamente rápida, passando para rápida em outras 4 amostras, sendo que as restantes foram classificadas como muito rápida. Já para a Serra da Coroa, na maior parte das amostras a classificação foi muito rápida, excetuando 3 pontos, dois deles rápidos e o terceiro moderadamente lento.

#### **4.1.2 Densidade Aparente e Porosidade Total**

Para o parâmetro  $D_{ap}$ , como é possível observar (Figura 17), os valores obtidos não apresentam uma discrepância muito acentuada entre si, pois a faixa de variação dos valores médios situam-se entre 0.75 e 1.30 g/cm<sup>3</sup>. Os maiores valores médios encontrados correspondem a SC C, SC P, SC QP e SN PM. Relacionado aos desvios padrão, estes apresentaram-se relativamente baixos, e não tão distantes entre si.

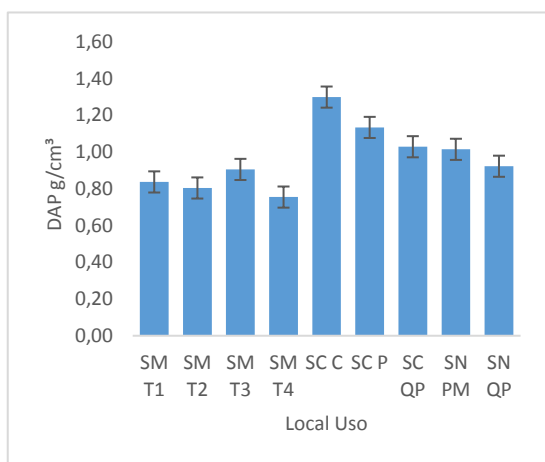


Figura 17: Densidade aparente: média e desvio padrão.

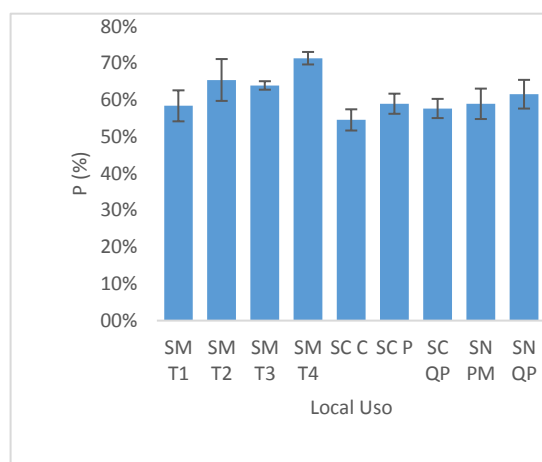


Figura 18: Porosidade total: Média e desvio padrão.

Quanto a porosidade, os percentuais médios obtidos situam-se entre 54.6% e 71.4%, equivalendo a SC C e SM T4, respectivamente. No que tange às amostras individuais de valor máximo e mínimo, as mesmas correspondem aos mesmos pontos dos valores médios. Relativamente aos valores dos desvios padrões, os mesmos demonstram que não houve grandes variações entre as amostras, com exceção do SM T2.

#### 4.1.3 Capacidade Máxima para Água e Capacidade de Campo

Ambos os parâmetros são apresentados em percentuais, nas figuras 19 e 20. Para CMA, os valores médios extremos apresentados são 42.3% (SC C) e 94.9% (SM T4), o que representa uma variação de 56.6% dentre deste intervalo. Quanto ao desvio padrão, o ponto que apresentou maior homogeneidade foi SC P (4.8%), ao passo que a maior heterogeneidade foi verificada para SM T2 (15.4%) (Figura 19).

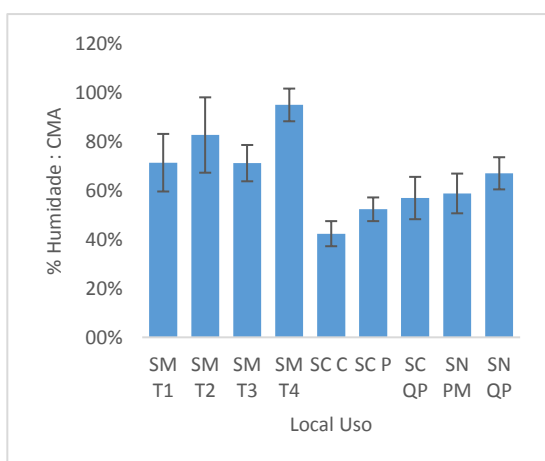


Figura 19: Capacidade máxima para água: Média e Desvio Padrão

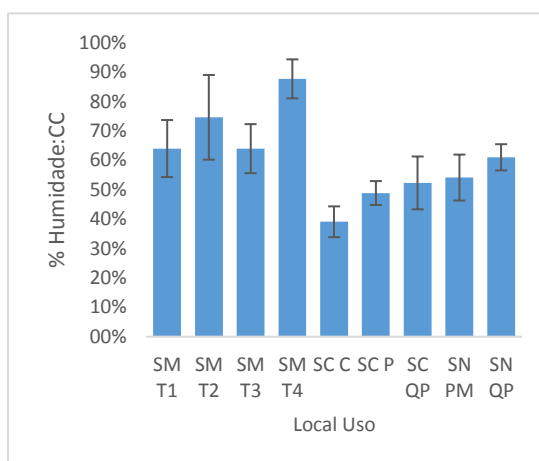


Figura 20: Capacidade de Campo: Média e Desvio Padrão.

Ao avaliar a capacidade de campo, é possível associar os valores médios extremos de máximo e mínimo aos pontos SM T2 e SC C, com os respectivos valores de 74.6% e 39.1%. O comportamento do desvio padrão é semelhante ao observado para o parâmetro CMA, tendo que o conjunto de amostras heterogêneas e homogêneas é associado aos mesmos pontos anteriores (Figura 20).

#### 4.1.4 Microporosidade e Macroporosidade

Na microporosidade, relativamente aos valores médios, os extremos máximo e mínimo são verificados entre percentuais 66% (SM T4) e 50% (SC C). A gama de variação para este parâmetro gira em torno dos percentuais 50 a 60%, não havendo muita amplitude entre os desvios padrão, os valores variam desde 5.4% a 1.8%.

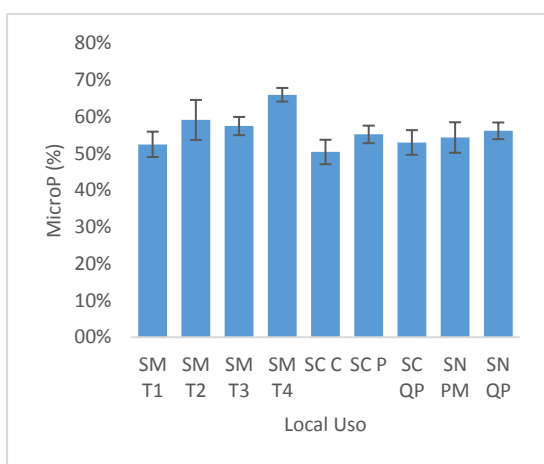


Figura 22: Microporosidade: Média e Desvio Padrão.

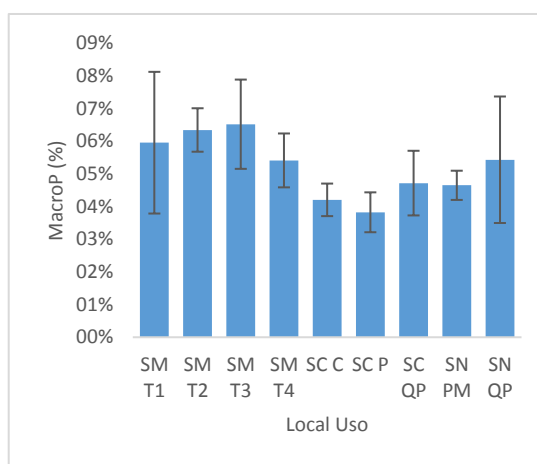


Figura 21: Macroporosidade: Média e Desvio Padrão.

Para a macroporosidade, por sua vez, os desvios padrão foram menores quando comparados ao parâmetro anterior variando entre 0.7 a 1.9%, enquanto que para os valores médios estão entre 6.5% a 3.8%. A amplitude de variação global dos valores médios foi de 2.7%.

## 4.2 Propriedades Químicas do Solo

### 4.2.1 Matéria orgânica

No tocante ao percentual médio encontrado para matéria orgânica (Figura 23) indicam que na Serra de Montesinho (SM) quando comparado os outros locais apresentou os maiores valores, que variam de 12 a 17%. Diferentemente, os outros locais, mostraram-se com valores absurdamente baixo e variam de 1 a 5%, com exceção de Serra da Nogueira QP (SN QP) que o valor médio encontrado assemelha-se aos primeiros valores apresentados em SM.

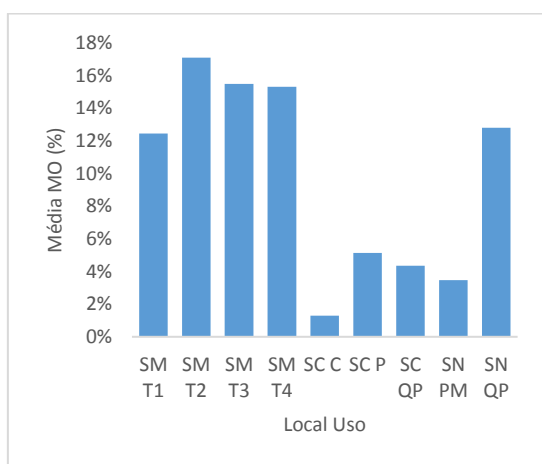


Figura 23: Matéria Orgânica: Média.

### 4.2.2 pH

O parâmetro  $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$  apresentou maiores valores nas pastagens e cereais. Tal fato pode ser justificado devido ao processo de formação dos solos, em Serra de Montesinho a rocha mãe é granítica, normalmente solos que são originados a partir dessa rocha tem pH ácido, isso vai de acordo com os resultados obtidos uma vez que se registram valores mais baixos para acidez na SM.

O comportamento do  $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$  nas áreas de Serra de Montesinho tiveram os valores médios semelhantes variando de 4.18 a 4.30 classificados como hiperácido. Nas áreas de amostragem na Serra Coroa (SC C) e Serra da Nogueira os solos foram designados como ácidos (4,6 – 5,5) os valores médios nesses solos variam de 4.89 a 5.40. Já em serra da Coroa (SC P) a média de pH em água encontrado foi 5.40 designados como solos subidos.

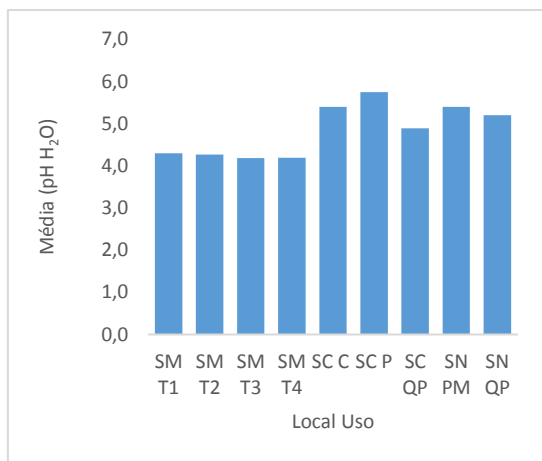


Figura 24:Potencial de Hidrogénio em água: Média.

#### 4.2.3 Fósforo e Potássio

Nas três áreas de estudos o comportamento do fósforo (Figura 25) pode-se dizer que há uma grande variação nos valores encontrados. Os maiores valores médios são observados em SM T1, SM T2 e SM T3 e os menores valores em SC P e SC QP. Ressalta-se ainda que o valor médio encontrado em SMT3 chega a ser quase que dezoito vezes maior que o valor encontrado em SC P. De modo geral os valores médios variam de 6.7 a 118.2.

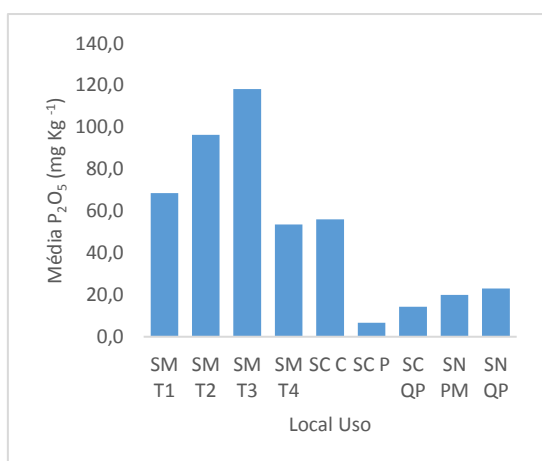


Figura 25:Fósforo extraível: Média

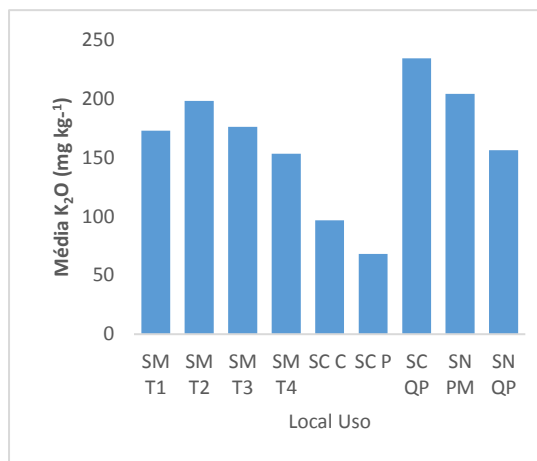


Figura 26:Potássio extraível: Média.

Constata-se nos transectos da Serra de Montesinho os teores de potássio concentram-se em torno dos valores médios inferiores a 200. Já em SC e SN as

médias variam de 68.10 a 234. Evidentemente é constatado que a maior valor médio é encontrado em SC QP é aproximadamente três vezes maior que a média apresentada em SCP. Os valores elevados podem estar associados a presença de minerais primários e pouco intemperados, já os de menores valores podem sinalizar solos mais intemperizados.

#### 4.2.4 Complexo de Troca

Na Figura 27 é possível constatar que o maior valor médio de Soma de bases de troca (SBT) encontra-se em SN QP com  $14.87 \text{ cmol}_c (+) \text{ kg}^{-1}$  e o menor valor médio encontrado foi em SC C com  $1.76 \text{ cmol} (+) \text{ kg}^{-1}$ . E um amplitude de  $13.11 \text{ cmol} (+) \text{ kg}^{-1}$ .

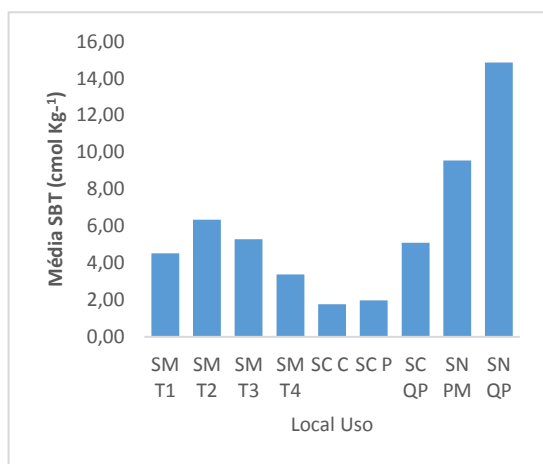


Figura 27: Soma de bases de troca: Média.

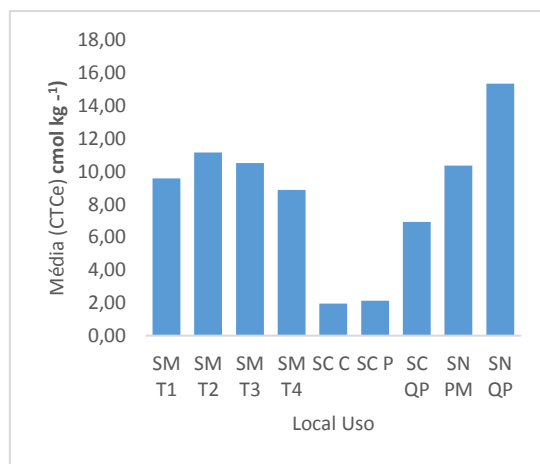


Figura 28: Capacidade de troca catiônica efetiva: Média

No que diz respeito a análise da Capacidade de Troca catiônica efetiva (CTCe) (Figura 28), os valores médios variam entre  $1.96$  a  $15.36 \text{ cmol}_c (+) \text{ kg}^{-1}$ . A Serra da Coroa cereal apresentou o menor valor e o maior valor médio foi encontrado em Serra da Nogueira Quercus pyrenaica.

Os percentuais médios encontrados para Grau de saturação em bases efetiva variam de 37 a 96%, é importante destacar que a maior porcentagem encontra-se em SN QP e o menor foi vista em SM T4 (Figura 29).

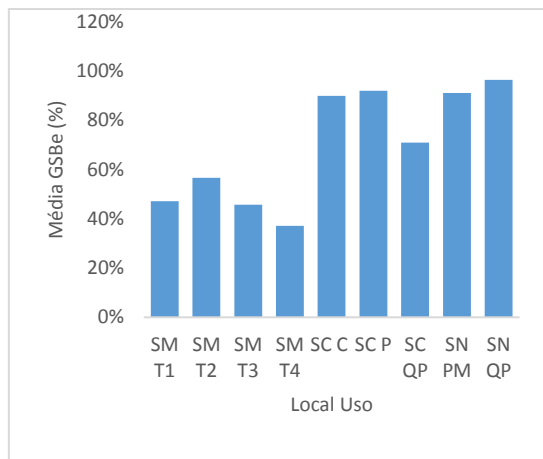


Figura 29: Grau de saturação em bases Efetiva: Média

### 4.3 Discussão geral

#### 4.3.1 Propriedades físicas do solo:

Todas as séries de valores foram submetidas ao teste de normalidade K-S, sendo que aquelas que não se apresentaram como normais procedeu-se a transformação de variável logaritmando todos os valores. O teste K-S foi novamente aplicado e tendo-se verificado a normalidade das series logaritimizadas a Analise de variância e o teste de comparação de médias foram aplicados com a serie transformadas.

**Tabela 6:** Resultado do Teste de Normalidade (K-S) N=36.

Parâmetro	P
Kinicial (cm/h)	0,00151
Kinicial (LOG)	0,98262
Kfinal (cm/h)	0,00499
Kfinal (LOG)	0,92725
Dap	0,55032
CMA (%)	0,71321
CC (%)	0,54808
P (%)	0,51893
MicroP (%)	0,88305
MacroP (%)	0,34533
Dr	0,09246

**Tabela 7:** Resultados da ANOVA Fator Único gl= 8 N 36.

Parâmetro	P
Kinicial (LOG)	0.694
Kfinal (LOG)	0.917
Dap	0.000
CMA (%)	0.000
CC (%)	0.000
P (%)	0.000
MicroP (%)	0.000
MacroP (%)	0.030
Dr	0.019

**Tabela 8:** Valores médios das propriedades físicas do solos avaliadas para os diferentes locais, e comparação dos diferentes locais amostrados (médias de um parametro seguidas de letras diferentes representam diferenças significativas entre locais, teste LSD, P< 0,05)

Solo	DAP	CMA(%)	CC (%)	P (%)	Microp(%)	Macrop(%)	Dr (%)
SMT1	0.84 cd	71.3% bc	64.0% bc	58.5% cd	52.5% b	5.96% ab	2.05 b
SMT2	0.80 cd	82.6% ab	74.6% ab	65.5% b	59.2% ab	6.35% ab	2.35 ab
SMT3	0.91 bcd	71.1% bc	64.0% bc	64.0% b	57.5% ab	6.52% a	2.51 ab
SMT4	0.75 d	94.9% a	87.7% a	71.4% a	66.0% a	5.42% abc	2.64 ab
SC C	1.30 a	42.3% d	39.1% d	54.6% d	50.4% b	4.21% c	2.86 a
SC P	1.13 ab	52.3% cd	48.9% cd	59.0% cd	55.2% b	3.83% c	2.78 ab
SCQP	1.03 bc	56.9% cd	52.3% cd	57.7% cd	53.0% b	4.72% bc	2.43 ab
SNPM	1.01 bc	58.7% cd	54.1% bcd	59.0% cd	54.4% b	4.65% bc	2.49 ab
SNQP	0.92 bcd	67.0% bc	61.0% bc	61.6% bc	56.2% b	5.44% abc	2.42 ab

Com exceção das permeabilidades inicial e final, estatisticamente é possível inferir que houve diferenças significativas entre locais em todas propriedades do solo (Tabela 7), diferenças que possivelmente ocorrem devido ao uso do solo e a outros fatores antropogênicos.

Os solos de Cereal e Pastagem na Serra da Coroa, sofrem ações antrópicas nomeadamente passagem de maquinas e pisoteio animal, como tal é esperada uma maior compactação, quando comparado com os sistemas não perturbados. Esses fatores contribuem para o aumento da compactação do solo e diminuição da sua produtividade (Hamza & Anderson 2005). Ferreira *et al.*(2010) chama a atenção para os atributos físicos do solo que mais sofrem interferência antrópicas destacando a densidade do solo e a porosidade total, as perturbações acometidas nas propriedades físicas do solo irá depender do tipo de manejo ao qual está sujeito. Tal fato é possível comprovar por meio da análise dos parâmetros físicos do solo, Ramos *et al.* (2016) alerta que quanto maior for a densidade aparente de um solo, menor será o volume de espaços vazios ou seja, e menor será a sua capacidade de retenção de água.

Na DAP verifica-se que os maiores valores são apontados nos solos de cereal e pastagem. Vizzotto *et al* (2000) destaca que o pisoteio animal elevou a densidade do solo nas profundidades inferiores a 5 cm, ou seja, diminuiu a porosidade total. É possível observar também que estes solos possuem os menores valores em CMA, CC e MacroP. Valores estes que refletem a maior compactação, quando comparados com os não perturbados. Outro fator de

importância para explicar os valores obtidos nesses solos é o baixo teor de matéria orgânica.

A microporosidade (MicroP) não foi estatisticamente diferente comparando os usos de solo antrópicos e não perturbado, isto porque a compactação converte macro e mesoporos em microporos. Ao contrário, a macroporosidade apresentou os menores valores nos solos perturbados por ações humanas.

Com base na tabela de correlação de Pearson (anexo), percebe-se que o teor de matéria orgânica está inversamente correlacionado com a densidade aparente e positivamente correlacionado com a CMA, CC, P, MicroP e MacroP. Todos os valores da correlação são significativos, com  $r > 0,6664$  (anexo – tabela). Genericamente é possível inferir que esses atributos podem ser apontados como um bom indicador físico-químico de qualidade do solo conforme Drobnik *et al.* (2018).

Comparando os valores de MO da pastagem com os valores médios de MO na floresta QP na Serra da Coroa e floresta PM na Serra da Nogueira, verifica-se que os primeiros são maiores. E isso poderia tornar melhores os parâmetros físicos do solo, nomeadamente a Dap, MacroP, CMA, mas isso não se verifica devido ao grau de compactação. Ou seja, os potenciais benefícios de um maior teor de MO são prejudicados pelo pisoteio animal. Esses resultados é similar aos obtidos por Santos (2010), onde o uso do solo com predominância de floresta, apresentou teores de matéria orgânica elevado, responsável pela manutenção dos atributos físicos do solo.

Já em Serra da Nogueira QP tiveram valores maiores para os seguintes atributos físicos dos solos: CMA, CC, P e MacroP, acompanhado de uma menor densidade aparente quando comparado com os solos sobre QP na Serra da Coroa. As diferenças podem ser explicadas pelo teor de matéria orgânica mais elevado na Serra da Nogueira.

Em Serra de Montesinho (SM), onde o uso do solo é matos registraram-se os maiores valores de matéria orgânica. Como tal os valores de DAP são os mais baixos, os valores de CMA, CC e P são os mais altos. Possivelmente, a menor Dap encontrada em SM, pode ser justificado pelos maiores percentuais

médios encontrados de matéria orgânica, e ausência do tráfego de máquinas agrícolas, ou seja, poucas ou quase nenhuma ação antrópica conforme os pesquisas de Silva (1997), Dalal e Chan (2001) e Lemos Filho et al.(2008). Destacando se também quando feitas a média geral para cada coberto vegetal (uso do solo) nos parâmetros microporosidade e macroporosidade, apresentando os respectivos valores médios.

**Tabela 9:**Valores médios de uso do Solo para as propriedades físicas microporosidade e macroporosidade.

<b>Uso do Solo</b>	<b>Microporosidade</b>	<b>Macroporosidade</b>
Matos	58.8%	6.1%
Floresta	54.5%	4.9%
Pastagem	55.2%	3.8%
Cereal	50.4%	4.2%

#### **4.3.2 Propriedades Químicas do Solo**

As propriedades físicas e as propriedades químicas dos solos são afetadas pelo teor de matéria orgânica e o uso do solo. Partindo de uma análise global dos dados amostrados, observa-se que os três locais estudados apresentam basicamente comportamentos distintos em relação aos valores médios para cada parâmetro analisado.

Levando em consideração os dados quem compõe os teores de matéria orgânica das condições de uso do solo em SM, SC e SN, revela o papel fundamental da matéria orgânica do solo possui importante contribuição na fertilidade química e física do solo. Observa-se o contributo físicos o teor de matéria orgânica no solo contribui para a agregação, estabilidade de agregados no solo e como consequência a densidade e porosidade do solo (Ferreira *et al.*, 2014).

No presente estudo o maior percentual médio encontrado foi em Serra de Montesinho com 15%, seguido de Serra da Nogueira com 8% e o menor percentual é visto em Serra da Coroa com 8% de MO. Uma possível explicação

para tal fato pode ser relacionada com o uso do solo que em SM trata-se de Matos que sofrem pouca interferência antrópica. Já em SC o coberto vegetal é caracterizado como cereal e pastagem, ou seja, sofrem perturbações mecânicas e antrópicas.

Relativamente à relação entre o pH e a disponibilidade de  $P_2O_5$ , segundo Varennes (2003), a disponibilidade atinge o seu pico para pH entre 6 e 7, diminuindo para valores superiores e inferiores. No entanto os resultados obtidos não foram de acordo com as conclusões anteriormente citadas. De facto os solos com pH menor, registaram os valores mais altos de  $P_2O_5$ . Possivelmente pode estar associado ao facto de que precisamente são estes solos que apresentam maiores valores de MO, ou então por serem ecossistemas naturais e como tal sofrerem poucas exportações e alta ciclagens de nutrientes. Nesse sentido, é importante salientar que apesar percentual menor de matéria orgânica no solos de SC C este registou o quarto maior valor de  $P_2O_5$ . Tal fato pode ser explicado por conta da fertilização do solos para a produção de cereal.

Quanto ao  $K_2O$ , não apresentou relação significativa com nenhum parâmetros aqui apresentado. Nesse sentido uma possível explicação para os menores valores em SC C e SCP pode está associada ao uso dos solos, ou seja, a exportação de nutrientes é superior nesses solos quando comparado com os demais solos.

No que concerne ao pH em água, GSB<sub>e</sub> e CTC, percebe-se o comportamento deste conforme as Figura 24, Figura 28 e Figura 29. Quanto mais elevado o pH em água maior o GSB, porque o pH relaciona-se com a quantidade de bases no complexo de troca, ou seja, o somatório de bases de troca efetivo é maior para as florestas do que para os cereais apesar do pH ser menor, basicamente nota-se que CTC da Floresta é genericamente maior que o CTC dos cereais, tal fato ocorre por conta do elevado teor de matéria orgânica encontrado na floresta.

Para compreender a atividade dos atributos químicos, é de grande valia entender seu funcionamento, influência da área superficial e a elevada densidade de cargas, que por sua vez influencia a capacidade de troca de

cátions (CTC) do solo, O efeito tampão do pH no solo, e a disponibilização de nutrientes por mineralização (Silva & Mendonça, 2007).

### 4.3.3 Relação entre propriedades do solo

A Figura 30 mostra a correlação entre os atributos físicos do solo, onde a Densidade aparente está significativamente ( $P > 0,6664$ ) correlacionada de forma negativa com CMA (-0,94) e com CC (-0,93). A Dap é um fator que está dependente do teor de matéria orgânica, da textura do solo e do grau de compactação, e tem uma correlação inversa com a %MO (-0,88). Ou seja, quanto maior for o teor de MO, mais ar vai existir no solo, esta está correlacionada positivamente com a porosidade (0,80), e conseqüentemente, menor vai ser a Dap. Por sua vez o teor de MO está também positivamente correlacionado com a CC (0,86) e com a CMA(0,88).

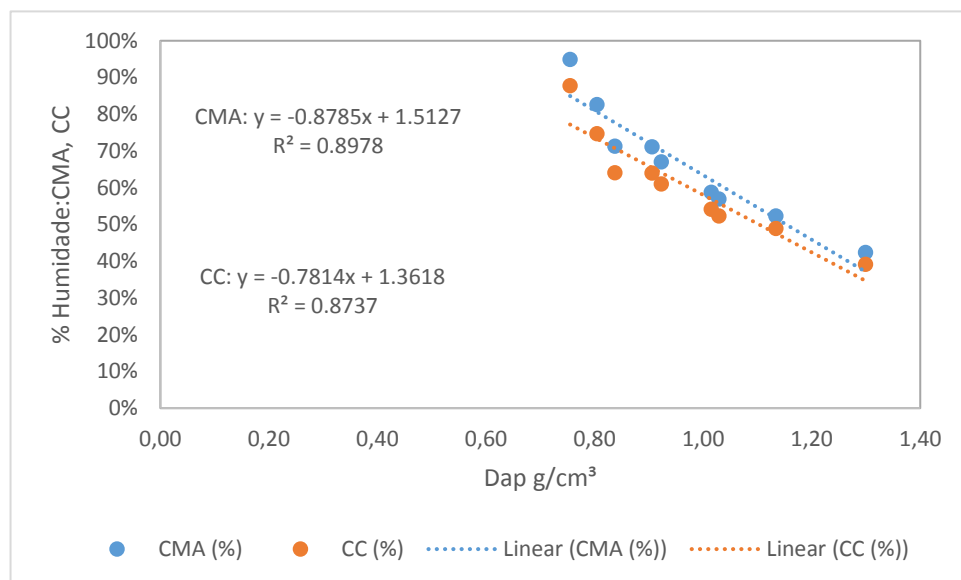


Figura 30: Correlação: Densidade Aparente (Dap), Capacidade máxima para água (CMA) e capacidade de campo (CC). (Significância  $P > 0,6664$ )

A retenção de água num solo, CC e CMA, está relacionada com a suamicroporosidade. Como uma maior Dap significa uma menor micro porosidade (correlação de -0,716), então é de esperar que estes parâmetros se correlacionem negativamente, e foi o que se observou nos resultados. Já a correlação entre CC e CMA é de 0,998, o que significa uma pronunciada

correlação positiva. E faz sentido, uma vez que quanto maior for a CC mais água um solo pode reter e como tal, maior CMA.

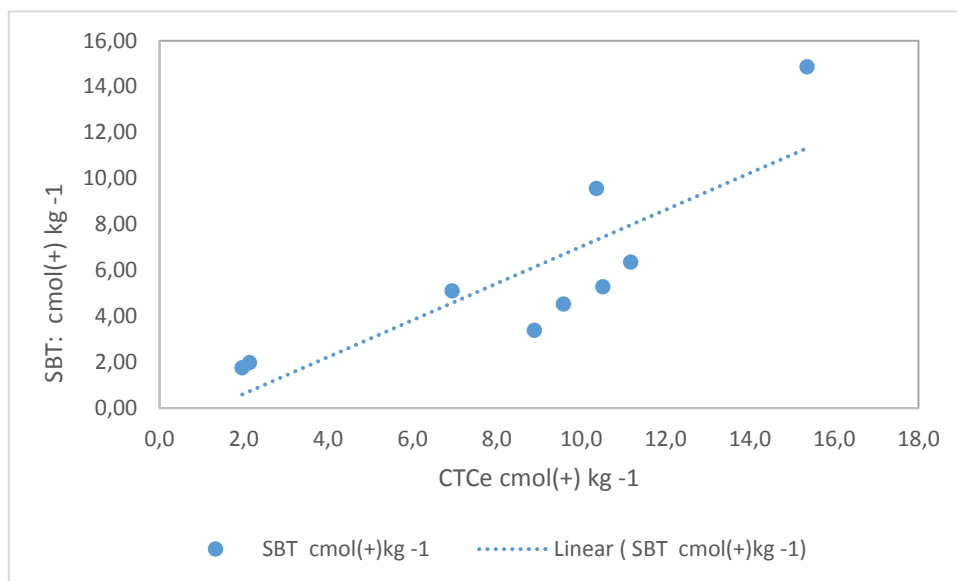


Figura 31: Correlação: Capacidade de troca catiônica efetiva (CTCe) e Soma de bases de troca (SBT). (Significância  $P > 0,6664$ ).

CTC correlaciona-se muito positivamente com SBT (0,838). Ou seja, quando maior for o SBT, significa que a CTC vai ser alta ou tem uma probabilidade grande de ser alta.

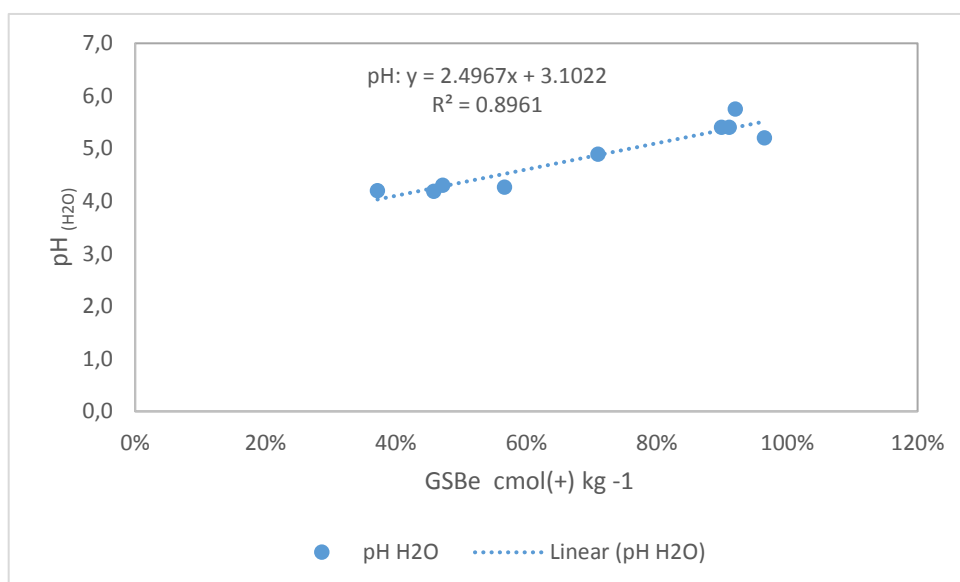


Figura 32: Correlação: Potencial de Hidrogênio em água e Grau de saturação em Bases efetiva.

O GSBe é muito positivamente correlacionado com o pH, (0,95). O que faz sentido porque o pH está dependente da quantidade de bases presente no

solo, quer na solução de solo, quer adsorvidos no complexo de troca. O que esta correlação quer dizer é que quanto maior for o GSB<sub>e</sub>, maior vai ser o pH, ou seja mais alcalino.

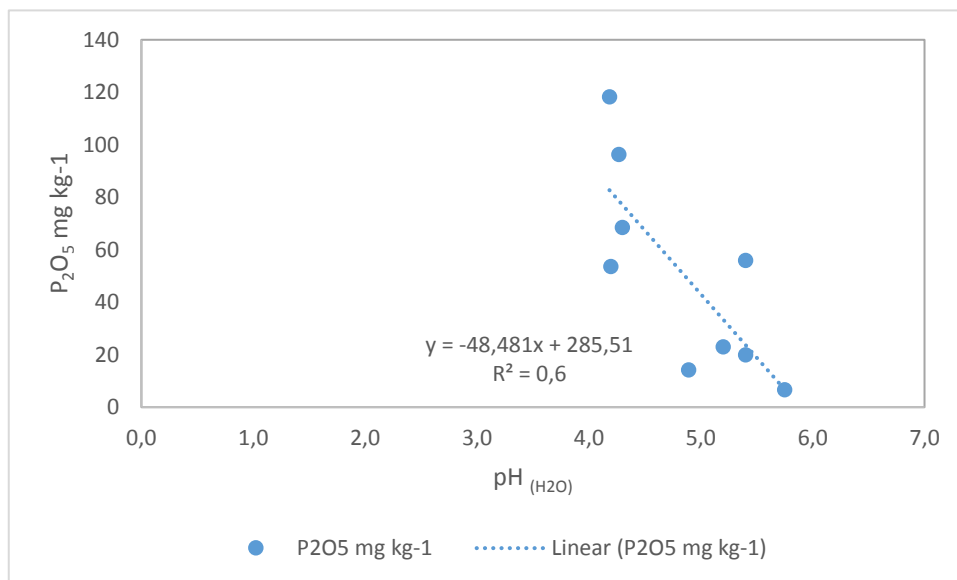


Figura 33: Correlação: Potencial de Hidrogénio em água (pH) e Pentóxido de fósforo.

A partir da observação da tabela de correlação, pode-se constatar que o pH tem uma correlação negativa com a disponibilidade P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, (-0,77). Na prática, o que isto quer dizer é que à medida que o pH desce, o P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> torna-se mais disponível e quando o pH sobe este torna-se mais indisponível. O óptimo de absorção de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> situa-se na gama neutra, verificando-se uma diminuição da sua disponibilidade quando o pH diminui, mas também quando este aumenta. Possivelmente isso ocorre devido ao efeito da MO, que é capaz de complexar catiões ácidos como o Al e Fe, abundantes em pH ácido, e assim disponibilizar o P, em regra sob a forma de fosfatos de Fe nesse pH conforme Varennes (2003).

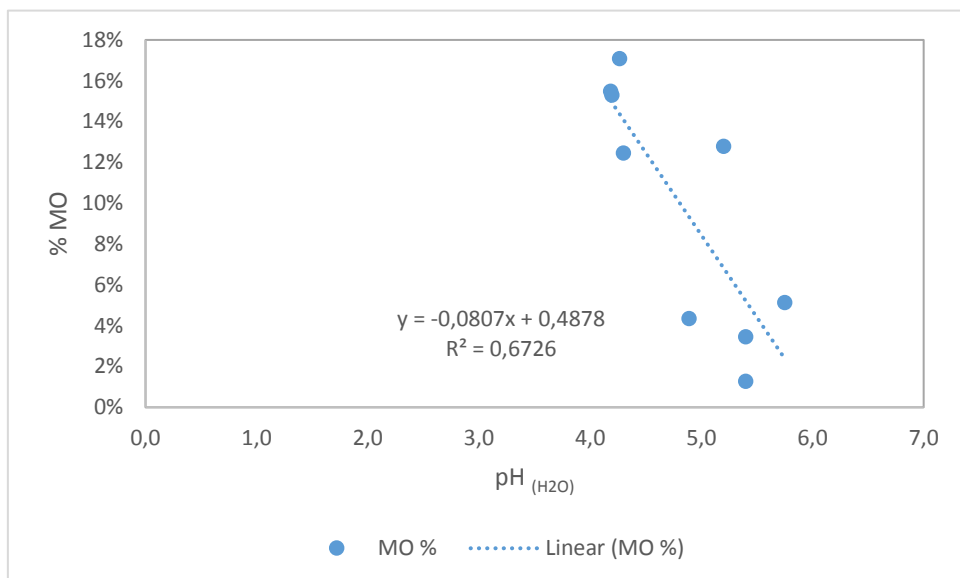


Figura 34: Correlação: Potencial de Hidrogénio em água (pH) e Matéria orgânica (MO)

A relação entre a %MO e o pH é negativa (-0,82). Ou seja, quando o teor de MO sobe o pH desce e vice versa evidenciado nos trabalhos de Ribeiro (2012) e Santos (2015). A matéria orgânica segundo Ronquim (2010) consegue influenciar agregação e consistência, capacidade de retenção de água no solo e capacidade de tamponamento, estabilizando os valores de pH.

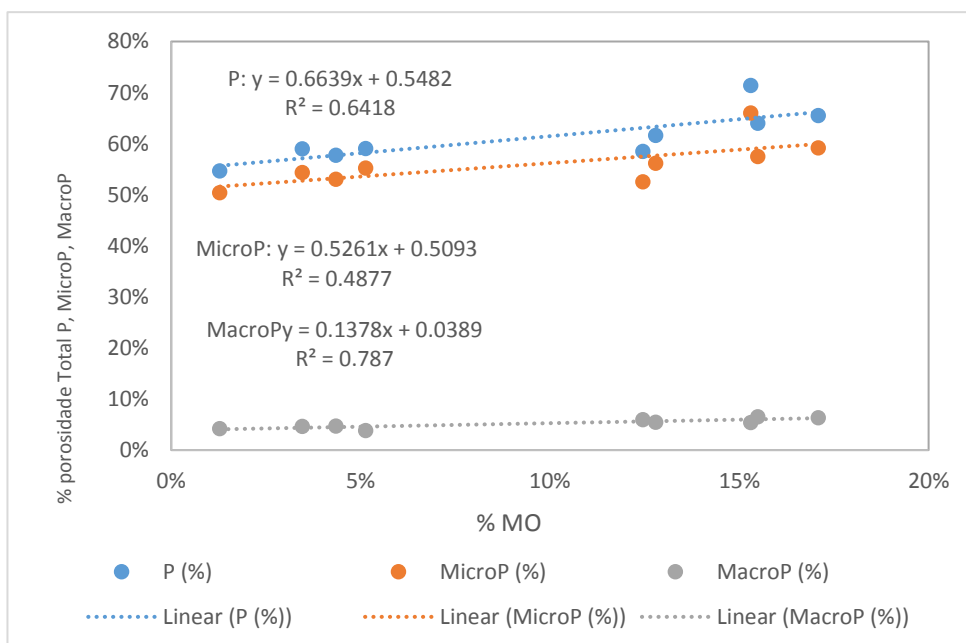


Figura 35: Correlação: Matéria orgânica, Porosidade total (P), Microporosidade (MicroP) e Macroporosidade (MacroP).

A %MO correlaciona-se positivamente com a Porosidade total (0,80), com a Micro porosidade (0,698), e com a Macro porosidade (0,88). Faz sentido porque a MO causa um abaixamento na Dap e conseqüentemente aumenta o espaço poroso no solo, o que se reflecte em maior porosidade.

Não se verificou uma relação significativa entre a macro e a micro porosidade. A correlação entre a Porosidade total e a micro porosidade é grande e positiva (0,985), o mesmo não podemos afirmar para a relação com a macro porosidade, uma vez que ela não é significativa.

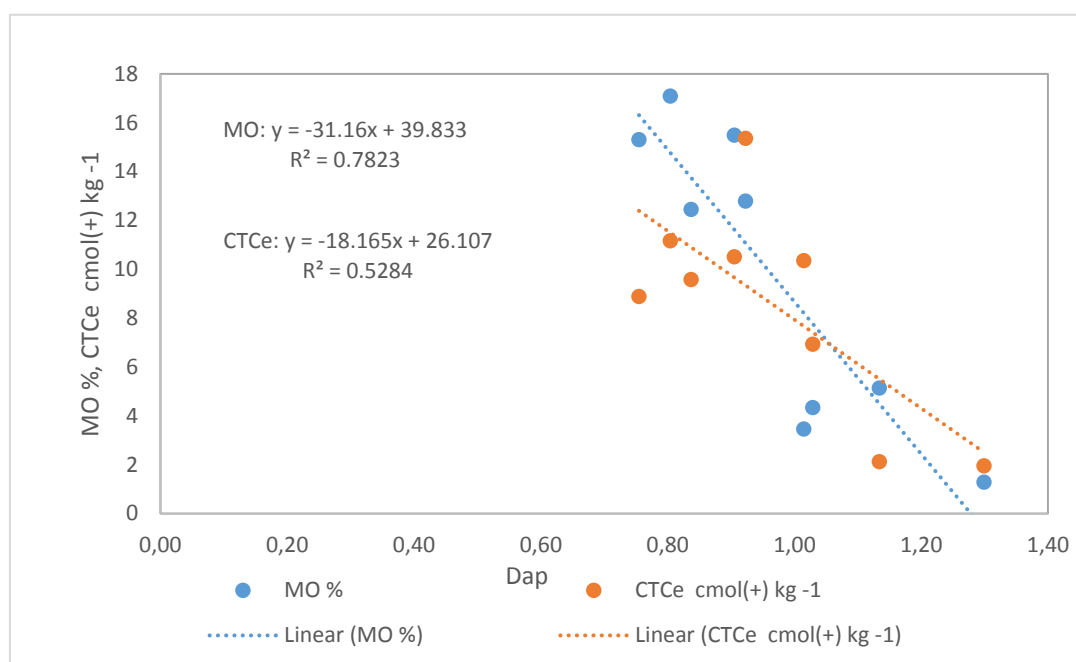


Figura 36: Correlação: Densidade Aparente (Dap), Matéria orgânica (MO) e Capacidade de troca catiônica efetiva.

A relação entre a MO e a Dap já foi discutida acima. Já a relação entre a MO e a CTC é positiva (0,66) indicando que quanto maior a MO, maior a CTC, faz sentido porque a matéria orgânica do solo faz parte da fracção coloidal e possui uma grande superfície específica com capacidade para trocar catiões. A relação entre a Dap e a CTC é negativa (-0,72), ou seja quando a Dap aumenta a CTC diminui e isso está relacionado com o teor de MO, que afeta estes dois parâmetros, como já descrito acima. Ronquim (2010) salienta que O pH do solo é o indicador de uma situação biológico-físico-química e como tal seria enganoso considerar somente os seus efeitos químicos.

## 5. CONCLUSÃO

Por meio desse trabalho foi possível avaliar as propriedades físico-químicas do solo em áreas de montanha e perceber as relações estatísticas entre essas propriedades. Os resultados alcançados nesse estudo ilustram a relevância de investigar os atributos físico-químicos associado ao uso. Nota-se também o papel fundamental da matéria orgânica como um indicador de qualidade e seu o seu controle na erosão do solo, devido a sua grande quantidade de carbono armazenada na matéria orgânica do solo associado ao manejo do solo pode ser um grande contributo para a mitigação do efeito estufa. Em relação aos parâmetros físicos, estatisticamente foi possível constatar que houve diferenças significativas entre os locais amostrados em quase todas as propriedades, exceto nas permeabilidade inicial e final.

Nos solos cobertos por matos, constataram-se as melhores condições físicas do solo avaliadas pelos parâmetros analisados além das maiores porcentagens médias de matéria orgânica. Os resultados para os locais amostrados cobertos por floresta em comparação aos de matos mostram teores de matéria orgânica relativamente baixos com exceto em SN QP.

Os solos ocupados por cereal e pastagem, ambos localizados na Serra da Coroa, sofrendo maiores perturbações mecânicas, apresentam os maiores valores de densidade aparente e os menores valores de capacidade máxima para água, capacidade de campo e macroporosidade, como já era esperado devido as ações antrópicas. O efeito do uso nas condições físicas do solo foi melhor revelado pelos resultados de macroporosidade do que pelos de microporosidade.

Apesar das relações significativas entres os parâmetros aqui analisados, sublinha-se a necessidade de estudos complementares, com escalas temporais maiores que permitem uma avaliação mais conclusiva.

## 6. REFERÊNCIAS

- Agroconsultores & Coba (1991). 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.
- Aguiar, C. F. G., 2000, Flora e vegetação da Serra de Nogueira e do Parque Natural de Montesinho. Universidade Técnica de Lisboa Instituto Superior de Agronomia Doutoramento em engenharia agrónómica. Lisboa, Portugal, 688 p.
- Ahmed, C. R. M. (2009). *FATORES QUE INFLUENCIAM A ERODIBILIDADE NOS SOLOS DO MUNICÍPIO DE CAMPOS DOS GOYTACAZES-RJ SOB UMA ANÁLISE MULTICRITÉRIO*. Retrieved from <http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-civil/wp-content/uploads/sites/3/2015/09/CLARISSA-REGINA-MASIERO-AHMED1.pdf>
- Araújo, E. A. de, Ker, J. C., Neves, J. C. L., & Lani, J. L. (2012). Resumo Qualidade do solo : conceitos, indicadores e avaliação Resumen Aspectos conceituais de qualidade do solo. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, 5(1), 187–196. <https://doi.org/10.5777/PAeT.V5.N1.12>
- Bagatini, T., Cogo, N. P., Gilles, L., Portela, J. C., Portz, G., & Queiroz, H. T. (2011). Perdas de solo e água por erosão hídrica após mudança no tipo de uso da terra, em dois métodos de preparo do solo e dois tipos de adubação. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*, 35(3), 999–1011. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000300034>
- Batjes, NH Batjes, Carbono total e nitrogênio nos solos do mundo, EUR. J. Soil Sci.,47 ( 1996 ) , pp. 151 - 163 (Lal, 2006).
- Bertoni, José; LOMBARDI NETO, Francisco; BENATTI JUNIOR, Romeu. Metodologia para determinação de perdas por erosão. Circular IAC, Campinas, SP, n. 44, 15 p., 1975.
- Bertol, O.J.; AMADO, T.J.C.; SCHLOSSER, J.F. & REINERT, D.J. Desempenho de mecanismos sulcadores de semeadura sob condições de preparo reduzido do solo, R. Bras. Ci. Solo, 21:257-262, 1997.
- Braida, J.A.; Bayer, C.; Albuquerque, J. A. & Reichert, J. M. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. In: FILHO, O.K.et al.(Org.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.VII, p.222- 227, 2011.
- Bronick, C. J., & Lal, R. (2005). Soil structure and management: A review. *Geoderma*, 124(1–2), 3–22. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>
- Bryan, R.B. Processes and significance of rill development. *Catena*, 8:1-15, 1987.
- Chaer, G. M., & Tótola, M. R. (2007). Impacto do manejo de resíduos orgânicos durante a reforma de plantios de eucalipto sobre indicadores de qualidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 31(6), 1381–1396. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000600016>.
- Costa, J.B. 2011. Caracterização e Constituição do Solo. Fundação Calouste Gulbenkian Lisboa.
- Dalal, R. C.; Chan, K. Y. Soil organic matter in rainfed cropping systems of the Australian cereal belt. *Aust. Journal Soil Research*, v. 39, n. 03, p. 435-464, 2001.

- Drobnik, T., Greiner L., Keller, A., Grêt-Regamey A., Soil quality indicators – From soil functions to ecosystem services, *Ecological Indicators*, 2018 vol: 94 pp: 151-169
- Figueiredo, T.; FONSECA, F.; NUNES, L. Proteção do Solo e combate à desertificação. Escola Superior Agrária, Bragança, 2015.
- Figueiredo, T. de. (2015). *Proteção do solo em viticultura de montanha: manual técnico para a região do Douro*. Retrieved from <https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/14009>
- Figueiredo, T. D. (2013). 84-Uma panorâmica sobre os recursos pedológicos do Nordeste Transmontano.
- Figueiredo, T., 2011. Determinação laboratorial da condutividade hidráulica do solo e Realização de exercícios sobre exploração de aquíferos. Escola Superior Agrária de Bragança.
- Figueiredo, T., & Gonçalves, D. (2008). Erosividade das precipitações e erosão hídrica dos solos: exercícios de estimativa face a cenários de alteração climática. ... *Sobre Clima e Recursos Naturais* .... Retrieved from <http://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/5288>
- Flores, C. A. (2008). O uso da terra e a necessidade de mudanças. Retrieved January 13, 2019, from [http://www.infobibos.com/Artigos/2008\\_3/usoterra/](http://www.infobibos.com/Artigos/2008_3/usoterra/)
- Gomes, L., Simões, S. J. C., Forti, M. C., Ometto, J. P. H. B., & Nora, E. L. D. (2017). Using Geotechnology to Estimate Annual Soil Loss Rate in the Brazilian Cerrado. *Journal of Geographic Information System*, 09(04), 420–439. <https://doi.org/10.4236/jgis.2017.94026>
- Gomes, M. A. F., & Filizola, H. F. (2006). *INDICADORES FÍSICOS E QUÍMICOS DE QUALIDADE DE SOLO DE INTERESSE AGRÍCOLA*. Retrieved from [https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Gomes\\_Filizola\\_indicadoresID-u1keja1HAN.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Gomes_Filizola_indicadoresID-u1keja1HAN.pdf)
- Govers, G. & Rauws, G. Transporting capacity of overland flow on plane and on irregular beds. *Earth Surface Proc. Landforms*, 11:515-524, 1986.
- Gutiérrez M. M., Fonseca F., Figueiredo T., Sánchez B. A. 2017, 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*, ISSN-e 2253-6574, Vol. 8, Nº. 1, 2018, págs. 24-41.
- Hamza, M.A. & Anderson, W.K. Soil compaction in cropping systems: A review of the nature, causes and possible solutions. *Soil Till. Res.*, 82:121-145, 2005.
- IPMA. (2019). Normais Climatológicas. Retrieved February 12, 2019, from <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/>
- Juntolli, F. V., Contribuição, R. L. de B. S., Inamasu, R. Y., & Molin, J. P. (2013). *Agricultura de Precisão Boletim Técnico*. <https://doi.org/10.1108/01439911311294255>
- Lal, R., Enhancing crop yields in the developing countries through restoration of the soil organic carbon pool in agricultural lands *Land Degrad. Dev.*, 17 (2006), pp. 197-209.
- Lal, R. Métodos para avaliação do uso sustentável dos recursos solo e água nos trópicos; tradução e adaptação de Cláudia Conti Medugno e José Flávio Dynia. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 1999. 97p. (Embrapa Meio Ambiente – Documentos, 03).Lepsch, I. F. Formação e conservação dos solos. 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

- Llanillo, R. F.; Richart, A.; Filho, J. T.; Guimarães, M. F.; Ferreira, R. R. M. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. *Semina: Ciências Agrárias*, 27:205-220, 2006.
- Lima, V. C., Lima, M. R. de, & Melo, V. de F. (2007). *O SOLO NO MEIO AMBIENTE: A abordagem para Professores do Ensino Fundamental e Médio e Alunos do Ensino Médio*. Universidade federal do paraná (Vol. 1). Retrieved from <http://www.escola.agrarias.ufpr.br/arquivospdf/livro.pdf>
- Lemos Filho, L. C. A. et al. Variação espacial da densidade do solo e matéria orgânica em área cultivada com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.). *Revista Ciência Agronômica*, v. 39, n. 02, p. 193-202, 2008.
- Magalhães, ricardo A. (2001). Erosão: Definições, tipos e formas de controle.
- Morgan, R. P. . (2005). *Soil erosion and conservation*. (Blackwell Publishing, Ed.) (3 ed.). Australia. 感染症誌 (Vol. 91).
- Panachuki, E., Alves Sobrinho, T., Vitorino, A. C. T., De Carvalho, D. F., & Urchei, M. A. (2006). *Parâmetros físicos do solo e erosão hídrica sob chuva simulada, em área de integração agricultura-pecuária 1*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v* (Vol. 10). Retrieved from <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v10n2/v10n2a03>
- Porta, J., López-Acevedo, M., Roquero, C. 2003. Edafologia para la agricultura y el medio ambiente, 3a edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.
- PRIMAVESI, Ana. Revisão do conceito de agricultura orgânica: conservação do solo e seu efeito sobre a água. *Biológico*, São Paulo, v. 65, n. 1/2, p. 69-73, 2003.
- Ramos, T. B., Características de retenção de água no solo para utilização na rega das culturas Editor: Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, Oeiras, novembro de 2016.
- Ronquim, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais, Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010.
- Raiesi, F., & Kabiri, V. (2016). Identification of soil quality indicators for assessing the effect of different tillage practices through a soil quality index in a semi-arid environment. *Ecological Indicators*, 71, 198–207. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.06.061>
- Reichert, J. M.; Reinert, D.J.; Braidia, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. *Ciência Ambiental*, 27:29-48, 2003.
- Ribeiro, L.S. Estudo da degradação dos Resíduos sólidos Urbanos através dos parâmetros físicos e físico-químicos em um biorreator em escala experimental. Campina Grande: UFCG, 2012. Dissertação (Mestrado em engenharia civil e ambiental).
- Santos, J. J. N., et al 2015, Interrelações Entre Matéria Orgânica, Ph, Teor De Água Em Solo De Cobertura De Aterro Experimental, Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC' 2015 *Centro de Eventos do Ceará - Fortaleza - CE 15 a 18 de setembro de 2015*.
- Santos, Jussara Telma dos et al. Atributos físicos e químicos do solo de Áreas sob Pastejo na Micro Região do Brejo Paraibano. *Cienc. Rural* [online]. 2010, vol.40, n.12, pp.2486-2492. ISSN 0103-8478. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782010001200008>.
- Santana, D. P., Bahia Filho, A. F. C. 1999, Indicadores de qualidade do solo, Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG. 1999.
- Spera, S. T.; Santos, H. P.; Fontaneli, R. S.; Tomm, G. O. Efeitos de sistemas

- de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, 28:533-542, 2004.
- Silva, A. P.; Kay, B. D. Estimating the least limiting water range of soils from properties and management. *Soil Science Society America Journal*, v. 61, n. 03, p. 877-883, 1997.
- Tabalipa, N. L.; Fiori, A. P. Caracterização dos solos da bacia do rio Ligeiro (PR) na estabilidade de taludes. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 42, n. 1, p. 11-26, 2012.
- Thomaz, E. L., Mudanças nas características físicas do topo do solo causadas por erosão laminar, em agricultura de subsistência no sistema de rodízio de terras – Guarapuava-PR *Geosul*, Florianópolis, v. 22, n. 44, p 67-94, jul./dez. 2007
- Varenes, A. 2003. *Produtividade dos Solos e Ambiente*. Escolar Editora, Lisboa, Portugal.
- Vilela, M. A. A., 2017, Influência do tipo de cobertura vegetal nas propriedades físicas e químicas dos horizontes orgânicos e minerais do solo. Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança IPB, Bragança 2017.
- Vrščaj, B., Poggio, L., & Marsan, F. A. (2008). A method for soil environmental quality evaluation for management and planning in urban areas. *Landscape and Urban Planning*, 88, 81–94. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.08.005>
- Vzzotto, V. R., Marchezan, E., Segabinazzi, T. , Efeito do pisoteio bovino em algumas propriedades físicas do solo de várzea., *Ciência Rural*, Santa Maria, v.30, n.6, p.965-969, 2000.
- Walter, J., Alvarez, R., Pellegrini, A., Kochem, M. L., Luiz, G., Capoane, V., ... Rheinheimer, D. (2014). Erosão hídrica e perda de sedimento , água e nutrientes durante eventos pluviais em duas bacias hidrográficas rurais *Water erosion and loss of sediment , water and chemical elements during rainfall events in two rural watersheds*, 16(2), 113–123.

## 7. ANEXOS

### ANEXO A - Tabela dos valores críticos do coeficiente de correlação

**Fonte:** Pierre Dagnelie, 2009. Estatística Teoria e Métodos II. Tradução de Antônio St. Aubyn. Reimpressão 08-2009. Publicações Europa-América. p.497.

Valores críticos  $r_{1-\alpha/2}$   
para  $\alpha = 0,05, 0,01, 0,001$  e  $k = 1(1)20(5)50(10)100$

k	$\alpha$		
	0,05	0,01	0,001
1	0,99692	0,999877	0,9999988
2	0,95000	0,990000	0,99900
3	0,8783	0,95873	0,99116
4	0,8114	0,91720	0,97406
5	0,7545	0,8745	0,95074
6	0,7067	0,8343	0,92493
7	0,6664	0,7977	0,8982
8	0,6319	0,7646	0,8721
9	0,6021	0,7348	0,8471
10	0,5760	0,7079	0,8233
11	0,5529	0,6835	0,8010
12	0,5324	0,6614	0,7800
13	0,5139	0,6411	0,7603
14	0,4973	0,6226	0,7420
15	0,4821	0,6055	0,7246
16	0,4683	0,5897	0,7084
17	0,4555	0,5751	0,6932
18	0,4438	0,5614	0,6787
19	0,4329	0,5487	0,6652
20	0,4227	0,5368	0,6524
25	0,3809	0,4869	0,5974
30	0,3494	0,4487	0,5541
35	0,3246	0,4182	0,5189
40	0,3044	0,3932	0,4896
45	0,2875	0,3721	0,4648
50	0,2732	0,3541	0,4433
60	0,2500	0,3248	0,4078
70	0,2319	0,3017	0,3799
80	0,2172	0,2830	0,3568
90	0,2050	0,2673	0,3375
100	0,1946	0,2540	0,3211

Exemplos:  $r_{0,975} = 0,5760$  para 10 graus de liberdade

$r_{0,995} = 0,5368$  para 20 graus de liberdade

**Anexo B – Parâmetros físicos do solo: Média, Desvio padrão, Máximo e mínimo.**

Permeabilidade (Ki)				
Local	Média (Ki, cm/h)	DesvPad	Máx	Mín
SM T1	129	186.74	408.16	20.05
SM T2	280	465.49	972.97	2.15
SM T3	179	253.56	553.85	15.57
SM T4	119	122.35	292.21	15.38
SC C	296	548.54	1118.01	1.75
SC P	124	110.06	247.25	21.72
SC QP	214	221.59	535.71	36.32
SN PM	466	716.03	1538.46	57.69
SN QP	795	1006.04	2222.22	47.37

Permeabilidade Final (Kf)				
Local	Média (cm/h)	DesvPad	Máx	Mín
SM T1	136	207.45	447.43	23.74
SM T2	251	405.05	853.15	10.66
SM T3	182	298.14	627.43	10.19
SM T4	94	89.03	214.47	12.95
SC C	288	527.53	1079.03	1.69
SC P	139	90.87	234.77	15.96
SC QP	189	243.64	551.83	29.96
SN PM	292	327.41	764.16	23.74
SN QP	476	501.53	1027.55	20.86

Densidade Aparente (Dap g/cm <sup>3</sup> )				
Local	Média	DesvPad	Máx	Mín
SM T1	0.84	0.16	1.04	0.66
SM T2	0.80	0.09	0.91	0.73
SM T3	0.91	0.08	0.97	0.82
SM T4	0.75	0.04	0.80	0.72
SC C	1.30	0.09	1.42	1.20
SC P	1.13	0.09	1.24	1.06
SC QP	1.03	0.12	1.15	0.89
SN PM	1.01	0.11	1.12	0.89
SN QP	0.92	0.04	0.97	0.88

Capacidade Maxima para Água(CMA (%))				
Local	Média	DesvPad	Máx	Mín
SM T1	71.3%	11.8%	87.9%	60.3%
SM T2	82.6%	15.4%	93.1%	64.9%
SM T3	71.1%	7.4%	79.2%	64.6%
SM T4	94.9%	6.7%	101.9%	88.2%
SC C	42.3%	5.1%	48.3%	35.8%
SC P	52.3%	4.8%	57.7%	48.5%
SC QP	56.9%	8.6%	65.7%	48.1%
SN PM	58.7%	8.1%	68.5%	51.6%
SN QP	67.0%	6.6%	74.6%	59.7%

Capacidade de Campo (CC %)				
Local	Média	DesvPad	Máx	Mín
SM T1	64.0%	9.7%	76.3%	52.6%
SM T2	74.6%	14.4%	85.1%	58.2%
SM T3	64.0%	8.3%	73.1%	56.8%
SM T4	87.7%	6.6%	93.4%	80.8%
SC C	39.1%	5.2%	45.1%	32.4%
SC P	48.9%	4.1%	53.5%	45.7%
SC QP	52.3%	9.0%	61.5%	43.7%
SN PM	54.1%	7.8%	63.8%	47.7%
SN QP	61.0%	4.5%	65.3%	55.6%

Porosidade total (%P)				
Local	Média	DesvPad	Máx	Mín
SM T1	58.5%	4.2%	62.6%	52.7%
SM T2	65.5%	5.7%	69.4%	59.0%
SM T3	64.0%	1.2%	65.1%	62.8%
SM T4	71.4%	1.7%	73.2%	69.1%
SC C	54.6%	2.9%	58.1%	51.0%
SC P	59.0%	2.7%	61.2%	56.0%
SC QP	57.7%	2.6%	61.2%	55.2%
SN PM	59.0%	4.1%	64.8%	55.6%
SN QP	61.6%	3.9%	66.0%	58.1%

Microporosidade (%MicroP)				
Local	Média	DesvPad	Máx	Mín
SM T1	52.5%	3.5%	56.0%	48.6%
SM T2	59.2%	5.4%	62.3%	52.9%
SM T3	57.5%	2.5%	60.1%	55.2%
SM T4	66.0%	1.8%	67.3%	63.3%
SC C	50.4%	3.3%	54.2%	46.1%
SC P	55.2%	2.4%	56.7%	52.5%
SC QP	53.0%	3.4%	57.1%	50.2%
SN PM	54.4%	4.2%	60.4%	51.0%
SN QP	56.2%	2.3%	58.5%	54.1%

Macroporosidade (% MacroP)				
Local	Média	DesvPad	Máx	Mín
SM T1	6.0%	2.2%	7.9%	4.1%
SM T2	6.3%	0.7%	7.1%	5.8%
SM T3	6.5%	1.4%	7.6%	5.0%
SM T4	5.4%	0.8%	6.1%	4.2%
SC C	4.2%	0.5%	4.9%	3.8%
SC P	3.8%	0.6%	4.5%	3.4%
SC QP	4.7%	1.0%	5.9%	3.7%
SN PM	4.7%	0.4%	5.3%	4.3%
SN QP	5.4%	1.9%	8.2%	4.0%

Densidade real (Dr) g/cm <sup>3</sup>				
Local	Média	DesvPad	Máx	Mín
SM T1	2.05	0.55	2.78	1.60
SM T2	2.35	0.16	2.53	2.21
SM T3	2.51	0.14	2.61	2.36
SM T4	2.64	0.14	2.83	2.53
SC C	2.86	0.04	2.90	2.81
SC P	2.78	0.29	3.08	2.51
SC QP	2.43	0.21	2.57	2.12
SN PM	2.49	0.34	2.74	2.01
SN QP	2.42	0.18	2.60	2.22

**ANEXO B - Matriz de correlação entre os parâmetros físico-químicos do solos.**

	(Ki, cm/h)	Kf (cm/h)	AP (g/cm <sup>3</sup> )	CMA (%)	CC (%)	P (%)	MicroP (%)	MacroP (%)	Dr	MO %	pH H <sub>2</sub> O	P2O5 mg kg <sup>-1</sup>	K2O mg kg <sup>-1</sup>	SBT cmol(+)kg <sup>-1</sup>	CTCe cmol(+) kg <sup>-1</sup>	GSBe cmol(+) kg <sup>-1</sup>
(Ki, cm/h)	1															
Kf (cm/h)	0.96579687	1														
DAP (g/cm <sup>3</sup> )	0.07018118	0.2142473	1													
CMA (%)	-0.1593653	-0.288988	-0.947529	1												
CC (%)	-0.1645436	-0.30042	-0.934702	0.998360807	1											
P (%)	-0.1410392	-0.268213	-0.800021	0.929154153	0.940943675	1										
MicroP (%)	-0.1505786	-0.288359	-0.716108	0.873999877	0.895108632	0.985233261	1									
MacroP (%)	-0.0221709	-0.032434	-0.795299	0.718461695	0.678976235	0.556926077	0.406495361	1								
Dr	-0.0789009	-0.014313	0.6525897	-0.404080996	-0.365527135	-0.069947877	0.05784341	-0.65385	1							
MO %	-0.0510907	-0.110993	-0.884474	0.883282646	0.861813108	0.801108475	0.698378395	0.8871083	-0.48122	1						
pH H <sub>2</sub> O	0.37248544	0.3994815	0.8114813	-0.812730816	-0.787624347	-0.655184255	-0.53849742	-0.883995	0.541628	-0.82009	1					
P2O5 mg kg <sup>-1</sup>	-0.3031492	-0.202109	-0.423092	0.462145775	0.42519626	0.390296378	0.260872408	0.8172336	-0.25502	0.664603	-0.774570364	1				
K2O mg kg <sup>-1</sup>	0.13075177	0.0657584	-0.511769	0.349433826	0.328933779	0.17200919	0.084138567	0.5097283	-0.65291	0.251623	-0.49226206	0.1733296	1			
SBT cmol(+)kg <sup>-1</sup>	0.90691574	0.8081124	-0.286094	0.12500876	0.112157613	0.075696235	0.029499422	0.2608319	-0.39215	0.218869	0.091182055	-0.183192	0.405196662	1		
CTCe cmol(+) kg <sup>-1</sup>	0.58450523	0.4672885	-0.726912	0.581629463	0.557717895	0.455191492	0.353904863	0.7122349	-0.65081	0.660808	-0.455848312	0.2504594	0.601594198	0.838342917	1	
GSBe cmol(+) kg <sup>-1</sup>	0.62084363	0.6634532	0.7350024	-0.774861825	-0.760451517	-0.651423098	-0.568215556	-0.719765	0.401492	-0.70943	0.946606334	-0.69322	-0.341872802	0.346611847	-0.214033537	1