

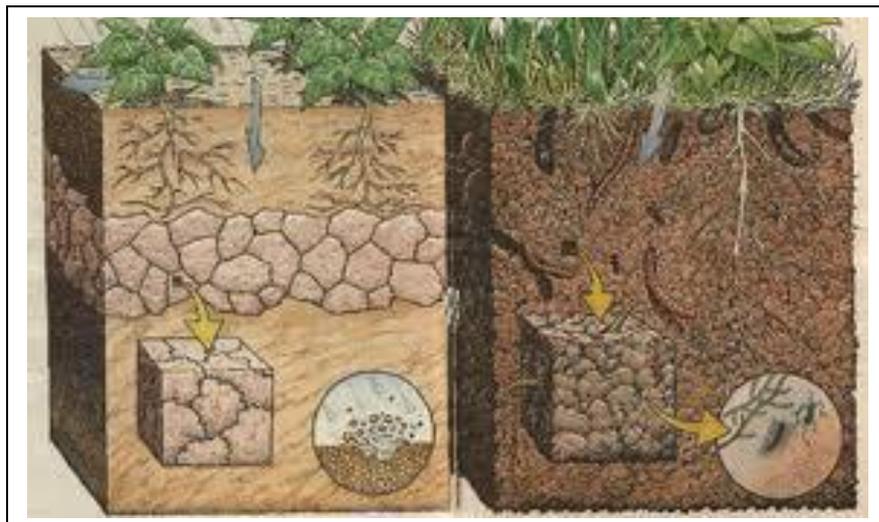
INSTITUTO POLITÉCNICO DE VISEU
ESCOLA SUPERIOR AGRÁRIA DE VISEU

APONTAMENTOS TEÓRICOS

DE

Ciências do Solo/ Solos

*Curso: Eng.^a Agronómica
CTeSP Agricultura Biológica*



Visu, 2019

Adelaide Perdigão

Índice

1. Introdução ao Estudo do Solo	5
1.1 Conceito de solo	5
1.2 Funções do solo	6
2. Génese do solo	7
2.1 Constituição geral do solo	7
2.2 Factores de formação do solo e influência individual no processo de formação do solo	8
3. Perfil do solo	12
3.1 Conceitos	12
3.2 Processos pedogenéticos e natureza do perfil formado	12
3.3 Morfologia do perfil do solo e designações atribuídas aos horizontes	14
4. Matéria Mineral do Solo	18
4.1 Constituição da fracção mineral do solo: minerais primários e secundários	18
4.2 Reserva mineral do solo	25
4.3 Mineralogia da argila: estrutura, propriedades e influência no solo	26
5. Matéria Orgânica do Solo	34
5.1 Origem e constituição da Matéria Orgânica do solo	34
5.2 Funções da Matéria Orgânica no solo	38
5.3 Transformação dos resíduos orgânicos do solo: mineralização e humificação	39
5.4 Caracterização da Matéria Orgânica do solo	43
5.5 Conservação da Matéria Orgânica do solo	45
6. Propriedades dos colóides do solo	50
6.1 Constituintes do solo com comportamento de colóides, suas propriedades e importância no solo	50
6.2 Troca iónica no solo, complexo de troca e sua importância no comportamento físico – químico do solo	51

7. Reacção do solo	55
7.1 Origens da acidez do solo	56
7.2 Tipos de acidez	56
7.3 Medida da reacção do solo	57
7.4 Poder tampão do solo	58
7.5 Efeitos da reacção do solo no crescimento vegetal	58
7.6 Correção da reacção do solo	60
8. Propriedades Físicas do Solo	61
8.1 Textura do solo - Conceitos	61
8.1.1 Lotes granulométricos, sua constituição, propriedades e funções	62
8.1.2 Determinação e avaliação da textura do solo	64
8.2 Estrutura do solo	68
8.2.1 Conceito e importância	68
8.2.2 Tipos de estrutura	70
8.2.3 Estabilização / Degradação da estrutura do solo	71
8.3 Porosidade	72
8.3.1 Densidade real e aparente	73
8.4 Consistência	74
8.5 Compacidade	75
9. Cor do solo	77
9.1 A cor e a constituição dos solos	77
9.2 Determinação da cor do solo	61
10. Atmosfera e temperatura do solo	80
10.1 Constituição do ar do solo relativamente ao ar atmosférico	80
10.2 Capacidade do solo para o ar e renovação do ar do solo	81
10.3 Origens do calor do solo	81
10.4 Formas de controlo da temperatura do solo	

11. Água do solo	83
11.1 Importância do ciclo hidrológico na qualidade da água subterrânea	83
11.2 Situações de água no solo e forças condicionantes	84
11.3 Potencial da água no solo e sua medição	85
11.4 Curvas de tensão de humidade	86
11.5 Constantes de humidade do solo	88
11.6 Movimentos da água no solo	89
11.7 Métodos de medição da água do solo	90
11.8 Conservação e economia de água no solo	93
12. Classificação dos solos e avaliação da aptidão da terra	94
12.1 Conceitos básicos sobre classificação de solos	94
12.2 Bases da classificação dos solos segundo a nomenclatura da FAO / UNESCO	94
12.3 Classificação dos solos em Portugal	97
12.4 Conceito de terra e bases da metodologia usada na avaliação da sua aptidão	101
13. Degradação e conservação dos solos	105
13.1 Erosão do solo	105
13.2 Acidificação	107
13.3 Compactação	107
13.4 Contaminação e Poluição	107
13.5 Salinização	108
13.6 Práticas culturais conservativas	109
14. Bibliografia	110

1. Introdução ao Estudo do Solo

1.1 Conceito de solo

O conceito de solo tem sofrido alterações ao longo dos tempos, conforme se avança no conhecimento dos seus constituintes e na relação entre eles.

Assim, até finais do séc. XIX o conceito de solo referia-se á camada superficial da crosta terrestre onde as plantas fixavam as suas raízes e de onde retiravam a água e a maioria dos nutrientes.

Nos finais do séc. XIX (1887) Dokuchaev introduz um novo conceito de solo. O solo passou a ser uma criação natural á semelhança de um animal, um vegetal ou uma rocha, formado sob a acção cumulativa do clima, organismos vegetais e animais, rocha mãe, relevo e tempo.

Desta forma o solo é visto como um corpo vivo e dinâmico, justificando assim o seu estudo por uma ciência própria.

Dokuchaev exprimiu o solo como sendo função de vários factores:

$$S = f(\text{cl, o, r, p, t})$$

Onde:

S – solo

f – função

cl – clima

o – organismos

r – relevo

p – rocha – mãe

t – tempo

Alguns tempos depois, Jenny (1945) propõem o mesmo conceito mas altera a fórmula:

$$S = f(\text{cl, o, r, p, t, ...})$$

Onde as letras têm o mesmo significado da expressão anterior e introduz as reticências que dizem respeito a factores adicionais não especificados, aos quais se veio acrescentar o Homem (h), face às suas múltiplas intervenções sobre os solos e sobre o processo de formação e evolução dos mesmos.

Actualmente, pode definir-se solo como um corpo vivo, independente, dinâmico, resultante da acção cumulativa dos seus factores de formação, constituindo a face externa da crosta terrestre.

Do ponto de vista pedológico, o solo é um corpo natural, vivo e dinâmico, formado á superfície da crosta terrestre, a partir da alteração da rocha mãe, sob influência do clima, organismos e relevo, ao longo do tempo.

1.2 Funções do solo

O solo tem diversas funções das quais se destacam:

- Suporte das plantas;
- Produção de biomassa (alimentos, madeiras, fibras, ...);
- Regularização do regime hídrico;
- Filtro ambiental (depuração de água, decomposição de resíduos);
- Reserva de CO₂ (devido á decomposição da matéria orgânica);
- Equilíbrio O₂ / CO₂ na atmosfera;
- Reserva de organismos (biodiversidade);
- Instalação de obras de engenharia (habitações, edifícios, ...);
- Depósito de resíduos sólidos e líquidos;
- Fornecimento de produtos para a construção civil ou outros (areias, argilas, turfas, ...).

O solo como suporte da vida vegetal necessita das seguintes propriedades:

- Espesso;
- Permeável;
- pH favorável (entre 5,8 e 7,2);
- Rico em nutrientes;
- Com água suficiente.

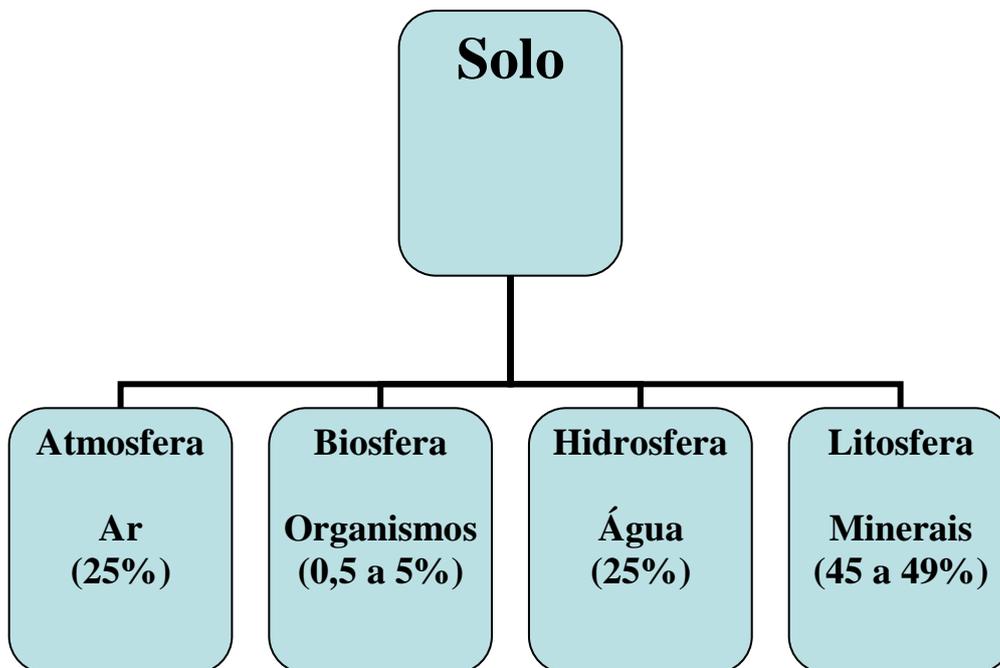
2 Génese do Solo

A génese do solo diz respeito á formação do solo, incluindo os factores e processos de formação dos solos, fazendo com que, em virtude da variação desses factores e processos, os vários solos apresentem propriedades e características que os diferenciam. Pode também ser chamado de Pedogénese.

2.1 Constituição geral do solo

O solo é um complexo mineral e orgânico que resulta da desagregação física e decomposição química das rochas expostas á meteorização. É um composto dinâmico em que se realizam continuamente transformações físicas, químicas e biológicas.

O solo é o local de encontro dos 4 estados da matéria:



A proporção de cada um destes componentes é variável de solo para solo. Como a água e o ar ocupam os espaços intersticiais entre as partículas de solo, as percentagens de um e de outro variam inversamente.

2.2 Factores de formação do solo

Os factores de formação do solo são:

Rocha Mãe

Foi considerado o factor mais importante no processo da Pedogénese e muitas das primeiras aproximações no reconhecimento e classificação de solos basearam-se na composição do material originário.

É particularmente importante nas zonas secas, no processo inicial de formação do solo e, também em zonas temperadas onde a influência do clima é menos acentuada.

È o material que dá origem ao solo, podendo ser constituído por rochas (magmáticas, sedimentares, metamórficas), sedimentos e material de decomposição de rochas transportados.

As características da Rocha Mãe mais condicionantes da influência sobre o solo são:

- A constituição mineral – que determina a velocidade de alteração, a natureza dos elementos cedidos ao solo e os produtos de origem secundária formados;
- As características físicas – influenciam a permeabilidade para a água e para o ar, a intensidade de alteração, a profundidade que esta atinge e os processos biológicos.

Estas diferenças de comportamento da rocha influenciam a velocidade de alteração, a natureza dos elementos presentes e os produtos resultantes da alteração.

Essas diferenças, manifestam-se a nível do solo sobre várias propriedades, tais como a espessura, a diferenciação de horizontes, a textura, a mineralogia da argila, a natureza dos colóides e a reserva mineral.

Materiais de origem diferente dão origem a solos diferentes e o mesmo material de origem pode dar origem a solos iguais ou a solos diferentes, de acordo com outros factores de formação.

O material originário pode ter diferentes origens:

- ✓ Material formado *in situ* por meteorização da rocha mãe consolidada;
- ✓ Material diferenciado *in situ* a partir da rocha mãe móvel;
- ✓ Material proveniente de outro lugar onde foi originado tendo sofrido á relativamente pouco tempo, transporte e decomposição;
- ✓ Depósitos orgânicos.

Clima

Pode ser considerado o factor dominante na formação dos solos e nas características destes, quando a natureza da rocha mãe e o tipo de relevo não sofrem grandes variações.

Os parâmetros climáticos mais importantes são a temperatura e a humidade.

A temperatura tem um papel dominante na intensidade das reacções bioquímicas, e através do processo de congelação da água contribui para a ruptura física dos materiais do solo.

As características do solo mais influenciadas pelo clima são: morfologia do perfil, textura, natureza da argila, natureza dos colóides, teor em sais e em óxidos, teor e natureza da matéria orgânica.

Organismos

Com o passar do tempo a meteorização conduz á alteração progressiva da rocha, acabando por destruí-la. São os organismos que impedem este processo e criam uma situação favorável ao armazenamento de energia, reciclagem de elementos libertados e estabilidade do sistema, isto é, formação do solo.

A acção dos organismos influencia:

Reciclagem de elementos do meio de alteração ou do solo para o solo;

Produção de resíduos, matéria-prima da matéria orgânica;

Formação de complexos organo – minerais;

Alteração mineral (física e química).

Relevo

Para que um solo se desenvolva normalmente é necessário que exista um relevo plano ou levemente ondulado, de boa drenagem e cuja toalha freática se situe a adequada profundidade.

Assim, as características do relevo que mais condicionam a formação do solo são a forma, o declive e a exposição.

As propriedades do solo mais dependentes do relevo são: cobertura vegetal, espessura do *solum*, grau de diferenciação do perfil, granulometria, teor e natureza da matéria orgânica, teor em sais solúveis, regime hídrico, condições de arejamento, temperatura, natureza da argila, teor em bases e a reacção do solo.

Tempo

A influência do factor tempo na formação do solo está condicionada á intensidade da influência dos restantes factores, pois as propriedades do solo evoluem com o tempo segundo uma curva sigmoideal, caracterizada por um desenvolvimento lento na fase inicial de arranque, seguida de uma fase de desenvolvimento rápido e, finalmente, uma nova fase de desenvolvimento lento correspondente á estabilização.

O tempo necessário á formação de determinada espessura de solo varia de acordo com o peso dos restantes factores.

Homem

Condiciona a formação do solo pela intensidade e natureza das suas acções:

- ✓ Destruição da vegetação natural;
- ✓ Florestação;
- ✓ Movimentação de terras;
- ✓ Armação do terreno;
- ✓ Incêndios;
- ✓ Pastoreio;
- ✓ Acções de cultivo;
- ✓ Agressões ambientais;
- ✓ Instalação de obras de engenharia.

Estas acções, terão sempre impactos no solo, nomeadamente:

- ✓ Qualidade e quantidade da matéria orgânica;
- ✓ Quantidade e qualidade dos elementos presentes;
- ✓ Reacção do solo;
- ✓ Regime hídrico e térmico;
- ✓ Espessura e morfologia do perfil;
- ✓ Granulometria.

3 Perfil do Solo

3.1 Conceito de perfil do solo

A medida que o material de origem se transforma em solo, vão-se diferenciando camadas, mais ou menos paralelas á superfície. Essas camadas são designadas de Horizontes.

O conjunto de todos os horizontes, situados numa secção vertical entre a superfície até ao material originário, é designado de perfil do solo.

3.2 Processos pedogenéticos

Os processos pedogenéticos (ou processos de formação dos solos) são resultado da combinação dos factores de formação do solo.

O processo pedogenético pode dividir-se em três fases:

1ªFASE – Decomposição da roca mãe

Nesta fase ocorre a meteorização das rochas que conduz á formação do material originário – complexo de alteração;

Esta meteorização pode ocorrer devido a processos físicos (mudanças de temperatura, acção do vento, acção do gelo e das raízes) e/ou a processos químicos (dissolução e hidrólise).

O solo pode também formar-se por depósitos de elemento minerais aluvionares.

2ª FASE – Enriquecimento em Matéria Orgânica

Nesta fase dá-se a acumulação e transformação da matéria orgânica proveniente da fauna e flora existente. A transformação é efectuada pelos microrganismos que transformam os restos de animais e plantas em CO₂ e húmus.

No final desta fase o solo já está formado e possui um perfil homogéneo, típico de um solo jovem ou não evoluído (incipiente).

3ª FASE – Migrações e acumulações que diferenciam os horizontes

As migrações dos constituintes da matéria orgânica, do complexo de alteração para outros níveis ou mesmo para o seu exterior. Das migrações depende a individualização dos horizontes. O que vai migrar são os constituintes mais móveis, os produtos solúveis e as bases de troca.

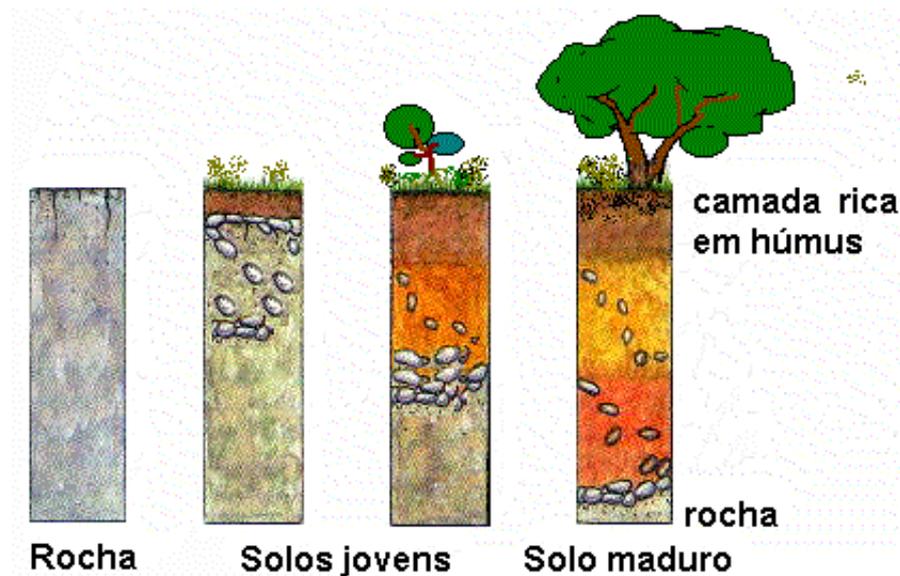
Três etapas de formação conduzem a três grandes tipos de solos:

Solos Incipientes – são solos pouco diferenciados da rocha mãe;

Solos pouco evoluídos – solos já com alguma diferenciação de horizontes;

Solos evoluídos – solos constituídos por horizontes muito diferenciados, por lixiviação e acumulação de colóides e substâncias solúveis.

Estas designações nada significam quanto á qualidade do solo.

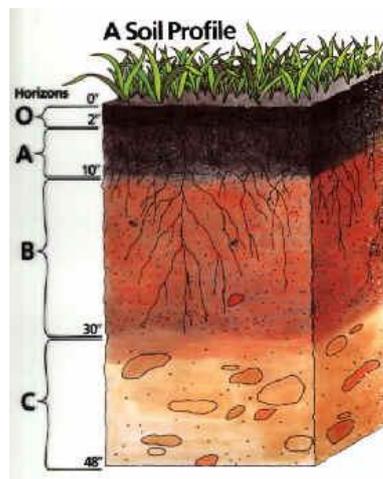


3.3 Morfologia do perfil do solo e designações atribuídas aos horizontes

A diferenciação dos horizontes dá-se essencialmente como resultado de fenómenos de alteração e migração dos elementos. Um horizonte distingue-se dos adjacentes através de características observáveis (cor, textura, estrutura).

Os horizontes de um perfil, para conveniência de descrição e de estudo, recebem denominações com símbolos convencionais que têm significado genético.

Os símbolos usados são: O, A, B, C, R.



Os horizontes do solo podem classificar-se de duas formas: horizontes morfológicos e horizontes de diagnóstico.

Horizontes morfológicos são aqueles que podem ser determinados no campo através da sua forma e das suas características observadas a olho nú. São designados por letras, conforme as suas características.

Os horizontes de diagnóstico são utilizados para a classificação dos solos, possuindo valores determinados através de análises químicas e físicas de forma a agrupar solos semelhantes em classes semelhantes.

Horizontes morfológicos:

Horizonte O

Horizonte superficial, com elevado teor em matéria orgânica total ou parcialmente decomposta. Característico de solos florestais. Apresenta cor escura.

Horizonte A

Horizonte superficial (ou formado por baixo do horizonte O), constituído por material mineral escurecido por matéria orgânica (matéria orgânica e matéria mineral intimamente misturadas), apresenta elevada população microbiana, as suas propriedades resultam da actividade agrária, pode apresentar perda de colóides (que implica ficar com textura mais grosseira), cor mais escura do que os horizontes adjacentes. Normalmente situa-se a uma profundidade que pode atingir os 20 a 30 cm, coincide com a zona de maior abundância radicular.

È o horizonte mais sujeito às influencias do clima, plantas, animais.

Horizonte B

Horizonte formado por baixo do horizonte A, ganha todo o material perdido por A o que lhe confere uma textura mais fina. Apresenta cor mais clara e é mais estruturado do que o horizonte A. È mais pobre em matéria orgânica, apresenta menor actividade biológica, enriquecido em argilas o que lhe confere cores avermelhadas. Pode apresentar características muito variadas.

Horizonte C

Este horizonte, geralmente, limita a espessura efectiva, é constituído pelo material originário não consolidado, logo permite a penetração das raízes. È um horizonte pouco afectado pelo processo pedogenético. Constitui a transição do solo para a rocha mãe. No inicio das classificações correspondia á rocha mãe.

Horizonte R

È constituído pela própria rocha, não permite a penetração de raízes senão por fendas. Não é penetrável por uma pá quando humedecido.

Horizonte H

Horizonte superficial, ou não, de composição orgânica pouco decomposta, apresenta cor muito escura e é característico de zonas de saturação de água (turfas).

Horizonte E

Horizonte que sofreu grande perda de argilas e óxidos e hidróxidos de Fe e Al por eluviação para horizontes mais profundos, ou mesmo para fora do solo, com a consequente concentração de materiais mais resistentes, como é por exemplo o quartzo. É vulgar em solos florestais e caracteriza-se por cor mais clara que todos os outros. Quando existe situa-se entre o A e o B.

Horizontes Raros

Horizonte G (Glei)

É um horizonte característico em solos desenvolvidos total ou parcialmente pelo processo de Gleização, processo que implica saturação do solo com água mais ou menos rica em matéria orgânica durante longos períodos.

Horizonte onde se verifica redução intensa, caracterizada por cores cinzenta, cinzenta azulada, azul, azul esverdeado, as quais mudam para cores paradas por exposição ao ar. As cores deste horizonte são devidas á presença de ferro ferroso.

Quando este perfil existe faz também parte do solum.

A gleização pode ocorrer em qualquer zona do perfil e apresentar intensidade variável. Quando o processo de gleização é muito intenso o horizonte designa-se por G, quando é pouco pronunciada designa-se por g.

Horizontes de diagnóstico

Foram estabelecidos dois sistemas para caracterização destes horizontes:

Sistema FAO / UNESCO

Sistema USDA

Horizonte H hístico

Epipédone hístico

Horizonte A mólico

Epipédone mólico

Horizonte A úmbrico

Epipédone úmbrico

Horizonte A ócrico

Epipédone ócrico

Horizonte A fimico

Epipédone antrópico

Epipédone pláguene



4 Matéria Mineral do Solo

A matéria mineral do solo é o seu maior constituinte e é desta que provêm as características do solo.

4.1 Composição mineral do solo: minerais primários e secundários

A matéria mineral do solo é constituída por minerais primários e por minerais que resultam da alteração destes, designados por minerais secundários.

Os minerais primários encontrados no solo provêm da rocha a partir da qual esse solo se originou, persistindo mais ou menos inalterados na sua constituição – minerais herdados da rocha mãe.

Mineral – toda a substância inorgânica, sólida, natural, homogénea, com uma composição química bem definida (fixa ou variável entre limites fixos) e com uma estrutura interna bem definida.

→ **Ser inorgânica:** este requisito exclui do universo dos minerais toda a substância produzida por animais ou por plantas;

→ **Ser natural:** que se tenha formado sem a intervenção directa do homem;

→ **Ser homogénea:** isto é, não ser decomponível, por processos físicos, em compostos mais simples;

→ **Ter composição química bem definida** (fixa ou variável entre limites fixos): implica que pode ser expresso por uma fórmula química definida. Ex: Quartzo = SiO_2 .

→ **Ter uma estrutura cristalina:** isto é, ser um sólido (no sentido vulgar do termo), de estrutura interna bem definida.

Propriedades dos minerais

Habito ou forma: forma como ocorre na natureza.

Cor: sendo uma característica óbvia é uma propriedade pouco fiável

Brilho: é o modo como o mineral reflecte a luz incidente.

Traço ou risca: é normalmente constante e pode ser determinado recorrendo a uma porcelana de dureza 7.

Diafaneidade: maior ou menor permeabilidade que os minerais têm em se deixar atravessar pela luz. Hialinos, transparentes, translúcidos e opacos.

Clivagem: propriedade de certos minerais que se manifesta pela maior facilidade de ruptura segundo certas direcções de planos bem determinados.

Fractura: é a maneira como os minerais se partem segundo direcções que não coincidem com as superfícies de clivagem ou de partição.

Dureza: resistência que o mineral oferece ao ser riscado por outro. A dureza de um mineral fica determinada quando estiver compreendida entre dois termos consecutivos da escala de Mohs, isto é, quando riscar um dos termos e se deixar riscar pelo seguinte.

Classes dos minerais

1 - Elementos nativos

Metais – Ouro, Prata, Cobre, Chumbo

Semi-metais – Platina

Não metais – Enxofre, Diamante, Grafite

2 - Sulfuretos

Galena, Calcopirite, Pirite, Arsenopirite

3 - Sulfossais

Tetraedrite

4 - Óxidos

Óxidos simples – Hematite, Ilmenite, Uraninite

Óxidos múltiplos – Magnetite, Cromite

5 - Halogenetos

Halite, Fluorite

6 - Carbonatos

Calcite, Dolomite, Aragonite

7 - Nitratos

Nitratite, Nitrato de Potássio

8- Boratos

Bórax

9- Fosfatos, Arsenatos, Vanadatos

Apatite

10 - Sulfatos e Cromatos

Sulfatos Anidros – Barite, Anidrite

Sulfatos Hidratados – Gesso

11-Tungstatos e Molibdenatos

Volframite, Schelite

12- Silicatos

- Tectossilicatos (quartzo, opala)
- Filossilicatos – (Moscovite, Biotite, Lepidolite, Clorite)
- Inossilicatos - (Hornoblenda)
- Ciclossilicatos – (Berilo, Turmalina)
- Sorossilicatos – (Epídoto)
- Neossilicatos- (Olivinas, Granada, Andaluzite)

Rochas

Do ponto de vista mineralógico: associações naturais de minerais;

Do ponto de vista geológico: massas constituintes da crosta terrestre, que mantêm em cada caso uma certa uniformidade de composição e de características;

Na linguagem corrente, o termo rocha implica coesão e dureza de formação.

As rochas agrupam-se em 3 divisões fundamentais, segundo o seu modo de formação:

- Rochas Magmáticas;
- Rochas Sedimentares;
- Rochas Metamórficas;

Rochas Magmáticas, Eruptivas ou Ígneas:

São rochas originadas por massa em fusão ígnea, vindas de regiões profundas da terra. Consoante estas massas ígneas, que se dominam magmas, arrefecem em profundidade ou junto a superfície, podemos estabelecer:

1. Rochas plutónicas, abissais ou intrusivas – formam-se a grandes profundidades.
2. Rochas hipabissais – consolidam-se perto da superfície;
3. Rochas vulcânicas, lávicas ou extrusivas – São rochas de superfície.

Exemplos de Rochas Magmáticas: Granito, Sienito, Diorito, Gabro, Pegmatitos, Traquitos, Basaltos.

ROCHAS SEDIMENTARES:

São constituídas pela acumulação de material mineralógico, proveniente da desagregação de rochas pré-existentes, restos de seres vivos ou ainda por precipitação química.

São as rochas mais abundantes na superfície da crosta terrestre, com grande importância geológica e económica.

Exemplos de Rochas Sedimentares: Areias, Argilas, Arenitos, Argilitos, Conglomerados, Brechas, Calcários.

Classificação

Atendendo a sua origem as rochas sedimentares podem ser classificadas:

-Rochas detríticas – São formadas por fragmentos de rochas pré-existentes (clastos) por acção de diferentes agentes geológicos. Os sedimentos podem estar soltos constituindo rochas desagregadas ou então estar ligados formando rochas consolidadas.

- **Rochas Quimiogénicas**- São rochas formadas por precipitação de minerais em solução. Por exemplo, a formação de rochas salinas ou evaporitos (sal-gema) por evaporação da água do mar.

- **Rochas Bioquimiogénicas** – São rochas formadas por precipitação química induzida por seres vivos. Nas colónias de corais, pode originar-se rocha calcária por precipitação de calcite, formando-se os conhecidos recifes.

- **Rochas Organogénicas** – São rochas com origem exclusivamente orgânica, como por ex. o carvão e o petróleo.

Rochas Metamórficas

As rochas metamórficas têm uma grande representatividade a nível da crosta continental, essencialmente nas grandes cadeias montanhosas, constituindo um conjunto litológico de enorme importância na arquitectura da crosta terrestre.

As rochas metamórficas formam-se devido a transformações de outras rochas no interior da terra.

As condições que definem o ambiente metamórfico, que têm lugar no âmbito dos processos internos do ciclo litológico, situam-se entre as condições que caracterizam o ambiente sedimentar e aquelas que definem o ambiente magmático.

São exemplos destas rochas: Ardósia, Filádio, Micaxisto, Mármore, Quartzito, Gneisse, Anfibolito.

Minerais constituintes do solo:

Os minerais secundários podem ocorrer no solo essencialmente por 3 processos:

- Por síntese *in situ* de produtos resultantes da meteorização dos minerais primários menos resistentes;
- Por simples alteração da estrutura de determinados minerais primários verificada *in situ*;
- Herdados directamente da rocha mãe.

Minerais Primários

Os minerais primários que surgem nos solos são os minerais que fazem parte da constituição das rochas que lhe dão origem.

Os mais frequentes são: quartzo, feldspatos, feldspatóides, micas, piroxenas, anfíbulas, olivinas, apatite, magnetite, turmalina, zircão, calcite, granada, ...

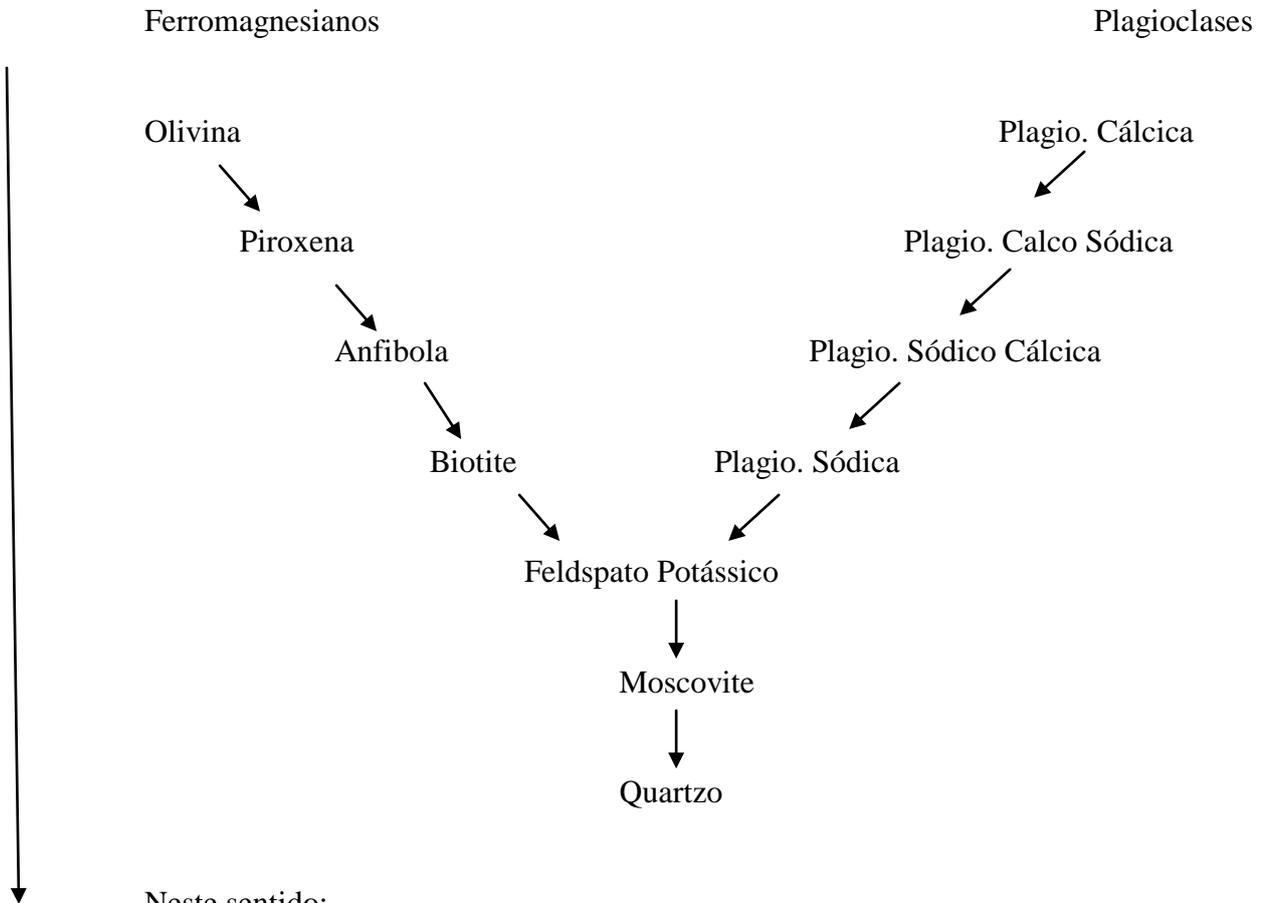
A natureza e a proporção dos minerais primários presentes no solo dependem da natureza da rocha mãe e do tipo de solo.

A determinação dos minerais primários é muito importante, pois o conhecimento quantitativo e qualitativo dos minerais constituintes do solo permite obter indicações acerca do grau de evolução do solo e sobre a sua reserva mineral. Assim, o conhecimento dos minerais primários tem um valor pedogenético e agrológico.

Os diferentes minerais apresentam diferente resistência á meteorização, decompondo-se uns mais rapidamente que outros.

Goldich (1938), ordenou a resistência á alteração dos minerais das rochas eruptivas da seguinte forma:

Série de Goldich



Neste sentido:

- Aumenta a estabilidade
- Diminui a taxa de meteorização
- Diminuem os teores de Fe, Mg e Ca
- Aumente a concentração em Si e Al.

Para além de indicarem, os minerais primários, o grau de evolução do solo, indicam também a reserva mineral do solo.

4.2 Reserva mineral do solo

Por reserva mineral do solo entende-se o conjunto de minerais alteráveis contendo elementos indispensáveis aos organismos.

Os factores que mais influem no valor de determinado mineral alterável como reserva mineral são:

- ✓ A dimensão granulométrica – quanto menor a dimensão mais facilmente são libertados os elementos biogénicos;
- ✓ A menor ou maior resistência á meteorização – quanto maior resistência mais dificilmente são libertados os elementos biogénicos.

O efeito da granulometria sobrepõe-se ao efeito da resistência á meteorização.

Podem considerar-se 3 tipos de reserva mineral:

Reserva mineral a curto prazo – constituída pelos minerais ferromagnesianos feldspatos e moscovites e outros minerais dificilmente alteráveis desde que em partículas de dimensão não superior ás do limo;

Reserva mineral a médio prazo – constituída pelos minerais ferromagnesianos olivina, piroxena e biotite e pelas plágioclases, em partículas de dimensão superior ás do limo;

Reserva mineral a longo prazo – formada pelos feldspatos potássicos, moscovites e outros minerais dificilmente alteráveis em partículas de dimensão superior á do limo.

Minerais Secundários

Resultam da alteração dos minerais primários e os mais frequentes são:

Minerais de argila;

Silicatos não cristalinos;

Óxidos e Hidróxidos de Ferro e Alumínio;

Carbonatos de Cálcio e Magnésio.

Os minerais secundários mais importantes são os minerais de argila.

4.3 Minerais de argila: estrutura e propriedades

As argilas são essencialmente compostas por partículas cristalinas extremamente pequenas de um ou mais membros de um grupo relativamente restrito de minerais – os minerais de argila.

São essencialmente Silicatos de Alumínio hidratados com Mg ou Fe, substituindo parcialmente o Al em alguns minerais;

Pertencem todos ao grupo dos Filossilicatos;

Os minerais de argila mais importantes são: Grupo da Caulinite, Grupo da Illite e o Grupo da Montmorilonite.

Os tipos de minerais de argila sintetizados dependem principalmente de:

- Razão Si: Al;
- Proporção de elementos alcalino e alcalino-terrosos da rocha-mãe;
- Duração do período em que os elementos libertados se mantêm na zona de alteração;
- Duração do período de alteração.

Nota:

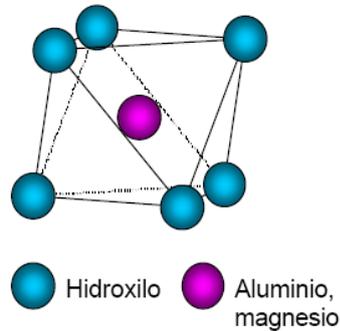
Para conjuntos definidos de condições de formação, verifica-se tendência para o predomínio de determinado mineral. No entanto, como durante a formação do solo se pode verificar variação apreciável daquelas condições, podem encontrar-se no mesmo solo, minerais de vários tipos.

Estrutura dos minerais de argila

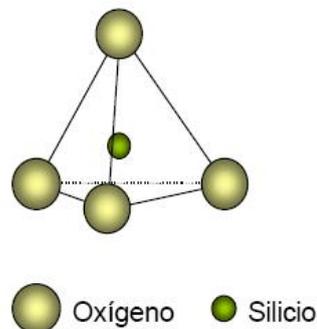
Os cristais dos minerais de argila são constituídos por lâminas de unidades estruturais, sobrepostas de forma análoga á que se verifica nos cristais de mica, estando os iões constituintes dispostos segundo um reticulo regular.

No reticulado de iões de muitos minerais de argila figuram as duas unidades seguintes:

Unidade Octaédrica – constituída por um ião central de Al, Fe ou Mg que ocupa o centro de um octaedro cujos vértices são ocupados por iões O^{2-} ou OH^- .



Unidade Tetraédrica – formada por um ião de Silício que ocupa o centro de um tetraedro cujos vértices são ocupados por iões O^{2-} ou OH^- .



Estas unidades estruturais unem-se entre si por ligações covalentes, formando camadas.

Unidades Octaédricas → camadas Octaédricas

Unidades tetraédricas → Camadas Tetraédricas

As unidades estruturais dos minerais de argila são em geral formadas pela ligação de 2 ou 3 camadas (1 ou 2 Tetraédricas e 1 Octaédrica) em lâminas. As ligações entre as unidades de cada camada e entre as camadas de cada lâmina são as ligações com forte carácter covalente, o que se traduz em unidades estruturais fixas.

Em vários minerais de argila, a estrutura está electrostáticamente desequilibrada, como resultado da substituição de iões durante a formação dos minerais, sem alteração das dimensões das unidades estruturais, sendo por isso denominadas de Substituições Isomórficas.

É o caso da substituição de:

Si⁴⁺ por Al³⁺

Al³⁺ por Fe²⁺

Mg²⁺ por Li⁺, originando excesso de cargas negativas. As cargas negativas resultantes deste processo denominam-se intrínsecas ou permanentes.

Os minerais de argila são, por isso, electronegativos, se bem que, em certas condições, possam apresentar “zonas” de carga positiva.

A ligação entre duas unidades estruturais / lâminas dá-se por Pontes de Hidrogénio e por Forças de Wan Der Walls.

A distância entre duas lâminas adjacentes denomina-se Espaçamento Basal, variando com o tipo de mineral de argila.

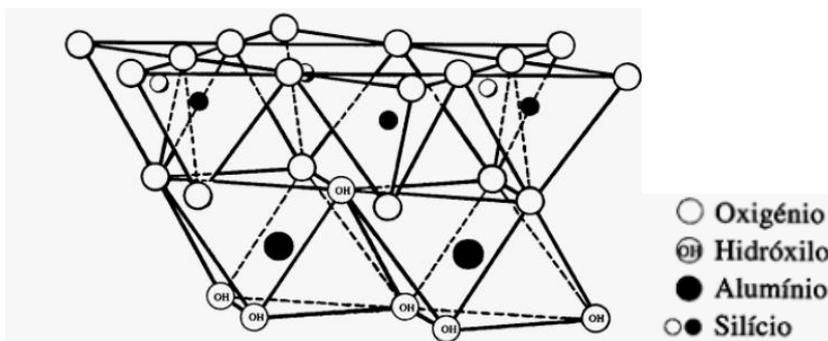
Quanto maior o espaçamento basal maior a flexibilidade e mais fraca a ligação.

Caulinite

Ex: solos ferralíticos, solos argiluvitados

É composta por uma única camada tetraédrica de Sílica e uma única camada Octaédrica de Alumina, combinadas numa unidade estrutural.

Uma vez que cada unidade contém uma camada de Sílica e uma de Alumina, diz-se que é um mineral do tipo 1:1.



Os minerais do grupo da Caulinite são constituídos por unidades deste tipo, contínuas e empilhadas umas sobre as outras.

Na formação deste mineral não há substituições, pelo que não há, praticamente, excesso de cargas negativas resultantes deste mecanismo.

Como há justaposição de planos de Oxigénio e de Oxidrilos de unidades adjacentes, há uniões relativamente fortes entre estas por ligações de Hidrogénio. Desta forma a estrutura é fixa e não se verifica entrada de líquido para o espaço entre as unidades quando a argila é humedecida com água ou líquidos orgânicos.

A superfície específica da Caulinite está apenas dependente das suas faces externas, sendo relativamente pequena.

Em resultado das suas características, a Caulinite:

- Possui fraca carga eléctrica e poder de retenção para a água em comparação com os minerais de outros grupos;
- Praticamente não apresenta expansibilidade;
- Torna-se plástica para teores de humidade relativamente baixos.

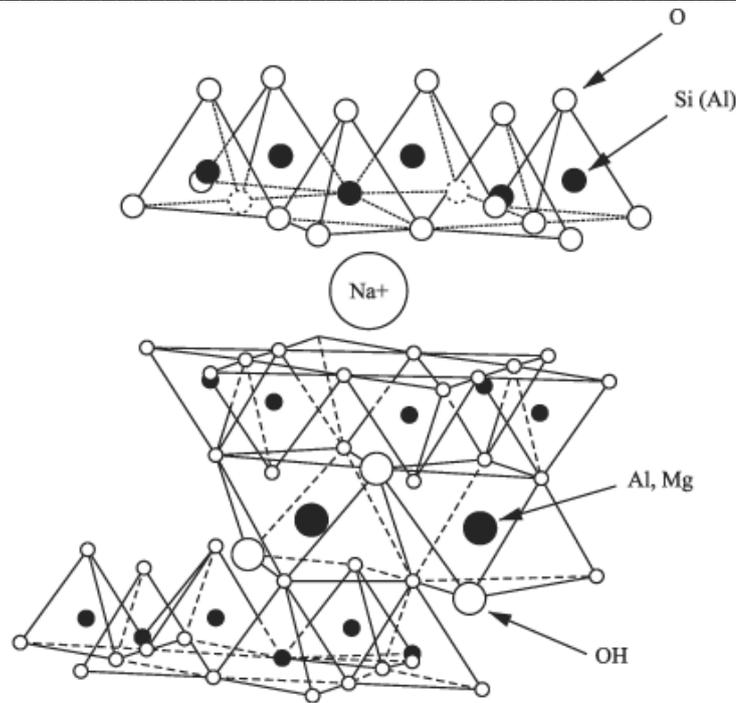
Montmorilonite

Ex: barros e solos de pradaria

É composta por duas camadas tetraédricas de Sílica e uma camada Octaédrica de Alumina, combinadas numa unidade estrutural. Trata-se, portanto de um mineral do tipo 2:1.

Duas unidades adjacentes confrontam-se por Oxigénios, resultando em ligações mais fracas entre as unidades do que no caso da Caulinite (Forças de Wan Der Walls).

Tem reticulado expansível, variando o espaçamento basal com o grau de solvatação e a espécie de cations presentes.



Na formação da Montmorilonite há sempre substituições isomórficas (o que resulta numa grande capacidade de retenção de catiões): $Al^{3+} \Rightarrow Fe^{2+}; Mg^{2+}$

A fácil acessibilidade a moléculas de água (assim como a iões) do espaço compreendido entre unidades estruturais faz com que, em adição á superfície externa da partícula, existam superfícies internas de apreciável extensão no caso da Montmorilonite.

Há sempre desequilíbrio eléctrico, tendo os cristais excesso de cargas negativas resultantes de substituições isomórficas.

Em comparação com as partículas de Caulinite, as de Montmorilonite são bastante mais pequenas.

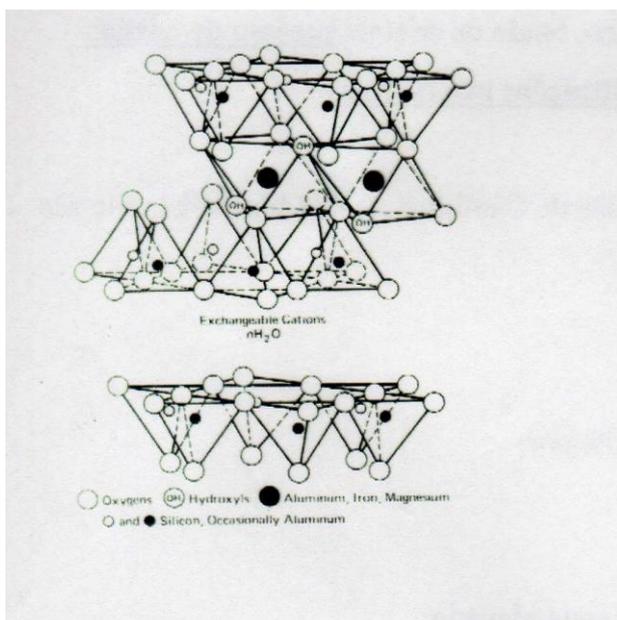
A Montmorilonite é caracterizada por:

- Carga eléctrica elevada;
- Poder de retenção para a água elevado;
- Expansibilidade elevada;
- Torna-se plástica para um teor de humidade superior ao correspondente á Caulinite.

Ilite

Também designados por minerais micáceos ou micas hidratadas, devido á sua semelhança com a moscovite.

Composta por duas camadas tetraédricas de Sílica com uma camada octaédrica de Alumina central. São também minerais do tipo 2:1.



Tal como na Montmorilonite há sempre consideráveis substituições isomórficas.

Há, porém uma diferença muito importante: nas Ilites estas substituições dão-se principalmente nas camadas tetraédricas, em que há sempre substituições de Silício por Alumínio e a deficiência de carga que daí resulta é equilibrada por iões Potássio que fazem parte da malha cristalina e se situam entre camadas tetraédricas de unidades contíguas.

Estas substituições não contribuem para a carga eléctrica do cristal.

As partículas de Ilite apresentam excesso de cargas negativas resultantes de substituições isomórficas, mas devem-se apenas á substituição de Alumínio nas camadas octaédricas.

Os íões Potássio que figuram na estrutura parece actuarem como pontes que ligam as unidades umas às outras e, deste modo, ao contrário do que sucede com a Montmorilonite, o reticulado das Ilites é muito pouco expansível na presença de água e outros líquidos polares.

Devido às suas características estruturais, as propriedades manifestam-se nas Ilites muito menos intensamente que nas Montmorilonites, mas obstante mais que nas Caulinites.

Os cristais das Ilites têm dimensões intermédias entre os das Montmorilonites e os das Caulinites.

Importância dos minerais de argila no solo:

- São colóides electronegativos, e uma das suas propriedades mais importantes é a de adsorção e troca de catiões, pois é esta propriedade que em grande parte determina a capacidade de armazenamento de íões nutritivos das plantas pelos solos minerais;
- Influencia na retenção de íões é bastante fraca;
- Susceptíveis de dispersão e floculação;
- Poder tamponizante;
- Forte poder para a retenção de água;
- Plasticidade e adesividade relativamente acentuadas;
- Tenacidade no estado seco;
- Variação de volume consoante o teor de água;
- Papel fundamental na agregação de solos minerais;
- Formam ligações mais ou menos íntimas com substância orgânicas.

Outros minerais secundários:

Silicatos não Cristalinos

São pouco frequentes.

O mais importante é a Alofana, que é um constituinte particularmente importante dos solos derivados das cinzas vulcânicas. Este termo – Alofana – emprega-se para designar genericamente geles amorfos de composição variável, consistindo essencialmente de Silica, Alumina, a água e pequenas quantidades de Ferro, Magnésio e Cálcio.

Óxidos e Hidróxidos de Fe e Al

Ocorrem nos solos no estado cristalino e/ou como geles amorfos, sendo muito variável a proporção de umas e outras formas, assim como o grau de cristalinidade das formas cristalinas.

As formas cristalinas mais frequentes são a Gibsite, Geotite e a Hematite.

Os colóides de Fe e Al têm comportamento físico e químico muito diferente dos minerais de argila: tem menor poder de retenção de água e muito menor adesividade, plasticidade e tenacidade.

Podem exercer influência forte sobre a agregação dos solos e podem mesmo determinar a cimentação irreversível.

Estes constituintes têm carácter anfotérico, variando o ponto isoeléctrico e uns para outros. Em condições que sejam electropositivos são responsáveis pela adsorção de catiões.

Na maior parte dos solos representam uma fraca proporção da fracção mineral.

Carbonatos de Ca e Mg

Constituem uma reserva de Cálcio que pode evoluir mais ou menos lentamente para a forma activa.

A sua actividade química aumenta com o grau de divisão, de modo que, entram em solução com relativa facilidade sob acção da água carregada de anidrido carbónico.

No aspecto geral apresentam fraca adesividade, plasticidade e tenacidade, assim como poder de retenção para a água relativamente pequeno.

5 Matéria Orgânica do Solo

A Matéria Orgânica do solo constitui um sistema complexo e heterogéneo, com uma dinâmica própria e integra diferentes grupos de substâncias.

Faz parte da fracção sólida do solo, pode ocupar até 5 % do solo;

- Zonas frias e húmidas têm maior valor;
- Zonas quentes e secas têm menor valor, devido a elevados valores de degradação.

5.1 Origem e constituição da Matéria Orgânica do solo

A fracção orgânica do solo constitui um sistema muito complexo em que se encontram:

- Resíduos de plantas e animais em vários graus de decomposição;
- Produtos excretados pelos organismos vivos;
- Produtos de síntese, originados á custa dos anteriores;
- Microrganismos vivos que não é possível distinguir e separar do material orgânico morto;
- Estrumações e outros correctivos orgânicos (RSU, Lamas);

A matéria orgânica do solo é o conjunto de resíduos vegetais e animais, mais ou menos decompostos e transformados pela acção dos microrganismos.

A matéria orgânica do solo costuma ser encarada segundo dois critérios diferentes: Critério Microbiológico (ou critério de Waksman) e Critério Químico.

Critério de Waskman ou Critério Microbiológico

Para Waskman o húmus não é um complexo químico bem definido, mas sim um estado da matéria que deve identificar-se com a totalidade da matéria orgânica do solo. É um complexo heterogêneo de onde se podem isolar inúmeros compostos químicos.

O húmus divide-se em grupos específicos de constituintes – lenhinas, derivados e proteínas, sendo mais importantes os hidratos de carbono, gorduras, ceras e resinas. Assim o húmus não é um complexo químico, mas sim um estado da matéria que deve identificar-se com a totalidade da matéria orgânica do solo.

Matéria orgânica = húmus

Segundo este critério a matéria orgânica (ou húmus) encontra-se em permanente estado de modificação, logo tem carácter dinâmico.

Critério Químico

Neste critério podem distinguir-se na matéria orgânica do solo três grupos fundamentais de constituintes:

MATERIA ORGÂNICA = material originário do húmus + substâncias que acompanham o húmus + húmus.

—► Material originário do húmus ou material orgânico não decomposto:

Tem aproximadamente a mesma composição dos tecidos vivos de onde provêm (hidrocarbonetos, compostos azotados, fósforo e enxofre, sais minerais livres tais como Ca, M, K, Na, ...).

Todas estas substâncias tem as mesmas características – são moléculas grandes e muito complexas. No entanto diferem na velocidade da sua decomposição:

- Aminoácidos, açúcares, celulosas e proteínas – decompõem-se rapidamente;
- Lenhinas, matérias gordas, resinas, taninos – decompõe-se lentamente.

Características:

- ✓ Têm composição química definida;
- ✓ São incolores ou fracamente corados;
- ✓ É da sua transformação por processo químico – biológico que se origina o húmus.

—► Substâncias que acompanham o húmus ou material orgânico em transformação:

São produtos resultantes da decomposição dos compostos anteriores e do metabolismo dos microrganismos, constituindo alguns, as unidades das quais se forma a partícula húmica.

A sua natureza química é muito variada. É a partir de alguns dos seus constituintes que se origina o húmus.

—► Húmus:

É o produto da transformação do material orgânico do solo (evolução dos resíduos orgânicos incorporados no solo). É a fracção coloidal da matéria orgânica obtida por síntese microbiana e química a partir da matéria orgânica vegetal e animal. É a fracção activa da matéria orgânica;

Características:

- ✓ Resistência á decomposição;
- ✓ Cor escura;
- ✓ Natureza heterogénea;
- ✓ Propriedades coloidais;

Quimicamente o húmus é muito complexo, podendo admitir-se que é constituído por 3 fracções, em geral designadas:

- Ácidos Húmicos;
- Ácidos Fúlvicos
- Humina

Ácidos Húmicos (28 a 60%)

É a fracção da matéria orgânica dispersável em soluções diluídas de alcalis ou de certos sais (a frio) e que floclula por soluções diluídas de ácidos minerais;

São constituídos essencialmente por Carbono, Oxigénio, Hidrogénio e Azoto – unidos em múltiplas combinações constituindo estruturas complexas;

Os compostos minerais mantêm-se adsorvidos pela partícula húmica que se liga mais ou menos fortemente às partículas argilosas formando os complexos argilo-húmicos – os complexos ligam-se por iões de cálcio e de sesquióxidos de ferro ou alumínio;

Formam-se em meio mais arejado e menos ácido.

Propriedades dos Ácidos Húmicos:

- Constituem facilmente sistemas coloidais;
- Elevada capacidade de troca catiónica (presença de Carboxilos e Oxidrilos);
- Grande poder tamponizante;
- São electronegativos;
- São moderadamente hidrófilos;
- São bastante expansíveis, originando areados esponjosos.

Nos Ácidos Húmicos é frequente distinguirem-se:

- ✓ Ácidos hematomelânicos: formas menos polimerizadas, pouco estáveis e pouco ricas em cedência de substâncias alimentares;
- ✓ Ácidos húmicos pardos: mais polimerizados e com maior ligação á argila;
- ✓ Ácidos húmicos cinzentos: os mais férteis e mais ricos.

Ácidos Fúlvicos (20 a 40%)

Substancias húmicas que permanecem dispersas após floculação dos ácidos húmicos por acidificação do seu estrato. Aparecem em solos com meio ácido, pouco arejáveis.

Semelhantes aos ácidos húmicos mas menos polimerizados.

Apresentam cor amarelada, dispersam em água e são decompostos pelo brometo de acetilo. Não se ligam á argila.

Humina (20 a 32%)

Fracção não dispersável por soluções diluídas de Alcalis a frio. Fortemente unida aos minerais de argila. Ocupa posição intermédia entre ácidos húmicos e os carvões.

5.2 Funções da Matéria Orgânica no solo

A matéria orgânica tem acção sempre benéfica, pois melhora as propriedades físicas e químicas do solo, melhorando os níveis de produtividade.

As principais funções da matéria orgânica são:

- 1- Reserva e fornecedor de nutrientes á planta* (Azoto, Fósforo, ..., micronutrientes);
- 2- Complexa elementos tóxicos para a planta* (Cu, Al, Mn) ==> diminuição da toxicidade de Al em solos ácidos;
- 3- Aumenta o poder tampão *;
- 4- Aumenta a retenção e o volume de água utilizável* (esponja);
- 5- Aumenta a Capacidade de Troca Catiónica (C.T.C);
- 6- Aumenta a temperatura do solo (cor mais escura);
- 7- Melhora a estrutura do solo;
- 8- Torna mais fáceis de trabalhar os solos pesados;
- 9- Nos solos pesados facilita a penetração das raízes;

- 10- Dá vida ao solo* – (microrganismos – retiram da M.O. energia para viverem e libertarem nutrientes para as plantas) – substrato para a vida microbiana;
- 11- Diminuição da plasticidade e coesão *;
- 12- Factor de alteração mineral;
- 13- Factor de agregação do solo* – permeabilidade e arejamento.

* Corrige o que o solo tem em excesso

- Solos de textura grosseira – 1, 3, 4, 10
- Solos de textura fina – 11, 13

5.3 Decomposição dos resíduos orgânicos do solo: mineralização e humificação

Os resíduos no solo, uma vez nele incorporados e com actividade biológica favorável, são atacados por microrganismos que em conjunto com os factores ambientais provocam alterações mais ou menos profundas.

Em resultado dessas acções ocorrem dois processos fundamentais de características opostas:

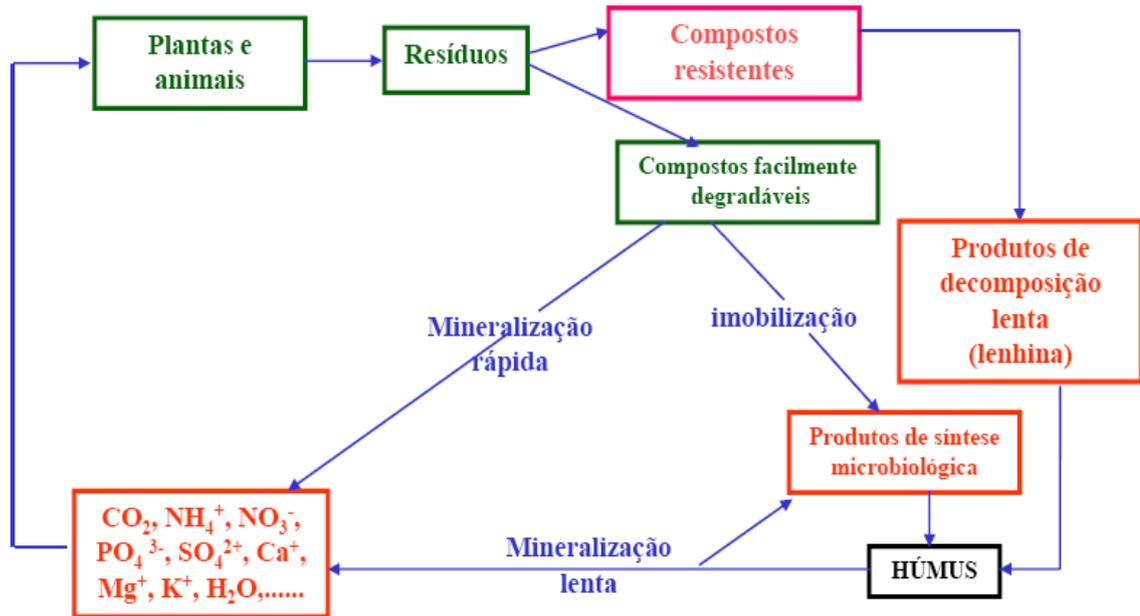
Mineralização – processo de “destruição”, desorganização da estrutura dos resíduos e transformação dos seus constituintes em compostos mais simples, solúveis ou gasosos (substâncias minerais, amoníaco, anidrido carbónico, água, etc., ...

É um processo essencialmente biológico; afectada pela razão C/N dos resíduos orgânicos.

Humificação – processo conservador que origina complexos coloidais, estáveis e resistentes á decomposição (complexos húmicos). Responsável pela acumulação de M.O. no solo.

Pode ser química (abiológica) – meios ácidos e mal arejados, mas em geral é de natureza químico-biológica.

As fases iniciais de alteração dos resíduos são comuns aos dois processos.



Este processo evolutivo depende de numerosos e variados factores que controlam a actividade microbiana do solo:

- Climas – temperatura e humidade;
- Tipo de solo – textura, estrutura e rocha-mãe
- Tipo de resíduos;
- Tipo de microrganismos presentes.

Temperaturas elevadas Bom arejamento Humidade suficiente Resíduos vegetais jovens e ricos em azoto	}	acumulação de matéria orgânica ± humificada
---	---	---

Para cada solo e clima, atinge-se uma quantidade de matéria orgânica estável (húmus), quando a taxa de humificação é igual á taxa de mineralização.

A humificação é um processo bastante complexo, desenvolvendo-se essencialmente em duas fases:

1º Decomposição dos resíduos e criação de unidades estruturais;

2º Síntese da molécula primária das substâncias húmicas.

Formação do húmus

1- Fragmentação e decomposição dos resíduos

a) Grande proliferação de microrganismos;

b) Consumo de compostos energéticos (açucares, amido, proteínas);

c) Concentração de produtos resistentes á biodegradação (óleos, lenhina);

d) Concentração de produtos de síntese microbiana;

2- Reagrupamento, condensação e polimerização de c) e d) e formação de molécula húmica;

Propriedades do húmus

Forma colóides húmicos, com carga – capazes de adsorver á superfície diversos catiões – Ca, Mg, K, Na, ..., impedindo o seu arrastamento pelas águas de percolação e constituindo uma reserva mineral para as plantas;

Tem grande poder tamponizante – dificulta a mudança de reacção do solo e impede que atinja valores extremos;

Inibe certas substâncias tóxicas;

Contribui com hormonas e vitaminas para o estímulo do crescimento vegetal.

O húmus também influencia determinadas propriedades físicas dos solos:

- Aumenta a capacidade de adsorção das radiações caloríficas pelo solo, devido á cor escura que lhe confere;
- Retenção de água ==> corrige o fraco poder de retenção para a água dos solos grosseiros;
- Variação do seu volume consoante o seu teor em água;
- Coesão e adesevidade fracas;
- Susceptíveis de dispersão e floculação;
- Nos solos argilosos contribui para formar estruturas favoráveis ==> melhoria das condições de drenagem, arejamento e de desenvolvimento radicular e de cultivo.

Colóides minerais e orgânicos do solo ==> complexos argilo – húmicos

No solo, estabelecem-se ligações mais ou menos intimas entre colóides minerais e orgânicos do solo. Estes complexos constam de núcleos centrais minerais (partículas de argila) recobertos por matérias húmicas.

FACTORES QUE AFECTAM A TAXA DE DECOMPOSIÇÃO DA M.O.

- Arejamento (maior arejamento maior taxa de degradação da M.O.)
- Humidade (maior humidade, menor degradação da M.O.)
- Temperatura (intervalo mais favorável 25 – 40°C)

5.4 Caracterização da Matéria Orgânica do solo

Os dois critérios sob os quais é usual encarar a matéria orgânica do solo originaram orientação diferente quanto ao processo para efectuar a sua caracterização.

Pelo critério microbiológico, que considera o húmus como um estado da matéria e o identifica com a matéria orgânica total do solo, a matéria orgânica é caracterizada por uma análise imediata.

Os autores que defendem o critério químico, caracterizam a matéria orgânica a partir do fraccionamento do húmus ou pela determinação de certas constantes químicas, nomeadamente o grau de decomposição e o factor de estabilidade.

Além dos processos de caracterização da matéria orgânica do solo acabados de referir, podem também incluir-se métodos de caracterização: determinação da matéria orgânica total e a determinação da razão carbono / azoto.

Determinação da matéria orgânica total:

O método mais usual para avaliar a matéria orgânica total do solo consiste em determinar o carbono orgânico total e multiplicar o valor que lhe corresponde por 1,724. Este método foi estabelecido admitindo que a matéria orgânica tem 58% de carbono.

$$\text{Mat. Org. Total} = 1,724 * \text{Carbono Orgânico Total}$$

Determinação da razão carbono / azoto

A razão carbono / azoto é o quociente de carbono orgânico total pelo azoto orgânico total (ambos determinados directamente em amostras de solo sem se separa a matéria orgânica da matéria mineral).

Com a razão C/N não só se pretende definir tipos de matéria orgânica característicos de diferentes solos, mas também avaliar o grau de alteração da própria matéria orgânica.

O azoto no solo aparece devido á decomposição dos resíduos orgânicos pelos microrganismos:

Maior decomposição da M.O. \Rightarrow maior cedência de N á planta;

Maior decomposição da M.O. \Rightarrow menor relação C/N;

Para cada complexo clima – vegetação -solo tende a estabelecer-se uma razão C/N

C/N > 30	Em solos com transformação de resíduos lenta e em horizontes orgânicos de solos minerais. Os microrganismos não mineralizam o azoto orgânico, entrando assim em competição com as plantas pelo azoto disponível no solo Ex: (palas) muito pobres em N, mobilizando as reservas do solo
C/N 20-30	N suficiente para a mineralização da M.O., mas não aumenta muito os níveis de N no solo (estrume bem curtido).
C/N < 20	N mais que suficiente para a mineralização da M.O., aumentando os níveis de N no solo.

RELAÇÃO C/N

Húmus	-	10
Trevo	-	12
Estrume curtido	-	20
Ferrejo	-	36
Restolo de milo	-	60
Palha	-	80

5.5 Conservação da Matéria Orgânica do solo

São os microrganismos e outros organismos do solo os responsáveis pela decomposição da matéria orgânica dos solos.

O solo é habitado por enorme variedade de microrganismos:

- Vegetais
- Animais;
- Organismos animais que vão de dimensões “sub microscópicas” a dimensões medias ou mesmo relativamente grandes (macrofauna).

A acção microbiana do solo depende, entre outros factores de:

- Temperatura;
- Arejamento;
- Condições de humidade;
- Reacção e teor em elementos nutritivos;
- Competição e antagonismos que se estabelecem entre os próprios grupos de microrganismos.

A microflora inclui:

- Organismos autotróficos que são capazes de obter do anidrido carbónico a totalidade do carbono para as suas células e da oxidação de compostos inorgânicos energia para o seu desenvolvimento e actividade;
- Organismos heterotróficos, que obtêm a maior parte do carbono de compostos orgânicos e energia da decomposição dos mesmos. Estes últimos desempenham papel fundamental na decomposição dos resíduos orgânicos e formação do húmus.

As bactérias são o grupo mais importante de organismos do solo:

- Bactérias aeróbias obrigatórias que obtêm o seu oxigénio do ar e só sobrevivem em solos arejados,
- Bactérias anaeróbias obrigatórias que não necessitam de oxigénio gasoso pelo que se encontram em solos compactos e/ou com drenagem deficiente. Tem menor actividade que as anteriores;
- Bactérias anaeróbias facultativas constituem o grupo mais importante, e actuam tanto num caso como noutro.

As bactérias desempenham um papel muito importante na decomposição de resíduos orgânicos e na formação do húmus.

As bactérias são, em geral, bastante exigentes em Cálcio e prosperam especialmente em solos de reacção levemente ácida e levemente alcalina.

Os actinomicetas são geralmente aeróbios, provavelmente todos heterotróficos. São mais vulgares em solos quentes que em solos frios e em solos secos que em solos húmidos.

Os fungos podem atingir no solo uma massa total superior á das bactérias. São provavelmente todos heterotróficos e, em certas condições, parecem ser dos organismos do solo mais aptos para decompor a lenhina. São em geral, menos exigentes em Cálcio e mais tolerantes á acidez do que as bactérias.

As algas incluem espécies que provavelmente realizam fotossíntese e algumas fixam o azoto do ar. Desenvolvem-se principalmente na camada superficial dos solos encharcados.

A microfauna do solo inclui principalmente protozoários, nemátodes e ainda microartropodes. A macrofauna é constituída principalmente por anelídeos, artrópodes e alguns animais.

Técnicas culturais para manter ou aumentar o teor em M.O.

As práticas culturais vão determinar a produção vegetal e a quantidade e qualidade dos resíduos presentes. Entre essas práticas destacam-se:

- ✓ Incorporação de estrumes, palhas, matos, ..., restos de culturas;
- ✓ Rotações equilibradas;
- ✓ Mobilizações oportunas;
- ✓ Adubos e correctivos;
- ✓ Combate á erosão (a matéria orgânica é arrastada pela água ao mesmo tempo que a matéria mineral);

Para além das práticas culturais, o teor de matéria orgânica no solo depende de outros factores:

- Cultura;
- Clima;
- Solo.

O clima vai influenciar o tipo de vegetação existente e a taxa de decomposição de matéria orgânica.

Numa mesma região, os solos de textura mais fina têm maior teor de matéria orgânica do que os de textura mais grosseira, devido ao estabelecimento dos complexos argilo – húmicos

Classificação do nível de matéria orgânica

Percentagem de Matéria Orgânica		Designação indicativa do nível de matéria orgânica
Em horizontes de textura grosseira	Em horizontes de textura média e fina	
20 – 10	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

PRINCIPAIS TIPOS DE MATÉRIA ORGÂNICA NOS SOLOS

Os tipos mais geralmente reconhecidos em solos de drenagem normal são o MULL, MODER e o MOR e formados em condições de saturação de água, permanente ou durante períodos suficientemente prolongados, as TURFAS e o ANMOOR.

TIPO MULL

É um tipo de matéria orgânica intimamente associada á matéria mineral do horizonte A, que vai decrescendo de concentração com a profundidade. Apresenta agregação de variável nitidez e estabilidade e em geral tem um pH superior ao do MOR.

TIPO MODER:

Tipo intermédio entre o mull e o mor.

Normalmente com pH entre 6 e 7.

TIPO MOR

Este tipo de matéria orgânica é típico dos podzois, das florestas resinosas, sob climas temperados frios. É húmido e muito pobre em bases. O pH é inferior a 5 e a relação C/N varia entre 20 a 40 com a profundidade.

TIPO ANMOOR

É característico de certos solos com horizonte glei, de toalha freática pouco profunda. O material orgânico transformado e parcialmente humificado esta intimamente misturado com material argiloso.

TURFAS

Formam-se em condições de saturação de água permanente, ou pelo menos, durante grande parte do ano. A actividade microbiana é limitada e a decomposição da matéria orgânica é muito lenta, de modo que acumula sob a forma de resíduos pouco transformados e produtos intermediários, abundando a lenhina. Os materiais turfosos têm vulgarmente 30% até mais de 90% de matéria orgânica.

Os solos onde predomina a matéria orgânica do tipo **Mull** são caracterizados por:

- Serem muito ricos biologicamente;
- Serem solos cultivados ou de folhosas;
- Possuírem material que é rapidamente decomposto e incorporado no solo;
- Apresentarem pH neutro ou ácido;
- Possuírem horizontes O muito delgados ou inexistentes;
- Terem relação C/N na ordem dos 10 a 15.

Os solos onde predomina a matéria orgânica do tipo **Mor** são caracterizados por:

- Serem solos pobres biologicamente;
- Possuírem resíduos que são muito resistentes á decomposição;
- Terem grande acumulação de resíduos á superfície;
- Apresentarem, normalmente, pH ácido;
- Possuírem uma relação C/N superior a 25.

6 Propriedades dos colóides do solo

6.1 Colóides do solo

Os constituintes do solo com comportamento coloidal são essencialmente o húmus e os minerais de argila.

Os colóides do solo podem formar com a água solos que se caracterizam pela existência de partículas coloidais sólidas separadas umas das outras e distribuídas num meio líquido, no chamado estado disperso.

Os colóides do solo são responsáveis pela adsorção. Adsorvem água, compostos orgânicos, nutrientes minerais e elementos vestigiais. Assim a adsorção vai ser determinante para o comportamento dos nutrientes existentes no solo ou os adicionados através da fertilização.

Os colóides são caracterizados por apresentarem determinadas propriedades:

- Filtração – passam através dos poros de um filtro vulgar, podendo ser retidos por membranas de porosidade mais fina;
- Sedimentação – são normalmente estáveis, não sendo a força da gravidade suficiente para os sedimentar;
- Adsorção – possibilidade de atracção de iões para as suas superfícies, por descompensação de forças que resultam em cargas livres;
- Poder Tampão;
- Susceptíveis de dispersão e de floculação.

Estado disperso – existência de partículas coloidais sólidas, separadas umas das outras e distribuídas num meio líquido.

Estado floculado – diminuição do potencial eléctrico, o sistema torna-se menos estável e abaixo de um certo valor crítico de potencial, a repulsão atenua-se suficientemente para deixar de impedir a associação das partículas coloidais, que se reúnem em grupos ou flocos.

A flocculação depende:

- Do número de cargas negativas por unidade de superfície;
- Do grau de neutralização das cargas por iões de sinal contrário;
- Da concentração salina;
- Da natureza dos iões presentes.

O facto de predominar o estado disperso ou o estado flocculado trás consequências sobre o solo. O estado disperso induz solos muito plásticos e pegajosos quando molhados e muito tenazes quando secos, são bastante impermeáveis á água e difíceis de mobilizar. O estado flocculado induz a iluviação e facilita a agregação do solo.

6.2 Troca iónica, complexo de troca e sua importância no comportamento físico – químico do solo

A retenção de iões permutáveis é uma propriedade das substâncias com elevada superfície específica, principalmente substâncias no estado coloidal.

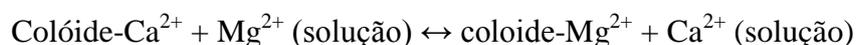
Os colóides atraem catiões hidratados devido á presença de cargas negativas permanentes e dependentes do pH.

A troca iónica é um processo reversível pelo qual os iões retidos na superfície de uma fase sólida, são permutados em quantidades equivalentes de iões em solução em fases líquidas ou sólidas, ou seja, os catiões adsorvidos á superfície dos colóides podem trocar com os existentes na solução do solo. Este processo designa-se Troca catiónica e os iões envolvidos designados por iões permutáveis.

A reacção de troca catiónica é caracterizada por:

- Elevada velocidade;
- Ser reversível;
- Ser equivalente.

Exemplo:



Os catiões no solo podem existir sob três formas essenciais:

Não permutável - fazendo parte da estrutura das partículas sólidas, não têm grande interesse para a nutrição vegetal, mas constituem uma reserva da qual são gradualmente libertados para a forma permutável.

Permutável – estão adsorvidos na superfície, constituem uma pequena fracção do total.

Em solução – apresentam-se dissolvidos na fase líquida, constituem uma porção diminuta do total de catiões presentes no solo.

A troca catiónica vai influenciar a quantidade de nutrientes disponíveis para as plantas e a sua retenção no solo. Os catiões aplicados ao solo ficarão em parte adsorvidos, o que impede que sejam facilmente perdidos por lixiviação. As plantas absorvem os nutrientes presentes na solução do solo, mas simultaneamente as suas raízes lançam para a rizosfera protões que trocam com os catiões adsorvidos, tornando-os disponíveis para as raízes.

Designa-se por Complexo de Troca do solo o conjunto de colóides orgânicos e minerais responsáveis pela adsorção de iões permutáveis.

Os catiões de troca quantitativamente mais importantes são: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Al^{3+} e o H^+ .

As bases de troca referem-se a Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ e dominam nos solos de reacção alcalina a neutra.

Nos solos ácidos os catiões de troca dominantes são Al^{3+} e o H^+ .

O complexo de troca e o mecanismo de troca iónica são a base da fertilidade dos solos e a garantia de utilização pelas plantas dos nutrientes transportados pelos fertilizantes.

Parâmetros que caracterizam o complexa de troca:

Capacidade de Troca Catiónica (CTC) – quantidade máxima de cátions que o solo pode adsorver e trocar a determinado pH. Consoante a sua determinação pode designar-se de:

Capacidade de Troca Catiónica Potencial (CTCp) – determinada a pH 7 ou 8,2.

Capacidade de Troca Catiónica Efectiva (CTCe) – determinada ao valor do pH do solo, é igual ao somatório das bases de troca com os ácidos de troca.

Soma das Bases de Troca (SBT) – somatório de todas as bases de troca

Acidez de Troca (AT) - somatório de todas os ácidos de troca

Grau de Saturação em Bases (GSB) – percentagem da capacidade de troca satisfeita por bases de troca.

$$\text{GSB} = (\text{SBT} / \text{CTC}) * 100$$

Grau de Saturação em Ácidos (GSA) - percentagem da capacidade de troca satisfeita por ácidos de troca.

$$\text{GSA} = (\text{AT} / \text{CTC}) * 100$$

A CTC está relacionada com a textura do solo, com o tipo de argila existente, quantidade e tipo de matéria orgânica e o pH.

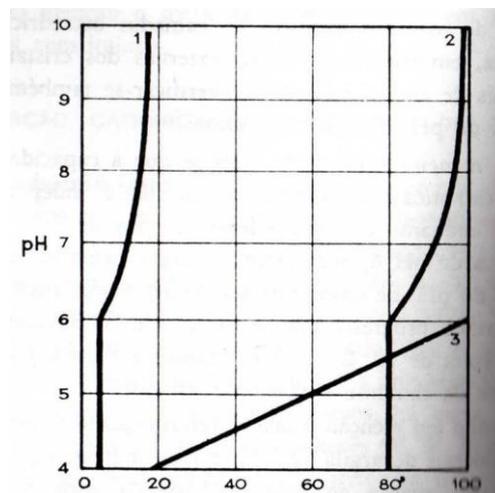


Fig.6.1 – Variação da CTC com o pH em 1- Caulinite; 2- Montmorilonite; 3 – Húmus (adaptado de Botelho da Costa, 1999)

A pH baixo estão presentes cargas negativas permanentes dos minerais de argila e apenas uma pequena quantidade de cargas variáveis, enquanto que, para pH elevado a proporção de cargas negativas variáveis é maior, logo também será maior a capacidade de troca catiónica.

A quantidade de húmus é determinante na capacidade para adsorver catiões. Solos ricos em matéria orgânica, em especial húmus, terão capacidade de troca catiónica mais elevada do que solos pobres em matéria orgânica.

Tabela 6.1 Capacidade de Troca catiónica (CTC) dos principais colóides do solo

Colóides do Solo	CTC (cmol(+)Kg ⁻¹)
Húmus	200
Monmorilonite	80 - 150
Ilite	10 - 40
Caulinite	3 - 15
Óxidos e Hidróxidos de Fe e Al	2 - 4

(adaptado de Varennes, 2003)

Importância da CTC na nutrição das plantas

Um solo com elevada CTC terá maior possibilidade de fornecer às plantas os catiões necessários ao seu desenvolvimento. As perdas de catiões por lavagem serão reduzidas. Condicionará a forma de aplicação dos adubos e determinará a quantidade e frequência de aplicação de correctivos alcalinizantes.

Assim, o complexo de troca é uma propriedade importante do solo porque:

- ✓ Constitui a reserva de nutrientes e facilita o acesso destes á zona radicular;
- ✓ Confere poder tampão ao solo;
- ✓ Está intimamente relacionado com a reacção do solo;
- ✓ Condiciona a formação de agregados e a natureza da estrutura do solo.

7 Reacção do solo

Uma importante propriedade do solo é a reacção. Esta propriedade é traduzida pelo pH.

Os factores que condicionam a reacção do solo são:

- Natureza da rocha-mãe;
- Precipitação;
- Topografia;
- Tipo de vegetação;
- Técnica de cultivo do solo.

A reacção do solo interfere nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Nas propriedades físicas:

- Dispersão / floculação dos colóides;
- Estrutura;
- Porosidade e arejamento;
- Condutividade hidráulica;
- Humidade e temperatura.

Nas propriedades químicas:

- Disponibilidade de nutrientes (Ca, Mg, Mo, P, ...);
- Decomposição da matéria orgânica.

Nas propriedades biológicas:

- Relação bactérias / fungos;
- População bacteriana;
- Humificação;
- Mobilidade e adsorção de nutrientes.

Para além destas propriedades a reacção do solo determina o tipo de vegetação existente e a actividade dos microrganismos.

7.1 Origens da acidez

A maioria das plantas é sensível a baixos valores de pH.

A causa mais comum da acidez é a perda de bases. Este fenómeno é mais intenso em zonas de elevadas precipitações, agravando-se nos locais onde a rocha mãe é pobre em bases.

Mas existem outras causas que originam a acidez, para além do arrastamento das bases:

- ✓ Dissociação dos grupos funcionais da matéria orgânica;
- ✓ Dissociação dos grupos OH dos minerais de argila;
- ✓ Dissociação de sais solúveis;
- ✓ Aplicação de adubos de reacção ácida;
- ✓ Remoção de nutrientes pela planta;
- ✓ Ácidos produzidos pelas plantas e microrganismos.

7.2 Tipos de acidez

O valor do pH depende das condições em que é medido e traduz diferentes populações de iões hidrogénio. A acidez do solo pode classificar-se em:

Acidez Real ou Actual – corresponde aos protões presentes na solução do solo;

Acidez Potencial ou de Troca – refere-se aos iões alumínio e hidrogénio no complexo de troca;

Acidez Residual – refere-se á acidez que é neutralizada pela calagem, mas que não é detectada pela substituição dos catiões presentes no complexo de troca;

Acidez Total – corresponde á soma das anteriores.

A acidez real pretende traduzir a actividade dos iões hidrogénio na solução do solo e é com base nela que os solos são classificados quanto á sua reacção. Esta acidez é muito pequena quando comparada com as outras, mas tem extrema importância porque é a esta quantidade de protões que as raízes das plantas e os organismos do solo estão expostos.

A acidez real é influenciada pelo teor de água do solo e pelas reacções de troca cationica. É avaliada pelo pH em água.

7.3 Medida da reacção do solo

O pH do solo pode ser determinado no campo ou em laboratório.

No campo utiliza-se o método colorimétrico, ou seja utiliza-se uma mistura de indicadores que vão apresentar cor diferente no intervalo de pH de 2 – 10.

Um indicador universal pode ser preparado misturando azul de bromotimol, vermelho de metilo, amarelo de metilo, fenolftaleína e azul de timol.

Para determinar o pH coloca-se uma pequena quantidade de solo numa colher de plástico e satura-se com água desionizada. Inclina-se a colher para obter um pouco de solução e colocam-se 2 a 3 gotas do indicador, compara-se a cor devolvida com uma escala de cores.

A determinação do pH em laboratório utiliza o potenciómetro. Este mede os protões existentes na solução. O solo é misturado com água desionizada (pH em água) ou com uma solução salina numa proporção de 1:2,5 (normalmente utilizado em Portugal). Agita-se durante 15 minutos e o pH é medido no sobrenadante, na suspensão do solo ou no sedimento.

Pode também medir-se o pH utilizando uma solução de KCl 1 mol dm⁻³. O pH em KCl traduz a soma da acidez real com parte da potencial.

Os solos, quanto á sua reacção pode ser classificados de:

pH (H ₂ O)	Designação
< 4,5	Muito ácido
4,6 – 5,5	Ácido
5,6 – 6,5	Pouco Ácido
6,6 – 7,5	Neutro
7,6 – 8,5	Pouco Alcalino
8,6 – 9,5	Alcalino
> 9,5	Muito Alcalino

7.4 Poder tampão do solo

Os solos oferecem resistência á variação de pH, ou seja têm poder tampão. Este resulta da presença de cargas dependentes do pH, sobretudo na matéria orgânica, e da existência do complexo de troca.

Os solos arenosos e pobres em matéria orgânica são os que apresentam menor poder tampão.

O poder tampão impede grandes variações na reacção do solo que seriam prejudiciais para as plantas e organismos do solo, contudo, quando se pretende corrigir a reacção do solo, a quantidade de correctivo a aplicar terá de ser suficiente para se sobrepor a este efeito.

7.5 Efeitos da reacção do solo no crescimento vegetal

As espécies vegetais têm diferentes preferências em relação ao pH do solo. A maior parte das culturas desenvolve-se sem problemas em solos com pH próximo da neutralidade.

Os solos de reacção ácida são caracterizados por serem um meio desfavorável ao desenvolvimento das plantas, apresentarem fraca flocculação das argilas, fraca disponibilidade de nutrientes e fraca actividade bacteriológica.

Os principais factores limitantes do crescimento vegetal em solos ácidos são:

- Toxicidade de iões hidrogénio, alumínio e manganésio;
- Deficiência de cálcio e magnésio (e secundariamente potássio);
- Deficiência de fósforo e molibdénio.

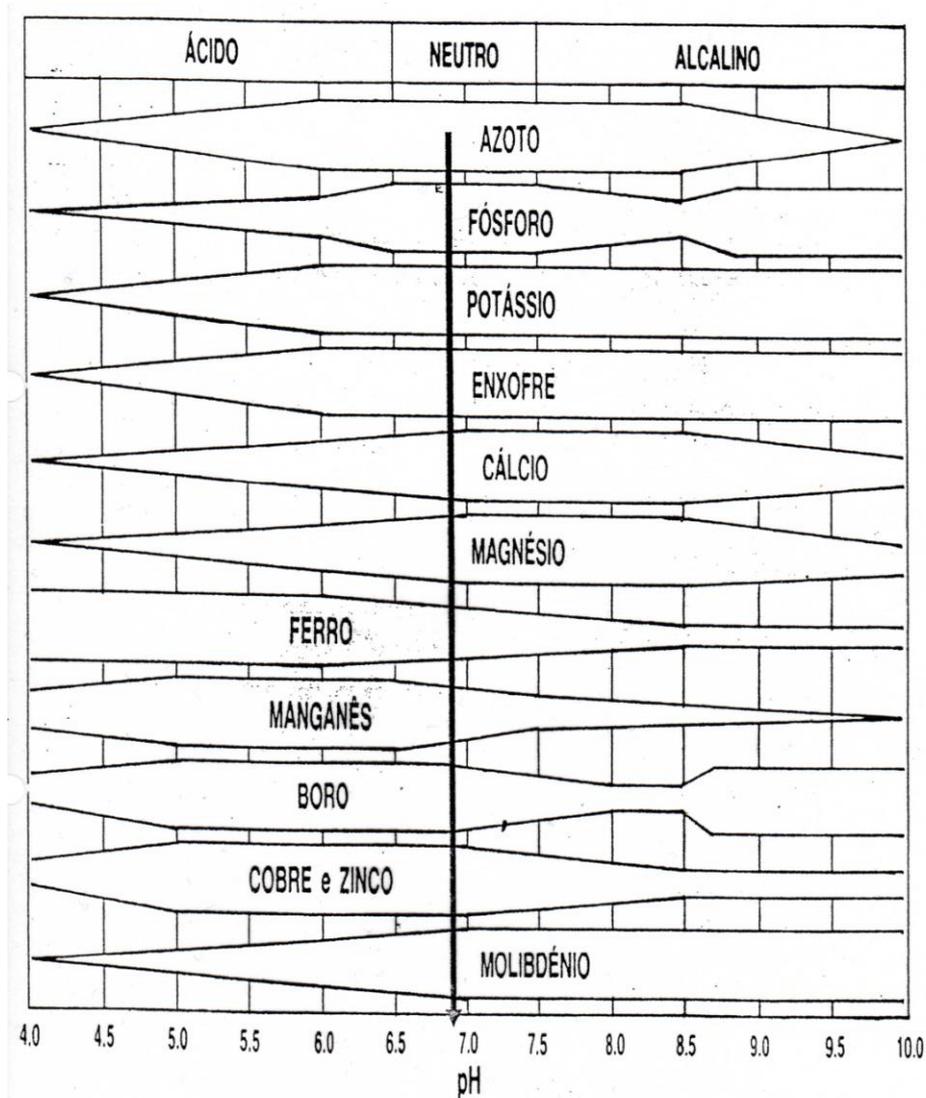


Fig.7.1 Disponibilidade dos nutrientes em função do pH.

Os solos alcalinos também apresentam restrições ao crescimento vegetal. Em solos calcários o crescimento vegetal é afectado pela deficiência de alguns nutrientes.

Os principais factores limitantes do crescimento vegetal em solos calcários são:

Deficiência de fósforo;

Deficiência de micronutrientes; deficiência induzida pelo potássio.

7.6 Correção da reacção do solo

A correção da reacção do solo para o tornar mais favorável ao crescimento das plantas é uma das etapas mais importantes na gestão dos solos. A correção da acidez na camada arável faz-se através de uma calagem, ou seja, através da aplicação de produtos alcalinizantes (normalmente calcários).

Tem de se ter atenção e não aplicar doses exageradas de calcário, pois resultaria num pH do solo demasiado elevado, prejudicando o desenvolvimento das plantas.

A correção da alcalinidade dos solos é menos frequente do que a da acidez. Os solos calcários têm um poder tampão tão elevado que não é possível diminuir efectivamente o seu pH.

8 Propriedades Físicas do Solo

A matéria mineral do solo inclui uma grande variedade de dimensões de partículas

8.1 Textura do solo

8.1.1 Definição

Por textura designa-se a proporção relativa das diversas granulometrias dos constituintes do solo, compreendidos entre certos limites.

Para definição da classe de textura consideram-se apenas os lotes de Terra Fina.

A Terra Fina é toda a matéria mineral que atravessa um crivo cuja malha é de 2mm, ou seja é todo o material cujo diâmetro é inferior a 2 mm.

A matéria mineral de diâmetro superior a 2 mm é designada de Elementos Grosseiros.

Para a especificação da textura efectua-se a análise mecânica que consiste na determinação das proporções dos diferentes lotes. A maior parte dos laboratórios utiliza a Escala de Atterberg.

Escala de Atterberg

Elementos grosseiros ($\theta > 2\text{mm}$)

- Blocos - > 200mm
- Calhaus – 100 a 200 mm
- Pedras – 50 a 100 mm
- Pedras miúdas – 20 a 50 mm
- Cascalho – 5 a 20 mm
- Saibro – 2 a 5 mm

Terra Fina ($\theta < 2\text{mm}$)

- Areia grossa – 0,2 a 2 mm
- Areia fina – 0,02 a 0,2 mm
- Limo - 0,002 a 0,02mm
- Argila - < 0,002 mm

8.1.2 Lotes granulométricos

Elementos Grosseiros

Propriedades

- Elevada dimensão;
- Baixa superfície específica;
- Abrasivos.

Consequências sobre o solo

- Reduzem a reserva mineral a curto prazo;
- Aumentam a reserva mineral a médio e a longo prazo;
- Aumentam a permeabilidade e o arejamento do solo;
- Protegem o solo da erosão hídrica;
- Regulam o regime térmico do solo diminuindo a amplitude térmica diurna;
- Influenciam o regime hídrico (evaporação);
- Dificultam as mobilizações.

Areia

Propriedades

- Fraca ou nula actividade química;
- Fraca ou nula retenção de água;
- Fraca ou nula adesividade;
- Fraca ou nula plasticidade;
- Abrasiva;
- Muito permeável;
- Dimensão elevada.

Consequências sobre o solo

- Aumento da permeabilidade e arejamento;
- Facilidade nas mobilizações;
- Desgaste nas máquinas;
- Reserva mineral a médio e longo prazo;
- Baixa retenção e troca iónica;
- Capacidade de agregação nula.

Limo

Propriedades

- Actividade química baixa;
- Retenção de água moderada;
- Adesividade baixa;
- Plasticidade média;
- Dimensão média.

Consequências sobre o solo

- Retenção e troca de iões nutritivos fraca;
- Capacidade de agregação do solo fraca;
- Facilidade nas mobilizações;
- Reserva mineral a médio prazo;
- Permeabilidade baixa;
- Aumento do volume de água utilizável;
- Protecção da matéria orgânica (complexos argilo – húmicos).

Argila

Propriedades

- Actividade química moderada a elevada;
- Retenção de água moderada a elevada;
- Adesividade moderada a elevada;
- Plasticidade moderada a elevada;
- Tenacidade moderada a elevada;
- Dimensão reduzida.

Consequências sobre o solo

- Retenção e troca de iões nutritivos elevada;
- Capacidade de agregação dos solos elevada;
- Dificuldade nas mobilizações;
- Reserva mineral a curto prazo;
- Permeabilidade baixa a moderada;
- Elevada retenção de água;
- Protecção da matéria orgânica (complexos argilo – húmicos).

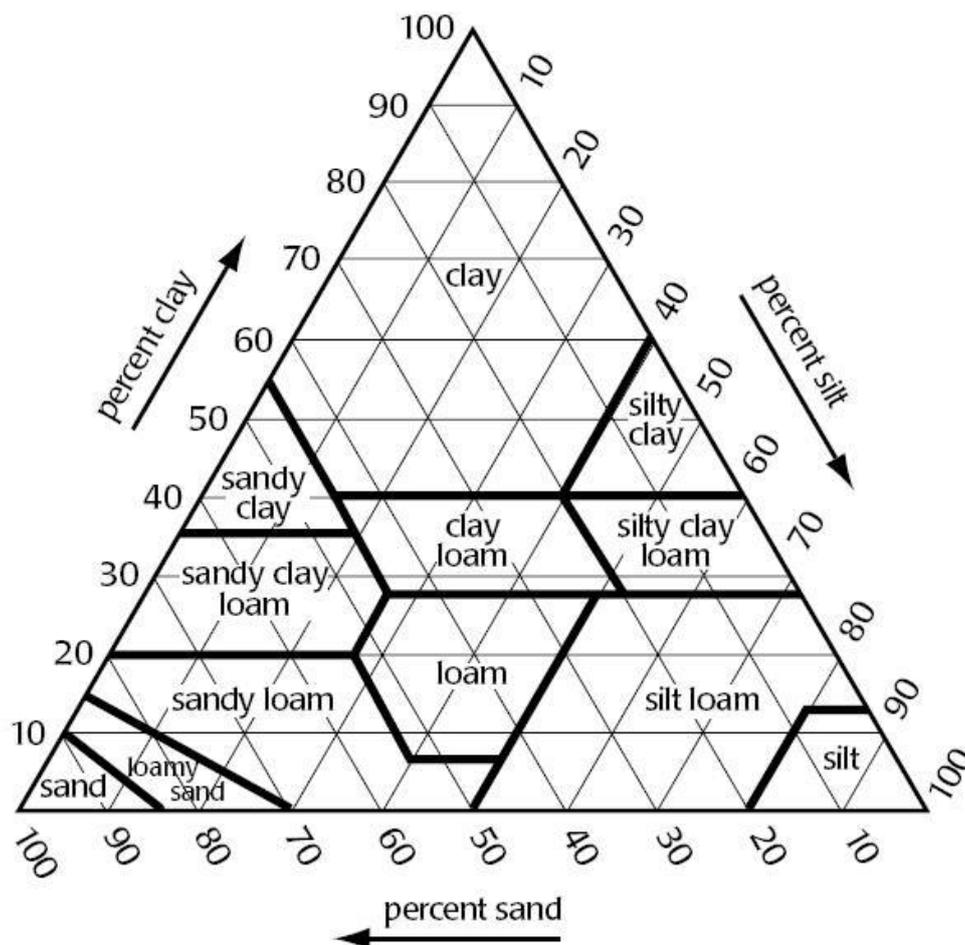
8.1.3 Classes de textura

O comportamento físico – químico dos solos minerais depende das proporções relativas de areia, limo e argila.

As classes de textura são definidas por limites de variação das proporções de cada lote de terra fina.

Se predomina a fracção areia o solo tem textura grosseira, se predomina a argila o solo é de textura fina.

Para a classificação da textura é utilizado o seguinte diagrama:



As classes de texturas podem agrupar-se em:

Texturas Finas:

Argiloso; Argilo – Limoso; Argilo – Arenoso; Franco – Argilo – Limoso; Franco – Argiloso.

Texturas Médias:

Franco – Argilo – Arenoso; Franco; Franco – Limoso; Limoso.

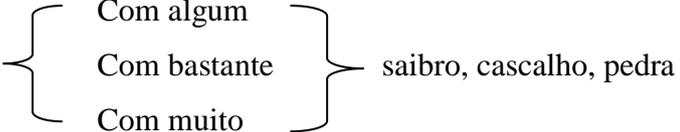
Texturas Grosseiras:

Franco – Arenoso; Arenoso – Franco; Arenoso.

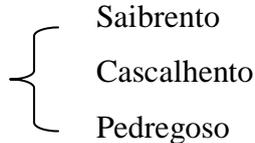
Á designação da textura juntam-se termos adicionando a proporção, forma e natureza dos elementos grosseiros.

Quando a percentagem de elementos grosseiros é superior acerca de 5% devem usar-se, juntamente com a designação da textura, os termos que os caracterizam.

1º Quando a proporção de elementos grosseiros é inferior á de terra fina:

Designação da textura seguida de  saibro, cascalho, pedra

2ª Quando a proporção de elementos grosseiros é igual ou superior á de terra fina:

Designação da textura seguida de 

Factores dos quais depende a textura:

Natureza da rocha – mãe – minerais ± resistentes;

Clima:

Mais quente e húmido – maior alteração das argilas —► textura mais fina

Mais frio e seco – menor alteração e evolução das argilas —► textura grosseira

Relevo ou topografia.

A textura do solo influência as suas propriedades, contudo a matéria orgânica modela o efeito da textura. Um solo de textura grosseira com uma razoável quantidade de matéria orgânica poderá apresentar uma capacidade de retenção de água e nutrientes equivalente a um solo de textura mais fina mas com menor quantidade de materiais orgânicos. È de salientar que, os solos de texturas mais grosseiras são também mais pobres em matéria orgânica do que os mais ricos em argila, devido á formação dos complexos argilo – húmicos nos últimos.

Um solo com boas características é um solo que reúne uma proporção relativa dos diferentes lotes granulométricos de forma a conseguir-se o equilíbrio entre as diferentes propriedades dos lotes.

Os solos de textura mediana são considerados mais adequados á produção agrícola, visto terem uma capacidade de retenção de água e nutrientes superior aos de textura grosseira e um melhor arejamento e facilidade de mobilização do que os de textura fina.

Determinação da textura no campo:

Consiste em humedecer uma amostra de solo e esfregá-la entre os dedos para “sentir” e depois tentar formar um filamento e uma argola.

Ao amassar a terra toma-se nota da sua plasticidade e se é pegajosa, o que é característico da argila. Um teor elevado de limo origina solos macios e não pegajosos. Um teor elevado de areia está associado a solos ásperos e que fazem barulho quando esfregados entre os dedos.

Em seguida tenta-se fazer um filamento, rolando a terra entre o polegar e o indicador e depois dobrar o filamento para formar uma argola.

De acordo com o comportamento observado classifica-se a textura do seguinte modo:

Não forma filamento – textura grosseira;

Forma filamento mas não forma argola – textura média;

Forma argola – textura fina.

8.2 Estrutura do solo

As partículas do solo (minerais e orgânicas) podem apresentar-se em arranjo solto e instável, ou formando blocos coesos de grande dimensão, ou ainda em conjuntos interligados e associados em agregados, de forma, tamanho e coerência muito diversos.

Assim, as propriedades e o comportamento do solo dependem não só das características das partículas elementares constituintes, mas também do modo como tais partículas e os respectivos vazios estão organizados e distribuídos.

8.2.1 Conceito e importância

Estrutura do solo é a característica física do solo expressa pelo tamanho, forma e arranjo das partículas e dos respectivos vazios. Para esta caracterização consideram-se, não só, as partículas individuais (areia, limo e argila) mas também as partículas compostas, isto é, os pedes ou agregados estruturais.

Por Pedes designam-se os conjuntos naturais de partículas terrosas em que a ligação às partículas constituintes é mais forte do que a ligação dos agregados uns aos outros.

Na estrutura podem distinguir-se:

- A tessitura que diz respeito ao arranjo das partículas e dos vazios que lhe estão associados;
- A pedalidade ou agregação que se refere ao tamanho, forma e arranjo dos agregados.

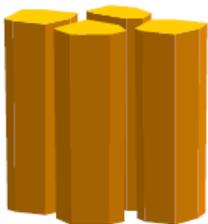
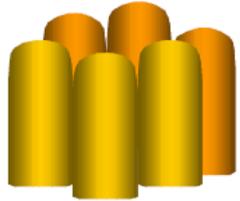
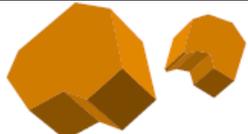
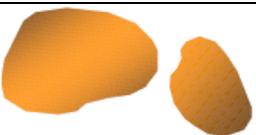
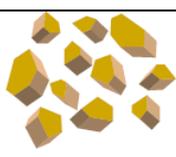
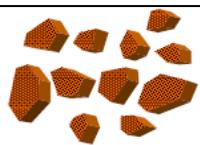
Sempre que o material do solo não apresente pedes ou agregados, designa-se por solo apédico.

A pedalidade é caracterizada por:

- Tipo (forma geral dos agregados);
- Classe (dimensões dos agregados);
- Grau (grau de manifestação ou distinção dos agregados).

Segundo o esquema de classificação do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América (USDA), os termos portugueses para classificação da agregação são: laminar, prismático, colunar, anisoforme, granuloso e grumoso.

Principais tipos e classes de agregação

Forma e disposição dos agregados		Tipos	Esquema	Classes
<p>Laminiforme Agregados com uma dimensão (vertical) limitada e muito mais pequena do que as outras duas; com as faces sensivelmente horizontais.</p>		Laminar		Muito Delgada < 1mm Delgada 1-2 mm Média 1-5mm Espessa 5-10mm MuitoEspessa >10mm
<p>Prismiforme Agregados com duas dimensões (horizontais) limitadas e consideravelmente mais pequenas do que a vertical; com as faces verticais bem definidas e com arestas agudas.</p>	Sem topos arredondados			
	Com topos arredondados	Colunar		
<p>Anisoforme Agregados poliédricos irregulares, mas sem diferenças acentuadas entre as três dimensões; com facetas planas ou curvas que moldam as facetas dos agregados vizinhos</p>	Facetas achatadas, a maior parte das arestas bastante agudas	Anisoforme angulosa		Muito Fina < 5mm Fina 5 - 10mm Média 10 –20 mm Grosseira 20-50mm MuitoGrosseira >50mm
	Algumas facetas curvas e outras achatadas; a maior parte das arestas arredondadas	Anisoforme subangulosa		Muito Fina < 5mm Fina 5 - 10mm Média 10 –20 mm Grosseira 20-50mm MuitoGrosseira >50mm
<p>Esferoforme Agregados esferóides, ou poliédricos com três dimensões sensivelmente iguais e com pequenas facetas, planas ou curvas que não se moldam ou se ajustam mal às facetas de agregados vizinhos.</p>	Agregados pouco ou nada porosos	Granulosa		Muito Fina < 5mm Fina 5 - 10mm Média 10 –20 mm Grosseira 20-50mm MuitoGrosseira >50mm
	Agregados porosos	Grumosa		Muito Fina < 5mm Fina 5 - 10mm Média 10 –20 mm

Normalmente consideram-se quatro graus de agregação:

0. *Sem agregação* . Não existem agregados; o material do solo está solto ou é maciço;

1. *Fraco*. Os pedes são muito pouco evidentes no perfil; por manuseamento ligeiro, o material do solo resolve-se facilmente numa mistura de alguns agregados inteiros, muito partidos e grande proporção de material desagregado;

2. *Moderado*. Agregados relativamente distintos no perfil; manuseando o material do solo, separam-se muitos agregados inteiros e distintos, alguns quebrados e fraca proporção de material não agregado;

3. *Forte*. Agregados muito distintos no perfil; manuseando o material do solo mantêm-se principalmente agregados inteiros e observa-se pequena proporção de agregados quebrados e pouco ou nenhum material desagregado.

8.2.2 Tipos de estrutura

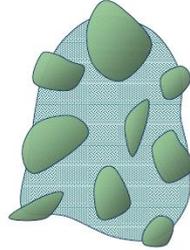
Os tipos de estrutura que existem no solo podem classificar-se em função da presença de partículas coloidais e da interacção com partículas de maiores tamanhos.

Existem 3 tipos de estrutura:

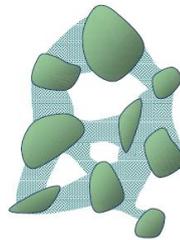
Estrutura particular ou elementar: constituída por partículas sólidas individualizadas, sem capacidade de agregação;



Estrutura maciça ou contínua: partículas fortemente unidas constituindo um bloco contínuo com cimentação exagerada entre os constituintes. Este tipo de estrutura torna-se asfíxiante, devido ao reduzido número de poros. Ausência de agregação.



Estrutura fragmentada: partículas reunidas em conjuntos (agregados ou pedes) com espaço poroso no interior (microporos). Corresponde ao melhor estado físico do solo, logo é a situação mais equilibrada.



8.2.3 Estabilização / Degradação da estrutura do solo

A importância da estrutura do solo interfere nos seguintes aspectos:

- ✓ Classificação dos solos;
- ✓ Retenção e movimento da água;
- ✓ Condições de arejamento;
- ✓ Maior ou menor facilidade nos trabalhos de mobilização do solo;
- ✓ Susceptibilidade á erosão;
- ✓ Aptidão cultural;
- ✓ Capacidade produtiva;
- ✓ Efeitos das adubações,...

Assim, é de toda a importância manter a estabilidade estrutura do solo. As práticas culturais que favorecem a estabilidade da estrutura e / ou reduzem a degradação da estrutura são:

- ✓ Aplicação de matéria orgânica;
- ✓ Mobilizações adequadas em número e em momento de ocorrência;
- ✓ Incluir prados nas rotações;
- ✓ Proteger o solo contra a erosão;
- ✓ Fazer correcções de pH;
- ✓ Favorecer a drenagem.

8.3 Porosidade

Entre as partículas minerais e orgânicas do solo, ficam espaços livres de tamanho e forma diversa. Estes espaços constituem a porosidade do solo.

È nestes espaços que circulam a água e o ar.

Consoante o tamanho dos espaços livres (poros), podem distinguir-se dois tipos de porosidade:

Macroporosidade – poros de diâmetro superior a 50 μm

Microporosidade – poros de diâmetro inferior a 50 μm

Pode ainda dar-se outra classificação á porosidade:

Porosidade não capilar – porosidade correspondente a espaços intersticiais relativamente grandes (macroporos) que podem ser esvaziados de água por forças extractivas relativamente fracas.

Porosidade capilar – porosidade correspondente a espaços intersticiais pequenos (microporos) e que devido ao seu tamanho retêm a água devido á acção sensível de fenómenos de capilaridade.

Um solo equilibrado contém água nos poros de menor dimensão e ar nos de maior dimensão.

Porosidade total = porosidade capilar + porosidade não capilar

Os solos minerais de textura grosseira tendem a ter menor porosidade total, pois a maior parte da porosidade é não capilar.

Os solos de textura média a fina, a porosidade total tende a ser maior e, uma proporção muito considerável desta é capilar.

A **porosidade (P)** pode definir-se como a razão entre o volume ocupado pelas fases líquida e gasosa e o volume aparente de solo.

$$P = [1 - (D_{ap} / D_r)] * 100$$

Grau de saturação (GS) – relação entre o volume de água e o volume de poros

$$GS = (V_a / V_p) * 100$$

Défice de saturação (DS) – diferença entre o volume total da porosidade e o volume ocupado pela fase líquida

$$DS = 100 - GS$$

Geralmente a porosidade varia com:

Textura;

Estrutura;

Teor em matéria orgânica.

8.3.1 Densidade real e aparente

Densidade Real corresponde á densidade média das partículas que constituem a amostra do solo. É a razão entre a massa de uma partícula isolada do solo e a massa de água que ocupa volume igual ao da partícula.

Densidade Aparente corresponde ao cociente da razão entre a massa da parte sólida de um dado volume aparente de solo (volume ocupado pelas partículas sólidas mais volume ocupado pelos interstícios ou poros) e a massa de igual volume de água e a massa volúmica da água.

$$D_{ap} = [(massa\ solo / massa\ de\ água) / massa\ volúmica\ da\ água]$$

Para os solos minerais, considera-se o valor da densidade real de 2,65.

Para obter o valor de Dap, utilizam-se, em geral, sondas que permitem colher amostras sem alteração apreciável da estrutura e da capacidade.

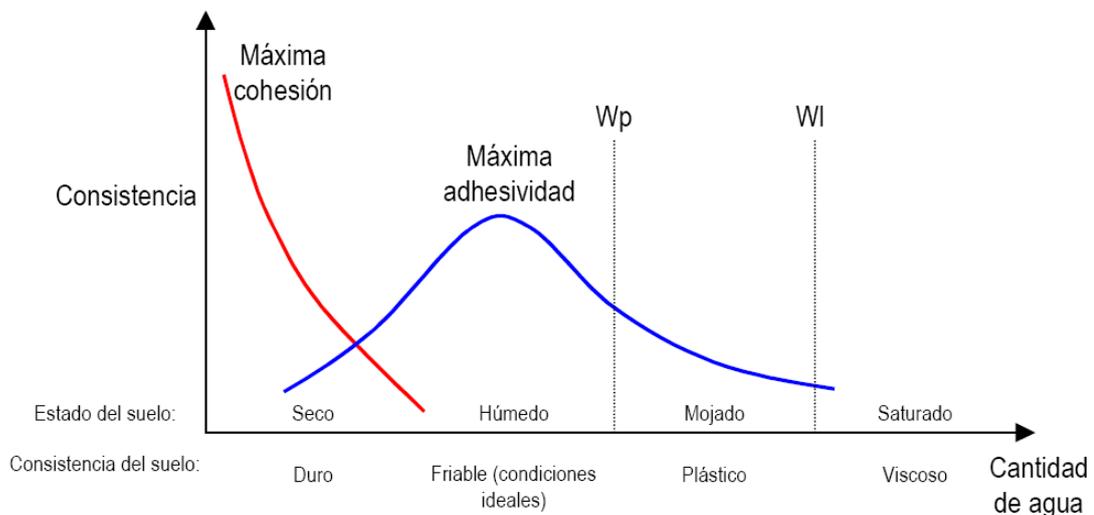
8.4 Consistência

A consistência do solo traduz-se na resistência que o solo oferece á deformação ou á ruptura devido a forças físicas de coesão e adesão, que actuam no solo para vários teores de água. Expresso o estado físico do solo consoante o teor em humidade.

A consistência depende de forças físicas de coesão e de adesão entre partículas, variando com a textura, estrutura e o teor em colóides minerais e orgânicos.

As formas de consistência que os solos normalmente apresentam são a Tenacidade ou Dureza (no estado seco), a Friabilidade (no estado húmido) e a Plasticidade e a Adesividade (nos estados muito húmido ou molhado).

A adesividade depende da maior ou menor tendência que o solo apresenta para daerir a objectos. Aumenta com o teor de argila e vai influenciar a facilidade de mobilização e o tráfego de máquinas.



A consistência do solo avalia-se da seguinte forma

1º Consistência no estado seco – Tenacidade ou Dureza: determina-se sobre o solo seco ao ar

- Solta – 0
- Branda – 1
- Ligeiramente dura – 2
- Dura – 3
- Muito Dura – 4
- Extremamente Dura – 5

2º Consistência no estado húmido – Friabilidade: a determinação é feita para teores de humidade que se situam entre a capacidade de campo e a humidade do solo seco ao ar

- Solta – 0
- Muito Friável – 1
- Friável – 2
- Firme – 3
- Muito Firme – 4
- Extremamente Firme – 5

3º Consistência no estado molhado – Adesividade e Plasticidade: determinação para teores de humidade iguais ou superiores á capacidade de campo

- Adesividade
 - Não Pegajoso – 0
 - Pouco Pegajoso - 1
 - Pegajoso – 2
 - Muito Pegajoso - 3

- Placticidade
 - Não plástico
 - Pouco Plástico
 - Plástico
 - Muito Plástico

A maior ou menor intensidade da manifestação destas diversas formas de consistência e os teores em água para os quais se verificam, variam muito de solos para solo.

8.5 Compacidade e Compressibilidade

A compacidade diz respeito á resistência que o solo oferece á penetração (impedância mecânica). Considera-se que um solo está compactado quando a porosidade baixou ao ponto do arejamento e da drenagem da água serem deficientes e quando o solo apresenta tal compacidade torna-se difícil a penetração pelas raízes.

A compressibilidade diz respeito á diminuição do volume (compactação).

A formação de camadas compactadas num solo pode ser de origem natural ou resultar de forças artificiais.

A compactação dos solos é um fenómeno cada vez mais frequente na agricultura moderna.

Para evitar a compactação pode reduzir-se a mobilização do solo, fazendo menos passagens sobre o terreno e conservando os resíduos das culturas e limitar o tráfego de máquinas a vias pré definidas.

9 Cor do Solo

A cor é a propriedade do solo mais fácil de observar. As cores do solo são consequência da diferente constituição em materiais orgânicos, textura, tipo de argila e compostos.

9.1 A cor e a constituição dos solos

È uma propriedade física que permite inferir características importantes do solo, como por exemplo a composição mineralógica, a presença de material orgânico humificado, acumulação de carbonatos e também permite distinguir horizontes.

A cor escura, normalmente associada a elevados teores de matéria orgânica, pode também ocorrer devido á presença de compostos de ferro ou manganésio depositados sobre minerais argilosos. Os óxidos e hidróxidos de ferro conferem cores amareladas e avermelhadas. As cores claras são devidas á presença de quartzo, caulinite, carbonatos, sulfatos ou cloretos.

9.2 Determinação da cor do solo

A determinação da cor do solo faz-se de maneira universal através da utilização do Sistema ou Carta de Cores Munsell.

Este sistema de cores descreve as cores em função de três parâmetros:

Matiz – cor espectral dominante

Valor – grau de clareza, intensidade da radiação

Croma – saturação ou intensidade da pigmentação.

A estes parâmetros atribuem-se diferentes graus, cuja combinação define a cor.

Matizes principais:

Vermelho – R (Red)

Amarelo – Y (Yellow)

Verde – G (Green)

Azul – B (Blue)

Roxo – P (Purple)

Matizes intermédias

Laranja – YR

Verde –Amarelo – GY

Azul-Verde – BG

Violeta – PB

Vermelho-Roxo – RP

Valor – varia de 0 a 10

0 – preto absoluto

10 – branco absoluto

Croma – varia de 0 a 20

Valores mais comuns entre 0 e 8.

Os padrões estão ordenados segundo as três variáveis que determinam as cores e em cada cartão só figuram, geralmente, padrões de um dado grupo de Matizes, designada pelo símbolo inscrito no canto superior do cartão.

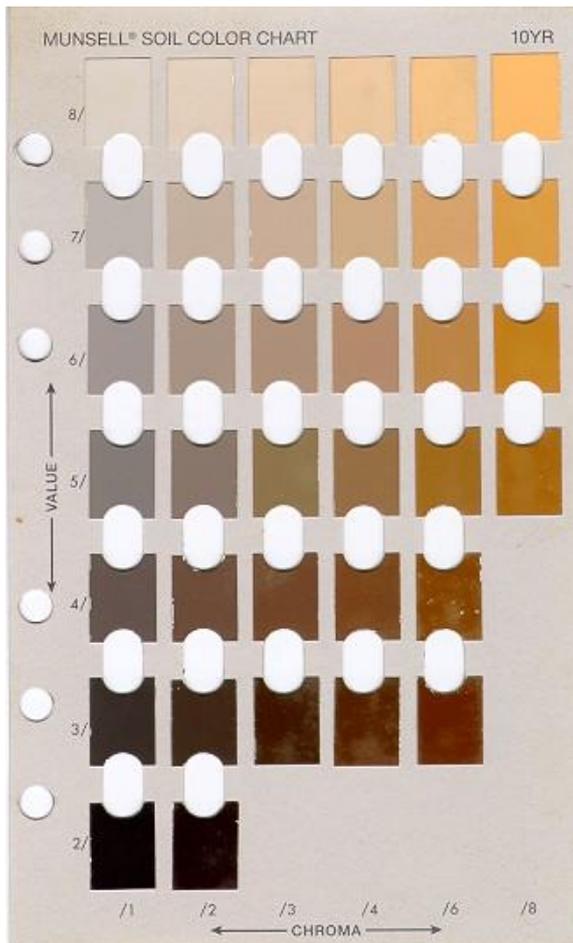
Verticalmente os padrões são progressivamente mais claros de baixo para cima.

Horizontalmente o croma aumenta da esquerda para a direita.

EX. Brown 7,5YR5/4

Significado: Pardo com matiz 7,5YR valor 5 e croma 4.

O matiz é tanto mais amarelo e menos vermelho quanto maior é o número que precede as letras.



A cor do solo é um elemento importante para a sua classificação, mas não influencia as outras propriedades do solo, com exceção da temperatura. Em igualdade de outros factores, os solos escuros absorvem mais radiação solar do que os solos mais claros e por isso aquecem mais depressa.

10 Atmosfera e Temperatura do Solo

10.1 Constituição do ar do solo relativamente ao ar atmosférico

A fase gasosa ou atmosfera do solo é uma mistura de gases com composição variável mas que normalmente apresenta maior teor de vapor de água e de dióxido de carbono e menor teor de oxigénio do que a atmosfera.

A composição é determinada pelas interacções solo – água – microrganismos – planta.

Constituintes	Ar Atmosférico	Ar do solo
Oxigénio	21 %	10 – 20 %
Azoto	78 %	78,5 – 80 %
Gás Carbónico	0,03 %	0,2 - 3,5 %
Vapor de água	Variável	Próximo da saturação
Outros Gases	≈ 1 %	Variável

O ar é um constituinte do solo de grande importância porque condiciona as propriedades e características e é indispensável á vida das plantas.

O ar do solo localiza-se no espaço poral, do mesmo modo que a água e a sua quantidade depende da quantidade desta. Qualquer variação no teor de água determina também variação inversa na quantidade de ar.

O ar no solo é muito importante porque tem influencia sobre:

- Biologia do solo;
- Respiração das raízes;
- Evolução e características da matéria orgânica;
- Reacção do solo;
- Forma e quantidade dos elementos nutritivos.

10.2 Capacidade do solo para o ar e renovação do ar do solo

Os solos apresentam diferente comportamento em relação ao ar. Estes podem ser caracterizados pela:

Capacidade para o ar – corresponde á quantidade de ar retida pelo solo quando este se encontra na capacidade absoluta para a água. Varia ao longo do perfil tornando-se menor nos níveis inferiores, varia também com a textura, estrutura e teor em matéria orgânica.

Permeabilidade ao ar – depende fundamentalmente da porosidade do solo (porosidade total, tipo de porosidade), é tanto maior quanto maior for a dimensão dos vazios. Varia de forma inversa com o teor de água no solo.

A renovação de ar no solo dá-se através de trocas gasosas entre o solo e a atmosfera. Estas trocas podem ocorrer por:

- Difusão – transferência devido a diferentes pressões dos constituintes nos dois meios (são as predominantes e as mais importantes);
- Diferenças de temperatura – nas diferentes camadas surgem correntes de convecção;
- Vento – por acção da sucção e da pressão;
- Água – proveniente das chuvas e /ou das regas.

10.3 Origens do calor do solo

A temperatura do solo constitui, sob variados aspectos, um factor de elevada importância, pois dela dependem algumas características do solo como por exemplo a composição do ar, os níveis de matéria orgânica e de outros constituintes, a quantidade de várias formas de nutrientes.

A temperatura do solo afecta todos os processos que ocorrem no solo. Em solos frios, as reacções químicas e biológicas são mais lentas.

A decomposição da matéria orgânica e libertação de nutrientes minerais é menor, assim como a absorção de água e nutrientes pelas plantas. Temperaturas demasiado altas são também prejudiciais para as plantas e microrganismos do solo.

A quantidade de calor absorvido pelo solo depende de factores gerais e de factores específicos do próprio solo.

Os factores gerais são:

- ✓ Altitude;
- ✓ Latitude;
- ✓ Proximidade de massas de água;
- ✓ Correntes marítimas;
- ✓ Condições atmosféricas;
- ✓ Período do ano.

Os factores específicos do próprio solo são:

- ✓ Condições topográficas;
- ✓ Coberto vegetal;
- ✓ Características do solo;
- ✓ Teor de humidade.

10.4 Formas de controlo da temperatura do solo

Há diversas formas através das quais se pode controlar a temperatura do solo. As principais são:

- ✓ Sombreamento;
- ✓ Coberturas mortas – empalhamento, ou “mulching”;
- ✓ Cobertura do solo com materiais de cores diferentes;
- ✓ Controlo da humidade do solo;
- ✓ Mobilizações.

11 Água do solo

A água desempenha acção importantíssima na génese do solo e é indispensável á vida das plantas.

Absorvida pelas raízes e transpirada pela parte aérea das plantas, é-lhe necessária em quantidades bastante elevadas.

11.1 Importância do ciclo hidrológico na qualidade da água subterrânea



11.2 Importância ecológica e pedológica da água

A água assume importância fundamental para o solo, pois condiciona a formação e evolução do próprio solo, condiciona a actividade da fauna e da flora do solo, interfere na saída e entrada de produtos de e para o solo e influencia a temperatura e o arejamento.

Do ponto de vista da planta a água é o seu constituinte fundamental (entre 75 a 90%), serve de transporte aos elementos nutritivos, é um elemento essencial na fotossíntese.

Apesar da sua elevada importância tanto no solo como para a planta, elevadas percentagens de água no solo prejudicam ou impedem o desenvolvimento da grande maioria das plantas terrestres, principalmente por corresponderem a um arejamento deficiente.

Por outro lado, percentagens mais ou menos baixas limitam ou impedem o desenvolvimento vegetativo por deficiência da absorção radicular.

O teor em água no solo conveniente para o desenvolvimento das plantas é o que corresponde á combinação mais favorável quanto á facilidade de absorção de água e condições de arejamento.

11.3 Situações de água no solo e forças condicionantes

A água no solo está sob a acção de três forças:

Forças de adsorção – higroscópicas;

Forças de sucção – capilar;

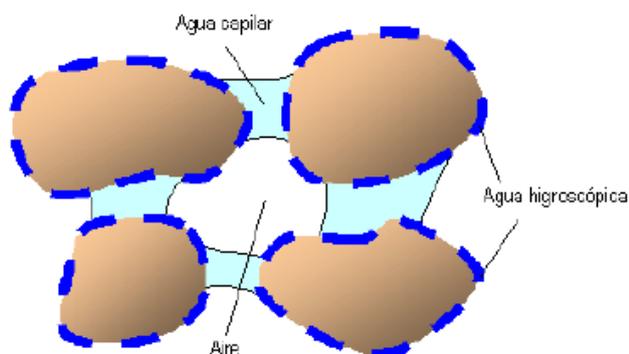
Forças gravitacionais – gravitacional.

Perante estas forças pode-se classificar a água do solo em:

Água Higroscópica – água fixada por adsorção nas superfícies dos colóides, não está disponível para as plantas, sofre translocações no estado de vapor;

Água capilar – água sujeita a fenómenos de capilaridade, constituindo películas contínuas em torno das partículas terrosas e nos microporos e deslocando-se com preenchimento dos espaços intersticiais (é a água com maior importância para as plantas).

Água gravitacional – água que não é retida pelo solo, deslocando-se apenas nos macroporos sob acção da gravidade, em geral esta água não é utilizada pelas plantas.



11.4 Potencial da água no solo e sua medição

A água no solo pode conter energia de diferentes formas e quantidades, das quais a mais importante é a energia potencial. Esta energia, função da posição dentro do sistema, é fundamental para o movimento da água no solo.

A energia potencial corresponde à diferença de energia entre dois pontos e o movimento dá-se do ponto de potencial mais elevado para o ponto de potencial mais baixo.

O potencial da água do solo corresponde ao somatório de três potenciais: potencial gravitacional, potencial matricial e o potencial osmótico.

Potencial Gravitacional

Diz respeito á acção da força de gravidade sobre a água.

Depende unicamente da elevação da água em relação a um nível de referência. È independente das condições químicas e de pressão da água.

$$\Psi_g = -gZ$$

Potencial Matricial, Mátrico ou de Pressão

Mede a força de retenção do solo para a água. Deriva de forças de ligação entre a fase sólida e a água.

Em qualquer ponto de um solo saturado abaixo da superfície livre da água as partículas estão sujeitas a pressão hidrostática positiva. Acima dessa superfície a água é retida por pressão negativa.

Consoante esta pressão for aumentando, vai diminuindo o teor de água do solo.

Potencial osmótico

Relacionado com a presença de solutos na água. Não é importante para explicar o movimento da água no solo, mas sim para explicar a absorção de água pelas plantas

Para medir o potencial de água no solo existem vários métodos:

- Para medir o potencial matricial utilizam-se os tensiómetros (medição directa) ou os blocos de resistência eléctrica (medição indirecta);
- Para medir o potencial osmótico usam-se os sensores de salinidade;

11.5 Curvas de tensão de humidade

Aplicando a solo húmido (ou solo em humedecimento) forças de extracção de água sucessivamente mais elevadas e determinando a percentagem de humidade que o solo retém contra cada uma das forças aplicadas, obtêm-se valores que permitem traçar curvas que relacionam a tensão de humidade com o teor de água no solo.

A pressão negativa da água no solo (energia de retenção, tensão ou sucção) assume valores muito variados o que expresso em cm de coluna de água equivalente teria valores impróprios para trabalhar. Assim convencionou-se a utilização de logaritmos desses valores na base 10.

O logaritmo da altura, em cm, da coluna de água que exerce uma força equivalente á força de atracção do solo para a água designa-se por **pF**.

Por exemplo:

pF 1 = tensão de 10cm de água

pF 3 = tensão de 1000 cm de água

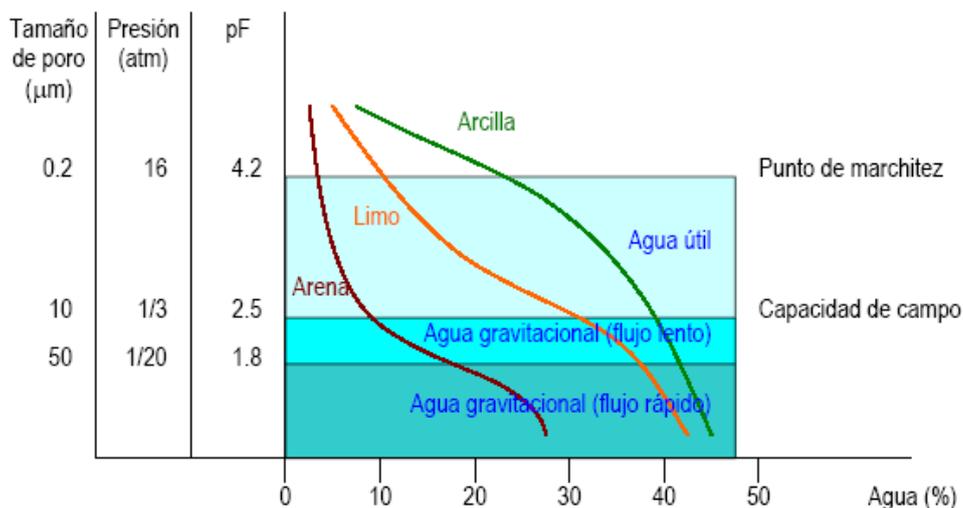
Ao sujeitar-se uma amostra de solo a diferentes níveis de pressão obtêm-se as curvas de tensão de humidade ou curvas de pF.

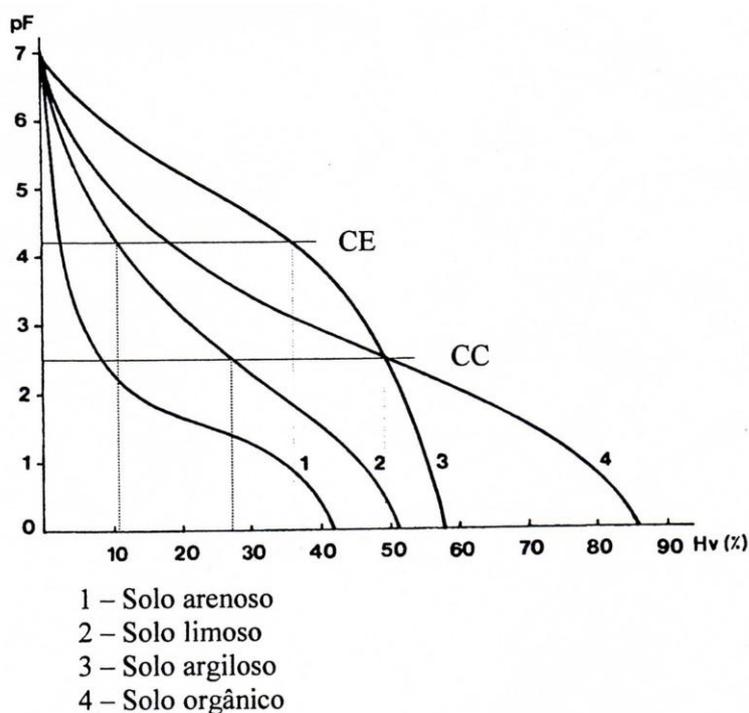
A tensão pF a que o solo está sujeito varia com as características do solo.

Para o mesmo teor de humidade, á medida que as texturas vão sendo mais finas, maior será o valor de pF.

Valores de tensão á capacidade de campo em pF, relacionando com a textura e o teor de matéria orgânica:

Textura grosseira – matéria orgânica baixa (< 5%)	pF 2,0
Textura grosseira – matéria orgânica alta (> 5%)	pF 2,2
Textura média	pF 2,5
Textura fina	pF 2,7





11.6 Constantes de humidade do solo

As constantes de humidade representam a percentagem de humidade que um solo contém em determinadas condições.

Estas constantes determinam-se em laboratório, sobre a terra fina.

Capacidade Máxima para a Água

Corresponde á percentagem máxima de água que um solo pode conter, logo todo o espaço poroso está preenchido por água.

Capacidade de Campo

Corresponde ao teor de humidade que um solo retém quando, depois de ter cessado o movimento gravitacional, o movimento de água capilar decresce continuamente. È o limite superior de retenção de água pelo solo que é utilizado pelas plantas.

Corresponde a pF 2,54.

Coefficiente de Emurchecimento

Ponto a partir do qual, as plantas não conseguem retirar água do solo, e atingem o emurchecimento permanente. Corresponde ao limite inferior de humidade que pode ser utilizado pelas plantas.

Corresponde a pF 4,2.

Água Utilizável

Água disponível para as plantas. As forças de sucção das plantas são maiores do que as forças do solo e do que as gravitacionais. Água entre a capacidade de campo e o coeficiente de emurchecimento.

Percentagem a 1/3 de atmosfera

Corresponde á percentagem de humidade que uma amostra de solo, previamente saturada, retém quando lhe é aplicada uma força de 1/3 de atmosfera.

Equivalente á capacidade de campo.

Percentagem a 15 atmosferas

Corresponde á percentagem de humidade que uma amostra de solo, previamente saturada, retém quando lhe é aplicada uma força de 15 atmosferas.

Equivalente ao coeficiente de emurchecimento.

11.7 Movimentos da água no solo

Os movimentos de água no estado líquido, embora mais ou menos afectados pela gravidade, dependem essencialmente da acção de forças de atracção do solo para a água.

Assim o movimento da água irá variar consoante o teor de humidade do solo.

Para condições de solo saturado a condutividade hidráulica é elevada e constante, sendo o movimento dependente apenas do gradiente de carga hidráulica. Como em situações de solo saturado o potencial de pressão é muito baixo, o gradiente de carga hidráulica é essencialmente devido ao gradiente gravitacional.

Em condições de solo não saturado, a condutividade hidráulica não é constante, esta é tanto maior quanto mais húmido estiver o solo. Nesta situação a força impulsionadora do movimento da água é o gradiente de potencial de pressão.

11.8 Métodos de medição da água do solo

Para medição do teor de água no solo podem utilizar-se métodos directos ou métodos indirectos.

Como método directo tem-se apenas o Método Gravimétrico.

Como exemplos de métodos indirectos: Atenuação Neutrónica, Sonda TDR, Tensiómetros.

Método Gravimétrico

Este método baseia-se na pesagem de amostras de solo no estado húmido e no estado seco.

Procedimento:

1º Recolher uma amostra de solo no campo para uma caixa hermética (para que não haja perdas de água), da qual se conhece a tara;

2º Pesar essa amostra quando chegar ao laboratório (peso húmido);

3º Colocar a amostra numa estufa a 105°C até atingir peso constante (mais ou menos 24 horas);

4º Voltar a pesar a amostra (peso seco);

5º Determinar o teor de água no solo = peso húmido – peso seco \longrightarrow massa de água;

6º Determinar o peso seco da amostra (massa seca) = peso seco – tara;

7º Determinar a humidade ponderal $\theta_p = (\text{massa de água} / \text{massa seca}) * 100$;

8º Determinar a humidade volumétrica $\theta_v = \theta_p * D_{ap}$

Este método é muito preciso e é utilizado para calibração de instrumentos de medição indirecta. É muito laborioso e as operações de amostragem, transporte da amostra e as pesagens podem conduzir a erros de medição.

Método de atenuação neutrónica (sonda de neutrões)

Baseia-se na emissão de neutrões rápidos que perdem energia nas colisões elásticas com núcleos de baixo peso atómico, sobretudo o hidrogénio, e na contagem dos neutrões de baixa energia. Parte do princípio que todos os hidrogénios presentes no solo são da água.

Na utilização deste método há três processos envolvidos:

- 1º Emissão por fonte radioactiva de neutrões rápidos;
- 2º Moderação da energia dos neutrões por colisão e regresso em direcção ao instrumento de detecção;
- 3º Detecção selectiva e contagem dos neutrões de baixa energia.

A sonda de neutrões consiste em dois componentes principais:

- a) a sonda, a qual desce por um tubo de acesso, inserido verticalmente no solo e que contem a fonte de neutrões rápidos e o detector de neutrões lentos;
- b) um contador que mede o fluxo de neutrões de baixa energia.



A sonda deve ser cuidadosamente ---calibrada para cada tipo de solo e para as diferentes camadas.

É um método rápido, preciso e não destrutivo, mas as determinações são afectadas por diverso factores. Podem existir Hidrogénios no solo que não pertençam á água do solo. É muito condicionado pelas diversas características do solo.

Sonda TDR

Mede a constante dielétrica do meio, a qual varia muito com o teor de água do solo.

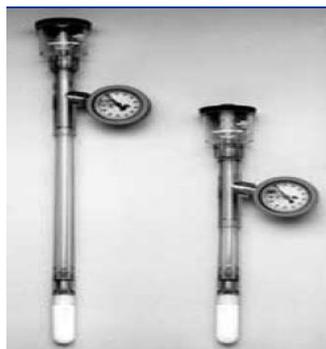
Em solos com muita pedregosidade os valores de humidade são inferiores ao real devido á presença de ar.



Tensiómetros

Consta de um bolbo de porcelana porosa ligado por um tubo de vidro ou plástico a um manómetro de mercúrio. O bolbo e o tubo estão cheios de água.

Colocado o bolbo no solo relativamente seco há passagem de água do primeiro para o segundo e o mercúrio sobe no manómetro. Esta tensão no manómetro está relacionada com o teor de água no solo.



11.9 Conservação e economia de água no solo

Sendo a água um bem essencial e indispensável a todas as actividades humanas é necessário conservá-la.

Pode optar-se por diversas práticas para conservar e /ou economizar a água:

- Utilizar racionalmente a água de rega;
- Proteger a qualidade da água da poluição com fertilizantes;
- Proteger a qualidade da água da poluição com produtos fitofarmacêuticos;
- Adoptar práticas culturais que visem aumentar a infiltração e / ou reduzir a evapotranspiração.

12 Classificação dos solos

12.1 Conceitos básicos sobre classificação de solos

Para classificação dos solos podem considerar-se dois tipos de classificação:

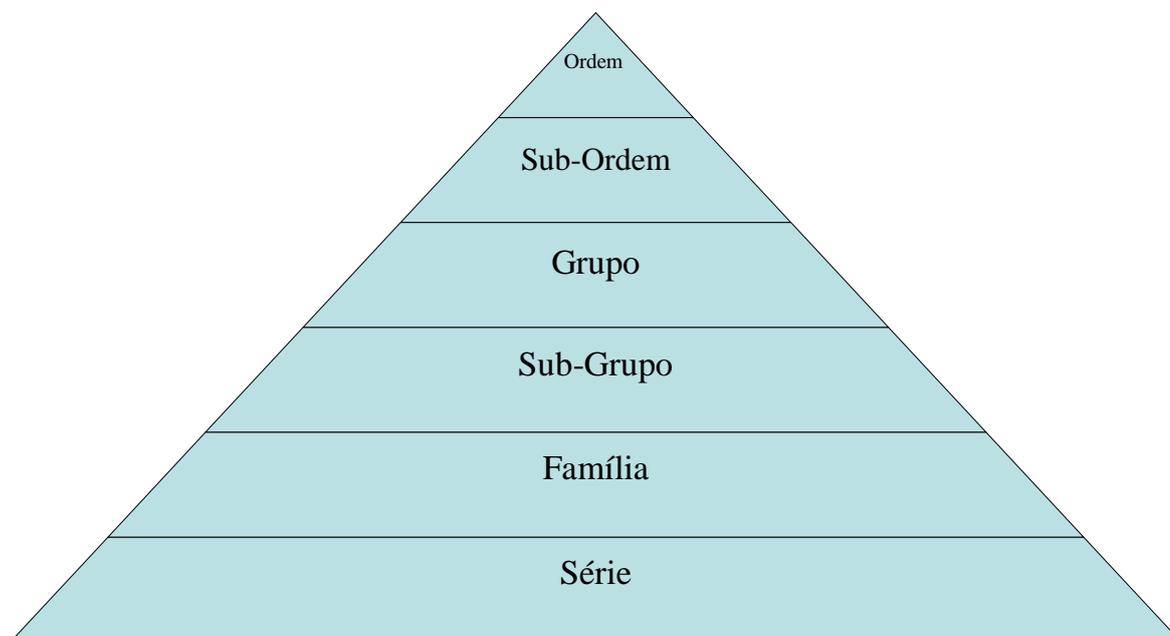
Classificação de solos que se baseia nas características dos solos, sem objectivos utilitários. São classificações científicas designadas de classificações pedológicas.

Classificação de terras tem por base as características pedológicas com vista á sua utilização, tem em conta o comportamento do solo, logo são classificações interpretativas.

12.2 Bases da classificação dos solos segundo a nomenclatura da FAO / UNESCO

A nomenclatura dos solos segundo a FAO / UNESCO classifica os solos segundo categorias taxonómicas.

As categorias taxonómicas utilizadas são:



Ordens – grandes agrupamentos do solo baseados em:

- Grau de evolução do perfil;
- Natureza físico – química da alteração dos minerais;
- Tipo de matéria orgânica e a sua distribuição;
- Presença de água (hidromorfismo) ou de sais (halomorfismo).

Sub-Ordens – divisões das ordens com base em características do solo importantes em termos genéticos:

- Clima;
- Hidromorfismo;
- Processo de formação;

Grupos – divisões das sub-ordens com base em características indicadoras de processos genéticos menos importantes ou condições climáticas significativas para a evolução:

- Intensidade de alteração;
- Diferenciação de certos horizontes;
- Teor em matéria orgânica.

Sub-Grupos – subdivisões que indicam o conceito central do grupo e as transições para outros grupos.

- Intensidade do processo de evolução;
- Processos secundários, hidromorfismo.

Família – rocha mãe igual ou agrupamento de séries com características e qualidades bastante próximas.

Série - Perfil igual (em número de horizontes e espessura, material originário igual e vegetação igual).

A classificação dos solos da FAO:

TABLE 1
Rationalized Key to the WRB Reference Soil Groups

1. Soils with thick organic layers:	Histosols
2. Soils with strong human influence	
Soils with long and intensive agricultural use:	Anthrosols
Soils containing many artefacts:	Technosols
3. Soils with limited rooting due to shallow permafrost or stoniness	
Ice-affected soils:	Cryosols
Shallow or extremely gravelly soils:	Leptosols
4. Soils influenced by water	
Alternating wet-dry conditions, rich in swelling clays:	Vertisols
Floodplains, tidal marshes:	Fluvisols
Alkaline soils:	Solonetz
Salt enrichment upon evaporation:	Solonchaks
Groundwater affected soils:	Gleysols
5. Soils set by Fe/Al chemistry	
Allophanes or Al-humus complexes:	Andosols
Cheluviation and chilluviation:	Podzols
Accumulation of Fe under hydromorphic conditions:	Plinthosols
Low-activity clay, P fixation, strongly structured:	Nitisols
Dominance of kaolinite and sesquioxides:	Ferralsols
6. Soils with stagnating water	
Abrupt textural discontinuity:	Planosols
Structural or moderate textural discontinuity:	Stagnosols
7. Accumulation of organic matter, high base status	
Typically mollic:	Chernozems
Transition to drier climate:	Kastanozems
Transition to more humid climate:	Phaeozems
8. Accumulation of less soluble salts or non-saline substances	
Gypsum:	Gypsisols
Silica:	Durisols
Calcium carbonate:	Calcisols
9. Soils with a clay-enriched subsoil	
Albeluvisol tonguing:	Albeluvisols
Low base status, high-activity clay:	Alisols
Low base status, low-activity clay:	Acrisols
High base status, high-activity clay:	Luisols
High base status, low-activity clay:	Lixisols
10. Relatively young soils or soils with little or no profile development	
With an acidic dark topsoil:	Umbrisols
Sandy soils:	Arenosols
Moderately developed soils:	Cambisols
Soils with no significant profile development:	Regosols

Fonte: World reference base for soil resources FAO 2006

12.3 Classificação dos solos em Portugal

A classificação dos solos em Portugal pode apresentar duas nomenclaturas.

A nomenclatura internacional, tendo por base a classificação FAO / UNESCO e a nomenclatura do Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário (SROA).

Pela nomenclatura internacional os solos são classificados em:

Acrissolos – solos de regiões tropicais e subtropicais, ácidos, com horizonte B enriquecidos em argila com baixo teor em bases; normalmente avermelhados;

Alissolos – solos de regiões tropicais e subtropicais húmidas, ácidos, com elevado teor de Alumínio solúvel;

Andossolos – solos de regiões vulcânicas, ricos em vidros vulcânicos, com superfície escura, com baixa densidade aparente e argila dominada por alofana e imogolite;

Antrossolos – solos modificados por acção do homem; derivados de vários tipos de rocha-mãe mas modificados por mobilizações profundas ou adição de fertilizantes;

Arenossolos - solos arenosos, de cor clara, formados a partir de material rico em quartzo, ou de areias em dunas e praias; textura grosseira, muito pobres em matéria orgânica e pouco férteis.

Em Portugal encontram-se nas faixas costeiras que vão da Figueira da Foz a Espinho e da Costa da Caparica ao Cabo Espichel, na Península de Tróia, na região de Colares e no Vale do Tejo.

Calcissolos – solos de regiões áridas e semi-áridas, com elevado teor de carbonato de cálcio;

Cambissolos – solos recentes, derivados de materiais transportados de outros locais pela água, vento ou gravidade, caracterizados por terem sofrido pouca eluviação. Ocupam praticamente toda a região do Alto Douro e Beira Alta e ainda parte da Estremadura e Alto Alentejo.

Castanozemes – solos de estepe (pradaria) com superfície castanha escura, ricos em matéria orgânica;

Chernozemes – Solos de estepe (pradaria) com superfície muito escura e alto teor de húmus.

Faeozemes – solos de estepe com superfície escura, ricos em matéria orgânica, derivados de material basáltico.

Ferralsolos – solos amarelados ou avermelhados de regiões tropicais e subtropicais húmidas, muito meteorizados e ricos em hidróxidos de alumínio e óxidos e hidróxidos de ferro. Designados por solos ferralíticos.

Fluvisolos – solos recentes de aluvião, encontram-se nos vales dos rios. Em Portugal formam as lezírias dos vales do Tejo e Mondego.

Gipsissolos – solos de regiões áridas e semi-áridas, ricos em sulfato de cálcio.

Gleissolos – solos com horizontes reduzidos (glei) devido ao alagamento.

Greizemes – solos de estepe (pradaria) com superfície escura acinzentada, ricos em quartzo e matéria orgânica, com horizonte E e horizonte B rico em argila.

Histosolos – solos orgânicos formados sob condições de alagamento prolongado.

Leptossolos – solos delgados sobre rocha, materiais altamente calcários, ou impermeáveis; solos esqueléticos, com baixo teor de matéria orgânica, vulgares das zonas montanhosas. Ocupam grande parte de Trás-os-Montes, Beira Baixa, Baixo Alentejo e Serra Algarvia.

Lixissolos – solos de regiões tropicais e subtropicais húmidas, sujeitos a intensa eluviação e acumulação de argila em horizontes profundos

Luvissolos – solos de florestas húmidas e prados, com eluviação de argila com teor de bases médio ou alto para horizontes B, mas sem um horizonte E; são normalmente férteis, com boa estrutura, embora possam necessitar de calagem nas regiões de mais elevada precipitação. Estendem-se por grande parte do Alentejo, Beira Litoral e Algarve.

Nitissolos – solos de regiões tropicais e subtropicais húmidas, vermelhos escuros, com argila de baixa capacidade de troca cationica nos horizontes B, que são muito espessos.

Planossolos – solos de florestas húmidas e prados, com contacto abrupto entre horizontes A e B. Horizonte B de baixa permeabilidade. Com alagamento periódico.

Plintossolos – solos de regiões tropicais e subtropicais húmidas, ricos em argila que endurece quando exposta ao ar.

Podzóis – solos de florestas húmidas e prados, arenosos e ácidos, com horizonte de eluviação claro e acumulação de ferro, alumínio ou húmus no horizonte B; ácidos, textura grosseira e pouco férteis, mas são facilmente mobilizáveis e podem tornar-se produtivos se fertilizados. Em Portugal existem nas regiões de Leiria , Caldas da Rainha, Ribatejo e orla costeira Alentejana.

Podzoluvissolos – solos de florestas húmidas e prados, com horizonte de eluviação penetrando no horizonte B em formas de “línguas”. Horizonte B com acumulação de argilas.

Regossolos – solos pouco desenvolvidos, de material fino não consolidado.

Solonchaques – solos de regiões áridas e semi-áridas, com acumulação de sais solúveis; Situam-se na ria Formosa e nos estuários do Tejo, Guadiana, Sado, Mondego e Vouga.

Solonetz – solos de regiões áridas e semi-áridas, com muito Sódio no horizonte B.

Vertissolos – solos escuros, ricos em esmectites), com tendência para abrir fendas nas épocas secas. Expandem quando molhados e abrem fendas quando secos.

São escuros, mas não muito ricos em matéria orgânica.

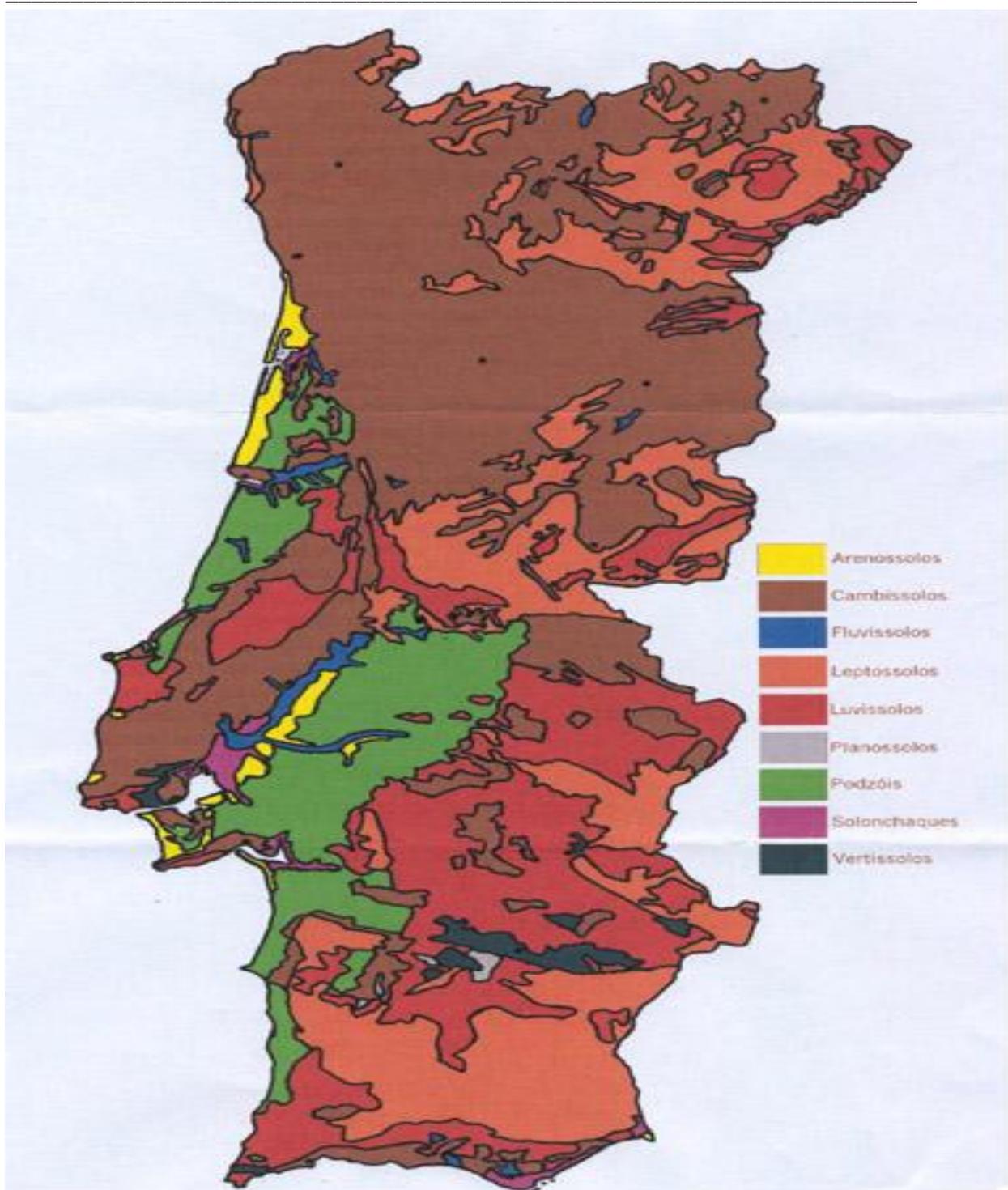
Formam-se de rochas ricas em cálcio e magnésio.

São solos difíceis de cultivar, porque são adesivos e plásticos quando húmidos e muito duros quando secos.

São susceptíveis de degradação física e erosão tendo de ser geridos com práticas que conduzam á conservação do solo.

Na classificação Portuguesa são designados por Barros.

Em Portugal existem nos Açores, nas regiões de Lisboa e Beja.



Mapa de solos de Portugal
Classificação FAO

PÁGINA 61

12.4 Conceito de terra e bases da metodologia usada na avaliação da sua aptidão

Os solos podem também classificar-se tendo por base a aptidão do solo para uso agrícola. Surgem então as cartas de **capacidade de uso do solo**.

Esta classificação considera cinco classes de solo para utilização da terra representadas pelas letras A, B, C, D e E.

Classe A

São caracterizados por apresentarem limitações mínimas, são solos espessos, planos, sem erosão, ricos em nutrientes. Podem utilizar-se para agricultura intensiva.

Classe B

São caracterizados por apresentarem limitações moderadas. Podem ser utilizados para agricultura moderadamente intensiva.

Classe C

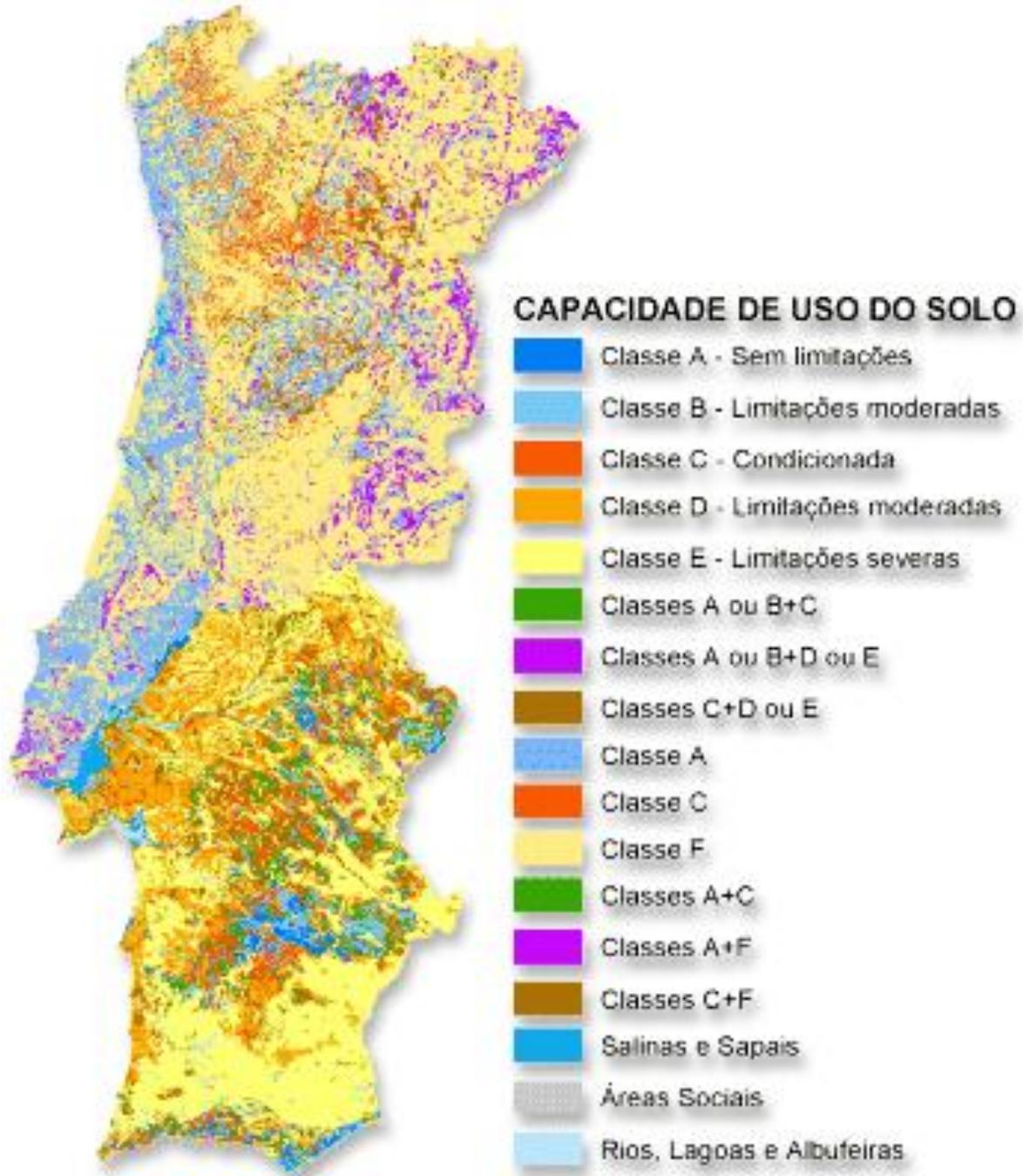
Apresentam limitações severas. Só podem ser utilizados em agricultura pouco intensiva.

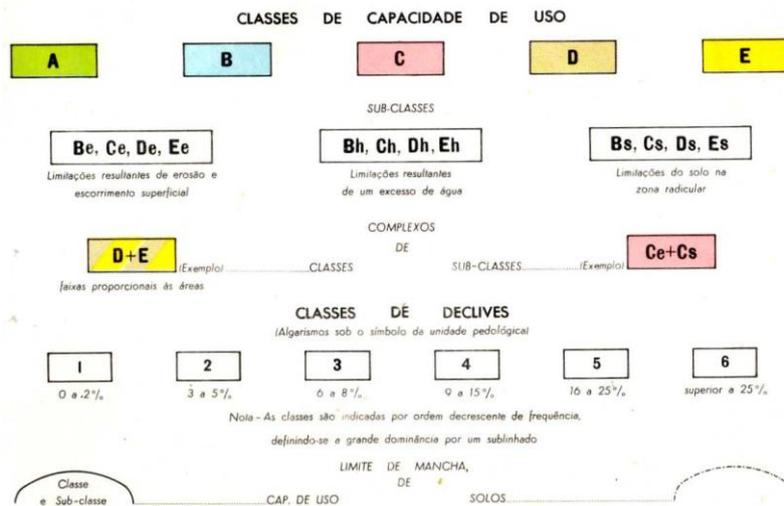
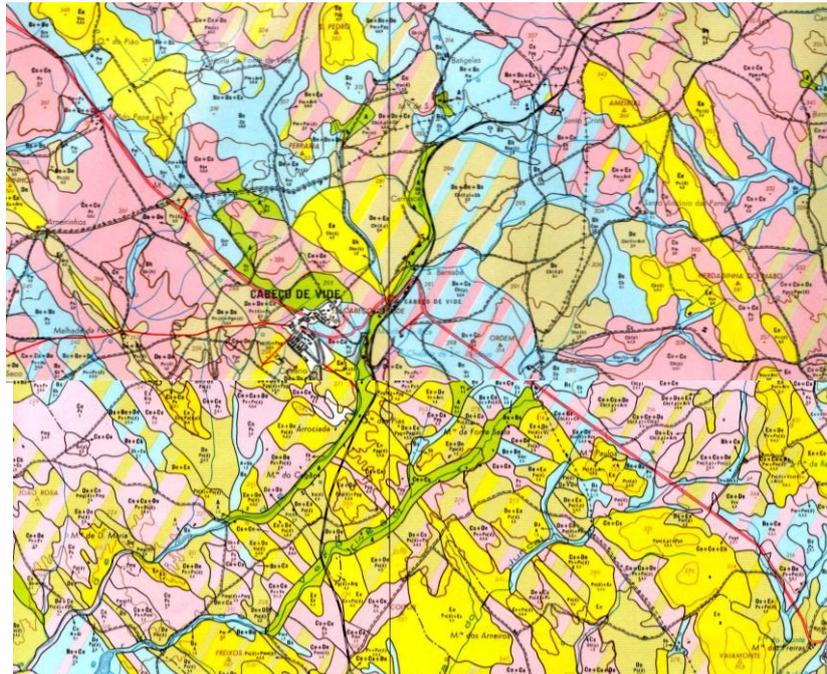
Classe D

Apresentam limitações severas ou mesmo muito severas. Para pastagens apresentam limitações moderadas. Devem ver utilizados para exploração florestal.

Classe E

Apresentam limitações severas ou muito severas para pastagens e florestas. Devem utilizar-se com vegetação natural.





13 Degradação e conservação dos solos

A utilização sustentável do solo tem em consideração que este é degradável e por vezes de forma irreversível.

A degradação do solo implica redução da capacidade produtiva por alteração das suas propriedades por meios físicos, químicos ou biológicos.

A degradação do solo pode ter origem antrópica ou origem natural.

As principais causas de degradação do solo são:

- Erosão;
- Acidificação;
- Compactação;
- Contaminação e Poluição;
- Salinização.

13.1 Erosão do solo

São diversos os factores intervenientes na erosão. A maior ou menor intensidade de erosão está relacionada com:

- Clima;
- Tipo de solo;
- Vegetação;
- Relevo

Tipos de erosão

A erosão pode ser classificada de diferentes pontos de vista.

Erosão Geológica ou Natural é um processo natural e extremamente lento. A água e o vento removem e transportam as partículas do material meteorizado, depositando-as em locais mais ou menos distantes. Este processo ocorre á mesa taxa que a formação do solo.

Erosão Antrópica ou Acelerada é um processo de remoção e distribuição de partículas intensificado pela acção do homem. A sua intensidade é muito superior à intensidade de formação do solo.

Erosão Eólica é a erosão causada pelo vento, afecta pequenas áreas e não é em geral motivo preocupante para defesa dos terrenos agrícolas.

Erosão Hídrica é causada por agentes hídricos como por exemplo a precipitação, cursos de água, regas. Ocorre sobre variadas condições e em Portugal continental é o tipo de erosão que merece maior atenção.

Estratégias de controlo da erosão

A erosão implica sempre perda de solo.

Esta perda de solo pode ser quantificada através da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS).

$$A = RKLSCP$$

A – quantidade de perda de solo numa unidade de área

R – factor erosividade da precipitação

K – factor erodibilidade do solo;

LS – factores característicos da encosta;

C – coberto vegetal;

P – práticas anti – erosivas.

Para controlar a erosão hídrica deve evitar-se a desagregação e a dispersão das partículas, e contrariar os transportes significativos. Consegue-se através de:

Diminuição da intensidade dos agentes erosivos – diminuição da energia das gotas antes de elas embaterem no solo;

Melhoria das propriedades do solo de modo a torná-lo mais resistente às forças de erosão, aumentando a capacidade de resistência. Esta melhoria é feita através de práticas culturais conservativas.

13.2 Acidificação

Processo natural, lento e gradual, que ocorre em todos os solos, sendo mais acelerado em solos cultivados devido á remoção de certos iões básicos.

(rever capítulo reacção do solo).

13.3 Compactação

A compactação resulta na degradação da estrutura do solo.

Pode ser provocada pela circulação de máquinas agrícolas/florestais em solos com excesso de humidade, e também pela pulverização excessiva devida a operações de mobilização.

O pastoreio excessivo pode também provocar a compactação dos solos.

As principais consequências nos solos são:

- limita o crescimento radicular;
- reduz a infiltração da água no solo;
- aumenta a escorrência superficial;
- dificulta o arejamento do solo.

13.4 Contaminação e poluição

Pode ter origem em diversos eventos naturais ou acção directa do homem:

- aplicação continuada de efluentes líquidos industriais ou pecuários intensivas;
- estrumes;
- lamas de depuração;
- produtos fitofarmacêuticos.

Os principais problemas são causados pela acumulação de metais pesados no solo.

Esta acumulação provoca problemas de toxicidade para as plantas.

13.5 Salinização

A salinização deve-se á acumulação de sais na solução do solo.

A salinização pode resultar de um:

Processo natural – em regiões áridas e semi-áridas, em que a precipitação não é suficiente para lavar os sais.

Actividade humana – zonas de regadio com água de má qualidade ou solos com má drenagem interna e/ou lençóis freáticos próximos da superfície. Pode também ter origem nas fertilizações.

A quantidade de sais presentes no solo é avaliada através da Condutividade Eléctrica (dS/m).

Os solos com excessos de sais solúveis classificam-se:

Solos salinos – com elevada quantidade de sais solúveis, mas baixo teor em sódio de troca;

Solos alcalizados ou sódicos – solos com baixo teor em cálcio solúvel e elevado teor em sódio de troca;

Solos sódico – salinos – características intermédias dos anteriores.

As consequências da salinidade fazem sentir-se quer no solo, quer nas plantas.

No solo:

- Diminuição da água facilmente disponível devido ao aumento do potencial osmótico;
- Proporção relativa de Na^+ em relação ao Ca^{2+} e ao Mg^{2+} que deteriora a estrutura e torna-o menos permeável ao ar e á água.

Na planta:

- Redução do crescimento (défice hídrico, toxicidade);
- Perturbações fisiológicas;
- Susceptibilidade a pragas e doenças.

13.6 Práticas culturais conservativas

Tendo em vista a conservação do solo devem adoptar-se práticas que evitem / controlem a erosão, mas também práticas que permitam manter e /ou melhorar as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo.

Estas práticas têm por base:

- Medidas agronómicas;
- Manipulação do solo;
- Métodos mecânicos ou físicos.

São exemplos de medidas agronómicas a incorporação de matéria orgânica; rotações culturais; instalação de coberto vegetal; calagens; instalação de sistemas de drenagem, instalação de culturas segundo curvas de nível.

Manipulação do solo – deve mobilizar-se o menos possível, sempre que possível combinar operações e efectuar as operações a teores de humidade adequados.

Métodos mecânicos ou físicos – utilização de trabalhos de engenharia que permitem modificar o declive, modificar o comprimento (socalcos), construção de canais de desvio de águas.

Não menos importante para a conservação dos solos é respeitar a vocação dos solos, ou seja dar a cada tipo de solo a utilização mais conveniente.

14 Bibliografia

- Agro Consultores e Coba. 1991. *Cartas dos solos, do uso actual da terra e da aptidão da terra do Nordeste de Portugal*.
- Botelho da Costa, J. 1999. *Caracterização e Constituição do Solo*. Fundação Calouste Gulbenkian, 6ª Ed., 527 pp.
- Cerqueira, J. 2001. *Solos e Clima em Portugal*. 2ª Ed., Coleção Nova Agricultura Moderna, Clássica Editora, 164pp.
- Porta, J.; Lopez – Acevedo, M; Roquero, C. 1999. *Edafologia. Para la Agricultura y el Medio Ambiente*. 2ª Ed.; Ediciones Mundi – Prensa.
- Soltner, D. 1978. *Les Bases de la Production Vegetal*. Tome I – Le Sol Collection Sciences et Techniques Agricoles, 7ª. Ed., Angers
- Sumner, M. 1999. *Handbook of Soil Science*. CRC Press, USA, ISBN O – 8493 – 3136 – 6
- Varenes, A. 2003. *Produtividade dos Solos e Ambiente*. Escolar Editora.

www.fao.org/ag/agl/agll/wrb/doc/wrb2006final.pdf - consultado em 14/02/2011