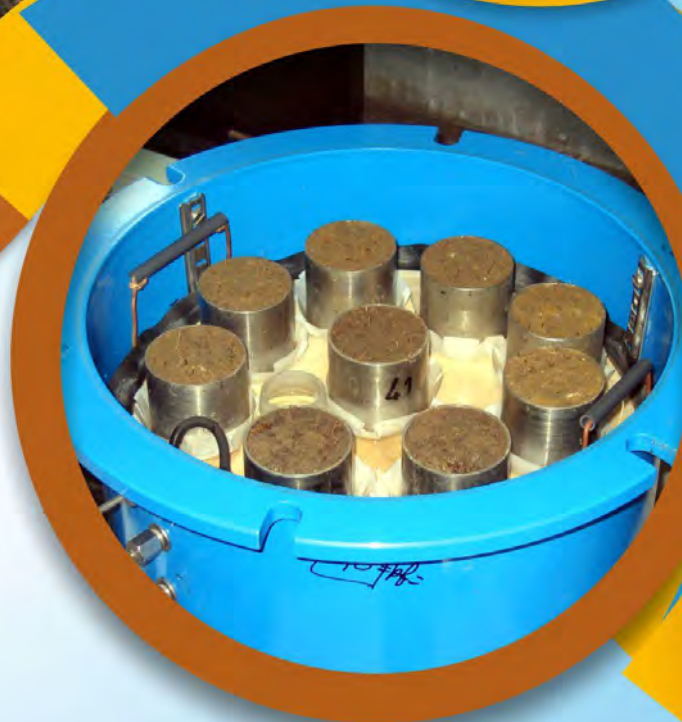




**CARACTERÍSTICAS DE  
RETENÇÃO DE  
ÁGUA NO SOLO  
PARA UTILIZAÇÃO NA  
REGA DAS CULTURAS**



**2016**

## FICHA TÉCNICA:

Título: Características de retenção de água no solo para utilização na rega das culturas

Editor: Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, I.P.

Autores: Vários Autores

Composição gráfica: Tiago Brito Ramos e Ana Paula Alves

Impressão: Otimizada para formato A5

**ISBN: 978-972-579-043-4**

Oeiras, novembro de 2016

# **CARACTERÍSTICAS DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO PARA UTILIZAÇÃO NA REGA DAS CULTURAS**

## **AUTORES:**

### **TIAGO BRITO RAMOS**

Universidade de Lisboa, Instituto Superior Técnico, MARETEC

Avenida Rovisco Pais, nº 1, 1049-001 Lisboa, Portugal

### **MARIA DA CONCEIÇÃO GONÇALVES**

Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária

Avenida da República, Quinta do Marquês, 2780-157 Oeiras, Portugal

### **JOSÉ CASIMIRO MARTINS**

Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária

Avenida da República, Quinta do Marquês, 2780-157 Oeiras, Portugal

### **LUIS SANTOS PEREIRA**

Universidade de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia, LEAF

Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, Portugal

**INIAV, I.P.  
2016**

# ÍNDICE

<b>1. Introdução.....</b>	<b>1</b>
<b>2. A Água do Solo.....</b>	<b>3</b>
<b>3. Metodologias para avaliação da capacidade de retenção de água no solo .....</b>	<b>11</b>
3.1. Métodos diretos .....	11
3.2. Métodos indiretos.....	14
<b>4. Água Disponível no Solo .....</b>	<b>15</b>
4.1. Valores de referência das constantes de humidade do solo .....	15
4.1.1. Para cada agrupamento textural .....	15
4.1.2. Para cada classe de textura do solo .....	20
4.1.3. Exemplo de cálculo .....	26
4.2. Equações de regressão para estimativa indireta das constantes de humidade do solo .....	27
4.2.1. Capacidade de campo ( $\theta_{FC}$ ).....	27
4.2.2. Coeficiente de emurchecimento permanente ( $\theta_{WP}$ ) .....	27
4.2.3. Exemplo de cálculo .....	28
<b>5. Água do Solo Facilmente Disponível.....</b>	<b>31</b>
5.1. Conceitos de base .....	31
5.2. Exemplo de cálculo.....	33
<b>6. O Balanço de Água do Solo.....</b>	<b>35</b>
6.1. Conceitos de base .....	35
6.2. Dotações de rega em função do método de rega e da cultura a regar .....	36
6.3. Exemplos de cálculo .....	41
6.3.1. Caso da rega sem stress hídrico (para produção máxima) .....	42
6.3.2. Caso da rega com prevenção de qualquer tipo de stress.....	47
6.3.3. Caso da rega deficitária .....	50
<b>7. Considerações Finais .....</b>	<b>53</b>
<b>Glossário Técnico .....</b>	<b>55</b>
<b>Referências.....</b>	<b>67</b>
<b>Lista de Símbolos.....</b>	<b>69</b>

# 1. Introdução

O solo é um recurso natural limitado, facilmente degradável e perecível. O uso impróprio e a gestão inadequada deste recurso são as principais causas da sua degradação (física, química e biológica), pelo que importa conhecer as suas características e eventuais limitações, de forma a garantir a sustentabilidade do seu uso.

Os processos de degradação do solo constituem hoje um grave problema a nível mundial, com consequências ambientais, sociais e económicas significativas, sendo muitas vezes desencadeados por práticas agrícolas desadequadas, incluindo a rega, que devem ser corrigidas.

A rega é essencial para aumentar a capacidade produtiva dos solos e suprir as necessidades de alimentação a nível mundial, regional ou local. No entanto, quando conduzida sem ter em atenção nomeadamente as características de retenção da água no solo, torna-se numa prática agrícola potenciadora da degradação dos solos ao promover mecanismos de erosão e ao favorecer processos de salinização, no caso dos solos com problemas de drenagem. Uma má condução da rega pode igualmente promover a degradação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas devido à lixiviação e transporte de fertilizantes e fitofármacos aplicados nas parcelas agrícolas.

Uma eficiente gestão da rega requer o conhecimento das características de retenção da água no solo, nomeadamente dos teores de água correspondentes à **capacidade de campo** e ao **coeficiente de emurchecimento permanente** e, conseqüentemente, da **água disponível** para as plantas. No entanto, os regantes em Portugal são muitas vezes confrontados com informação pouco adequada sobre as características dos solos que, porém, é divulgada em alguma da literatura técnica da especialidade, mas não adaptada aos solos de Portugal.

Este manual visa divulgar o conhecimento existente sobre as características de retenção de água dos solos de Portugal, pretendendo assim contribuir para a melhoria da prática da rega e para a proteção dos ecossistemas, incluindo o recurso solo.

Neste manual são revistos alguns conceitos básicos sobre a dinâmica da água do solo. De seguida, introduzem-se **valores de referência** para os teores de água correspondentes à capacidade de campo e ao coeficiente de emurchecimento permanente. Estes parâmetros assumem aproximadamente os mesmos valores para cada tipo de solo, pelo que são geralmente designados por **constantes de humidade do solo**. Os valores das constantes de humidade do solo são apresentados para cada um dos grandes agrupamentos texturais e para cada classe de textura do solo. Para o caso da capacidade de campo, são ainda apresentados valores tendo em conta o efeito da massa volúmica aparente na retenção de água no solo. Posteriormente são descritas equações de pedotransferência que permitem estimar indiretamente aquelas constantes de humidade a partir das propriedades básicas do solo, como sejam, a textura, a massa volúmica aparente e o teor de carbono orgânico do solo. São igualmente demonstrados os processos de cálculo necessários para obtenção da água disponível e da água facilmente disponível a partir daquela informação. Finalmente, exemplifica-se o processo de cálculo do balanço de água no solo em três situações distintas: (i) rega sem stress hídrico; (ii) rega com prevenção de qualquer tipo de stress; (iii) e rega deficitária.

Toda a informação apresentada neste manual foi produzida no ex-Departamento de Ciência do Solo da Estação Agronómica Nacional, em Oeiras, actualmente integrado no Laboratório de Solos (Oeiras) do Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, ao longo dos últimos 40 anos. Os quadros e as equações aqui apresentadas têm por base os valores médios das determinações diretas realizadas em amostras não perturbadas, colhidas em **697 horizontes/camadas** de diferentes solos. Toda esta informação serviu de base ao estudo das propriedades hidráulicas dos solos em Portugal, encontrando-se publicada em revistas científicas internacionais e nacionais e devidamente validada por diferentes especialistas na área da física do solo.

## 2. A Água do Solo

O solo é o material não consolidado, mineral ou orgânico, existente à superfície da terra e que serve de meio natural ao desenvolvimento das plantas. A sua fase sólida é constituída pelas partículas minerais e orgânicas do solo, cujo arranjo, organização e orientação formam um meio poroso que permite a retenção e a transferência de água (fase líquida) e gases (fase gasosa) no solo.

A humidade do solo ou teor de água do solo ( $\theta_{solo}$ ) é um dos factores determinantes da produtividade das culturas. A sua manutenção dentro de determinados valores permite a maximização da evapotranspiração real das culturas, aproximando-a dos seus valores potenciais, consequentemente evitando quebras de produção ao longo dos ciclos de crescimento das culturas e favorecendo um uso eficiente da água pelas plantas, com redução de desperdícios de água.

Em Portugal, a rega desempenha um papel fundamental para a viabilidade das culturas, particularmente quando os ciclos vegetativos decorrem durante os meses mais secos, de Primavera e de Verão, fornecendo às plantas as quantidades de água necessárias. Uma gestão adequada da rega tem assim como objectivos principais responder às seguintes questões:

- **Quando regar?**
- **Quanto regar?**
- **Como regar?**

É, portanto, necessário conhecer as necessidades hídricas ao longo do ciclo de crescimento das culturas, as características de retenção de água dos solos e os métodos de rega a utilizar para avaliação das dotações de rega a aplicar. Uma vez definidas as dotações, deve proceder-se à monitorização do balanço da água do solo, ou seja, à avaliação dos fluxos de água que abastecem e esgotam a zona radicular do solo, de modo a definir e otimizar o calendário de rega.

De entre os fluxos de entrada, ou seja, os fluxos que abastecem a zona das raízes, destacam-se a rega, a chuva e a ascensão capilar, esta apenas no caso de existência de toalhas freáticas pouco profundas. De entre os fluxos de saída da zona radicular são

dominantes a transpiração das plantas, a evaporação do solo, o escoamento superficial e a percolação em profundidade (Figura 1).

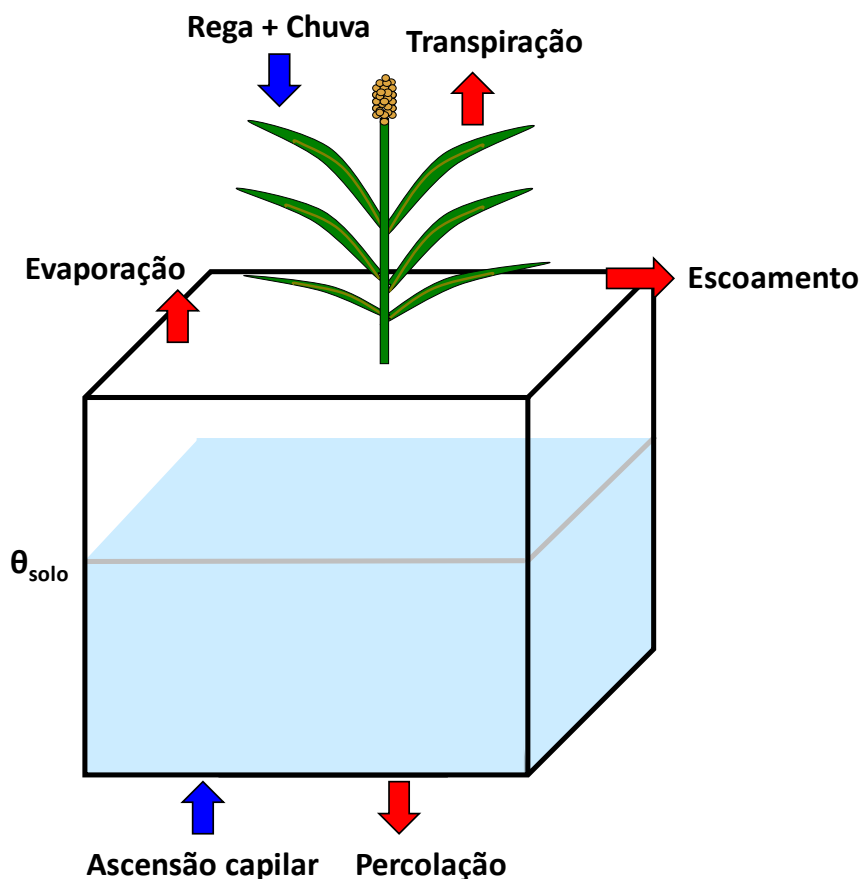


Fig. 1. Componentes do balanço de água do solo.

Para que a rega seja eficiente, a humidade do solo deve ser mantida no intervalo entre os teores de água correspondentes à capacidade de campo e ao coeficiente de emurchecimento permanente.

A **capacidade de campo** ( $\theta_{FC}$ ) corresponde ao teor de água na zona das raízes a partir do qual a drenagem se torna quase nula. A manutenção do teor de água do solo acima deste limite resulta inevitavelmente na percolação da água em profundidade.

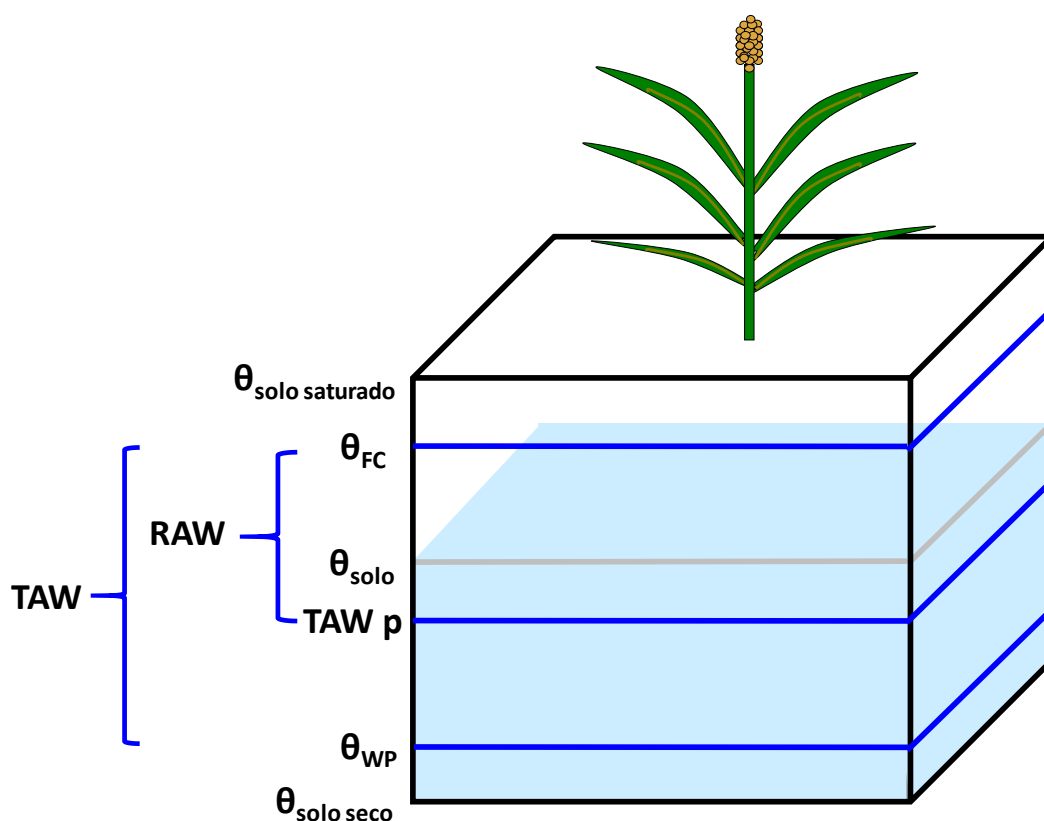
O **coeficiente de emurchecimento permanente** ( $\theta_{WP}$ ) corresponde ao teor de água do solo abaixo do qual as forças de absorção e adsorção do solo (forças de atracção do solo para a água) ultrapassam as forças que as plantas cultivadas conseguem desenvolver para extrair do solo a água necessária ao seu crescimento.



A água do solo apenas está disponível para as plantas dentro dos limites definidos pelos teores de água à capacidade de campo e ao coeficiente de emurchecimento permanente. Para uma espessura da zona radicular ( $Z_r$ ), a **água disponível total (TAW)** é obtida da seguinte forma:

$$TAW \text{ (mm)} = 1000 [\theta_{FC} \text{ (cm}^3\text{/cm}^3) - \theta_{WP} \text{ (cm}^3\text{/cm}^3)] Z_r \text{ (m)}$$

No entanto, para que a evapotranspiração da cultura atinja também os seus valores potenciais e a produção final seja maximizada, a humidade do solo tem de ser mantida dentro de limites próximos da capacidade de campo, onde a energia que as plantas gastam para extrair a água do solo é mínima (Figura 2).



**Fig. 2.** Água disponível (TAW) e água facilmente disponível (RAW).

A **água facilmente disponível (RAW)** é, portanto, a água do solo que pode ser rapidamente absorvida pelas raízes das plantas. Esta fração varia consoante o tipo de

cultura e é definida pela fração de esgotamento da água do solo em conforto hídrico ( $p$ ), da seguinte forma:

$$RAW(\text{mm}) = TAW(\text{mm}) p$$

A rega pode ser conduzida para uma fração superior ou inferior a  $p$  conforme os objectivos da gestão da rega. Essa fração pode ser inferior a  $p$  quando se pretende diminuir o risco de ocorrência de stress ou das incertezas ligadas à gestão da rega. Ao contrário, essa fração pode ser superior a  $p$  quando se assume intencionalmente a gestão da rega com stress em determinados períodos, ou quando os recursos hídricos disponíveis são insuficientes para que a rega se pratique em conforto hídrico.

Os valores da capacidade de campo, do coeficiente de emurchecimento permanente, da água disponível total e da água facilmente disponível variam fundamentalmente em função da granulometria (textura), da estrutura, do teor de matéria orgânica do solo e do tipo de argila.

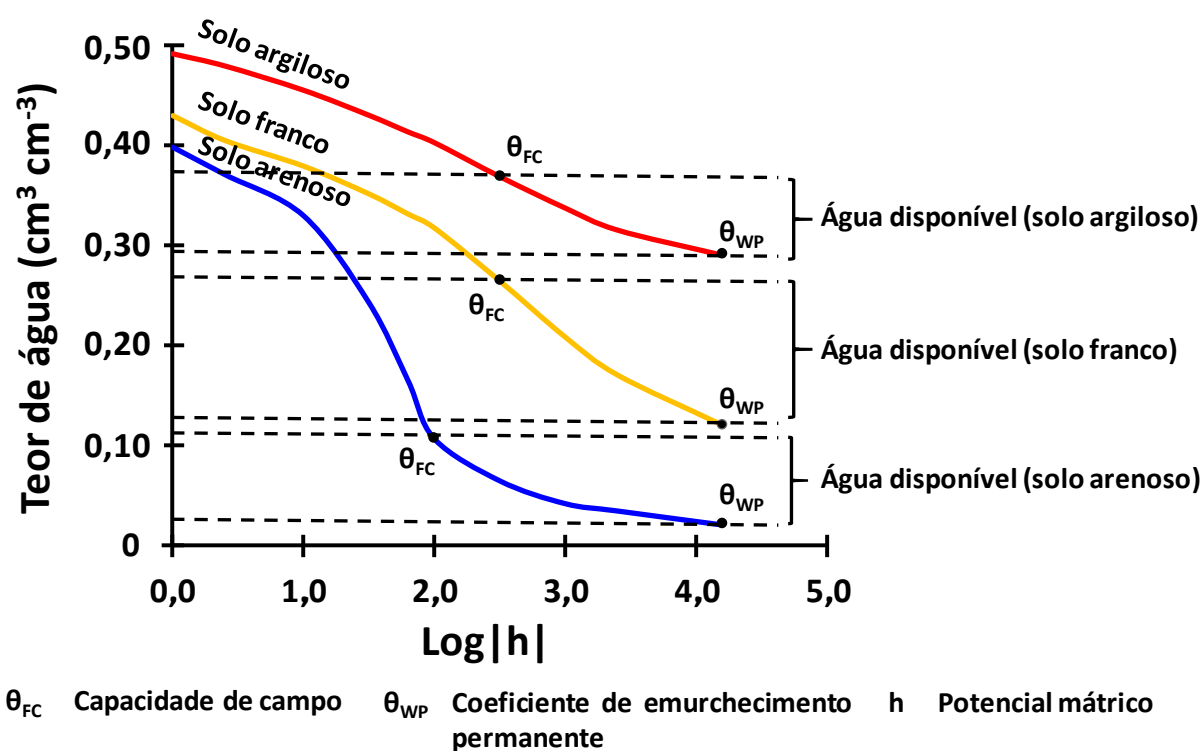
A **textura** ou composição granulométrica do solo refere-se à proporção relativa dos lotes constituídos por partículas minerais de dimensões compreendidas entre certos limites. Os lotes granulométricos geralmente utilizados em Portugal são a areia grossa, a areia fina, o limo e a argila. Estas frações são definidas de acordo com a escala de Atterberg, em que os limites para o diâmetro das partículas de solo são os referidos no Quadro 1.

**Quadro 1.** Limites dos lotes granulométricos utilizados em Portugal.

<b>Lotes</b>	<b>Limites (mm)</b>
Areia Grossa (AG)	2-0,2
Areia Fina (AF)	0,2-0,02
Limo (Lm)	0,02-0,002
Argila (Arg)	<0,002

A Figura 3 exemplifica diferenças entre as **curvas de retenção de água** de solos de textura arenosa (grosseira), franca (mediana) e argilosa (pesada ou fina). Estas curvas relacionam a humidade do solo e o respectivo **potencial mátrico**, isto é, a pressão ( $h$ )

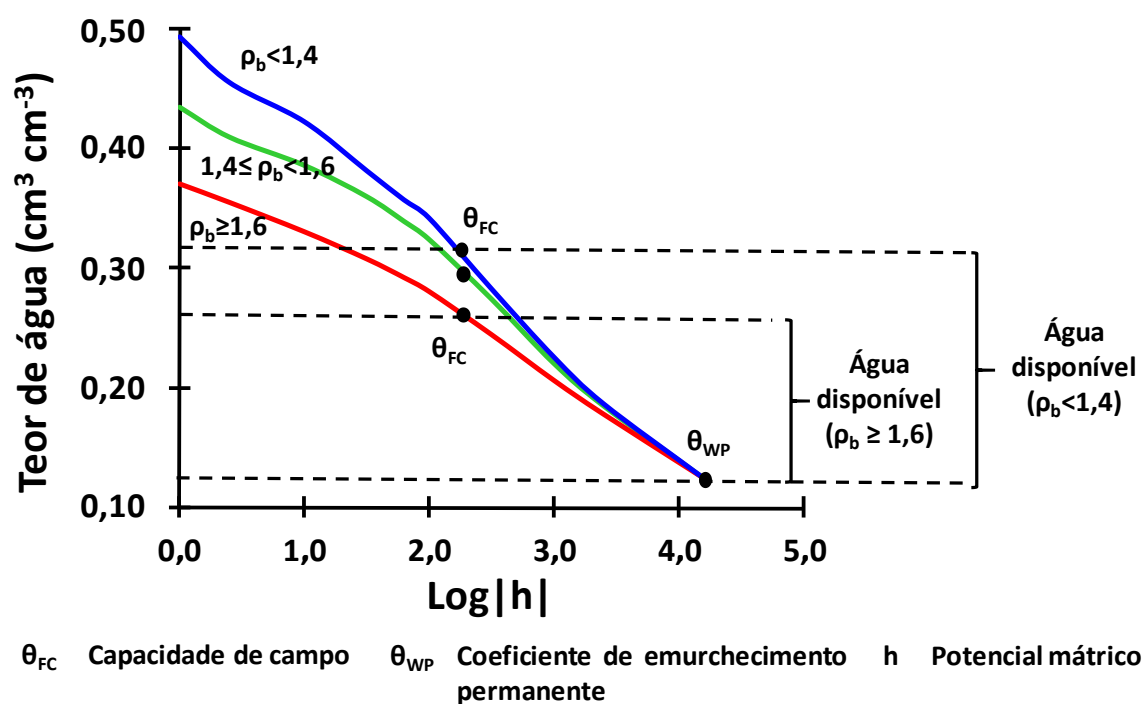
com que a água é retida no solo. As curvas de retenção de água no solo incluem naturalmente os teores de água correspondentes à capacidade de campo e ao coeficiente de emurchecimento permanente.



**Fig. 3.** Diferenças entre curvas de retenção de água em solos de textura arenosa, franca e argilosa.

Os solos de textura grosseira apresentam uma menor capacidade de retenção de água no solo, ou seja, menores valores para a capacidade de campo e para o coeficiente de emurchecimento permanente e, conseqüentemente, para a água disponível. Por outro lado, os solos de textura pesada apresentam uma maior capacidade de retenção de água, embora apenas parte esteja disponível para as plantas, uma vez que uma fração substancial dessa água fica retida no solo a pressões demasiado elevadas para que as plantas consigam utilizar. Os solos de textura mediana apresentam, geralmente, a maior diferença entre a capacidade de campo e o coeficiente de emurchecimento permanente, ou seja, uma maior quantidade de água disponível (Figura 3).

A **estrutura** do solo é definida pelo tamanho, forma e arranjo das partículas do solo (areia, limo, argila) e dos respectivos vazios. A massa volúmica aparente, que representa a massa de solo por unidade de volume de solo, é um indicador da estrutura do solo. Quanto maior for a massa volúmica aparente de um solo, menor será o volume de espaços vazios (porosidade do solo) e menor será a sua capacidade de retenção de água (Figura 4).



**Fig. 4.** Efeito da massa volúmica aparente ( $\rho_b$ ) na curva de retenção de água de um solo de textura franca.

A compactação do solo conduz à redução ou até à eliminação dos poros de maior dimensão (macroporos), promovendo a diminuição da porosidade de drenagem, mas também da capacidade de retenção de água.

Os valores da capacidade de campo podem, portanto, ser afectados pela compactação do solo, diminuindo conseqüentemente com o aumento da massa volúmica aparente. Por outro lado, os valores do coeficiente de emurchecimento permanente não são afectados pela compactação do solo.

O aumento do teor de **matéria orgânica do solo** também proporciona um aumento da capacidade de retenção de água no solo e conseqüentemente da água disponível para as plantas, melhora o arejamento e a estrutura do solo, promove a redução da massa volúmica aparente do solo, protege o solo contra a erosão através da ligação às partículas do solo, para além de favorecer a disponibilidade de nutrientes, a biodiversidade, a actividade e diversidade microbiana e ainda o aumento da capacidade de troca catiónica.

Por último, é de referir que a água disponível para as plantas pode ser reduzida pela concentração de sais no solo quando se aplicam águas de rega de má qualidade. Nestas condições, verifica-se um aumento do potencial osmótico do solo, isto é, há um acréscimo da pressão com que a água fica retida no solo, o que vai dificultar a extracção de água do solo pelas raízes das plantas, ou até por vezes torná-la impossível, mesmo para teores de água acima do coeficiente de emurchecimento permanente (ver Pereira et al., 2014). Esta situação deve ser especialmente considerada nas áreas regadas nomeadamente do Sul do País e com problemas de drenagem, nas quais se utilizam águas de rega de deficiente qualidade, pois o uso continuado de tais águas de rega pode conduzir à **salinização** do solo.



## 3. Metodologias para avaliação da capacidade de retenção de água no solo

### 3.1. Métodos diretos

O teor de água correspondente à **capacidade de campo** pode ser determinado no campo ou no laboratório. No campo, o solo é humedecido até à saturação, sendo a superfície depois coberta com um revestimento impermeável de modo a evitar perdas por evaporação. Posteriormente, são colhidas amostras para se determinar o teor de água do solo e, assim, determinar o momento em que a drenagem termina e a capacidade de campo é atingida.

No laboratório, as determinações devem ser realizadas em amostras não perturbadas, ou seja, amostras que conservem o mais possível as suas características naturais, nomeadamente a estrutura do solo (Figura 5). O método a utilizar para determinação do teor de água correspondente à capacidade de campo dependerá do tipo de solo. Em solos de **textura grosseira**, o método mais apropriado é o das caixas de areia ou de sucção (Figura 6a). Após saturação, as amostras são colocadas em caixas de areia e sujeitas a uma pressão entre os -60 e -100 cm (-0.6 e -10 kPa), até que seja atingido o equilíbrio entre a força exercida e o teor de água na amostra.

No caso dos solos de **textura média e fina**, o método mais recomendado é o das painelas de pressão (Figura 6b). As amostras são também saturadas, colocadas dentro de uma painela de pressão e sujeitas a uma pressão equivalente de -100 e -330 cm (-10 e -33 kPa), até que o equilíbrio seja também atingido entre o teor de água na amostra e a pressão exercida.

O teor de água correspondente ao **coeficiente de emurchecimento permanente** é em regra apenas determinado em laboratório. As amostras são colocadas dentro de painelas de pressão e sujeitas a uma pressão equivalente de -15000 cm (-1500 kPa), aproximadamente. É também necessário que seja estabelecido o equilíbrio entre o teor de água na amostra e a pressão exercida.



**Fig. 5.** Colheita de amostras não perturbadas. Os cilindros metálicos ou de pvc são enterrados lentamente de modo a perturbar o mínimo possível a estrutura do solo. No caso dos cilindros maiores, é, geralmente necessário retirar o solo envolvente para que seja possível enterrar o cilindro com a menor compactação. **(a)** Exemplo de cilindros usados na colheita de amostras não perturbadas; **(b)** cilindros enterrados num horizonte/camada de solo; **(c)** processo de colheita das amostras de maior dimensão; e **(d)** amostra não perturbada.





**Fig. 6.** Métodos laboratoriais usados na determinação dos teores de água correspondentes à capacidade de campo e ao coeficiente de emurchecimento permanente. **(a)** caixas de areia com amostras de solo não perturbadas; **(b)** painéis de pressão; **(c)** amostras de solo não perturbadas sobre a placa de cerâmica usada para extrair a água das painéis de pressão; **(d)** e amostras de solo não perturbadas sobre a placa de cerâmica dentro de uma painél de pressão.

### 3.2. Métodos indiretos

Os métodos diretos, de campo e de laboratório, usados para determinar os teores de água correspondentes à capacidade de campo e ao coeficiente de emurchecimento permanente são bastante exigentes em termos de equipamento e de tempo a dispender. Por exemplo, a determinação, no campo, do teor de água correspondente à capacidade de campo envolve o transporte de um volume bastante significativo de água para os locais de estudo e a colheita de um vasto número de amostras para se conseguir determinar o momento em que a drenagem do solo termina e a capacidade de campo é atingida. Por outro lado, a determinação laboratorial do teor de água correspondente ao coeficiente de emurchecimento permanente pode demorar até alguns meses, quando realizada em amostras não perturbadas.

Dada a complexidade que envolve a determinação direta das constantes de humidade do solo, obtiveram-se **funções de pedotransferência** como as apresentadas neste manual, que estabelecem relações entre a capacidade de retenção de água do solo e as suas propriedades mais básicas e fáceis de determinar, nomeadamente as frações granulométricas (textura), a massa volúmica aparente e o teor de matéria orgânica do solo.

Estas funções podem assumir diversas formas, incluindo simples tabelas relacionais, equações de regressão múltipla ou algoritmos matemáticos mais ou menos complexos. Porém, a qualidade das estimativas fornecidas depende sobretudo da qualidade e representatividade dos dados que servem de base ao desenvolvimento das funções de pedotransferência e não tanto dos métodos usados. A escolha da função de pedotransferência a utilizar dependerá da informação básica disponível. Contudo, quanto maior for a informação disponível, melhor será a qualidade da estimativa fornecida.

## 4. Água Disponível no Solo

Nesta secção, são fornecidas diferentes funções de pedotransferência (tabelas relacionais) para se estimarem os teores de água correspondentes à capacidade de campo e ao coeficiente de emurchecimento permanente, a partir de:

- Grandes agrupamentos texturais;
- Grandes agrupamentos texturais + massa volúmica aparente;
- Classes de textura;
- Classes de textura + massa volúmica aparente

São também apresentadas funções de pedotransferência (equações de regressão múltipla) para se estimarem as constantes de humidade do solo, a partir de:

- Frações granulométricas do solo;
- Massa volúmica aparente;
- Teor de carbono orgânico do solo;
- Profundidade média do horizonte.

São ainda demonstrados os processos de cálculo para estimar a água disponível no solo para as plantas a partir daquela informação.

### 4.1. Valores de referência das constantes de humidade do solo

#### 4.1.1. Para cada agrupamento textural

Os agrupamentos texturais agregam as classes texturais que apresentam proporções relativas de argila, limo e areia mais próximas. As designações consideradas para os agrupamentos texturais, bem como os respectivos símbolos, são indicados no Quadro 2.

Quadro 2. Agrupamentos texturais

Agrupamentos texturais	Símbolo
Textura Grosseira	<i>G</i>
Textura Mediana	<i>M</i>
Textura Pesada	<i>P</i>
Textura Medianamente Pesada	<i>MdP</i>
Textura Muito Pesada	<i>MP</i>

Em Portugal, os agrupamentos texturais são representados, no diagrama textural, de acordo com a Figura 7.

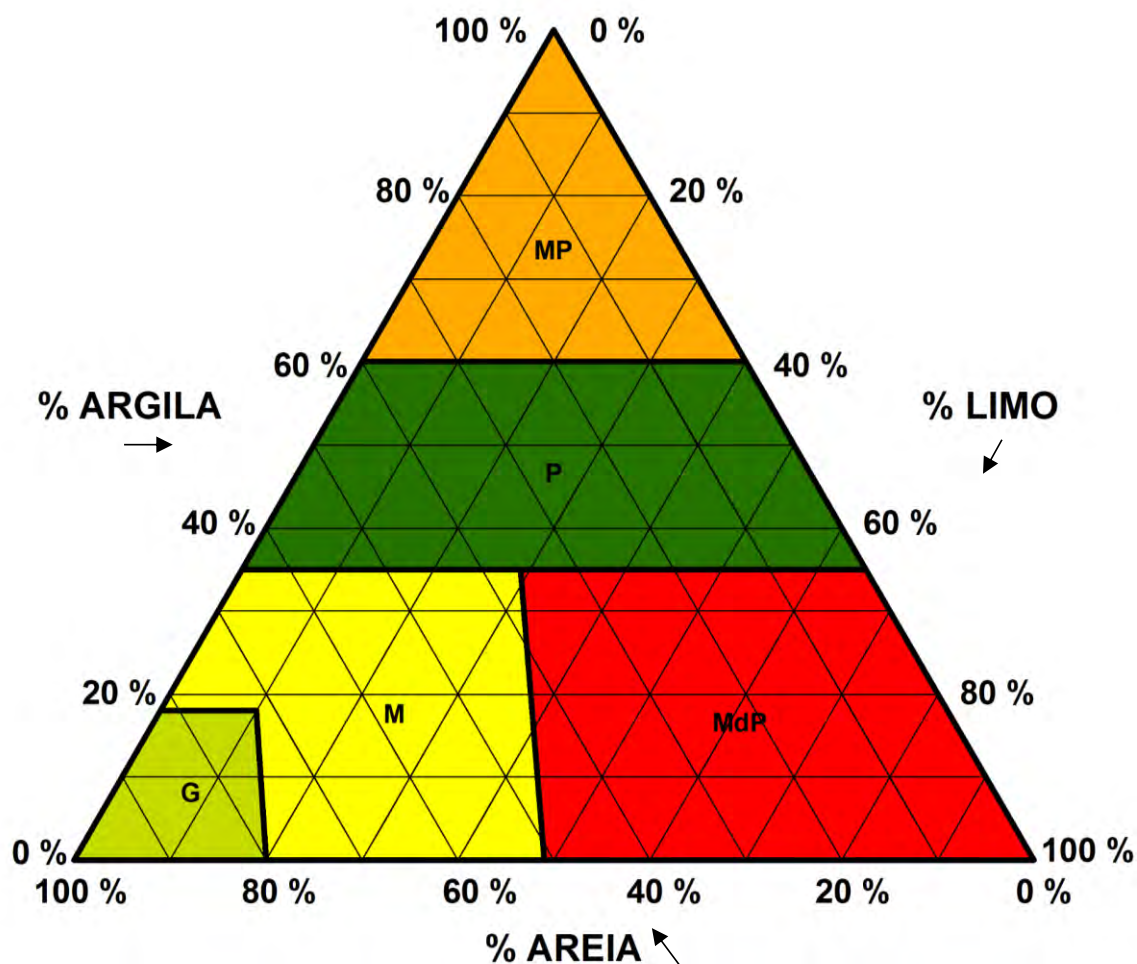


Fig. 7. Diagrama triangular com os agrupamentos texturais do solo. O agrupamento textural de um determinado solo é obtido através da intersecção, no triângulo, das respectivas proporções de areia, limo e argila, no sentido das setas apresentadas.

No Quadro 3 apresentam-se os valores de referência dos teores de água do solo correspondentes à capacidade de campo para cada agrupamento textural.

**Quadro 3.** Valores médios, máximos e mínimos do teor de água do solo correspondente à **capacidade de campo**, por agrupamento textural.

Agrupamentos texturais	Teor de água (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )		
	Média	Máximo	Mínimo
Textura Muito Pesada ( <i>MP</i> )	0,428	0,463	0,392
Textura Pesada ( <i>P</i> )	0,373	0,442	0,304
Textura Medianamente Pesada ( <i>MdP</i> )	0,407	0,466	0,349
Textura Mediana ( <i>M</i> )	0,269	0,318	0,220
Textura Grosseira ( <i>G</i> )	0,231	0,289	0,172

No Quadro 4 apresentam-se os valores de referência dos teores de água do solo correspondentes à capacidade de campo para cada agrupamento textural e respectivos valores de massa volúmica aparente.

**Quadro 4.** Valores médios, máximos e mínimos do teor de água do solo correspondente à **capacidade de campo**, por agrupamento textural e massa volúmica aparente ( $\rho_b$ ).

Agrupamentos texturais*	Teor de água (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )		
	Média	Máximo	Mínimo
Textura Pesada ( <i>P</i> )			
$\rho_b < 1,20$	0,435	0,487	0,395
$1,20 \leq \rho_b < 1,40$	0,398	0,450	0,358
$1,40 \leq \rho_b < 1,60$	0,366	0,418	0,326
$1,60 \leq \rho_b$	0,310	0,361	0,270
Textura Medianamente Pesada ( <i>MdP</i> )			
$\rho_b < 1,20$	0,422	0,460	0,393
$1,20 \leq \rho_b < 1,40$	0,419	0,456	0,389
$1,40 \leq \rho_b$	0,314	0,351	0,285
Textura Mediana ( <i>M</i> )			
$\rho_b < 1,20$	0,305	0,343	0,276
$1,20 \leq \rho_b < 1,40$	0,290	0,328	0,261
$1,40 \leq \rho_b < 1,60$	0,277	0,315	0,248
$1,60 \leq \rho_b < 1,80$	0,250	0,288	0,221
$1,80 \leq \rho_b$	0,228	0,266	0,199
Textura Grosseira ( <i>G</i> )			
$\rho_b < 1,40$	0,282	0,335	0,242
$1,40 \leq \rho_b < 1,60$	0,228	0,280	0,187
$1,60 \leq \rho_b < 1,80$	0,217	0,270	0,177
$1,80 \leq \rho_b$	0,220	0,273	0,179

\*Não existe informação suficiente referente ao agrupamento "Textura Muito Pesada".

No Quadro 5 apresentam-se os valores de referência dos teores de água do solo correspondentes ao coeficiente de emurchecimento para cada agrupamento textural.

**Quadro 5.** Valores médios, máximos e mínimos do teor de água do solo correspondente ao **coeficiente de emurchecimento permanente**, por agrupamento textural.

<b>Agrupamentos texturais</b>	<b>Teor de água (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)</b>		
	<b>Média</b>	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>
Textura Muito Pesada ( <i>MP</i> )	0,318	0,354	0,282
Textura Pesada ( <i>P</i> )	0,260	0,329	0,192
Textura Medianamente Pesada ( <i>MdP</i> )	0,197	0,255	0,138
Textura Mediana ( <i>M</i> )	0,142	0,191	0,093
Textura Grosseira ( <i>G</i> )	0,067	0,126	0,009

#### 4.1.2. Para cada classe de textura do solo

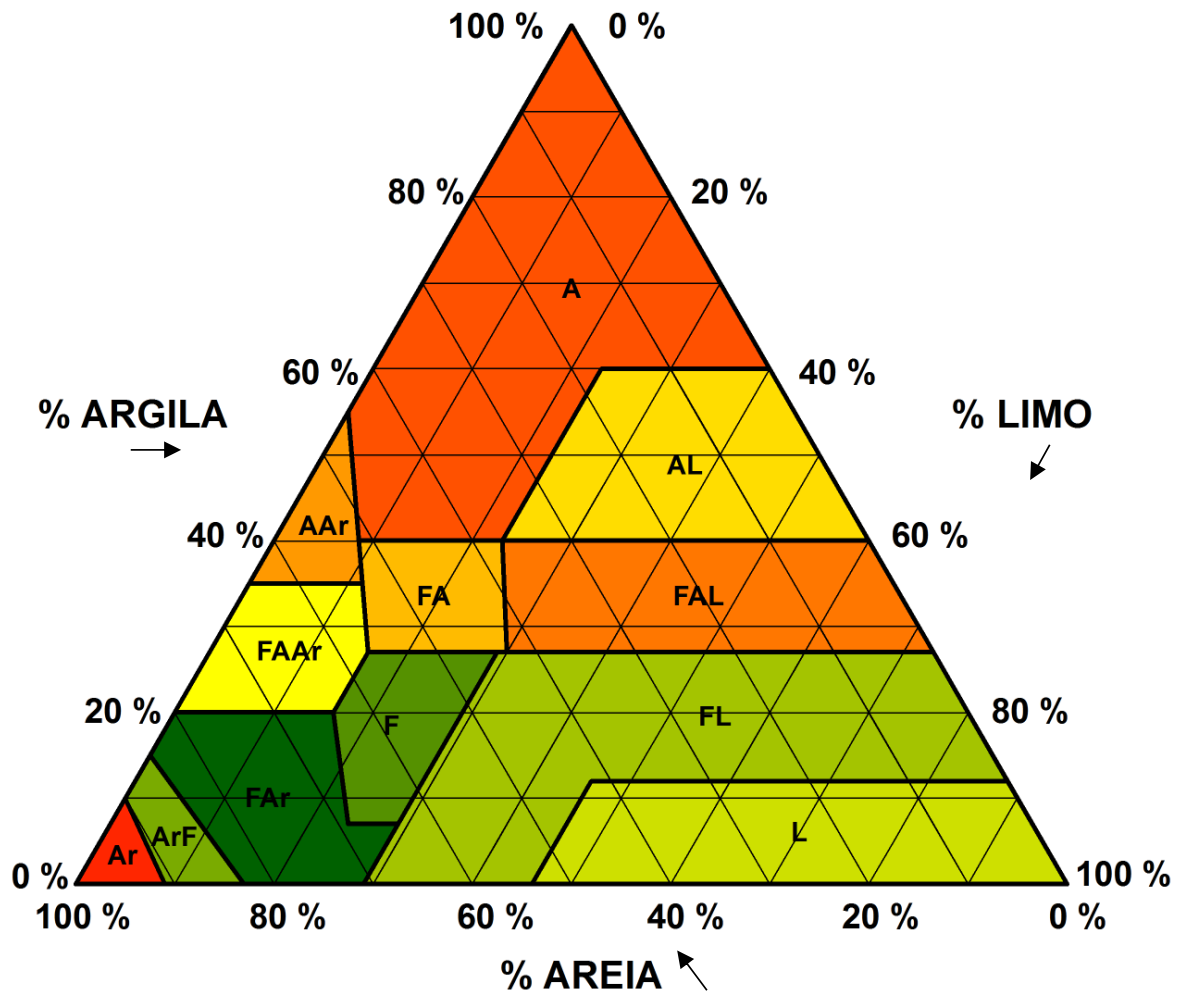
As classes de textura do solo representam conjuntos com proporções relativas dos diferentes lotes texturais, sendo limitadas por percentagens de areia, de limo e de argila específicas. As designações correspondentes às classes de textura do solo, bem como os respectivos símbolos, são os indicados no Quadro 6.

Quadro 6. Classes de textura do solo.

Classe de textura	Símbolo
Arenosa	<i>Ar</i>
Areno-Franca	<i>ArF</i>
Franco-Arenosa	<i>FAr</i>
Franca	<i>F</i>
Franco-Argilo-Arenosa	<i>FAAr</i>
Franco-Argilosa	<i>FA</i>
Argilo-Arenosa	<i>AAr</i>
Argilosa	<i>A</i>
Argilo-Limosa	<i>AL</i>
Franco-Argilo-Limosa	<i>FAL</i>
Franco-Limosa	<i>FL</i>
Limosa	<i>L</i>



Para os solos de Portugal, as classes de textura de um solo são representadas no diagrama textural, de acordo com a Figura 8.



**Fig. 8.** Diagrama triangular da textura do solo de Gomes e Silva (1962). A classe textural de um determinado solo é obtida através da intersecção, no triângulo, das respectivas proporções de areia, limo e argila, no sentido das setas apresentadas.

No Quadro 7 apresentam-se os valores de referência dos teores de água do solo correspondentes à capacidade de campo para cada classe de textura.

**Quadro 7.** Valores médios, máximos e mínimos do teor de água do solo correspondente à **capacidade de campo**, por classe textural.

Classe textural	Teor de água (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )		
	Média	Máximo	Mínimo
Argilosa (A)	0,368	0,417	0,320
Argilo-Arenosa (AAr)	0,256	0,347	0,166
Argilo-Limosa (AL)	0,443	0,490	0,397
Arenosa (Ar)	0,127	0,179	0,075
Areno-Franca (ArF)	0,236	0,290	0,181
Franca (F)	0,269	0,310	0,227
Franco-Argilosa (FA)	0,314	0,362	0,266
Franco-Argilo-Arenosa (FAAr)	0,279	0,323	0,234
Franco-Argilo-Limosa (FAL)	0,392	0,458	0,326
Franco-Arenosa (FAr)	0,278	0,331	0,226
Franco-Limosa (FL)	0,313	0,376	0,250

No Quadro 8a e 8b apresentam-se os valores de referência dos teores de água do solo correspondentes à capacidade de campo para cada classe de textura e respectivos valores de massa volúmica aparente.

**Quadro 8a.** Valores médios, máximos e mínimos do teor de água do solo correspondente à **capacidade de campo**, por classe textural e massa volúmica aparente ( $\rho_b$ ).

Grupos texturais	Teor de água (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )		
	Média	Máximo	Mínimo
Argilosa (A)			
$\rho_b < 1,20$	0,371	0,416	0,326
$1,20 \leq \rho_b < 1,40$	0,376	0,421	0,331
$1,40 \leq \rho_b < 1,60$	0,362	0,407	0,316
$1,60 \leq \rho_b$	0,346	0,391	0,301
Argilo-Limosa (AL)			
$\rho_b < 1,20$	0,450	0,491	0,409
$1,20 \leq \rho_b < 1,40$	0,452	0,493	0,411
$1,40 \leq \rho_b$	0,383	0,424	0,342
Arenosa (Ar)			
$\rho_b < 1,60$	0,162	0,213	0,111
$1,60 \leq \rho_b$	0,082	0,132	0,031
Areno-Franca (ArF)			
$\rho_b < 1,40$	0,280	0,323	0,238
$1,40 \leq \rho_b < 1,60$	0,224	0,266	0,181
$1,60 \leq \rho_b$	0,219	0,262	0,177
Franca (F)			
$\rho_b < 1,40$	0,283	0,315	0,251
$1,40 \leq \rho_b < 1,60$	0,274	0,306	0,242
$1,60 \leq \rho_b$	0,244	0,276	0,212

**Quadro 8b.** Valores médios, máximos e mínimos do teor de água do solo correspondente à **capacidade de campo**, por classe textural e massa volúmica aparente ( $\rho_b$ ) (continuação).

Grupos texturais	Teor de água (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )		
	Média	Máximo	Mínimo
Franco-Argilosa (FA)			
$\rho_b < 1,40$	0,339	0,378	0,300
$1,40 \leq \rho_b < 1,60$	0,324	0,363	0,285
$1,60 \leq \rho_b < 1,80$	0,301	0,340	0,262
$1,80 \leq \rho_b$	0,295	0,334	0,257
Franco-Argilo-Arenosa (FAAr)			
$\rho_b < 1,60$	0,293	0,333	0,254
$1,60 \leq \rho_b < 1,80$	0,269	0,309	0,230
$1,80 \leq \rho_b$	0,249	0,289	0,210
Franco-Argilo-Limosa (FAL)			
$\rho_b < 1,20$	0,428	0,460	0,395
$1,20 \leq \rho_b < 1,40$	0,420	0,452	0,387
$1,40 \leq \rho_b$	0,304	0,336	0,271
Franco-Arenosa (FAr)			
$\rho_b < 1,40$	0,343	0,379	0,307
$1,40 \leq \rho_b < 1,60$	0,295	0,331	0,259
$1,60 \leq \rho_b < 1,80$	0,253	0,289	0,217
$1,80 \leq \rho_b$	0,230	0,266	0,194
Franco-Limosa (FL)			
$\rho_b < 1,20$	0,390	0,433	0,347
$1,20 \leq \rho_b < 1,40$	0,362	0,405	0,319
$1,40 \leq \rho_b < 1,60$	0,282	0,326	0,239
$1,60 \leq \rho_b$	0,277	0,320	0,234

No Quadro 9 apresentam-se os valores de referência dos teores de água do solo correspondentes ao coeficiente de emurchecimento para cada classe de textura.

**Quadro 9.** Valores médios, máximos e mínimos do teor de água do solo correspondente ao **coeficiente de emurchecimento permanente**, por classe textural.

Classe textural	Teor de água (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )		
	Média	Máximo	Mínimo
Argilosa (A)	0,268	0,316	0,219
Argilo-Arenosa (AAr)	0,170	0,260	0,079
Argilo-Limosa (AL)	0,290	0,336	0,244
Arenosa (Ar)	0,021	0,073	0,001
Areno-Franca (ArF)	0,055	0,110	0,001
Franca (F)	0,128	0,169	0,086
Franco-Argilosa (FA)	0,219	0,267	0,172
Franco-Argilo-Arenosa (FAAr)	0,187	0,231	0,142
Franco-Argilo-Limosa (FAL)	0,218	0,284	0,152
Franco-Arenosa (FAr)	0,104	0,156	0,051
Franco-Limosa (FL)	0,142	0,205	0,078

### 4.1.3. Exemplo de cálculo

Estimativa da **capacidade de campo**, do **coeficiente de emurchecimento permanente** e da **água disponível** para um solo com as seguintes características:

	Camada superior	Camada Inferior
Areia grossa (AG):	20%	7%
Areia fina (AF):	32%	16%
Limo (Lm):	25%	32%
Argila (Arg):	23%	50%
Classe de textura:	Franca	Argilo-Limosa
Massa volúmica aparente ( $\rho_b$ ):	1,45 g/cm <sup>3</sup>	1,23 g/cm <sup>3</sup>
Espessura da camada (Z):	0,40 m	0,30 m

#### a) Estimativa da capacidade de campo ( $\theta_{FC}$ ):

Camada superior:  $\theta_{FC} = 0,274 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  (Quadro 8a)

Camada inferior:  $\theta_{FC} = 0,452 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  (Quadro 8a)

#### b) Estimativa do coeficiente de emurchecimento permanente ( $\theta_{WP}$ ):

Camada superior:  $\theta_{WP} = 0,128 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  (Quadro 9)

Camada inferior:  $\theta_{WP} = 0,290 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$  (Quadro 9)

#### c) Cálculo da água disponível total (TAW):

$$TAW = 1000 (\theta_{FC} - \theta_{WP}) Z$$

$$TAW = 1000 \times (0,274 - 0,128) \times 0,40 + 1000 \times (0,452 - 0,290) \times 0,30$$

$$TAW = 58,4 + 48,6 = 107 \text{ mm}$$

Para se obter a água disponível total na zona radicular (espessura efetiva do solo) deverá-se somar as contribuições de cada horizonte/camada de solo até à profundidade ocupada pelas raízes.

## 4.2. Equações de regressão para estimativa indireta das constantes de umidade do solo

As seguintes equações permitem estimar indiretamente os teores de água correspondentes à capacidade de campo e ao coeficiente de emurchecimento permanente, através da relação que estas propriedades têm com a textura, a massa volúmica aparente e o teor de carbono orgânico do solo. Desde que esta informação esteja disponível, é recomendada a utilização destas equações.

### 4.2.1. Capacidade de campo ( $\theta_{FC}$ )

Solos de textura grosseira:

$$\theta_{FC} = 0,531 + 0,00179Lm + 0,00184Arg - 0,176\rho_b - 0,263GPD$$

Solos de textura mediana e fina:

$$\theta_{FC} = 0,294 + 0,00218Lm + 0,00275Arg - 0,086\rho_b - 0,223GPD - 0,0188CO + 0,0325Z_m$$

### 4.2.2. Coeficiente de emurchecimento permanente ( $\theta_{WP}$ )

$$\theta_{WP} = -0,002 + 0,00116Lm + 0,0041Arg + 0,0117CO + 0,00218GSD + 0,0182Z_m$$

Lista de símbolos usados nas equações anteriores:

*Arg* – teor de argila (%)

*Lm* – teor de limo (%)

*GPD* – média geométrica do diâmetro das partículas (mm)

*GSD* – desvio padrão do diâmetro médio das partículas (mm)

$\rho_b$  – massa volúmica aparente (g/cm<sup>3</sup>)

*CO* – carbono orgânico do solo (%)

*Z<sub>m</sub>* – profundidade média da camada (m)

### 4.2.3. Exemplo de cálculo

Estimativa da **capacidade de campo**, do **coeficiente de emurchecimento permanente** e da **água disponível** num horizonte/camada de solo com as seguintes características:

Areia grossa (AG): 20%

Areia fina (AF): 32%

Limo (Lm): 25%

Argila (Arg): 23%

Massa volúmica aparente ( $\rho_b$ ): 1,45 g/cm<sup>3</sup>

Carbono orgânico (CO): 1,1%

Espessura do horizonte/camada de solo (Z): 0,40 m

Profundidade média do horizonte/camada de solo ( $Z_m$ ): 0,20 m

#### a) Cálculo da média geométrica do diâmetro das partículas (GPD):

$$GPD = 2,7183^{(0,01 \times (0,0953 \text{ AG} - 2,2072 \text{ AF} - 4,50985 \text{ Lm} - 6,90775 \text{ Arg}))}$$

$$GPD = 2,7183^{(0,01 \times (0,0953 \times 20 - 2,2072 \times 32 - 4,50985 \times 25 - 6,90775 \times 23))}$$

$$GPD = 0,033$$

#### b) Cálculo do desvio padrão do diâmetro médio das partículas (GSD):

$$GSD = 2,7183^{\sqrt{(0,009084 \text{ AG} + 4,87206 \text{ AF} + 20,3388 \text{ Lm} + 47,71708 \text{ Arg}) - \ln(GPD)^2}}$$

$$GSD = 2,7183^{\sqrt{(0,009084 \times 20 + 4,87206 \times 32 + 20,3388 \times 25 + 47,71708 \times 23) - \ln(0,033)^2}}$$

$$GSD = 11,669$$



**c) Cálculo da capacidade de campo ( $\theta_{FC}$ ):**

$$\theta_{FC} = 0,294 + 0,00218Lm + 0,00275Arg - 0,086\rho_b - 0,223GPD + 0,0188CO + 0,0325Z_m$$

$$\theta_{FC} = 0,294 + 0,00218 \times 25 + 0,00275 \times 23 - 0,086 \times 1,45 - 0,223 \times 0,033 + 0,0188 \times 1,1 + 0,0325 \times 20$$

$$\theta_{FC} = 0,3068 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3} = 30,68\%$$

**d) Cálculo do coeficiente de emurchecimento permanente ( $\theta_{WP}$ ):**

$$\theta_{WP} = -0,002 + 0,00116Lm + 0,0041Arg + 0,0117CO + 0,00218GSD + 0,0182Z_m$$

$$\theta_{WP} = -0,002 + 0,00116 \times 25 + 0,00410 \times 23 + 0,0117 \times 1,1 + 0,00218 \times 11,669 + 0,0182 \times 20$$

$$\theta_{WP} = 0,1632 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3} = 16,32\%$$

**e) Cálculo da água disponível total (TAW):**

$$TAW = 1000 (\theta_{FC} - \theta_{WP}) Z$$

$$TAW = 1000 \times (0,3068 - 0,1632) \times 0,40 = 57,42 \text{ mm}$$



## 5. Água do Solo Facilmente Disponível

### 5.1. Conceitos de base

A água do solo facilmente disponível para as plantas depende do tipo de cultura. No Quadro 10 apresentam-se as frações de esgotamento da água do solo em conforto hídrico ( $p$ ) para as principais culturas de Portugal Continental. Os valores tabelados referem-se a valores da evapotranspiração cultural da ordem dos 5 mm/dia e para condições não salinas. Normalmente, deverá aumentar-se o valor da fração de esgotamento quando a evapotranspiração cultural é menor que 5 mm/dia e diminuir-se quando a evapotranspiração cultural é maior que 5 mm/dia.

**Quadro 10a.** Fração de esgotamento da água do solo em conforto hídrico ( $p$ ) para diversas culturas (Fonte: Pereira, 2004)

<b>Cultura</b>	<b><math>p</math></b>	<b>Cultura</b>	<b><math>p</math></b>
<b>a) Hortícolas de pequeno porte</b>		<b>b) Hortícolas tuberosas</b>	
Cenouras	0,35	Beterraba de mesa	0,50
Aipo	0,20	Pastinaca	0,40
Couves	0,40	Nabo	0,50
Alho	0,30	Beterraba açucareira	0,55
Alface	0,30		
Cebola	0,30	<b>c) Hortícolas plurianuais</b>	
Espinafres	0,20	Alcachofra	0,45
Rabanetes	0,30	Espargo	0,45
Fava seca	0,50	Lúpulo	0,50

**Quadro 10b.** Fração de esgotamento da água do solo em conforto hídrico ( $p$ ) para diversas culturas (Fonte: Pereira, 2004) (continuação).

<b>Cultura</b>	<b><math>p</math></b>	<b>Cultura</b>	<b><math>p</math></b>
<b>d) Leguminosas</b>		<b>h) Oleaginosas</b>	
Feijão verde	0,45	Cártamo	0,60
Feijão	0,45	Girassol	0,45
Feijão frade	0,50	Sésamo	0,60
Grão de bico	0,50	Rícino	0,50
Amendoim	0,50	Colza	0,60
Lentilha	0,50	<b>i) Cereais</b>	
Ervilha verde	0,35	Cevada	0,55
Ervilha seca	0,40	Aveia	0,55
Soja	0,50	Trigo	0,55
Fava verde	0,45	Milho (grão)	0,55
Fava seca	0,50	Milho (doce)	0,50
<b>e) Solanáceas</b>		Milho (painço)	0,55
Beringela	0,45	Sorgo (grão)	0,55
Pimentão (fresco)	0,30	Sorgo (doce)	0,50
Batata	0,35	Arroz	0,20
Batata doce	0,65	<b>j) Forragens</b>	
Tomate	0,40	Luzerna (feno)	0,55
<b>f) Cucurbitáceas</b>		Trevo (feno)	0,50
Meloa	0,45	Pastagem (pastoreio em rotação)	0,60
Pepino	0,50	Pastagem (pastoreio extensivo)	0,65
Melão	0,40	Relvados	0,40
Abóbora de Inverno	0,35	Erva do Sudão (feno)	0,50
Abóbora de mesa	0,50	Gramíneas (feno)	0,60
Melancia	0,40	Erva da Bermuda (semente)	0,60
<b>g) Fibras</b>		Erva da Bermuda (feno)	0,55
Algodão	0,60	<b>k) Hortícolas perenes</b>	
Linho	0,50	Hortelã	0,40
Sisal	0,80	Morangos	0,20

## 5.2. Exemplo de cálculo

Estimativa da **água facilmente disponível** para a cultura do **milho (grão)** num horizonte/camada de solo com as seguintes características:

Areia grossa (*AG*): 20%

Areia fina (*AF*): 32%

Limo (*Lm*): 25%

Argila (*Arg*): 23%

Classe de textura: Franca

Massa volúmica aparente ( $\rho_b$ ): 1,45 g/cm<sup>3</sup>

Espessura do horizonte/camada (*Z*): 0,40 m

Capacidade de campo ( $\theta_{FC}$ ): 0,274 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> (Quadro 8a)

Coeficiente de emurchecimento permanente ( $\theta_{WP}$ ): 0,128 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> (Quadro 9)

Fração de esgotamento da água do solo (*p*): 0,55 (Quadro 10a)

### a) Cálculo da água disponível total (*TAW*):

$$TAW = 1000 (\theta_{FC} - \theta_{WP}) Z$$

$$TAW = 1000 \times (0,274 - 0,128) \times 0,40 = 58,4 \text{ mm}$$

### b) Cálculo da água facilmente disponível (*RAW*):

$$RAW = TAW \times p$$

$$RAW = 58,4 \times 0,55 = 32,1 \text{ mm}$$

Para se obter a água facilmente disponível na zona radicular (espessura efetiva do solo) dever-se-á também somar as contribuições de cada horizonte/camada de solo até à profundidade ocupada pelas raízes.



## 6. O Balanço de Água do Solo

### 6.1. Conceitos de base

O conhecimento do balanço hídrico do solo na zona explorada pelas raízes é fundamental para uma boa gestão da rega, pois permite avaliar todos os fluxos de água que abastecem e esvaziam a zona das raízes e, assim, otimizar os gastos de água pelas culturas.

A equação geral do balanço da água do solo na zona das raízes é a seguinte:

$$\textit{Entradas de água} = \textit{Consumos} + \textit{Armazenamento} + \textit{Perdas de água}$$

ou,

$$P + I + AC = ET + \Delta Solo + Esc + DP$$

em que  $P$  é a precipitação ocorrida;  $I$  é a rega aplicada;  $AC$  é a ascensão capilar da água a partir da toalha freática, caso esta se situe próxima da zona das raízes;  $ET$  é a evapotranspiração da cultura;  $\Delta Solo$  é a variação do armazenamento de água no solo;  $Esc$  é a água perdida por escoamento superficial; e  $DP$  é a água perdida por percolação ou drenagem profunda.

Normalmente, uma boa condução da rega procura maximizar os consumos de água pelas plantas, ou seja, igualar a evapotranspiração real ( $ET_r$ ) aos seus valores potenciais ( $ET_c$ ), e minimizar as perdas de água, nomeadamente por escoamento superficial ou por percolação ou drenagem profunda.

É assim fundamental conhecer os teores de água correspondentes à capacidade de campo e ao coeficiente de emurchecimento, para se identificar a água que pode estar facilmente disponível para as plantas, a água que está disponível para as plantas em condições de stress hídrico, e a água que não está disponível para as plantas quer por estar sujeita a pressões demasiado elevadas quer por se perder rapidamente em profundidade através dos macroporos do solo.

## 6.2. Dotações de rega em função do método de rega e da cultura a regar

O conhecimento das características de retenção de água no solo e a monitorização das componentes do balanço de água são essenciais para uma condução eficiente da rega. No entanto, as características dos equipamentos de rega condicionam a aplicação de água à cultura. Os sistemas de rega devem, portanto, entre outros factores, ser também seleccionados e dimensionados em função das características de retenção de água nos solos.

Em seguida apresentam-se dotações indicativas para diferentes métodos de rega. As maiores dotações são aplicadas quando a frequência de rega seja menor, isto é, os intervalos entre regas sejam maiores. De notar que estes intervalos dependem dos métodos de rega, sendo que não é possível adoptar intervalos curtos em rega de superfície nem intervalos longos em rega com rampas móveis. Nos solos com menor capacidade de retenção, alguns métodos de rega não devem ser aplicados, caso da rega de superfície em solos arenosos, onde a rega por aspersão é muito mais adequada, ou da rega por gotejamento em solos de textura grosseira onde a micro-aspersão é mais apropriada quando se pretendam regas frequentes.

### a) Rega de Superfície



(a) Rega por canteiros com camalhões e nivelamento de precisão;



(b) Rega por sulcos alternados e nivelamento de precisão.

#### Dotação (frequência)

Rega por canteiros com nivelamento de precisão e declive nulo, automatizados e usando caudais muito elevados:

**40 a 50 mm (5 a 7 dias)**

Rega por canteiros, sulcos e faixas, de preferência com nivelamento de precisão:

**70 a 100 mm (10 a 15 dias)**

Fig. 12. Rega de superfície



## b) Rega por gotejamento



(a) Tubagem de gotejadores à superfície do solo (culturas hortícolas e arvenses);



(b) Tubagem de gotejadores enterrada (culturas hortícolas e arvenses);



(c) Tubagem de gotejadores acima do solo (pomares e vinhas);



(d) Tubagem de gotejadores à superfície do solo (pomares e vinhas).

**Dotação (frequência)**

### Culturas hortícolas

Em sistemas totalmente automatizados e com medição da evapotranspiração:

**1 a 2 mm (várias regas por dia)**

Em sistemas com qualquer grau de automatização:

**6 a 15 mm (1 a 3 dias)**

### Culturas arvenses

Em sistemas com qualquer grau de automatização:

**10 a 20 mm (2 a 3 dias)**

### Pomares e vinhas

Em sistemas com qualquer grau de automatização, em rega deficitária controlada:

**10 a 25 mm (3 a 7 dias)**

**Fig. 13.** Rega por gotejamento.

### c) Rega por micro-aspersão



a)

a) Micro-aspersão em floricultura;



b)

(b) Micro-aspersão em fruteiras;



c)

(c) Micro-aspersão em jardins;



d)

d) Micro-aspersão mecanizada

#### Dotação (frequência)

#### Culturas hortícolas e floricultura

Em alternativa aos gotejadores em solos arenosos, com qualquer grau de automatização:

**6 a 15 mm (1 a 3 dias)**

#### Fruteiras

Em sistemas com qualquer grau de automatização, em rega deficitária controlada:

**10 a 25 mm (3 a 7 dias)**

#### Parques e Jardins

Em sistemas com qualquer grau de automatização:

**5 a 15 mm (1 a 3 dias)**

Fig. 14. Rega por micro-aspersão.

#### d) Rega com sistemas estacionários



(a) Rega de fruteiras por baixo das copas



(b) Rega de culturas arvenses;



(c) Rega de campos de golf



(d) Rega de jardins.

**Fig. 15.** Rega com aspersores fixos.

#### Dotação (frequência)

##### Culturas arvenses

Aspersores de baixa e média pressão:

**10 a 30 mm (2 a 5 dias)**

##### Fruteiras

Aspersores de baixa pressão, em rega deficitária contro-lada, com automatização:

**10 a 25 mm (3 a 7 dias)**

##### Parques e Jardins

Sistemas automatizados e aspersores de baixa a média pressão:

**5 a 15 mm (2 a 5 dias)**

##### Campos de Golfe

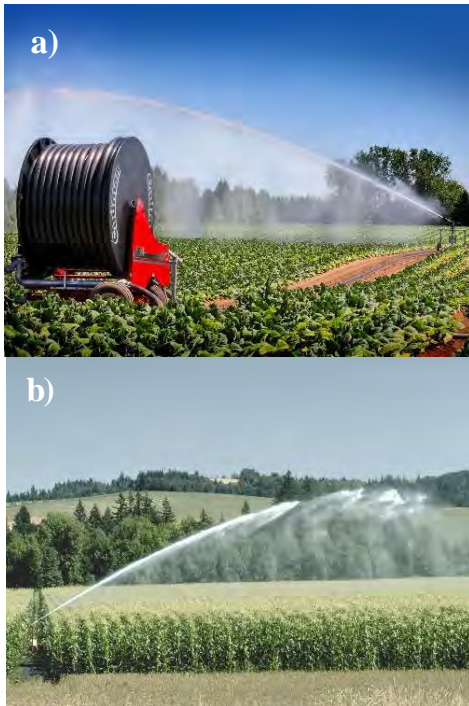
Sistemas automatizados e aspersores de baixa a média pressão, fora dos greens:

**5 a 15 mm (1 a 3 dias)**

Nos “greens”:

**5 a 7 mm (diária)**

**e) Rega por canhão com enrolador**



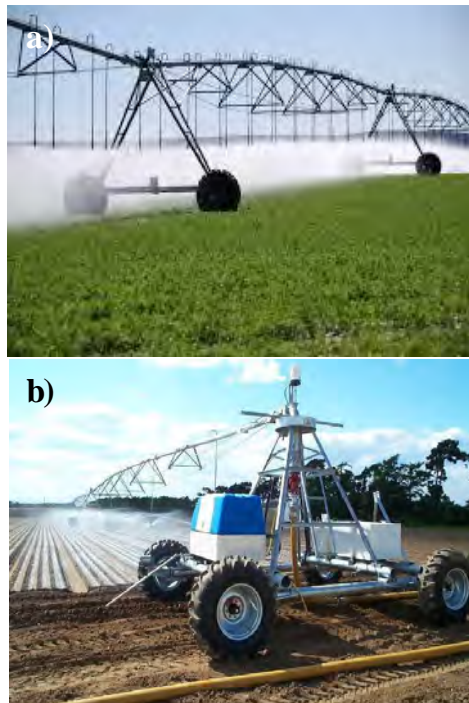
**Fig. 16.** Rega por canhão com enrolador.

**Dotação (frequência)**

**Culturas arvenses**

**15 a 40 mm (3 a 7 dias)**

**f) Rega com rampas móveis**



**Fig. 17.** Rega com rampas móveis.

**Dotação (frequência)**

**Culturas arvenses**

**10 a 20 mm (2 a 3 dias)**

### 6.3. Exemplos de cálculo

Em seguida, apresenta-se o balanço hídrico, para o mesmo solo, mas para três situações distintas: (i) rega sem stress hídrico; (ii) rega com prevenção de qualquer tipo de stress; (iii) e rega deficitária.

Para demonstrar o processo de cálculo do balanço de água do solo, assumem-se, para cada um dos exemplos, as seguintes características do solo e a cultura de **milho (grão)** regado por **canhão com enrolador** (dotação líquida de **32 mm**):

Areia grossa (*AG*): 20%

Areia fina (*AF*): 32%

Limo (*Lm*): 25%

Argila (*Arg*): 23%

Classe de textura: Franca

Massa volúmica aparente ( $\rho_b$ ): 1,45 g/cm<sup>3</sup>

Espessura do horizonte/camada (*Z*): 0,40 m

Capacidade de campo ( $\theta_{FC}$ ): 0,274 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> (Quadro 8a)

Coefficiente de emurchecimento permanente ( $\theta_{WP}$ ): 0,128 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup> (Quadro 9)

Água disponível total (*TAW*): 58,4 mm (Ponto 4.1.3)

Fração de esgotamento da água do solo (*p*): 0,55 (Quadro 10a)

Água facilmente disponível (*RAW*): 32,1 mm (Ponto 5.2)

### 6.3.1. Caso da rega sem stress hídrico (para produção máxima)

Neste exemplo, demonstra-se uma condução eficiente da rega sem causar stress à cultura e visando a produção máxima. Pretende-se manter a humidade do solo dentro dos limites da água facilmente disponível para as plantas para que os valores da evapotranspiração real ( $ET_r$ ) sejam maximizados para os valores potenciais ( $ET_c$ ) e as perdas de água por percolação ( $DP$ ) sejam minimizadas. Assumem-se as seguintes condições:

- O teor de água do solo no início do período considerado ( $\theta_{inicial}$ ) é de **0,20 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>** ou **20%**;
- A rega é efectuada no fim do dia e iniciada quando a soma da depleção do solo no início do dia ( $D_{início}$ ) e das necessidades hídricas da cultura é igual ou superior ao limite da água facilmente disponível ( $D_{início} + ET_c \geq RAW$ );
- O milho encontra-se na **fase intermédia** do seu ciclo vegetativo ( $K_c = 1,2$ ).

O Quadro 11 apresenta o balanço da água do solo, enquanto a Figura 18 apresenta a respetiva evolução da humidade do solo.

**Quadro 11.** Balanço de água do solo para um período de sete dias.  
Condução de rega sem stress hídrico.

Dia	D <sub>início</sub> (mm)	P-Esc (mm)	I (mm)	ET <sub>0</sub> (mm)	K <sub>s</sub> (-)	K <sub>c</sub> (-)	ET <sub>c</sub> (mm)	DP (mm)	D <sub>fim</sub> (mm)
1	<b>29,6</b>	0	<b>32</b>	4,5	1,0	1,2	<b>5,4</b>	0,0	<b>3,0</b>
2	3,0	0	0	5,0	1,0	1,2	6,0	0,0	9,0
3	9,0	0	0	5,5	1,0	1,2	6,6	0,0	15,6
4	15,6	3	0	4,8	1,0	1,2	5,8	0,0	18,4
5	18,4	0	0	5,8	1,0	1,2	7,0	0,0	25,3
6	25,3	0	<b>32</b>	5,5	1,0	1,2	6,6	0,1	0,1
7	0,1	0	0	5,3	1,0	1,2	6,4	0,0	<b>6,4</b>
<b>Total</b>		<b>3</b>	<b>64</b>				<b>43,7</b>	<b>0,1</b>	

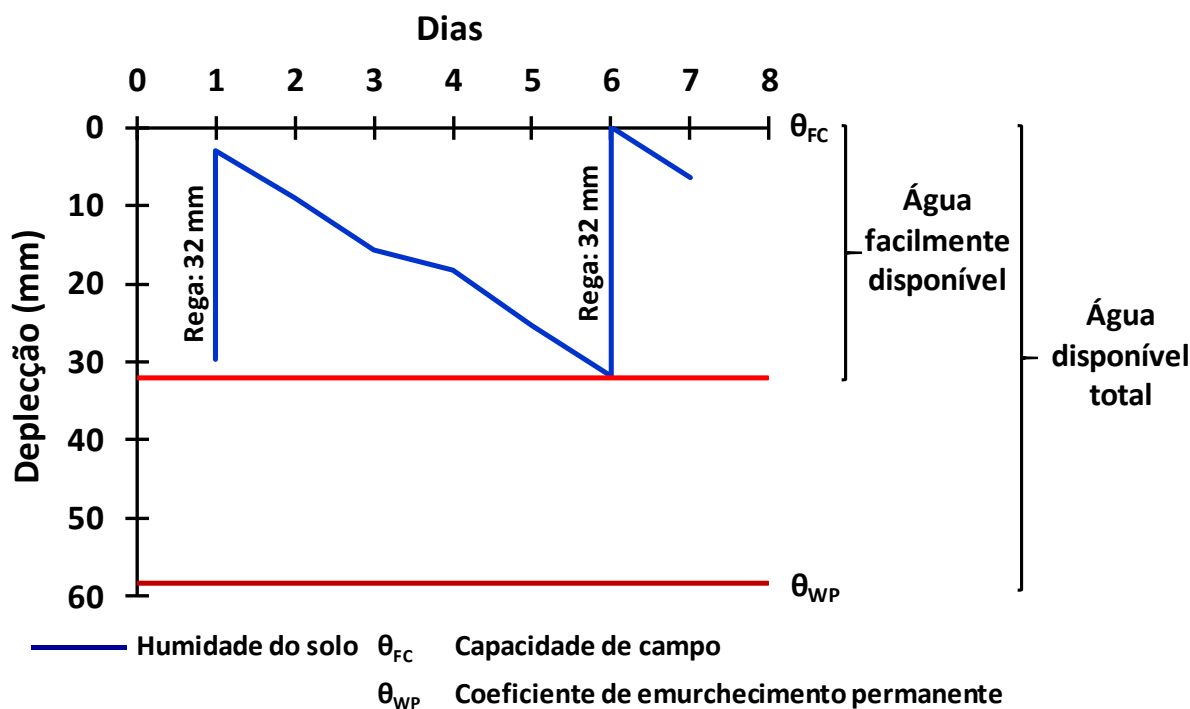


Fig. 18. Evolução da humidade do solo através de uma condução da rega sem stress hídrico.

**a) Cálculo da depleção inicial ( $D_{início}$ ):**

A depleção é o **défice de água disponível**. Uma depleção igual a zero corresponde a uma humidade do solo à capacidade de campo. Quanto maior a depleção, menor a humidade do solo e maior a capacidade do solo reter a água aplicada durante a rega.

O primeiro passo no cálculo do balanço hídrico é conhecer a humidade inicial do solo ( $0,20 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ ) e quantificar o défice inicial de água disponível ou depleção inicial ( $D_{início}$ ).

$$D_{início} = 1000 (\theta_{FC} - \theta_{inicial}) Z$$

$$D_{início} = 1000 (0,274 - 0,200) \times 0,40 = 29,6 \text{ mm}$$

## b) Cálculo das necessidades hídricas da cultura:

Em seguida, é necessário avaliar as necessidades hídricas do milho. Estas podem ser obtidas através da seguinte equação:

$$ET_c = K_s K_c ET_0$$

em que  $ET_0$  é a evapotranspiração de referência,  $K_c$  é o coeficiente cultural e  $K_s$  é o o coeficiente para o stress hídrico.

O processo de cálculo da  $ET_0$  não está dentro do âmbito desta publicação. No entanto, os seus valores diários podem normalmente ser facilmente obtidos através das redes agrometeorológicas existentes em Portugal. O  $K_c$  representa as características específicas de cada cultura ao longo do ciclo vegetativo e os efeitos médios da evaporação do solo. Os seus valores encontram-se tabelados em diversas publicações técnicas, pelo que não são aqui também apresentados. O  $K_s$  é apenas relevante para condições de stress hídrico, isto é, quando a humidade do solo cai para valores inferiores à água facilmente disponível. Quando a humidade do solo se situa dentro dos limites da água facilmente disponível, como é o caso deste exemplo, o valor  $K_s$  é igual a **1,0**.

As necessidades hídricas do milho, no primeiro dia, são então as seguintes:

$$ET_c = 1,0 \times 1,2 \times 4,5 = 5,4 \text{ mm}$$

## c) Cálculo das necessidades de rega (I):

O défice inicial do solo é de **29,6** mm e as necessidades hídricas do milho ( $ET_c$ ), no primeiro dia, são de **5,4** mm. Uma vez que a soma destas duas componentes ultrapassa os valores da água facilmente disponível ( $RAW$ ) é necessário regar para que a cultura não entre em stress hídrico.

$$D_{início} + ET_c > RAW$$

$$29,6 + 5,4 > 32,1$$

Procedeu-se, portanto, a uma rega de **32 mm** de modo a repor a humidade do solo nos valores próximos da capacidade de campo.



**d) Cálculo da percolação (DP):**

Não sendo ultrapassado o teor de água do solo correspondente à capacidade de campo, não existem perdas de água por percolação. O solo teve, portanto, capacidade de reter toda a água aplicada.

$$DP = I + (P - Esc) - ET_c - D_{início} \geq 0 \text{ mm}$$

$$DP = 32 + 0 - 5,4 - 29,6 = 0 \text{ mm}$$

**e) Cálculo da depleção ao fim do dia ( $D_{fim}$ ):**

O déficit final de água disponível ( $D_{fim}$ ) encerra o balanço de água do primeiro dia.

$$D_{fim} = D_{início} + ET_c + DP - (P - Esc) - I$$

$$D_{fim} = 29,6 + 5,4 + 0 - 0 - 32$$

$$D_{fim} = 3 \text{ mm}$$

**f) Cálculo do balanço hídrico do solo:**

O processo de cálculo para os restantes dias é rotineiro, repetindo-se os passos seguidos de **a)** a **e)**. É apenas necessário ter em conta as seguintes condições:

- a depleção inicial no segundo dia será igual à depleção final do primeiro dia;
- a rega será sempre iniciada quando  $D_{início} + ET_c \geq RAW$ , ou seja, novamente, ao sexto dia;
- o armazenamento da água do solo ( $\Delta Solo$ ) é dado pela diferença entre a depleção no início do primeiro dia e a depleção no fim do sétimo dia:

$$\Delta Solo = 29,6 - 6,4 = 23,2 \text{ mm}$$

O balanço de água do solo será obtido a partir da soma de cada uma das suas componentes ao longo dos sete dias considerados. As entradas de água na zona das raízes deverão necessariamente igualar as saídas de água da zona das raízes e a quantidade de água que ficou armazenada no solo.

<b>Entradas na zona das raízes</b>	<b>Saídas da zona das raízes e água armazenada no solo</b>
<b>P</b> = 3,0 mm	<b>ET<sub>c</sub></b> = 43,7 mm
<b>I</b> = 64,0 mm	<b>DP</b> = 0,1 mm
	<b>Esc</b> = 0 mm
	<b>ΔSolo</b> = 23,2 mm
<b>Total</b> = 67,0 mm	<b>Total</b> = 67,0 mm

Neste exemplo, o consumo de água do solo foi maximizado ( $ET_c$  não sofreu reduções por stress hídrico) e as perdas de água foram minimizadas ( $DP+Esc$ ). A humidade do solo no dia sete foi superior (menor depleção) à registada no dia um ( $\Delta Solo$  positiva).

### 6.3.2. Caso da rega com prevenção de qualquer tipo de stress

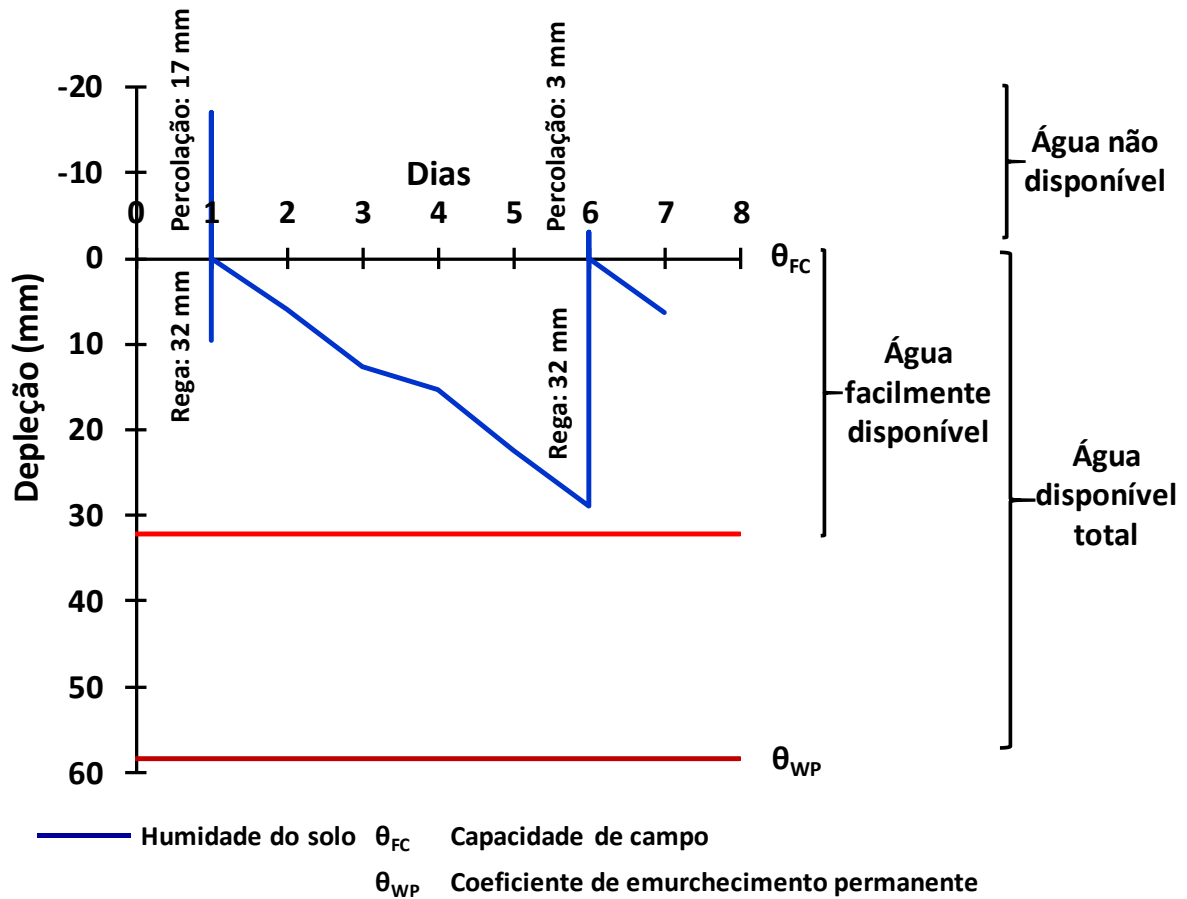
Neste exemplo, demonstra-se uma condução em que a água é aplicada em excesso relativamente ao caso anterior. Pretende evitar qualquer tipo de stress, caso da rega de hortícolas para consumo em verde, ou quando haja risco de fornecimento tardio da água, caso de sistemas de fornecimento de água sujeitos a intervalos variáveis entre abastecimentos. A humidade do solo ultrapassa frequentemente o teor de água do solo correspondente à capacidade de campo, podendo registar-se perdas operacionais por percolação, mas que podem eventualmente ser recuperadas por extracção a partir das camadas inferiores. Assumem-se as seguintes condições:

- O teor de água do solo no início do período considerado ( $\theta_{inicial}$ ) é de **0,25 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>** ou **25%**;
- A rega é efectuada no fim do dia. O calendário de rega definido no exemplo anterior é seguido sem se ter em conta os teores de água do solo na perspectiva de que haja risco de a próxima rega ser retardada;
- O milho encontra-se na **fase intermédia** do seu ciclo vegetativo ( $K_c = 1,2$ ).

O Quadro 12 apresenta o balanço da água do solo, enquanto a Figura 19 apresenta a respetiva evolução da humidade do solo.

**Quadro 12.** Balanço de água do solo para um período de sete dias.  
Condução de rega com prevenção de qualquer tipo de stress.

Dia	D <sub>início</sub> (mm)	P-Esc (mm)	I (mm)	ET <sub>0</sub> (mm)	K <sub>s</sub> (-)	K <sub>c</sub> (-)	ET <sub>c</sub> (mm)	DP (mm)	D <sub>fim</sub> (mm)
1	<b>9,6</b>	0	<b>32</b>	4,5	1,0	1,2	5,4	<b>17,0</b>	0,0
2	0,0	0	0	5,0	1,0	1,2	6,0	0,0	6,0
3	6,0	0	0	5,5	1,0	1,2	6,6	0,0	12,6
4	12,6	3	0	4,8	1,0	1,2	5,8	0,0	15,4
5	15,4	0	0	5,8	1,0	1,2	7,0	0,0	22,3
6	22,3	0	<b>32</b>	5,5	1,0	1,2	6,6	<b>3,1</b>	0,0
7	0,0	0	0	5,3	1,0	1,2	6,4	0,0	<b>6,4</b>
<b>Total</b>		<b>3</b>	<b>64</b>				<b>43,7</b>	<b>20,1</b>	



**Fig. 19.** Evolução da humidade do solo através de uma condução da rega com prevenção de qualquer tipo de stress.

Repetindo-se o processo de cálculo apresentado no **ponto 6.3.1** obtem-se o seguinte balanço hídrico do solo:

<b>Entradas na zona das raízes</b>	<b>Saídas da zona das raízes e água armazenada no solo</b>
<b>P</b> = 3,0 mm	<b>ET<sub>c</sub></b> = 43,7 mm
<b>I</b> = 64,0 mm	<b>DP</b> = 20,1 mm
	<b>Esc</b> = 0 mm
	<b>ΔSolo</b> = 3,2 mm
<b>Total</b> = 67,0 mm	<b>Total</b> = 67,0 mm

Neste exemplo, o consumo de água do solo foi maximizado ( $ET_c$  não sofreu reduções por stress hídrico). No entanto, a percolação foi significativa uma vez que o teor de água do solo ultrapassou, por duas vezes, os valores correspondentes à capacidade de campo. Logo na primeira rega de 32 mm, foram percolados 17 mm, uma vez que a soma da depleção inicial e das necessidades hídricas para esse dia, apenas perfaziam 15 mm. Existe, assim, um risco de perda de parte da água aplicada. A humidade do solo no dia sete foi superior (menor depleção) à registada no dia um ( $\Delta Solo$  positiva).

### 6.3.3. Caso da rega deficitária

Neste exemplo, demonstra-se uma condução da rega em condições de escassez hídrica. A humidade do solo diminui para valores inferiores ao armazenamento no limiar correspondente à água facilmente utilizável, isto é, abaixo de  $RAW$  (secção 5), registando-se reduções da evapotranspiração real ( $ET_r$ ) em relação aos seus valores potenciais ( $ET_c$ ). Assumem-se as seguintes condições:

- O teor de água do solo no início do período considerado ( $\theta_{inicial}$ ) é novamente de **0,20 cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>** ou **20%**;
- A rega é efectuada no fim do dia. Apenas foi possível regar no terceiro dia;
- O milho encontra-se na **fase intermédia** do seu ciclo vegetativo ( $K_c = 1,2$ ).

O processo de cálculo apresentado no **ponto 6.3.1** é também seguido para condições de stress hídrico. No entanto, a avaliação das necessidades hídricas das culturas deve ser ajustada uma vez que não existe suficiente água no solo para satisfazer essas necessidades, na totalidade. Assim, na equação:

$$ET_c = K_s K_c ET_0$$

quando a humidade do solo decresce para valores inferiores à água facilmente disponível, o coeficiente para o stress hídrico ( $K_s$ ) passa a ser calculado da seguinte forma:

$$K_s = \frac{TAW - D_{início}}{TAW - RAW}$$

Como exemplo, a evapotranspiração real ( $ET_r$ ) no terceiro dia do período considerado é calculada da seguinte forma:

$$K_s = \frac{58,4 - 40,3}{58,4 - 32,1} = 0,7$$

$$ET_r = 0,7 \times 1,2 \times 5,5 = 4,5 \text{ mm} < ET_c$$

sendo inferior aos seus valores potenciais ( $ET_c = 6,6$  mm).

O Quadro 13 apresenta o balanço da água do solo, enquanto a Figura 20 apresenta a respetiva evolução da humidade do solo.

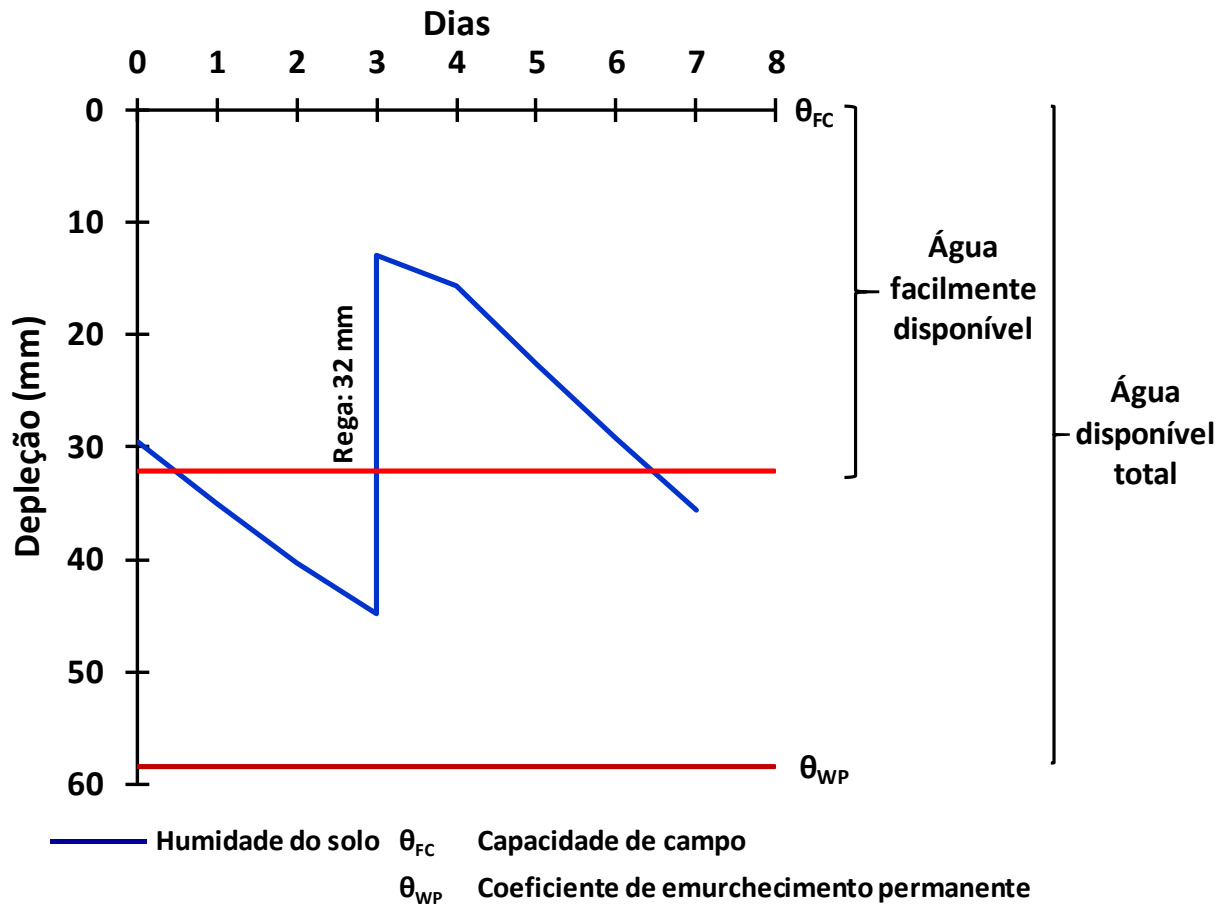
**Quadro 13.** Balanço de água do solo para um período de sete dias. Condução de rega deficitária.

Dia	D <sub>início</sub> (mm)	P-Esc (mm)	I (mm)	ET <sub>0</sub> (mm)	K <sub>s</sub> (-)	K <sub>c</sub> (-)	ET <sub>r</sub> (mm)	DP (mm)	D <sub>fim</sub> (mm)
1	29,6	0	0	4,5	1,0	1,2	5,4	0,0	35,0
2	35,0	0	0	5,0	0,9	1,2	5,3	0,0	40,3
3	40,3	0	32	5,5	0,7	1,2	4,5	0,0	12,9
4	12,9	3	0	4,8	1,0	1,2	5,8	0,0	15,6
5	15,6	0	0	5,8	1,0	1,2	7,0	0,0	22,6
6	22,6	0	0	5,5	1,0	1,2	6,6	0,0	29,2
7	29,2	0	0	5,3	1,0	1,2	6,4	0,0	35,6
<b>Total</b>		<b>3</b>	<b>32</b>				<b>41,0</b>	<b>0,0</b>	

Neste exemplo, o balanço hídrico do solo é o seguinte:

Entradas na zona das raízes	Saídas da zona das raízes e água armazenada no solo
<b>P</b> = 3,0 mm	<b>ET<sub>a</sub></b> = 41,0 mm (ET <sub>c</sub> = 43,7 mm)
<b>I</b> = 32,0 mm	<b>DP</b> = 0 mm
	<b>Esc</b> = 0 mm
	<b>ΔSolo</b> = 6,0 mm
<b>Total</b> = 35,0 mm	<b>Total</b> = 35,0 mm

Os valores da evapotranspiração real sofreram uma redução em relação aos seus valores potenciais (ET<sub>c</sub> igual em todos os exemplos) devido ao stress hídrico registado quando a humidade do solo decresceu para valores inferiores ao da água facilmente disponível. Não houve perdas de água por percolação. A humidade do solo no dia sete foi inferior (maior depleção) à registada no dia um (ΔSolo negativa).



**Fig. 20.** Evolução da humidade do solo através de uma condução da rega deficitária.



## 7. Considerações Finais

Este manual pretende contribuir para uma gestão eficiente da rega nos solos regáveis de Portugal fornecendo informação relevante das principais características de retenção de água nos diferentes tipos de solos. Essa informação resultou da medição direta das características físicas e hidrodinâmicas dos solos ou da avaliação indireta, obtida através de funções de pedotransferência, isto é, de equações de regressão múltipla que relacionam diferentes propriedades básicas dos solos.

O manual inclui a demonstração de alguns procedimentos de cálculo da água disponível do solo, da água do solo facilmente disponível para as plantas e ainda das componentes do balanço hídrico do solo para três cenários de rega das culturas: rega sem stress hídrico para atingir a produção máxima, rega em excesso de modo a prevenir qualquer tipo de stress e rega deficitária.

Considera-se que se conseguiu reunir, neste manual, a informação mínima necessária para a condução da rega racional e sustentável de modo a preservar os ecossistemas nas zonas regadas e regáveis de Portugal.



## Glossário Técnico

**Textura do solo** – A textura ou composição granulométrica do solo refere-se à proporção relativa dos lotes constituídos por partículas minerais de dimensões compreendidas entre certos limites. A textura do solo depende de vários factores, nomeadamente da rocha-mãe, da topografia e do clima.

**Análise granulométrica** – A análise granulométrica consiste na determinação das proporções dos diversos lotes ou frações que constituem a terra fina (partículas com diâmetro inferior a 2 mm - areia grossa, areia fina, limo e argila) e os lotes mais grosseiros (partículas com diâmetro superior a 2 mm - saibro, cascalho, pedras, calhaus e blocos).

**Lotes ou frações granulométricas do solo** – As frações granulométricas geralmente utilizadas em Portugal são a areia grossa, a areia fina, o limo e a argila. Estas frações são definidas de acordo com a escala de Atterberg, em que os limites para o diâmetro das partículas de solo são os seguintes:

Lotes	Limites (mm)
Areia Grossa	2-0,2
Areia Fina	0,2-0,02
Limo	0,02-0,002
Argila	<0,002

**Classificações texturais do solo** – As classificações da textura do solo são definidas consoante os limites de separação dos diferentes lotes. Existem diversas classificações da textura do solo referindo-se como exemplo, a da Sociedade Internacional da Ciência do Solo (ISSS), que utiliza os limites da escala de Atterberg, a adoptada nos Estados Unidos da América (USDA) e a proposta pela FAO.

Lotes	Limites (mm)		
	ISSS	USDA	FAO
Areia	2-0,02	2-0,05	2-0,063
Limo	0,02-0,002	0,05-0,002	0,063-0,002
Argila	<0,002	<0,002	<0,002

**Classes de textura** – As classes de textura representam conjuntos com proporções relativas dos diferentes lotes texturais, sendo limitadas por percentagens de areia, limo e argila específicas. As classes de textura são as seguintes:

<b>Símbolo</b>	<b>Classe de textura</b>
<i>Ar</i>	Arenosa
<i>ArF</i>	Areno-Franca
<i>FAr</i>	Franco-Arenosa
<i>F</i>	Franca
<i>FAAr</i>	Franco-Argilo-Arenosa
<i>FA</i>	Franco-Argilosa
<i>AAr</i>	Argilo-Arenosa
<i>A</i>	Argilosa
<i>AL</i>	Argilo-Limosa
<i>FAL</i>	Franco-Argilo-Limosa
<i>FL</i>	Franco-Limosa
<i>L</i>	Limosa

**Diagrama triangular da textura do solo** – É uma representação gráfica onde os lados do triângulo representam os lotes areia, limo e argila e onde estão inseridas as classes texturais.

**Agrupamentos texturais** – Os agrupamentos texturais agregam as classes texturais que apresentam proporções relativas de argila, limo e areia mais próximas. Os agrupamentos texturais são os seguintes:

<b>Símbolo</b>	<b>Agrupamentos texturais</b>
<i>G</i>	Textura Grosseira
<i>M</i>	Textura Mediana
<i>P</i>	Textura Pesada (Fina)
<i>MdP</i>	Textura Medianamente Pesada (Fina)
<i>MP</i>	Textura Muito Pesada (Fina)

**Diagrama triangular dos agrupamentos texturais** – É uma representação gráfica onde os lados do triângulo representam os lotes areia, limo e argila e onde estão inseridos os agrupamentos texturais.

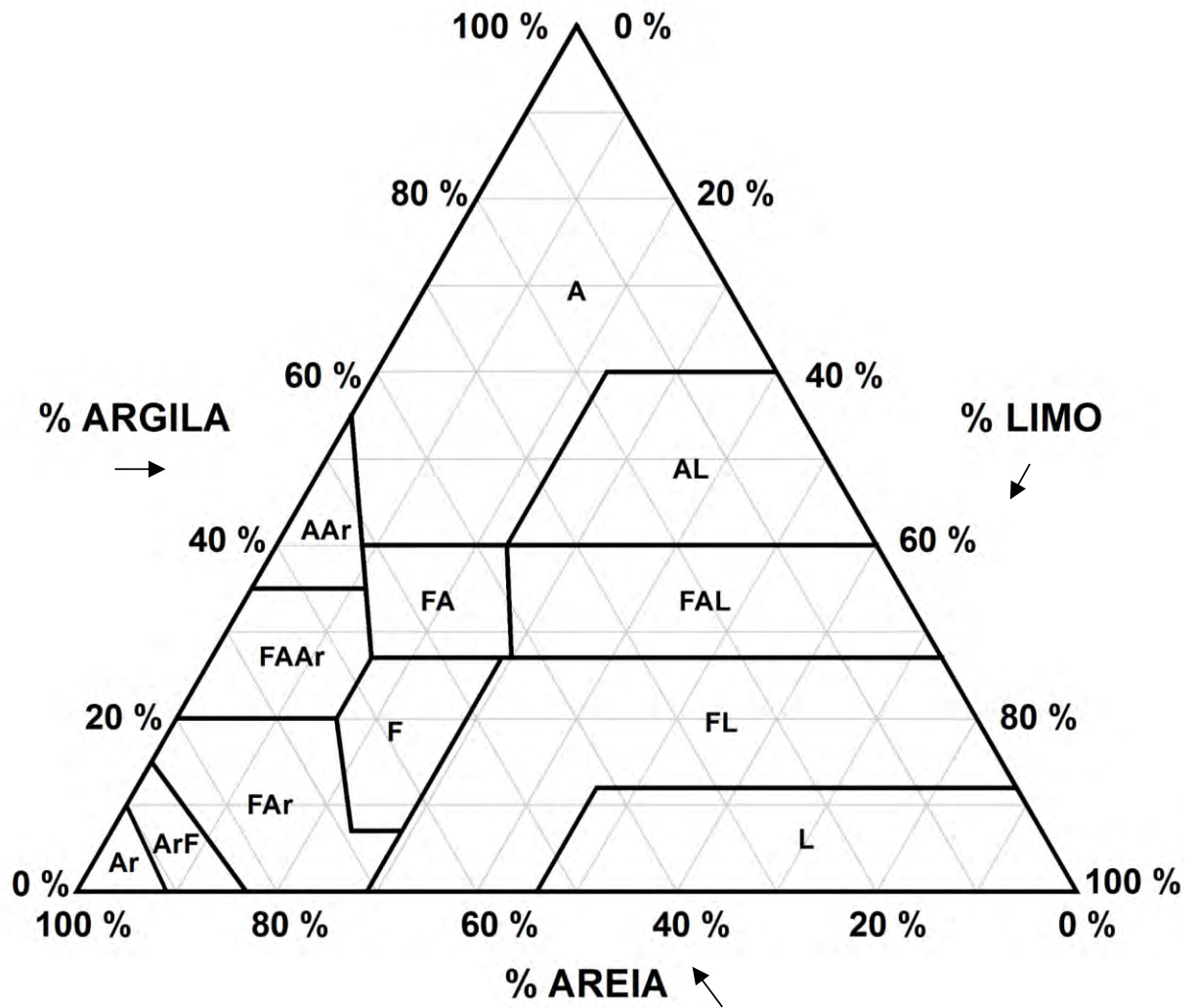


Diagrama textural de Gomes e Silva (1962), de acordo com a classificação ISSS

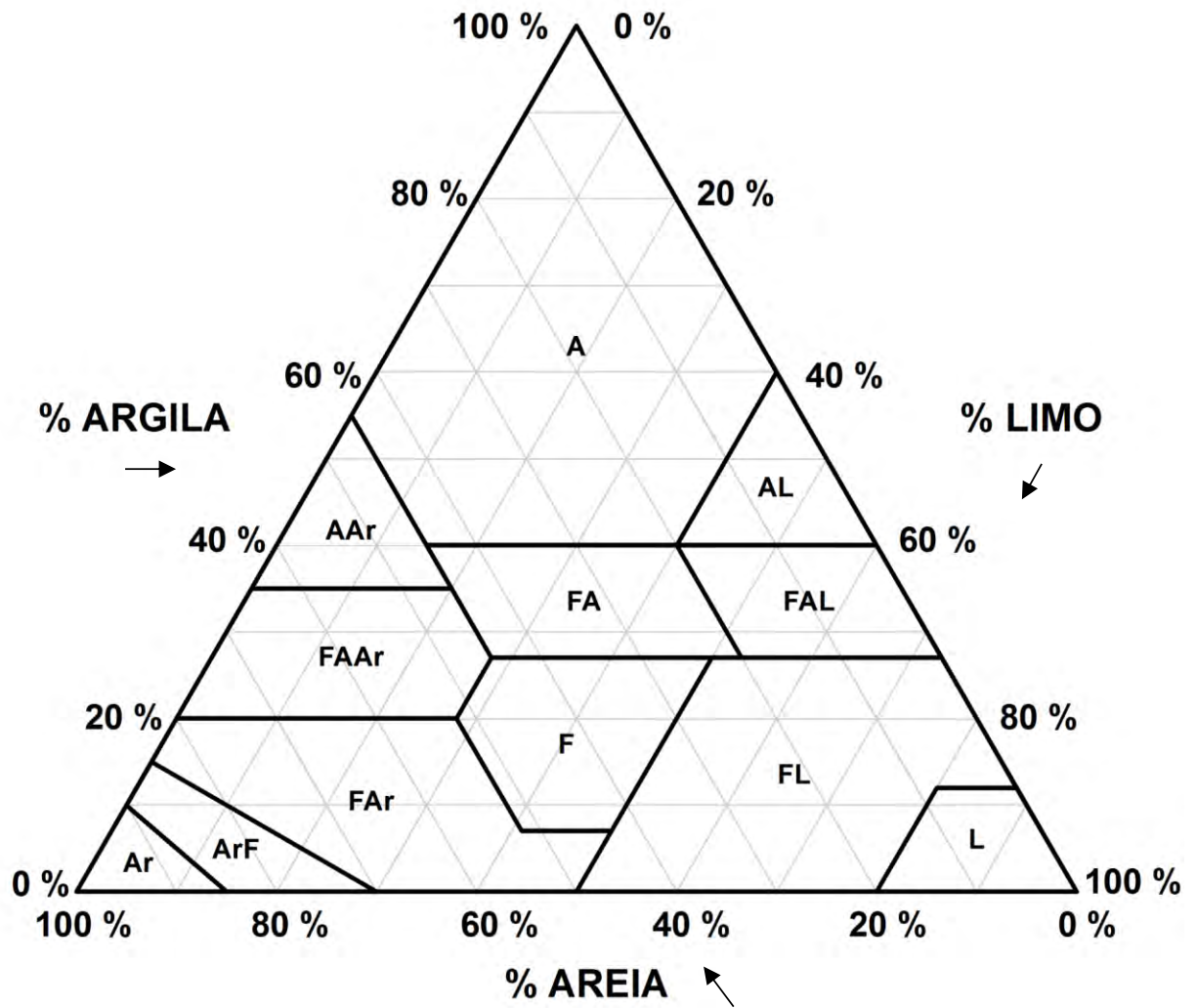


Diagrama textural, segundo a classificação USDA

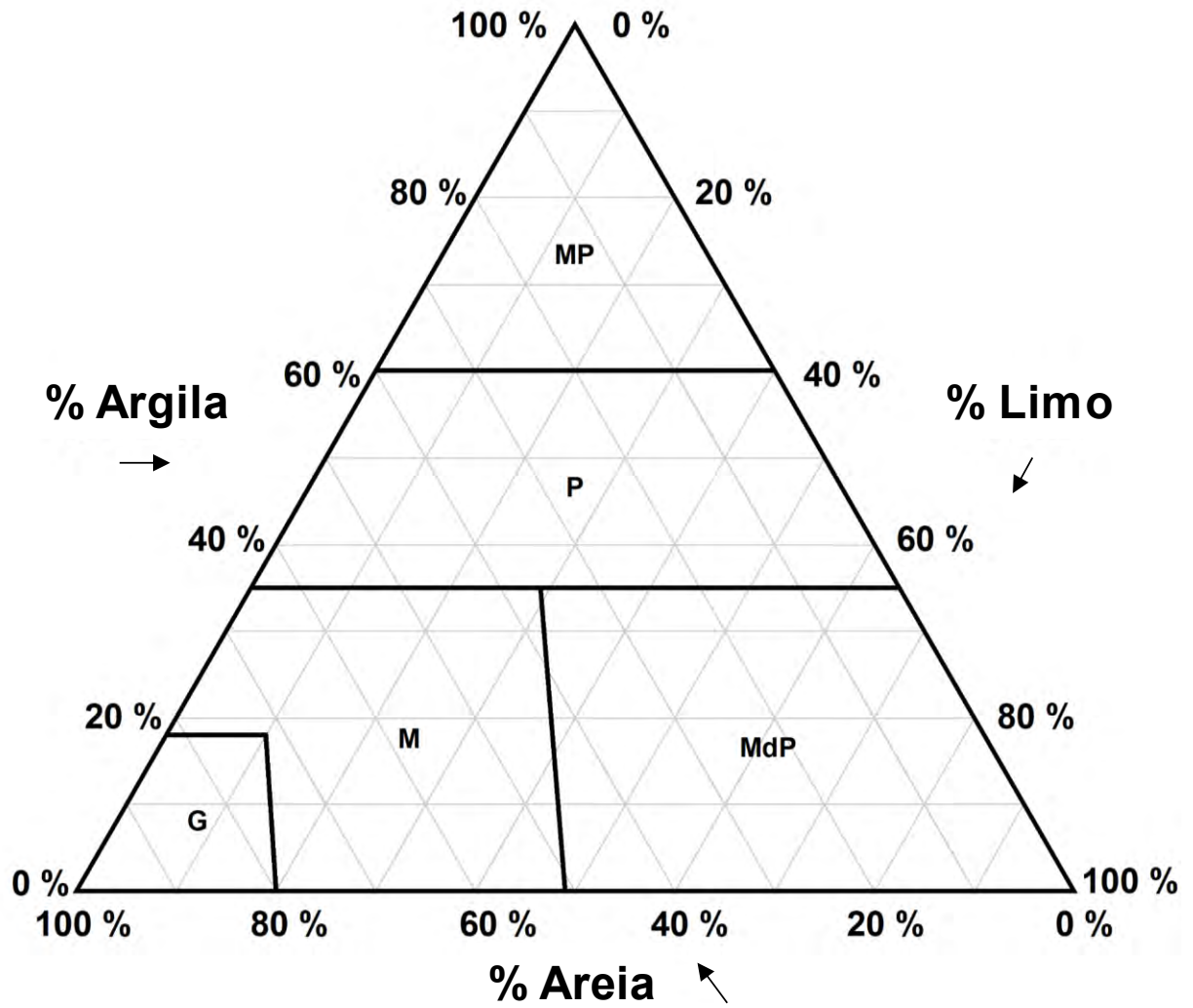


Diagrama triangular dos agrupamentos texturais de Gomes e Silva (1980), de acordo com a classificação ISSS

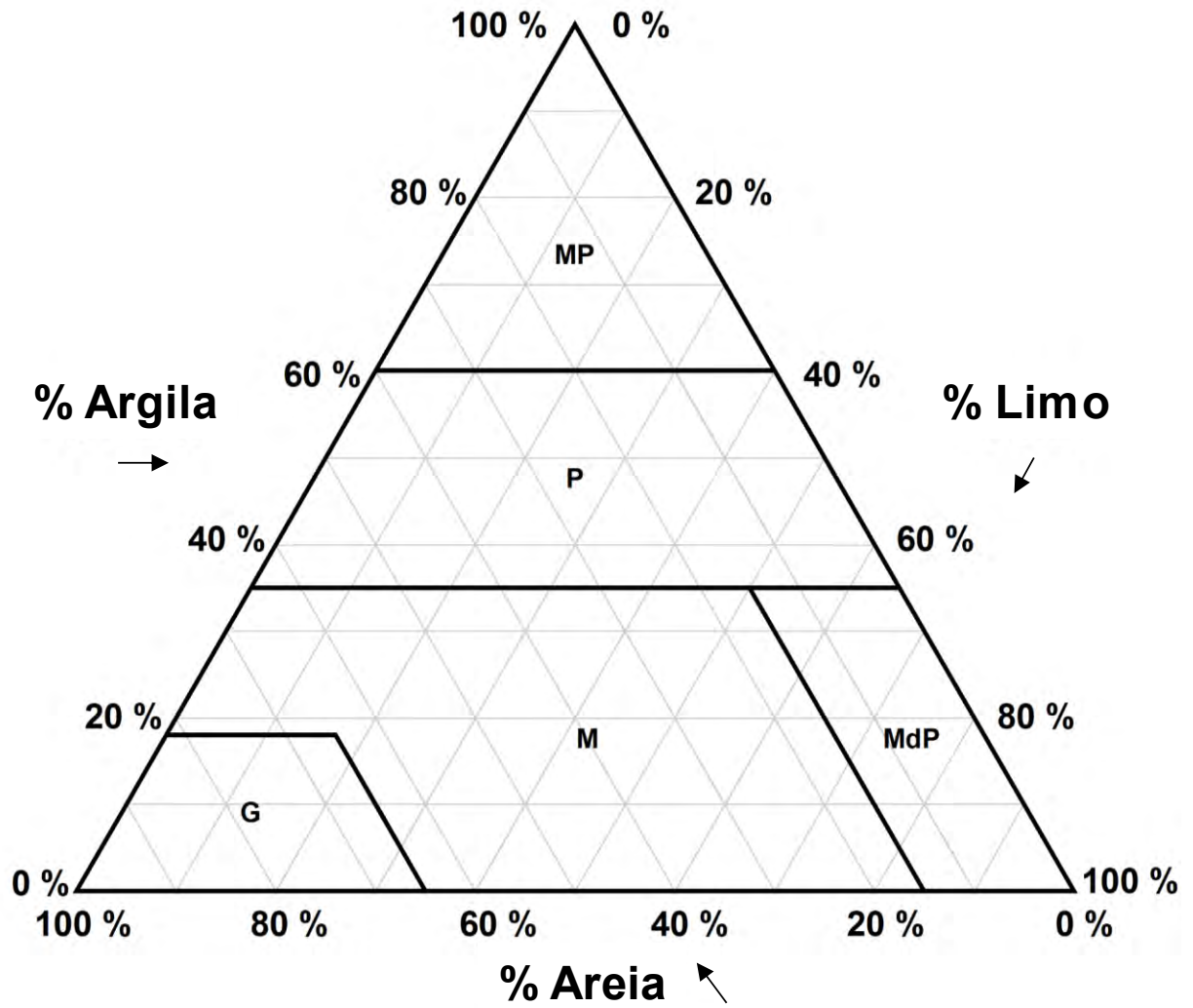


Diagrama triangular dos agrupamentos texturais, segundo a classificação USDA



**Humidade do solo** – É o teor de água que um solo retém após secagem na estufa a 105 °C durante 24-48 horas, podendo ser expressa em relação ao peso seco na estufa a 105 °C (kg/kg) ou na base do volume aparente do solo (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>).

**Capacidade de campo** – A capacidade de campo corresponde ao teor de água na zona das raízes a partir do qual a drenagem se torna quase nula. O valor de pF equivalente à capacidade de campo depende do tipo de solo, variando entre o pF 1,8 (correspondente a uma pressão efetiva de -60 cm) para solos de textura mais grosseira e o pF 2,5 (correspondente a uma pressão efetiva de cerca de -330 cm) para os solos de textura média e fina.

**Coefficiente de emurchecimento permanente** – O coeficiente de emurchecimento permanente corresponde ao teor de água do solo abaixo do qual as forças de adsorção ultrapassam as forças que as plantas conseguem desenvolver para extrair do solo a água necessária ao seu crescimento. Para fins práticos, o coeficiente de emurchecimento permanente em solos não salinos está normalmente associado a um teor de água do solo retido a uma pressão efetiva de -15000 cm (pF 4,2; 15 atmosferas; 1,5 MPa).

**Água disponível no solo** – É a quantidade de água correspondente à diferença entre a capacidade de campo e o coeficiente de emurchecimento permanente, expressa em percentagem do volume aparente do solo (%).

**Água do solo facilmente disponível** – Água do solo que pode ser rapidamente absorvida pelas raízes das plantas.

**Água disponível total no solo** – É a água disponível (em mm) correspondente à soma dos valores de água disponível das camadas abrangidas pela espessura efetiva do solo, ou seja, a espessura do solo explorada pelas raízes das plantas.

**Água não disponível no solo** – É a quantidade de água do solo não utilizada pelas raízes das plantas, correspondendo à água que excede a capacidade de campo (entre o teor de água do solo saturado e a capacidade de campo) e a compreendida entre o coeficiente de emurchecimento permanente e o teor de água do solo seco ao ar.

**Depleção de água do solo** - É a quantidade de água necessária para repôr a humidade do solo à capacidade de campo. A depleção varia entre zero e o valor correspondente à água disponível total. Uma depleção igual a zero significa que a humidade do solo

corresponde à capacidade de campo. Uma depleção igual ao valor da água disponível total significa que a humidade do solo corresponde ao coeficiente de emurchecimento permanente, sendo este o valor máximo possível para a depleção.

**Potencial gravítico da água no solo** – É o trabalho necessário para deslocar uma unidade de massa de água do nível de referência para o nível ocupado pela água no solo, isto é, resulta da variação da cota da água no solo.

**Potencial de pressão da água no solo** – É o trabalho necessário para deslocar uma unidade de massa de água à pressão atmosférica para a pressão a que se encontra a água do solo. Este potencial é subdividido em 3 subcomponentes: a pressão resultante do peso do solo, a pressão exercida pela atmosfera (potencial pneumático) e a pressão exercida pela água do solo, que pode ser superior (zona saturada) ou inferior (zona insaturada) à pressão atmosférica. Neste último caso, a pressão da água no solo resulta do efeito conjunto de forças de capilaridade e de adsorção resultantes das características intrínsecas da matriz sólida (potencial mátrico).

**Potencial osmótico da água no solo** – É o trabalho necessário para deslocar uma unidade de massa de água no estado puro para um estado correspondente à concentração de sais da água do solo. Resulta da variação da concentração de sais na água do solo e é apenas relevante em solos salinos.

**Potencial total da água no solo** – É o somatório das contribuições distintas do potencial gravítico, de pressão e osmótico (considerando desprezável o potencial resultante de outros factores).

**Potencial mátrico da água no solo** – É a componente mais importante do potencial de pressão e resulta do efeito conjunto de forças de capilaridade e de adsorção resultantes das características intrínsecas da matriz sólida.

**Pressão efetiva da água no solo ( $h$ )** – É o potencial mátrico, expresso em altura de água.

**Carga hidráulica** – É a soma dos potenciais de pressão e gravítico, expressa em altura de água.

**Condutividade hidráulica do solo ( $K$ )** – Descreve a velocidade com que a água flui através da matriz do solo devido a variações no potencial total da água no solo. A

característica do solo que mais afecta  $K$  é a geometria do espaço poroso do solo, que é uma função da textura, da estrutura, do teor em matéria orgânica, da porosidade total, da distribuição do tamanho dos poros, da natureza da argila e da tortuosidade do espaço poroso. A maior parte daqueles factores não se mantêm constantes ao longo do tempo, podendo ser alterados em resultado da actividade microbiana, situações de encharcamento prolongado e actividade humana.

**Condutividade hidráulica saturada do solo ( $K_{sat}$ )** – Descreve a velocidade com que a água flui através da matriz do solo saturado devido a variações no potencial gravítico da água no solo.

**Condutividade hidráulica insaturada do solo ( $K(\theta)$  e  $K(h)$ )** – Descreve a velocidade com que a água flui através da matriz do solo insaturado devido a variações nos potenciais gravítico e mátrico da água no solo.

**Infiltração de água no solo** – É a entrada de água à superfície do solo pela acção conjunta do potencial gravítico e da variação do potencial mátrico. A infiltração depende de vários factores, nomeadamente, a intensidade e tipo de precipitação (chuva e rega), as propriedades físicas do solo (porosidade, estrutura, textura), a humidade do solo, o teor de matéria orgânica e ainda a natureza e densidade do coberto vegetal.

**Taxa de infiltração média** – É o volume de água que se infiltra, em média, numa unidade de área, num dado intervalo de tempo.

**Infiltrabilidade do solo** – É o volume de água que pode atravessar uma unidade de superfície de solo, numa unidade de tempo.

**pF** – É o logaritmo da altura em centímetros da coluna de água que exerce pressão equivalente à força de retenção ou atracção do solo para a água. O símbolo **p**, por analogia com a escala do pH, indica o carácter logarítmico da escala do pF, enquanto o símbolo **F** se refere à letra inicial da expressão *free energy* (energia livre).

**Curva de retenção de água no solo ou curva de pF ( $\theta(h)$ )** – É a curva que relaciona o potencial mátrico ou pressão efetiva da água no solo e a humidade do solo (teor de água volúmico ou gravimétrico). Em representação gráfica, a pressão efetiva é expressa em kPa ou através do logaritmo decimal da altura de água em centímetros, sendo a humidade do solo expressa em percentagem.

**Massa volúmica aparente ou densidade aparente do solo seco** – É a razão entre a massa da parte sólida de um dado volume aparente do solo seco (na estufa a 105°C) e o volume aparente do solo seco. Nos solos arenosos, pode variar entre 1400-1700 kg/m<sup>3</sup>, enquanto nos solos argilosos pode situar-se entre 1000-1500 kg/m<sup>3</sup>.

**Estrutura do solo** – Consiste na propriedade física do solo que se refere ao tamanho, forma e arranjo das partículas do solo e dos respectivos vazios, incluindo não só as partículas de areia, limo e argila, mas também as partículas compostas ou agregados estruturais em cada horizonte do perfil de solo. A ligação entre as partículas constituintes é conseguida através de forças de natureza eletrostática derivadas das cargas dos minerais argilosos e do húmus e é mais forte do que a ligação entre os agregados. O arranjo, organização e orientação das partículas e a sua taxa de agregação determinam a existência de espaços vazios ou poros que permitem a penetração, retenção e transferência de água, de solutos e de gases.

**Porosidade total do solo** – É a razão entre o volume ocupado pelas fases líquida e gasosa do solo e o volume aparente do solo, expressa geralmente em percentagem (%). A porosidade total do solo é em regra subdividida em macroporosidade ou porosidade não capilar e microporosidade ou porosidade capilar. Nos solos minerais de textura grosseira, que têm geralmente uma porosidade total menor relativamente aos de textura média e fina, predomina a porosidade não capilar. Nos de textura média e fina, a porosidade total tende a ser maior e uma proporção muito considerável é capilar.

**Macroporosidade ou porosidade não capilar** – É a porosidade constituída por poros relativamente grandes (macroporos) que podem ser esvaziados de água por forças extractivas relativamente fracas.

**Microporosidade ou porosidade capilar** – É a porosidade correspondente aos poros pequenos (microporos) que são esvaziados de água por forças extractivas relativamente elevadas.

**Porosidade de drenagem do solo** – É o volume de espaço poroso entre a saturação do solo com água (porosidade total do solo) e a capacidade de campo (correspondente a um valor de pF entre 1,8 e 2,5).

**Funções de pedotransferência** – São funções matemáticas que permitem estimar indiretamente propriedades dos solos mais complexas, nomeadamente as propriedades

hidráulicas do solo ou a capacidade de troca catiónica, a partir de outras mais básicas e simples de determinar no campo ou no laboratório, tais como as frações granulométricas, o teor de matéria orgânica e o pH.

**Matéria orgânica do solo** – É a fração orgânica do solo, sendo formada por organismos vivos, resíduos de plantas e animais em vários graus de decomposição, produtos excretados e produtos de síntese. A matéria orgânica tem importância relevante na absorção e retenção de água no solo, na formação e estabilidade da estrutura do solo, na capacidade do solo em fornecer nutrientes e no arejamento do solo.

**Zona insaturada ou vadosa** – É a zona do perfil do solo situada entre a superfície do solo e o nível freático onde a porosidade do solo só se encontra parcialmente ocupada por água, nomeadamente a porosidade capilar.

**Zona saturada** – É a zona do perfil de solo abaixo da zona não saturada onde os poros do solo estão totalmente preenchidos por água, ou seja, a zona abaixo do nível freático.



## Referências

- Gomes, M. P., Silva, A. A., 1962. Um novo diagrama triangular para a classificação básica da textura do solo. *Garcia da Orta* 10: 171–179.
- Gomes, M. P., Silva, A. A., 1980. Inserção das grandes divisões e subdivisões da textura do solo adoptadas pela FAO (1970) no diagrama de classificação de Gomes & Silva (1962). In: 'Congresso 80 da Ordem dos Engenheiros, Coimbra'. Ordem dos Engenheiros, Lisboa.
- Pereira, L. S., 2004. *Necessidades de Água e Métodos de Rega*. Colecção EuroAgro. Publicações Europa-América., Sintra, Portugal.
- Pereira, L.S., Duarte, E., Fragoso R., 2014. Water use: recycling and desalination for agriculture. In: N. van Alfen (editor-in-chief), *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, Vol. 5, San Diego, Elsevier, pp. 407-424.
- Ramos, T. B., Gonçalves, M. C., Brito, D., Martins, J. C., Pereira, L. S., 2013. Development of class pedotransfer functions for integrating water retention properties into Portuguese soil maps. *Soil Research* 51: 262-277
- Ramos, T. B., Gonçalves, M. C., Martins, J. C., Pereira, L. S., 2014. Comparação de diferentes funções de pedotransferência para estimar as propriedades hidráulicas dos solos em Portugal. In: M. C. Gonçalves, T. B. Ramos, J. C. Martins (eds), *Livro de Actas do Encontro Anual da Sociedade Portuguesa da Ciência do Solo*, p. 29-34, 26 a 28 de Junho, Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, Oeiras.





## Lista de Símbolos

A	textura argilosa
AAr	textura argilo-arenosa
AC	ascensão capilar
AF	teor de areia fina
AG	teor de areia grossa
AL	textura argilo limosa
Ar	textura arenosa
ArF	textura areno-franca
Arg	teor de argila
CO	carbono orgânico do solo
$D_{fim}$	depleção ao fim do dia
$D_{início}$	depleção no início do dia
DP	percolação
E	espessura do horizonte/camada
Esc	escoamento superficial
ET	evapotranspiração
$ET_0$	evapotranspiração de referência
$ET_c$	evapotranspiração cultural
$ET_r$	evapotranspiração real
F	textura franca
FA	textura franco-argilosa
FAAr	textura franco-argilo-arenosa
FAL	textura franco-argilo-limosa
FAr	textura franco-arenosa
FL	textura franco-limosa
G	textura grosseira
GPD	média geométrica do diâmetro das partículas
GSD	desvio padrão do diâmetro médio das partículas
h	pressão efetiva da água no solo
I	rega
K	condutividade hidráulica
$K(h)$	condutividade hidráulica insaturada
$K(\theta)$	condutividade hidráulica insaturada
$K_c$	coeficiente cultural
$K_s$	coeficiente para o stress hídrico
$K_{sat}$	condutividade hidráulica saturada
L	textura limosa
Lm	teor de limo
M	textura média
MdP	textura medianamente pesada (fina)
MP	textura muito pesada (fina)
p	fração de esgotamento de água do solo
P	textura pesada (fina)
R	precipitação
RAW	água facilmente disponível
TAW	água disponível total
Z	profundidade média do horizonte/camada

$\Delta$ Solo	armazenamento de água no solo
$\theta(h)$	curva de retenção de água no solo
$\theta_{FC}$	capacidade de campo
$\theta_{inicial}$	teor de água do solo inicial
$\theta_{WP}$	coeficiente de emurchecimento permanente
$\rho_b$	massa volúmica aparente
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
ISSS	Sociedade Internacional da Ciência do Solo
USDA	United States Department of Agriculture





Instituto Nacional de  
Investigação Agrária e  
Veterinária, I.P.



INSTITUTO  
SUPERIOR DE  
AGRONOMIA  
*Universidade de Lisboa*

**LEAF**

**LINKING LANDSCAPE, ENVIRONMENT,  
AGRICULTURE AND FOOD**



**TÉCNICO  
LISBOA**



**MARETEC**  
MARINE, ENVIRONMENT & TECHNOLOGY CENTER



**SPCS**  
Sociedade Portuguesa  
da Ciência do Solo



Parceria  
Portuguesa  
para o Solo

