

Luís Filipe Lopes de Abreu

Orientador: Jorge Espinha Marques
Coorientador: João Pradinho Honrado

A influência da cobertura vegetal sobre as propriedades hidropedológicas

Tese submetida à Faculdade de Ciências da Universidade do Porto para
obtenção do grau de Mestre em Geologia

**Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto
2012**

AGRADECIMENTOS

O trabalho de investigação científica, no domínio da Hidropedologia, realizado ao longo deste ano, não teria sido possível sem o apoio de diversas pessoas e instituições, às quais expresseo o meu sincero agradecimento:

Ao Professor Doutor Jorge Espinha Marques (Universidade do Porto, UP), orientador desta dissertação, pelo entusiasmo com que, desde o primeiro momento, recebeu este projeto, pela orientação científica, pela amizade, pela confiança e pelo estímulo tantas vezes transmitido. Através de quem descobri o fascínio pelas questões da hidrogeologia e ciências do solo.

Ao Professor Doutor João Pradinho Honrado (Universidade Porto, UP), coorientador desta dissertação, pelas palavras de amizade e estímulo, e sobretudo pela orientação científica, onde se destacou o seu profundo conhecimento sobre as questões da ecológica e serviços de ecossistema.

Ao Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (DGAOT), na pessoa do seu Presidente, Professora Catedrática Deolinda Flores, pela utilização de diversos recursos, em especial a viatura de todo-o-terreno, usada em parte das deslocações a Baião, e alguns meios do Laboratório de Pedologia.

À Câmara Municipal de Baião, por todo o apoio prestado, em especial no que respeita à realização do trabalho de campo e questões logísticas a ele endereçado.

Aos proprietários dos terrenos onde ficaram localizadas as parcelas-experimentais, D. Ilda Macedo de Vasconcelos e D. Maria Arlinda Macedo de Vasconcelos, pelo interesse demonstrado pelos temas abordados nesta investigação e pronta disponibilidade do espaço para a realização dos trabalhos de campo.

Aos alunos Tânia Oliveira, Joana Fernandes e Nuno Magalhães (curso de Ciências e Tecnologias do Ambiente), pelo auxílio prestado em algumas das tarefas de campo, no âmbito do projeto de estágio que aí realizaram.

Ao biólogo João Gonçalves, pela disponibilidade pessoal sempre demonstrada, pelo empenho no auxílio da elaboração de uma metodologia de avaliação da variação do grau de cobertura vegetal.

A todos os professores, funcionários e alunos da FCUP, pelo excelente ambiente proporcionado ao longo da realização desta dissertação.

Aos meus pais, irmã e namorada, por toda a paciência, afeto, e disponibilidade em todos os sentidos.

A todos os demais que colaboraram neste trabalho e a quem, por esquecimento, não dou o merecido destaque, as minhas desculpas e a minha profunda gratidão.

RESUMO

Parcelas representativas de diferentes usos e coberturas vegetais foram selecionadas com o objetivo principal de se estudar a sua influência sobre as propriedades hidropedológicas. Em específico, destaque-se a humidade do solo pelo seu papel no ciclo hidrológico, em que faz a ligação entre as suas fases atmosférica e subterrânea, assumindo-se fundamental na elaboração dos balanços de água. O estudo baseou-se na avaliação da dinâmica temporal e espacial da humidade nos solos das áreas-amostra, que foram descritas e caracterizadas, correlacionado ainda a condutividade hidráulica, bem como as próprias necessidades hídricas (evapotranspiração). A investigação foi norteada por uma perspetiva multidisciplinar e interdisciplinar, tendo sido utilizados conceitos, métodos e técnicas das diversas disciplinas que integram o ramo da Hidropedologia. O estudo incluiu abundante trabalho de campo suportado, essencialmente, por trabalho de gabinete.

Na zona de estudo, que fica localizada na encosta Norte da Serra do Castelo (Baião) e que integra a Zona Centro-Ibérica, os granitos são fortemente dominantes, ocorrendo ainda filões de quartzo. A nível regional predominam os Regossolos, os quais foram reconhecidos em campo pelo estudo do perfil do solo (do tipo Ah; Ah-C; ou ainda Ah-AC-C).

As parcelas experimentais relevaram diferenças significativas no que respeita ao teor de humidade no solo, no decurso do período de estudo. Em termos sazonais, as oscilações no comportamento dos teores de humidade, quer à superfície quer no perfil dos solos, estão dependentes da estacionalidade da precipitação e variações registadas nas temperaturas. A disponibilidade da água no solo das parcelas depende ainda das necessidades hídricas do coberto vegetal, mas sobretudo da aptidão do solo para transportar e armazenar água. É pois possível estabelecer a seguinte hierarquia: os valores mais elevados de humidade são registados no solo com carvalhal, seguindo-se os solos com pinhal, castiçal e, por último, giestal/codeçal. Considerando a instabilidade espacial da humidade no perfil dos solos, pode assumir-se que os desvios mais acentuados ocorrem nos períodos em que a humidade atinge as menores percentagens, correspondendo aos períodos de maior escassez pluviométrica. É nas camadas mais superficiais que se observam as maiores oscilações temporais da humidade entre os tipos de cobertura vegetal, tendendo a atenuar-se em profundidade.

Considerando a média dos ensaios da condutividade hidráulica para cada parcela em estudo comparativamente com o critério da SSDS (1993), verificou-se que se por um lado os solos ocupados por carvalhal e castiçal apresentam permeabilidade alta, já o solo com cobertura por pinhal demarca-se por uma permeabilidade moderadamente alta, tendo inclusivamente num dos ensaios registado uma permeabilidade moderadamente baixa. Os resultados obtidos para a condutividade hidráulica denotam que a variação da humidade entre as diferentes parcelas acompanha a variação da capacidade desses solos em transmitir água.

A vegetação constitui um fator determinante no conteúdo de água do solo, devido às variações

sazonais no grau de cobertura vegetal, bem como às exigências hídricas. A evapotranspiração foi determinada através do método do balanço de água no solo, revelando uma variabilidade temporal em resposta direta à precipitação e humidade do solo. Assim, e considerando o ano excepcionalmente seco, os maiores valores de evapotranspiração foram registados aquando os maiores quantitativos de precipitação, que aconteceram na primavera. Do lado oposto, quer no inverno quer no verão a precipitação escassa resultou em taxas de evapotranspiração mínimas.

Palavras-chave: hidropedologia, uso e cobertura vegetal, humidade do solo, condutividade hidráulica, evapotranspiração.

ABSTRACT

Representative plots of different uses and cover crops were selected for the principal purpose of studying its influence on the hydrogeology properties. Specifically, we highlight soil moisture for their role in the hydrological cycle, which makes the connection between the air and ground phases, assuming fundamental in preparing the balance sheet of water. The study was based on assessment of the spatial and temporal dynamics of moisture in areas of soil sample, which have been described and characterized, still correlated hydraulic conductivity, as well as their own water needs (evapotranspiration). The research was guided by a multidisciplinary and interdisciplinary perspective, having been used concepts, methods and techniques of the various disciplines that comprise the branch of Hydrogeology. The study included abundant fieldwork supported mainly by office work.

In the study area, which is located on the north slope of the Serra de Castelo (Baião) and integrating the Central Iberian Zone, the granites are strongly dominant, where still occurs quartz veins. At a regional level the Regosols predominate, which were recognized in the field study of the soil profile (type Ah; Ah-C; or Ah-AC-C).

The plots revealed significant differences as regards the moisture content in the soil during the study period. In terms of seasonal fluctuations in behavior of moisture, either in or on the surface of the soil profile, are dependent on seasonal variations in rainfall and temperatures. The availability of water in the soil of the plots depends still needs water plant cover, but rather the ability of soil to transport and store water. Is it possible to establish the following hierarchy: the higher humidity values are recorded in the soil with oak, followed soils with pinewood, chestnut woodland, and finally broom scrub. Considering the spatial instability of the soil moisture profile, it can be assumed that the more pronounced deviations occur during the periods in which the humidity reaches the lower percentages, corresponding to periods of shortage greater rainfall. It is the topmost layers that are observed the highest temporal oscillations of moisture between the types of vegetation, tending to fade in depth.

Whereas the average hydraulic conductivity tests for each part in the study compared to the criterion of SSDS (1993), it was found that soils on one hand occupied by oak and chestnut woodland, exhibit high permeability, since the soil covered by pine demarcates by a moderately high permeability, having also a test recording a moderately low permeability. The results obtained for the hydraulic conductivity denote that variations of moisture between different portions accompanying the variation of the capacity of these soils in water stream.

The vegetation is a key factor in soil water content due to seasonal variations in the degree of vegetation cover and water requirements. Evapotranspiration was determined by the method of water balance in the soil, revealing a temporal variability in direct response to precipitation and soil moisture. Therefore, considering the exceptionally dry year, the highest evapotranspiration values were recorded during the largest quantity of rainfall that occurred in the spring. On the opposite

side, either in winter or in summer scanty rainfall resulted in minimum rates of evapotranspiration.

Key words: hydrology, use and cover crops, soil moisture, hydraulic conductivity, evapotranspiration.

ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO, 1

1.1. Introdução geral, 2

1.2. Enquadramento temático geral, 3

1.3. Principais conceitos e abordagens, 4

1.4. Objetivos da investigação, 3

2. FUNDAMENTOS E METODOLOGIAS, 5

2.1. Revisão bibliográfica, 6

2.1.1. A zona não saturada, 6

2.1.2. Infiltração, 7

2.1.3. Movimento da água no solo, 8

2.1.4. Curva característica da humidade do solo, 10

2.1.5. Serviços de ecossistema de natureza hidrológica, 11

2.2. Metodologias e técnicas, 12

2.2.1. Caracterização do coberto vegetal, 13

2.2.1.1. Inventário florestal, 13

2.2.1.2. Estrutura da vegetação, 16

2.2.1.3. Variações no coberto vegetal, 17

2.2.2. Estudo do perfil do solo, 18

2.2.2.1. Introdução ao estudo do perfil do solo, 18

2.2.2.2. Procedimento, 20

2.2.3. Medição da humidade do solo, 21

2.2.3.1. Sonda ThetaProbe ML2x, 21

2.2.3.1.1. Introdução à técnica, 21

2.2.3.1.2. Instalação e captura de dados, 21

2.2.3.2. Sonda Profile Probe PR1, 22

2.2.3.2.1. Introdução à técnica, 22

2.2.3.2.2. Operação, 23

2.2.4. Medição da condutividade hidráulica, 26

2.2.4.1. Permeâmetro de Guelph, 27

2.2.4.1.1. Fundamentos teóricos, 27

2.2.4.1.2. Fundamentos operacionais, 29

2.2.5. Balanço de água no solo e determinação da evapotranspiração, 31

2.2.5.1. Introdução, 31

2.2.5.2. Método, 32

3. INFLUÊNCIA DA COBERTURA VEGETAL SOBRE AS PROPRIEDADES HIDROPEDOLÓGICAS, 33

3.1. Enquadramento da área de estudo, 34

3.1.1. Enquadramento geomorfológico e geológico, 34

3.1.2. Enquadramento pedológico, 37

3.1.3. Enquadramento climatológico, 40

3.2. Resultados, 42

3.2.1. Caracterização do coberto vegetal, 42

3.2.2. Estudo do perfil do solo, 46

3.2.3. Medição da humidade do solo, 48

3.2.4. Avaliação da condutividade hidráulica dos solos das parcelas, 54

3.2.5. Balanço de água no solo e determinação da evapotranspiração, 56

3.3. Discussão dos resultados, 57

4. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS, 59

4.1. Principais conclusões do estudo realizado, 60

4.2. Propostas para investigação futura, 63

4.2.1. Capacidade de infiltração, 63

4.2.2. Propriedades físicas do solo, 63

4.2.3. Curvas características de humidade do solo, 64

4.2.4. Evapotranspiração, 64

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS, 65

ANEXOS

Anexo I - Fatores condicionantes da infiltração de água no solo.

Anexo II - Forma da curva característica da humidade do solo.

Anexo III - Uso do infiltrômetro na determinação da capacidade de infiltração.

Anexo IV - Propriedades físicas do solo e processos hidropedológicos.

Anexo V - Considerações sobre metodologias de determinação da evapotranspiração.

Anexo VI - Metodologia completa do inventário florestal.

Anexo VII - Fichas complementares do inventário florestal.

Anexo VIII - Determinação de campo da textura e estrutura.

Anexo IX - Princípio de funcionamento e calibração da sonda ThetaProbe/ Leitura da humidade através das sondas Profile Probe e ThetaProbe.

Anexo X - Determinação da condutividade hidráulica insaturada.

Anexo XI - Fichas de campo da condutividade hidráulica.

Anexo XII - Cadeia de processamento realizado no programa "Photoshop CS5"/ Código no programa "R" para o cálculo da percentagem de cobertura por vegetação arbórea.

Anexo XIII - Humidade Profile Probe e ThetaProbe e fotos verticais.

Anexo XIV - Dados precipitação e temperatura estação meteorológica de Vila Real.

Anexo XV - Boletins climatológicos.

Anexo XVI - Ficha de espécies.

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2: Fundamentação e metodologias

Fig.2.1.1.1- Zona não saturada-ZNS (extraído de Dingman 1994).

Fig. 2.1.2.1- Curva de Infiltração (extraído de Horton 1930).

Fig. 2.1.4.1- Curva de Característica típica e principais componentes (modificado de Fredlund & Xing 1994).

Fig. 2.2.1- Área de estudo.

Fig. 2.2.1.1.1- Medição da altura do estrato arbustivo.

Fig. 2.2.1.1.2- Medição da profundidade da manta morta.

Fig. 2.2.1.1.3- Ordem de medição de árvores na parcela.

Fig. 2.2.1.1.4- Medição do DAP.

Fig. 2.2.1.1.5- Medição do diâmetro (a) e densidade, pelo uso de uma lâmina (b), da madeira morta derrubada.

Fig. 2.2.1.3.1- Fotos verticais às parcelas de ocupação florestal (10-05-12).

Fig.2.2.2.1.1- Determinação da cor do solo.

Figura 2.2.2.1.2- Diagrama de texturas do solo segundo SSDS (1993).

Fig. 2.2.2.1.4: Classificação da estrutura do solo (modificado de Porta *et al.* 1999).

Fig. 2.2.2.2.1- Determinação do perfil do solo pela sonda de meia-cana.

Fig. 2.2.3.1.1.1- Representação esquemática da sonda ThetaProbe ML2x (extraído de Miller & Gaskin 1997).

Fig. 2.2.3.1.2.1- Sequência de procedimentos com vista à determinação da humidade do solo pelo uso do ThetaProbe.

Fig. 2.2.3.2.1.1- Profile Probe (a) e princípio de funcionamento da sonda (b) (modificado de <http://www.delta-t.co.uk/product-display.asp?id=PR2%20Product&div=Soil%20Science>).

Fig. 2.2.3.2.2.1- Abertura no solo e inserção do tubo de acesso.

Fig. 2.2.3.2.2.2- Componentes acoplados aos tubos de acesso e equipamentos de leitura.

Fig. 2.2.3.2.2.3 - Leitura dos dados de humidade do solo pelo uso da sonda PR1.

Fig. 2.2.4.1- Relação entre carga de pressão e condutividade hidráulica insaturada em solos arenosos e argilosos (adaptado de Radcliffe & Rasmussen 2002).

Fig. 2.2.4.1.1.1- Esquema do permeâmetro de Guelph (modificado de Reynolds, 1993).

Fig. 2.2.4.1.1.2- Bulbo de saturação formado em volta do furo (Soilmoisture 1987).

Fig. 2.2.4.1.2.1- Abertura da sondagem/ pontas de trado/ escova.

Fig. 2.2.4.1.2.2- Sequência de montagem do permeâmetro de Guelph.

Fig. 2.2.4.1.2.3- Enchimento do reservatório (a), escala da carga hidráulica (b) e ascensão de ar através do reservatório (c).

Fig. 2.2.4.1.2.4- Escoamento de água para o orifício e leituras do nível da água no reservatório.

Capítulo 3: Influência da cobertura vegetal sobre as propriedades hidropedológicas

Fig. 3.1.1.1: Extrato da folha 10C da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000.

Fig. 3.1.1.2- Granito pofiróide de grão grosseiro.

Fig. 3.1.1.3- Granito alterado junto ao contacto com filão quartzoso (bordo esquerdo).

Fig 3.1.2.1- Extrato da Carta de Solos da Região de Entre-Douro e Minho, à escala 1/100 000.

Fig. 3.1.2.2- Áreas terraceadas na região envolvente à área de estudo.

Fig. 3.1.2.3: Perfil de um Regossolo na área de estudo.

Fig. 3.1.3.1- Clima de Portugal Continental, segundo a classificação de Koppen (extraído de Instituto de Meteorologia de Portugal) .

Fig. 3.1.3.2- Normais climatológicas da precipitação para a estação meteorológica de Vila Real (extraído de Instituto de Meteorologia de Portugal).

Fig. 3.2.1.1. Vista geral da parcela.

Fig. 3.2.1.2- Evolução da cobertura vegetal nas parcelas florestais de carvalho, castiçal e pinhal.

Fig. 3.2.2.1- Perfis do solo amostrados para parcela de carvalho.

Fig. 3.2.2.2- Perfis do solo amostrados para parcela de castiçal.

Fig. 3.2.2.3- Perfis do solo em talude da estrada.

Fig. 3.2.2.4- Perfis do solo amostrados para parcela de pinhal.

Fig. 3.2.3.1- Humidade no perfil dos solos sob diferentes usos e cobertos vegetais.

Fig. 3.2.3.2- Evolução mensal da precipitação, média das temperaturas máximas e humidade no perfil do solo.

Fig. 3.2.3.3- Evolução mensal dos coeficientes de variação da humidade entre os diferentes tipos de coberto vegetal.

Fig. 3.2.3.4- Evolução do teor volumétrico de água no solo com a profundidade entre os diferentes parcelas.

Fig. 3.2.3.5- Humidade ThetaProbe das parcelas para o período de estudo.

Fig. 3.2.3.6- Variação da humidade superficial nas parcelas para o período de estudo.

Fig. 3.2.5.1- Evolução temporal da precipitação bruta, do teor volumétrico de água no solo e da evapotranspiração estimada pelo método do balanço hidrológico para cada parcela.

ÍNDICE DE QUADROS

Capítulo 3: Influência da cobertura vegetal sobre as propriedades hidropedológicas

Quadro 3.2.1.1- Ficha de medições do inventário florestal para a parcela de carvalhal.

Quadro 3.2.1.2: Estrutura da vegetação das parcelas.

Quadro 3.2.4.1- Classificação dos solos quanto à permeabilidade (adaptado de SSDS, 1933).

Quadro 3.2.4.2- resultados dos ensaios de condutividade hidráulica para os solos das parcelas.

Quadro 3.2.4.3: Características dos grupos hidrológicos de solos do tipo A.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AEMET - Agencia Estatal de Meteorologia
CXG - Complexo Xisto-grauváquico
DAP - Diâmetro à Altura do Peito
DB - Diâmetro da Base
DGF - Direção Geral das Florestas
DRAEDM - Direção Regional de Agricultura Entre-Douro e Minho
DT - Diâmetro do Topo
ET - Evapotranspiração
FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations
IM, I.P. - Instituto de Meteorologia, Portugal
INAG - Instituto Nacional da Água
MMA - Ministério do Meio Ambiente
MO - Matéria Orgânica do Solo
NAP - National Academy Press
REDM - Carta de Solos da Região de Entre-Douro e Minho
SIG - Sistema de Informação Geográfica
SSDS - Soil Survey Division Staff
ZCI - Zona Centro-Ibérica.
ZCT - Zona Crítica da Terra
ZNS - Zona Não Saturada.

LISTA DE SÍMBOLOS

ψ_g = potencial gravítico
 ψ_o = potencial osmótico
 ψ_p = potencial de pressão
 ψ_t = potencial total de água no solo
 θ_w ou θ = teor volumétrico de água no solo
 θ_r = teor volumétrico residual de água
 θ_s = teor volumétrico de água em saturação
 a = raio de sondagem
 D = drenagem gravítica
 D_i = densidade absoluta de árvores florestais
 DR = densidade relativa de árvores florestais
 DT = densidade total de árvores florestais

e = índice de vazios

ET = perda de água por evapotranspiração

f_p = capacidade de infiltração

g = aceleração da gravidade

H = potencial da água no solo

h = carga de pressão

k_i = condutividade hidráulica insaturada

k_s = condutividade hidráulica saturada

k_{sc} = condutividade hidráulica saturada de campo

n = porosidade

P = precipitação bruta

q = caudal escoado/secção de escoamento

Q_s = escoamento superficial

R = taxas de rebaixamento

ΔS = variação da quantidade de água armazenada no solo

Z = impedância

z = carga gravítica da água do solo

1. Introdução

1.1. Introdução geral

O presente trabalho é dedicado ao estudo da influência da cobertura vegetal, associada a determinados tipos de ocupação do solo, sobre as propriedades hidropedológicas na zona não saturada (ZNS). Esta compreende a camada mais superficial da crosta terrestre, estendendo-se entre a superfície topográfica e a superfície freática, onde o teor de água é inferior à porosidade do terreno.

A elaboração deste trabalho de investigação dedicado ao estudo de propriedades hidropedológicas da ZNS, tem por base a importância desta zona quando considerados os fenómenos da infiltração, recarga de aquíferos e a própria contaminação das águas subterrâneas, que dependem em grande medida das suas características físicas, químicas, mas também as biológicas relacionadas à cobertura vegetal. Denote-se a importância da fase do ciclo hidrológico que aqui tem lugar, com grande influência sobre a quantidade e qualidade dos recursos hídricos subterrâneos. Ora, pese a importância da ZNS, reconheça-se todavia que o seu estudo foi, durante largos tempos, algo descurado, de tal forma que Nielsen *et al.* (1986) notam que nenhuma disciplina científica lhe tem conferido suficiente atenção, nomeadamente no que respeita ao seu uso, conservação e gestão. De facto, o estudo desta zona tem sido feito de forma segmentada, em “compartimentos estanques”, de onde resulta alguma carência de conhecimento teórico e experimental (Varela, 1993).

Aborde-se, por fim, o conceito de Hidropedologia. De acordo com Lin (2003), este tem por base o reconhecimento de que se podem estabelecer pontes entre as Ciências do Solo e a Hidrologia com vista ao desenvolvimento de estudos integrados abrangendo a relação solo-água no espaço e no tempo. Segundo o mesmo autor, a Hidropedologia afirma-se como o ramo do conhecimento que engloba abordagens multidisciplinares e multiescala para o estudo de processos pedológicos e hidrológicos na chamada “Zona Crítica da Terra” (ZCT). Esta, tal como definida pelo National Research Council (NRC, 2001), abrange a zona de enraizamento, a zona não saturada profunda, a zona saturada e a superfície topográfica (claro está, com a respetiva vegetação). É de notar que, enquanto a abordagem tradicional da Ciência do Solo limitou o seu âmbito aos primeiros metros imediatamente abaixo da superfície topográfica (destacando a zona de enraizamento), a Hidropedologia estende-se até à superfície freática, abaixo da qual incide com maior enfoque o ramo da Hidrogeologia; proporcionando, em conjunto, uma abordagem sistemática dos sistemas superficiais e subsuperficiais da Terra. O NRC identificou os estudos integrados da ZCT como um dos mais importantes campos de investigação científica para o séc. XXI. Ora, é nesse âmbito que se insere o estudo que se apresenta, determinando a influência do uso e cobertura vegetal sobre as propriedades e processos hidropedológicos, com influência no controlo dos serviços de ecossistema produzidos por esses sistemas naturais, leia-se diretamente relacionados com o suporte da vida.

1.2. Enquadramento temático geral

Em concreto, o estudo cifra-se na avaliação da dinâmica temporal e espacial da humidade do solo em parcelas de diferentes coberturas vegetais; correlacionado ainda a condutividade hidráulica do solo, assim como as próprias necessidades hídricas.

A humidade do solo (Θ) é um dos principais elementos do ciclo hidrológico: basta ver o papel de ligação entre as fases atmosférica e subterrânea do mesmo. Denota um papel fundamental na elaboração dos balanços de água, pois determina as taxas de infiltração, percolação e escoamento superficial (Cerdà 1997); condicionando fortemente as propriedades do solo. Desta forma, o conhecimento do teor de água do solo é crucial, tanto mais considerando a influência que exerce em processos ecológicos como a fotossíntese (Band *et al.* 1993); ou, ainda, assumindo um papel crucial na inflamabilidade do coberto vegetal e regime de incêndios (Clark, 1990).

Não obstante de se considerar a humidade do solo um indicador fiável das condições hídricas em que este se encontra, importa assumir que o teor de humidade num determinado ponto é influenciado por um conjunto de fatores. Aqui, destacam-se: a precipitação e a temperatura antecedente, a textura do solo (determina o comportamento hidrológico, especificamente no que concerne à capacidade em armazenar água), o declive (por afetar o escoamento superficial/infiltração), e ainda o papel do tipo e densidade do coberto vegetal sobre os mecanismos da evapotranspiração (Gómez-Plaza *et al.* 2000; Illston *et al.* 2004). Ora, o conhecimento do último fator, note-se relacionado à ocupação do solo (e sua tendência de evolução), assume-se de peculiar relevância, pois afirma-se o papel que o seu controlo poderá exercer numa altura em que se anunciam importantes mudanças, nos quantitativos e distribuição da precipitação, incluindo na Península Ibérica, devendo constituir mais um elemento a ponderar num leque de estratégias de resposta e adaptação com vista à eficaz gestão dos recursos hídricos, no futuro.

A recolha e análise dos dados de campo da humidade decorreu de janeiro a agosto do presente ano de 2012. Esta foi direcionada a parcelas de diferentes tipos de uso e coberto vegetal, que foram descritas e caracterizadas; sendo ainda correlacionada a humidade (e sua variação em profundidade) à condutividade hidráulica do solo, através de ensaios de permeabilidade pelo uso do permeâmetro de Guelph (*e.g.*, Reynolds 1993; Reynolds & Elrick 2002), bem como às necessidades hídricas motivadas pelo tipo de ocupação vigente em cada parcela, por via do estudo do balanço de água no solo. Ora, o conhecimento das propriedades hidráulicas da zona não saturada, em especial a condutividade hidráulica, é fundamental para a avaliação e compreensão dos recursos hídricos subterrâneos (*e.g.*, Dingman 1994; NAP 2001). Não obstante, fatores como a formação do solo importam sempre ser tidos em conta nestes estudos, pois reconheça-se a sua influência sobre os processos da infiltração e, por esta via, da recarga dos aquíferos. Assim, denote-se a importância da caracterização da zona não saturada, sobretudo o perfil do solo, motivado pela geologia, geomorfologia e pedologia; dando, então, destaque à sua estrutura e propriedades hidropedológicas.

A área estudada situa-se, dentro da região do Baixo Tâmega, no concelho de Baião (distrito do Porto), em específico na freguesia de Loivos do Monte, lugar de Aldeia. As parcelas experimentais inserem-se na encosta Norte da Serra do Castelo, apresentando como coordenadas geográficas da sua centralidade: N41°11'10,7"/W7°59'43,2" (carvalho), N41°11'11,9"/W7°59'32,3" (castinçal), N41°11'16,6"/W7°59'30,8" (pinhal) e N41°10'95,6"/W7°59'80,0" (giestal/ codeçal).

1.3. Principais conceitos e abordagens

Em termos de terminologias usadas para referir alguns dos conceitos e processos hidropedológicos considerados neste estudo, importa tomar algumas considerações. Em primeiro lugar, o conceito de solo adotado é o da FAO (2006), pelo qual este abrange “qualquer material situado a menos de dois metros de profundidade e que esteja em contacto com a atmosfera, excetuando os organismos vivos, as áreas de gelo contínuo não cobertas por outros materiais e os corpos de água com mais de 2 m de profundidade”.

No que toca à circulação da água sobre a superfície topográfica, em específico a circulação difusa através da superfície das vertentes, são empregues indiscriminadamente os termos “escoamento superficial” (Lencastre & Franco 1992) ou “escorrimento superficial” (e.g., Oliveira Jr. *et al.* 2001, Calouro & Avelar 2003, Carvalho 2003). Tal como sugerem Custódio & Llamas (1996), será claramente distinguida a “infiltração” (movimentação da água da superfície topográfica para a camada superior do solo) da efetiva entrada de água na zona saturada, leia-se, “recarga” (resultante da deslocação, por percolação, da água da zona não saturada para a zona de saturação).

Ao longo do estudo, referem-se recorrentemente os conceitos de uso e ocupação do solo. Estes referem-se aqui, respetivamente, ao tipo de utilização do solo e tipo de cobertura vegetal.

1.4. Objetivos da investigação

O presente estudo teve como principal objetivo contribuir para o conhecimento da influência da cobertura vegetal sobre as propriedades hidropedológicas. Em específico, a avaliação da dinâmica temporal e espacial da humidade do solo e condutividade hidráulica em parcelas experimentais representativas de dados tipos de uso e coberturas vegetais. Complementarmente, ambicionou-se aferir o efeito do tipo e densidade do coberto vegetal sobre os mecanismos da evapotranspiração, por via da determinação do balanço de água no solo. Pretende, deste modo, contribuir-se para o aperfeiçoamento da gestão sustentável dos recursos hídricos subsuperficiais.

2. Fundamentos e Metodologias

2.1. Revisão bibliográfica

2.1.1. A zona não saturada

A zona não saturada (ZNS), vulgarmente designada zona de aeração ou vadosa, constitui a parte superior da crosta terrestre onde o teor de água é inferior à porosidade, sendo o potencial de pressão negativo (pressão efetiva é inferior à atmosférica)- e.g., Varela 1993. A ZNS integra um sistema com três fases: a sólida (materiais minerais e orgânicos), a líquida (água e seus solutos) e a gasosa (sobretudo o vapor de água). Ora, é nesta zona que ocorrem fenómenos como infiltração e a transpiração das plantas (e.g., Fitts 2002).

A ZNS pode ser subdividida em três subzonas (e.g., Dingman 1994), a saber (fig. 2.1.1.1):

- **Subzona superior** (zona de humidade do solo): é a parte mais superficial, onde a perda de água por evapotranspiração é intensa. Abarca desde a superfície topográfica até à profundidade alcançada pelas raízes, tendendo a cingir-se aos horizontes mais superficiais do perfil do solo. Acrescente-se que esta zona serve de suporte fundamental da biomassa vegetal, natural ou cultivada, e de interface atmosfera / litosfera. Como resultado, o teor de água do solo varia muito com as mudanças estacionais da vegetação, pese oscilar entre a capacidade de campo (máxima retenção) e o ponto de emurchecimento permanente (retenção mínima).
- **Subzona intermédia:** compreendida entre a subzona superior e a franja capilar, recebe água da primeira por percolação e fornece água à segunda por drenagem gravítica. O teor de humidade tende a aproximar-se da capacidade de campo, podendo mesmo excedê-la após infiltração na subzona superior. Note-se que, em áreas onde a superfície freática está próxima à superfície, a subzona intermédia pode ser quase inexistente, visto a franja capilar atingir frequentemente a superfície do solo; de onde resulta uma intensa evaporação da água. Ao invés, em áreas áridas, pode mesmo atingir dezenas de metros.
- **Franja capilar:** é a região mais próxima à superfície freática, na qual a humidade é maior devido à presença da zona saturada logo abaixo. Aqui, enquanto resultado das tensões capilares, a água ascende (por capilaridade) e mantêm-se acima do nível freático. Ora, a ascensão será tanto maior quanto menor seja a granulometria, associada a microporos e fissuras mais finas, podendo atingir vários metros em solos argilosos.

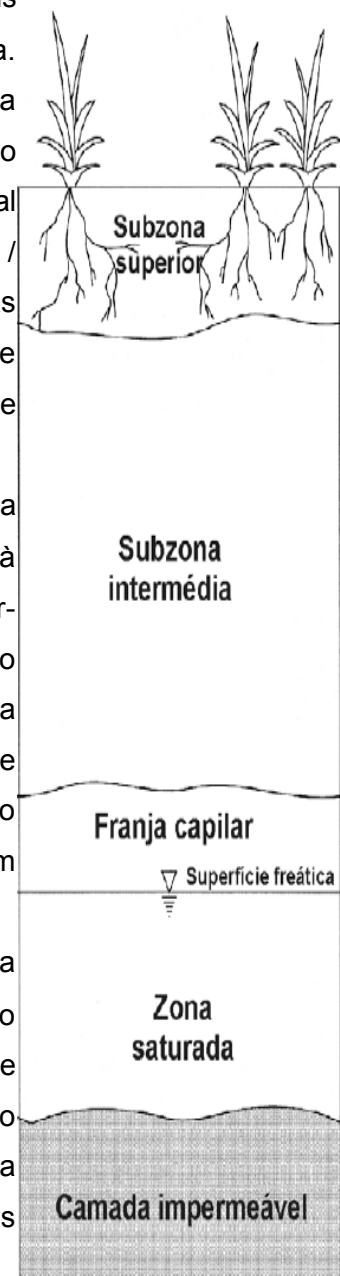


Fig.2.1.1.1- Zona não saturada-ZNS (adaptado de Dingman 1994).

2.1.2. Infiltração

Das características da zona não saturada estão dependentes fenômenos de especial relevo como seja a infiltração ou recarga de aquíferos. Ora, a delimitação de áreas com maior potencial de recarga (e.g., Teixeira 2010) reveste-se, hoje, de particular interesse, pois constituem a via de entrada da água nos sistemas subterrâneos.

O conceito de infiltração refere-se ao processo pelo qual a água atravessa a superfície do solo; surgindo em oposição ao escoamento superficial, segundo o qual se dá o movimento da água pela sua superfície (e.g., Fitts 2002). Entre os fatores que condicionam o balanço entre a infiltração e o escoamento superficial, destacam-se (excetuando os ligados ao tipo, quantidade e distribuição temporal da precipitação): condição e forma de uso do solo; tipo de solo; humidade inicial do solo; relevo ou declive; temperatura; presença de fendas, condutas e canais biológicos; compactação do solo; cobertura vegetal. A dependência da infiltração face a estes fatores é exposta no anexo I.

Como parâmetro da infiltração apresenta-se a capacidade de infiltração. Expressa a taxa máxima a que um solo é capaz de absorver água, a qual é vulgarmente expressa em mm/h. A capacidade de infiltração (f_p) varia com o tempo, pelo que pode ser representada graficamente (figura 2.1.2.1). Ora, esta é máxima no início da precipitação (designação de f_o), decaindo com o tempo, até que tende a manter-se constante quando o solo começa a ficar saturado (f_c).

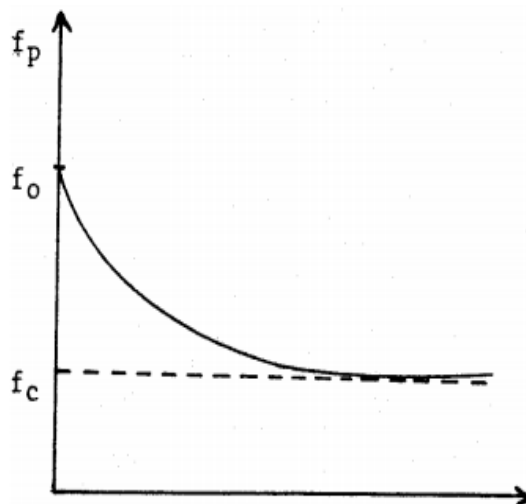


Fig. 2.1.2.1- Curva de Infiltração (extraído de Horton 1930).

Segundo Horton (1930), f_p tende a f_c após um período compreendido entre 1 e 3 horas. O mesmo autor propôs a seguinte equação para descrever a curva de infiltração de um solo:

$$f_p = f_c + (f_o - f_c) e^{-kt}$$

onde: f_p é a capacidade de infiltração em função do tempo (t); f_c é a capacidade de infiltração final; f_o é a capacidade de infiltração inicial; k é uma constante.

2.1.3. Movimento da água no solo

O movimento da água em solo não saturado pode ser descrito pela equação de Darcy (e.g., Fetter 2001), pese originalmente deduzida para solos saturados, sendo representada pela seguinte equação:

$$q = - K \cdot \partial H / \partial L$$

em que: q = caudal escoado/secção de escoamento; K = condutividade hidráulica do solo saturado; H = potencial da água no solo; e L = distância entre os pontos considerados.

A água do solo movimenta-se, note-se espontaneamente, de locais de maior energia potencial para locais onde a mesma é mais baixa (Hillel 2004). A energia potencial, também apelidada de potencial da água do solo, é expressa em relação a um estado arbitrário, leia-se um sistema de referencia ou de potencial nulo. Este é definido por Bolt (1976) como sendo um reservatório hipotético de água pura, sujeita somente à força de gravidade, à pressão atmosférica normal, assim como em condições isotérmicas com a água do solo e localizado a dada altitude. Por seu turno, o potencial total (Ψ_t) da água no solo (presente na equação anterior) refere, segundo o mesmo autor, a “quantidade de trabalho necessária, por quantidade unitária de água pura, que deve ser realizado por forças externas ao sistema, para transferir, reversível e isotermicamente, uma quantidade infinitesimal de água desde o estado de referência até ao ponto do solo considerado”. Aqui, considera-se, commumente, que o potencial total corresponde à soma de três componentes (e.g., Bolt 1976, Santos 1997, Fetter 1999, Hillel 2004): o potencial gravítico (Ψ_g , condicionado pela localização do corpo de água face ao campo gravítico terrestre), o potencial osmótico (Ψ_o , relacionado à presença de iões dissolvidos na água do solo, os quais reduzem a energia potencial) e o potencial de pressão ou potencial matricial, no caso de solos não saturados (Ψ_p , tem em conta os restantes efeitos combinados a que está sujeita a água do solo). Assim, temos que: $\Psi_t = \Psi_g + \Psi_o + \Psi_p$.

Ora, a razão entre a taxa de variação do potencial da água no solo, ao longo da distância por ela percorrida ($\partial H / \partial L$), toma a designação de gradiente hidráulico, representando a força responsável pelo escoamento da água no solo. O sinal negativo na equação de Darcy indica que o escoamento estabelece-se do maior para o menor potencial, ao passo que o gradiente hidráulico se define de cargas menores para maiores.

Na equação de Darcy, evidencia-se que as condições imprescindíveis para que se estabeleça o movimento da água no solo são a existência de uma diferença no potencial entre os pontos considerados e um meio poroso condutivo, isto é, para o qual a condutividade hidráulica não pode ser nula. Se ambas as condições não forem satisfeitas, o escoamento da água no solo não ocorrerá. A aplicação da referida equação, para solos não saturados, exige que seja considerada a variação da condutividade hidráulica com o teor de humidade do solo, tendo esta como limite superior o próprio valor da condutividade hidráulica do solo saturado. Nesse caso, o potencial da

água do solo tem dois componentes, a carga gravítica e a carga de pressão, sendo representado pela equação:

$$H = h + z$$

em que: h = carga de pressão (modo de expressar o potencial matricial por via de unidades de comprimento, segundo Fetter 1999); e z = carga gravítica da água do solo.

Ora, o potencial da água do solo assim representado, leia-se segundo energia por unidade de peso (e.g., Santos 1997, Hillel 2004), toma a designação de carga hidráulica total (H). Esta relaciona-se com o potencial total do seguinte modo:

$$\Psi_t = gH$$

em que: g = aceleração da gravidade.

Assim, em condições de escoamento em meio não saturação, a equação de Darcy torna-se:

$$q = -K(\theta) \cdot \frac{\partial (h + z)}{\partial L}$$

em que: $K(\theta)$ é a condutividade hidráulica do solo para um dado teor de humidade θ .

Como facilmente se depreende, a maioria da recarga dos sistemas de água subterrânea ocorre por via da percolação da água através da zona não saturada. Ora, o movimento da água nesta zona é controlado tanto pela força gravitacional como, acrescente-se, pela capilar. A capilaridade é o resultado de duas forças: a atração mútua entre as moléculas de água (coesão) e a atração molecular entre água e os diferentes materiais sólidos (adesão). Como consequência destas forças, a água subirá através de um tubo capilar (fig. 2.1.3.1); o mesmo podendo acontecer no solo, pois considere-se que maior parte dos poros nos materiais granulares são de dimensão capilar.

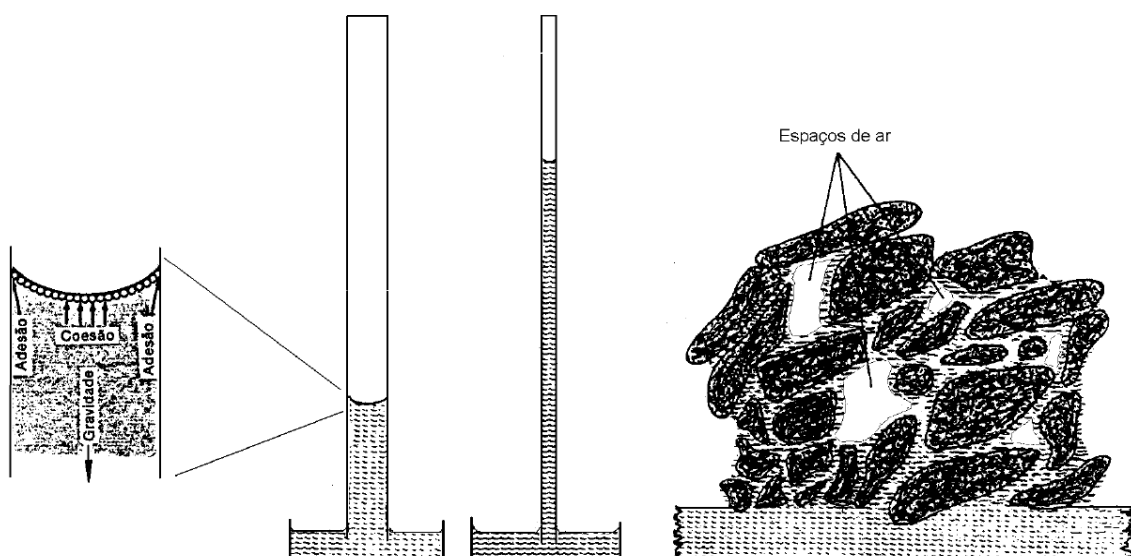


Fig. 2.1.3.1- Capilaridade em tubos de diferentes diâmetros e nos poros do solo (extraído de Correia 2002).

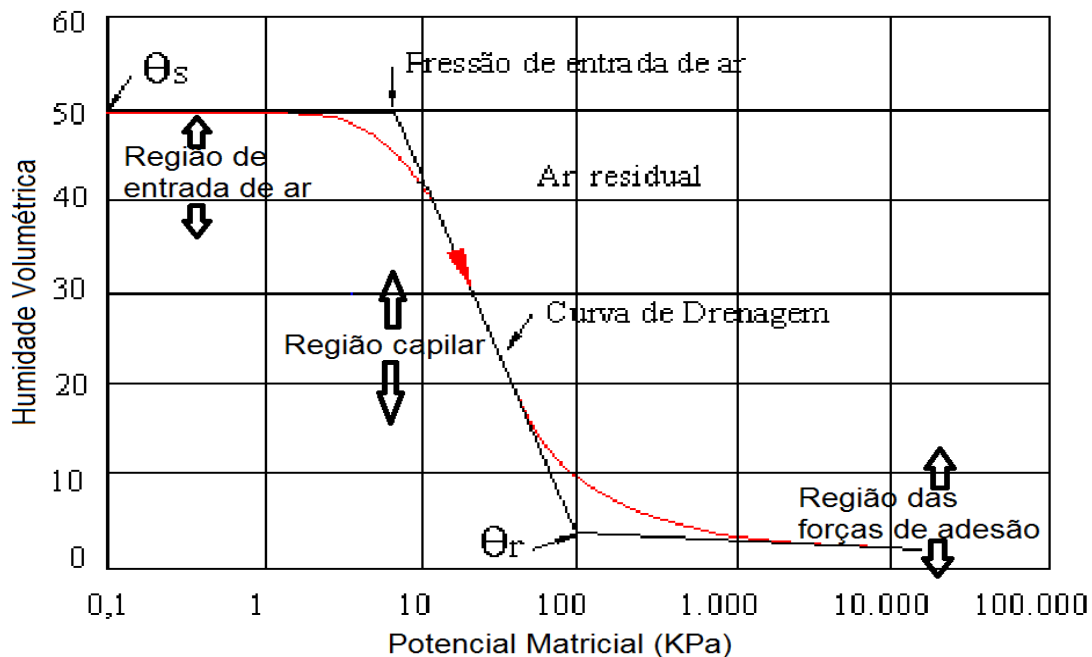
2.1.4. Curva característica da humidade do solo

Pode apresentar-se o teor volumétrico de água de dado solo (θ) em função do potencial matricial (Ψ_m) ou carga de pressão (h). O resultado desta relação expressa-se através da “Curva Característica” ou “Curva de Retenção de Humidade pelo Solo” (e.g., Santos 1997, Porta *et al.* 1999, Hillel 2004). Denote-se a importância da determinação da mesma, pois permite, exemplarmente: estimar a disponibilidade de água no solo em termos de quantidade máxima de armazenamento de água (capacidade de campo), armazenamento mínimo (ponto de emurchecimento permanente) ou o armazenamento em qualquer ponto da curva.

Reichardt (1985) descreve o comportamento da água nos solos em função da variação do potencial matricial:

“Em solos saturados, em equilíbrio com a água pura e à mesma altitude, o potencial matricial é nulo. Aplicando-se uma pequena sucção (isto é, diminuindo o potencial matricial) à água do solo saturado, não ocorrerá nenhuma saída de água até o momento em que esta atinge determinado valor em que os poros de maior dimensão começam a ser drenados (região de entrada de ar). Quando o potencial matricial atinge esse valor crítico, é atribuída a designação de “valor ou pressão de entrada de ar”. (...) Aumentando a pressão, é drenada mais água, note-se, de poros progressivamente menores (região capilar: predominam as forças de coesão e adesão); até que, a pressões muito altas, ou seja, a potencial matricial muito baixo, somente os poros muito pequenos conseguem reter a água (região das forças de adesão). Para lá de um valor residual de humidade, o aumento da pressão deixa de provocar perda adicional de água pelo solo”.

Uma curva de retenção típica (solo siltoso) é apresentada seguidamente (fig. 2.1.4.1), incluindo a indicação dos componentes e estágios principais.



θ_s = teor volumétrico de água em saturação; θ_r = teor volumétrico residual de água.

Fig. 2.1.4.1- Curva Característica típica e principais componentes (modificado de Fredlund & Xing 1994).

As curvas assumem várias formas, querendo isto indiciar a influência de determinados fatores sobre a retenção de água pelo solo (anexo II), como sejam o tipo de solo ou a sua compactação.

2.1.5. Serviços de ecossistema de natureza hidrológica

O impacto antrópico sobre os ecossistemas tem-se acentuado, estando a alterar-se sem precedentes as suas características biológicas, físicas, químicas e, inclusive, geológicas. Ora, é inegável que aspetos como a degradação da qualidade e quantidade da água têm produzido um perda de bem-estar dos seres humanos. Desta forma, torna-se fundamental a persecução de estudos que avaliem os efeitos das alterações dos ecossistemas sobre a sua capacidade em continuar a fornecer determinados serviços, isto é, benefícios diretos e indiretos que as pessoas podem retirar. Nesse propósito, por iniciativa das Nações Unidas, foi desenvolvida precisamente uma metodologia de avaliação dos efeitos das alterações dos ecossistemas sobre o bem-estar dos seres humanos. Designada por *Millennium Ecosystem Assessment* (Avaliação de Ecossistemas do Milénio), visa estabelecer as bases científicas da atuação destinada a melhorar a conservação e o uso sustentável dos ecossistemas e os seus efeitos sobre o bem-estar da Humanidade.

Os conceitos, métodos e técnicas da Hidropedologia abordados nestes tipo de estudos fornecem instrumentos fundamentais para a consecução dos objetivos anteriores. De facto, denote-se que alguns serviços de ecossistema estão diretamente relacionados com processos hidropedológicos (Espinha-Marques 2009): o fornecimento de água subterrânea destinada a uso humano; o amortecimento da escassez de água em períodos de seca; o controlo da ocorrência de cheias por via da entrada de água da precipitação na ZNS. Os serviços agrupam-se, segundo o *Millennium Ecosystem Assessment*, em quatro grandes grupos segundo os quais devem ser valorados os ecossistemas: (i) serviços de produção, relacionados a produtos/bens de consumo obtidos a partir dos ecossistemas (ex. água potável); (ii) serviços de regulação, que tratam benefícios “intangíveis” resultantes dos processos dos ecossistemas, onde caem a maioria dos processos hidropedológicos (ex. regulação hidrológica, purificação da água); (iii) serviços de suporte, fundamentais para a provisão dos outros serviços (ex. suporte de habitats para a flora e fauna, fonte de biodiversidade); (iiii) serviços culturais, correspondendo a benefícios diretos imateriais resultantes do contacto com os ecossistemas (ex. sistemas de conhecimento/ciência, lazer e recreação).

Face ao referido, resulta a consciência de que não se considera, frequentemente, o real valor dos recursos hídricos subsuperficiais, que inclui o valor da água subterrânea extraída para satisfazer a sua procura (afim à utilização humana) e o valor da mesma *in situ*; o último associado à prestação de um conjunto de outros serviços fundamentais relacionados ao funcionamento natural dos sistemas. Desta forma, conclua-se a importância da gestão hidrológica dos solos e dos próprios subsistemas de água subterrânea, de modo a garantir a sustentabilidade da sua exploração em sentido lato.

2.2. Metodologias e técnicas

A metodologia adotada resume-se na seleção de áreas-amostra, isto é, parcelas representativas dos usos e coberturas vegetais a estudar, localizadas em termos espaciais na área de estudo (fig. 2.2.1): pinhal; castiçal, carvalho (ocupação florestal por árvores adultas) e giestal (/codeçal) (correspondente à ocupação por matagais). Acrescente-se que, as parcelas selecionadas apresentam características típicas e que se consideraram representativas do tipo de ocupação aí presente; de forma que se impôs a seleção de áreas suficientemente alargadas e com clara dominância de dado tipo de coberto vegetal. Paralelamente, denote-se a localização das parcelas maioritariamente numa única vertente, excetuando-se a de ocupação do solo por giestal (/codeçal) que, ainda assim, apresenta a mesma exposição que as anteriores, para Norte. As parcelas distam menos do que 1 km (linha reta) entre si, as variações na altitude são escassas (± 50 m) e o declive é sensivelmente o mesmo (oscilando entre 5-15%), à exceção da parcela de castiçal que regista um declive mais acentuado (35-40%).

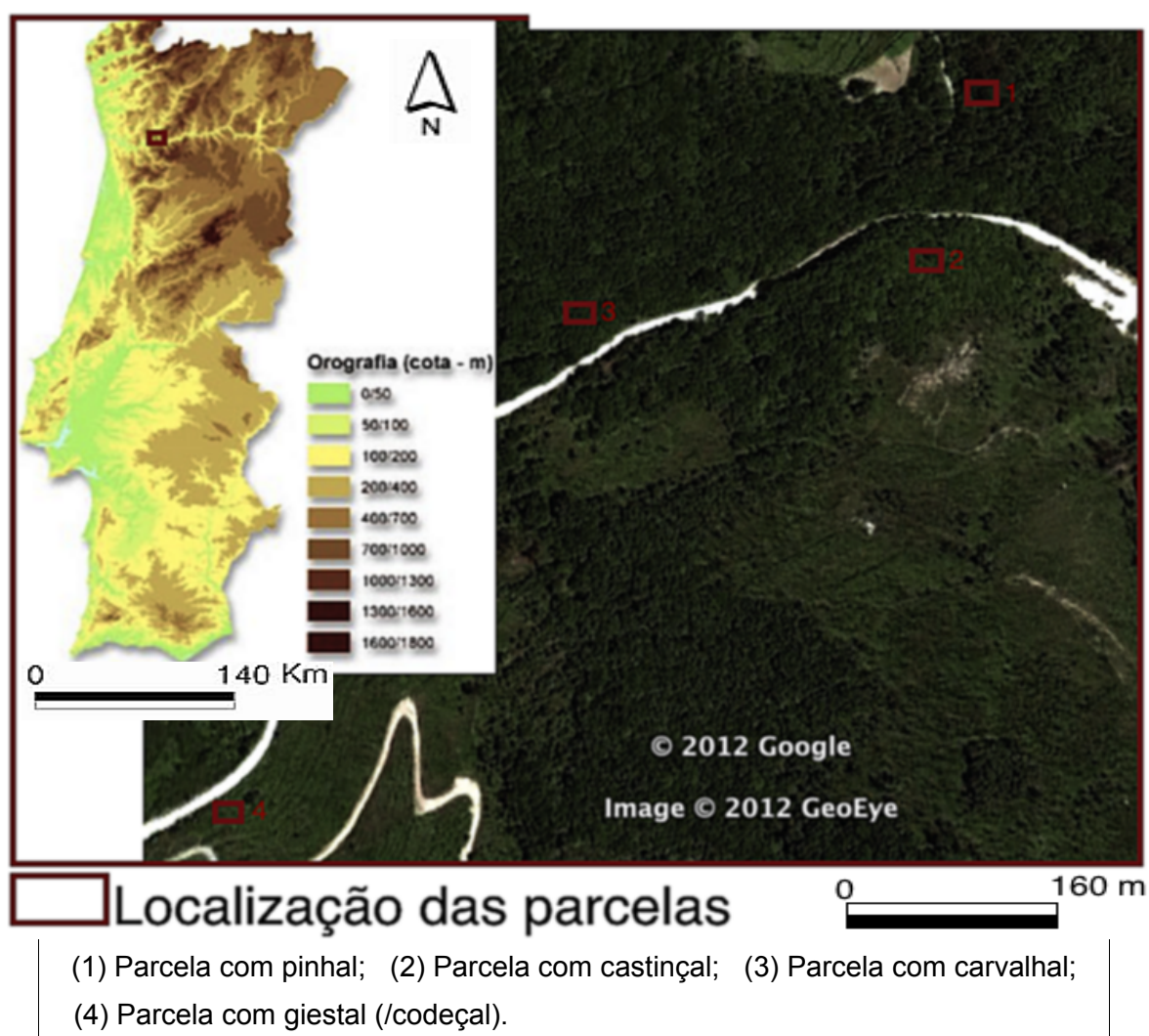


Fig. 2.2.1- Área de estudo.

2.2.1. Caracterização do coberto vegetal

2.2.1.1. Inventário florestal

Com vista à caracterização do coberto vegetal das diferentes parcelas procedeu-se à realização de um inventário florestal. Nesse propósito, importou, numa primeira instância, proceder à marcação do centro das referidas parcelas. Ora, este foi definido como correspondendo ao centróide da forma geométrica definida pelos tubos inseridos no terreno para leituras da humidade do solo (triângulo), cuja localização já é privilegiada no seio das parcelas. Após o que pôde iniciar-se o inventário propriamente dito. A descrição pormenorizada da metodologia é apresentada no anexo VI, sendo a sua consulta relevante na compreensão dos métodos adoptados em campo.

Importou, inicialmente, proceder à classificação da ocupação do solo (relativamente à mancha homogénea do ponto de vista do uso e cobertura vegetal) e, tratando-se de ocupação florestal, registou-se o tipo de floresta. Seguem-se um conjunto de medições e observações.

Caracterização fisiográfica da parcela:

- Situação fisiográfica

Anotou-se a situação fisiográfica da parcela (fundo de vale, encosta, planalto, etc.).

- Exposição dominante

A exposição dominante da parcela foi registada com recurso à utilização da bússola.

- Declive

Mediu-se o declive da parcela segundo uma linha de declive médio.

Fitovolume arbustivo da parcela

O fitovolume arbustivo traduz o volume ocupado pelos diferentes arbustos, incluindo os espaços entre folhas, plantas, etc. Este foi obtido com base nas estimativas de dois parâmetros: grau de coberto arbustivo médio (inspeção visual) e altura média do estrato arbustivo (fig.2.2.1.1.1) .



Fig. 2.2.1.1.1- Medição da altura do estrato arbustivo.

Grau de coberto arbóreo florestal médio da parcela

O grau de coberto arbóreo médio traduz o quociente entre a área da projeção vertical das copas

das árvores florestais e a área de terreno respetiva, tendo sido estimado visualmente (auxílio de uma figura exemplificativa dos vários graus de cobertura, presente em anexo).

Tipo de composição

O tipo de composição (pura ou mista) da ocupação do solo ao nível da parcela foi registado na ficha de campo.

Profundidade da manta morta

A manta morta compreende a camada superficial formada por acumulação *in situ* de matéria orgânica. A sua profundidade foi medida com recurso a régua (fig. 2.2.1.1.2) em 4 pontos cardeais, dispostos a uma distância de 4 m do “ponto central da parcela”, fazendo-se posteriormente a média.



Fig. 2.2.1.1.2- Medição da profundidade da manta morta.

Distribuição vertical e horizontal das árvores

O tipo de distribuição vertical teve por base a altura atingidas pelas árvores da mancha florestal, ao passo que a distribuição horizontal tem em conta a existência, ou não, de um esquema de distribuição das mesmas. Podem ser do tipo regular ou irregular.

Análise de fatores de degradação do espaço florestal:

-Erosão do solo

Anotou-se o nível de erosão do solo presente no global da parcela.

-Queimadas

Registou-se a ocorrência de vestígios de queimadas.

-Existência de vestígios de culturas agrícolas

Registou-se a existência de vestígios de culturas agrícolas.

Os níveis/códigos usados na análise aos fatores de degradação, encontram-se em anexo.

Medições de árvores florestais

Para cada parcela, as árvores florestais foram ou não incluídas nas medições em função do diâmetro à altura do peito (DAP), que deverá ser maior que 5 cm, estando estas englobadas numa

área quadrangular (20*20m), definida por fitas e/ ou cordas, cujo centróide é o centro da parcela. Para a medição, fez-se o “varrimento” dos quadrantes, segundo o método expresso na figura 2.2.1.1.3.

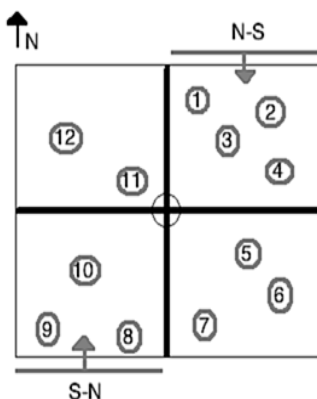


Fig. 2.2.1.1.3- Ordem de medição de árvores na parcela.

-Identificação da Espécie

A espécie da árvore constitui a primeira identificação.

-Código de vitalidade

Anotou-se o código de vitalidade das árvores (de acordo com a tabela em anexo).

-Diâmetro à Altura do Peito (DAP)

Registou-se o DAP de todas as árvores florestais que atendam ao critério anterior. O DAP é medido a 1,30 metros do solo (fig. 2.2.1.1.4), tendo-se usado, para o efeito, uma fita métrica.



Fig. 2.2.1.1.4- Medição do DAP.

-Diâmetro da base e do topo das árvores mortas

A medição do diâmetro da base (DB) foi concretizada para as árvores mortas, adotando-se o mesmo procedimento e regras de medição do DAP, contudo faz-se a 15 cm do solo. O diâmetro do topo (DT), por seu turno, foi registado apenas quando o tronco ou a bicada da árvore estão partidos. Estima-se o diâmetro do topo usando uma régua colocada a 15 cm da vista, registando-se o diâmetro aparente. O diâmetro verdadeiro é equivalente à multiplicação do diâmetro aparente pelo quociente entre a distância do operador à árvore e a distância da régua à vista do operador (15 cm).

-Altura total das árvores

Registou-se a altura total de todas as árvores, vivas ou mortas, que se enquadrem no critério

definido; sendo estimada visualmente em classes de alturas.

Contagem de árvores menores

Contou-se o número de árvores menores (mais de 1,30 m de altura e DAP menor que 5 cm) existentes na área definida aquando da medição das árvores florestais.

Medições de madeira morta derrubada

As medições de madeira morta derrubada foram baseadas na realização de dois transectos de 20 m, aproveitando a marcação já feita com fitas métricas. Percorreu-se a totalidade do transecto, medindo e registando o diâmetro de todos os fragmentos de madeira morta (fig. 2.2.1.1.5; a), assim como a sua densidade (fig. 2.2.1.1.5; b), de acordo com os critérios em anexo.

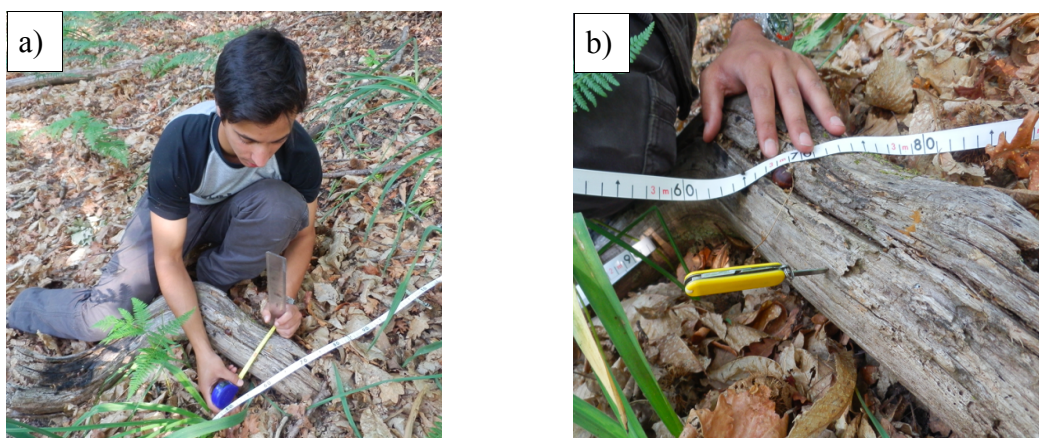


Fig. 2.2.1.1.5- Medição do diâmetro (a) e densidade, pelo uso de uma lâmina (b), da madeira morta derrubada.

2.2.1.2. Estrutura da vegetação

Para lá do inventário às parcelas procedeu-se, igualmente, a uma descrição geral da estrutura da vegetação. Esta foi feita para a mesma área: lembre-se, quadrados de 20x20m. Em concreto, observou-se o grau de cobertura dos vários estratos definidos:

- **Fanerófitas**, que correspondem a plantas geralmente lenhosas que mantêm as gemas e brotos de crescimento bem acima do nível solo ($>0,25m$), de que são exemplo a maioria das árvores e arbustos. No caso concreto, subdividiu-se, em função das suas alturas médias, em fanerófitas florestais ($>5m$), fanerófitas altas (2-5m) e fanerófitas baixas (0,5-2m).
- **Caméfitas**, que são plantas (sub-)lenhosas (ou, ainda, herbáceas perenes), de porte subaéreo, possuindo as gemas de crescimento pouco acima do solo ($<0,25m$). Considerou-se o estrato definido pelas plantas com porte inferior a 0,5m de altura.
- **Herbáceas**, as quais foram subdivididas em herbáceas altas (0,5-2m) e herbáceas baixas ($<0,5m$). Estas caracterizam-se pela presença de caules tenros e fibrosos (sem lignina, ou seja, não lenhosos) que não sofrem crescimento secundário ao longo do seu desenvolvimento.

Paralelamente, estimou-se ainda, igualmente por inspeção visual, o grau de cobertura do horizonte O por acumulação de matéria orgânica oriunda das diferentes espécies de plantas.

2.2.1.3. Variações no coberto vegetal

Ao longo do período do estudo foi realizada a análise à evolução do solo coberto por vegetação arbórea. Desta forma, a metodologia foi desenvolvida apenas para as parcelas de ocupação do solo por árvores florestais. A importância desta análise advém das implicações que a variação do grau de cobertura exerce sobre a precipitação efetiva, isto é, a componente da precipitação que realmente atinge o solo. De facto, uma parte da água precipitada é interceptada pelo copado das árvores, sendo que, quando não alcança o solo, acaba por sofrer evaporação. Some-se que o grau de coberto tem ainda influência sobre a evaporação direta a partir do solo, que diminui com o acréscimo da percentagem de solo coberto por vegetação; basta ver o efeito de sombra imposto pelo copado. Reconheça-se, pelo referido, que as variações temporais e espaciais do grau de coberto vegetal têm assim implicações na variação da humidade do solo.

Foi desenvolvido um método pioneiro com vista à determinação da evolução do coberto vegetal, retirando muita da ambiguidade dos métodos baseados em estimativas visuais. A metodologia inicia-se com a fotografia vertical ao copado em determinado ponto estratégico previamente definido para cada parcela (fig. 2.2.1.3.1), sendo que a máquina é posicionada sempre à altura dos ombros. Importa, a cada novo registo fotográfico, garantir que as imagens captadas tenham o mínimo de variação de enquadramento (diferenças de posicionamento da câmara e/ou distância focal), assim como evitar *lens flare*, ou seja, imagens “queimadas” pelo aparecimento do sol no enquadramento.

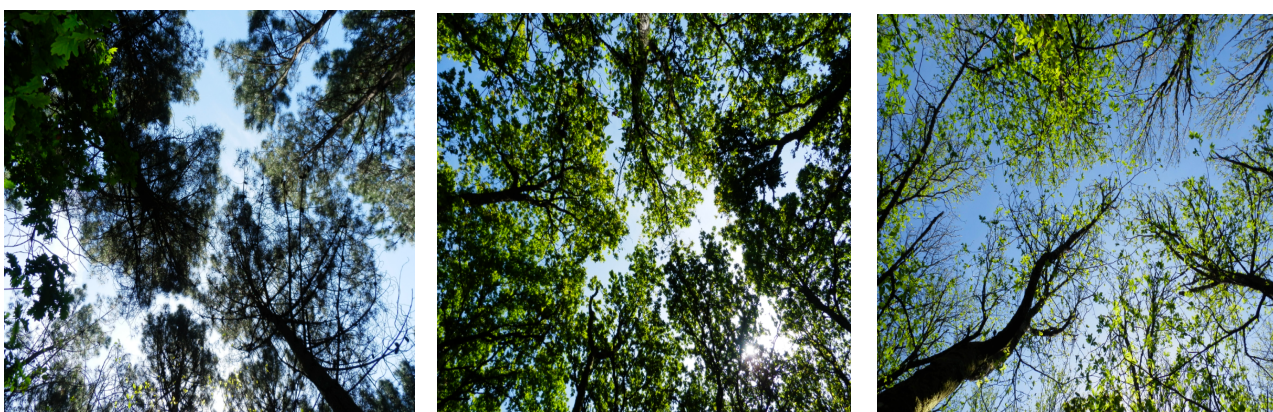


Fig. 2.2.1.3.1- Fotos verticais às parcelas de ocupação florestal (10-05-12).

As fotografias verticais são então sujeitas a um tratamento informático que visa aferir o grau de cobertura vegetal, traduzido pelo quociente entre a área da projeção vertical das copas das árvores florestais e a área de céu respetiva. Deverá ser consultado o anexo XII, onde é apresentada a cadeia de processamento realizada nos programas “Photoshop CS5” e “R”.

Nota que o registo fotográfico englobou grande parte do período do estudo (de 18 de fevereiro a 2 de agosto), sendo feito a cada ida ao campo (anexo XIII).

2.2.2. Estudo do perfil do solo

Com vista a uma análise e interpretação integrada da humidade do solo nas diferentes parcelas, assim como para uma melhor compreensão do ciclo hidrológico nessa fração do terreno, importou então proceder-se à descrição e avaliação do perfil dos solos estudados. Assim, para cada parcela, impôs-se que se fizessem quer um conjunto de observações de carácter dito mais geral (geomorfologia, substrato rochoso, cobertura vegetal), quer uma caracterização específica de cada um dos perfis individuais do solo, através da identificação e descrição dos horizontes constituintes.

2.2.2.1. Introdução ao estudo do perfil do solo

O solo desempenha uma grande variedade de funções vitais que refletem a sua génese e evolução, mas também inter-relações entre os sistemas abióticos e bióticos. É esta “mutabilidade” dos solos, intensificada pelas implicações do seu uso e gestão pelo homem, que motiva a necessidade de se estudar os demais processos pedogenéticos, caracterizar e catalogar a sua tipologia e, claro está, avaliar o seu perfil.

Nos solos são então diferenciáveis um conjunto de camadas, horizontais, contrastantes pelas características físicas, químicas, biológicas e geológicas. Integram um conjunto de horizontes principais que constituem o perfil do solo, apresentando como características (topo para a base):



Horizonte H (orgânico): Génese associada a acumulação (*in situ*) de matéria orgânica não/parcialmente decomposta num meio saturado de água durante pelo menos 30 dias consecutivos (anualmente).



Horizonte O (orgânico): Génese por acumulação (*in situ*) de matéria orgânica não/parcialmente decomposta, cresce num meio saturado em água não mais do que alguns dias/ano. Pequena percentagem de fracção mineral.



Horizonte A (mineral): Contém matéria orgânica humificada associada à matéria mineral resultando, geralmente, uma cor escura. A estrutura petrográfica foi total ou quase totalmente destruída, podendo haver perda de componentes por eluviação.



Horizonte E (mineral): Caracterizado por perdas eluviais, apresentando-se total ou quase totalmente destituído de estrutura petrográfica (isto é, forte alteração da rocha mãe). Cor mais clara que a dos horizontes adjacentes.



Horizonte B (mineral): Grande destruição da estrutura petrográfica e desenvolvimento de estrutura pedológica. Podem ocorrer outras características, tais como concentração iluvial ou meteorização do material originário.



Horizonte C (mineral): Composto por material não consolidado e pouco afectado pelos processos pedogenéticos. Estrutura petrográfica frequentemente preservada, integrando materiais manualmente escaváveis (quando húmidos).



Horizonte R (mineral): Constituído por rocha coerente e dura, pelo que não pode escavar-se manualmente (ainda que húmida). Pode apresentar fissuras.

Ora, atendendo aos objetivos do trabalho no que concerne ao estudo do perfil do solo para cada parcela, importou somente proceder à identificação e descrição dos horizontes constituintes no que respeita à cor, estrutura e textura de campo (ocasionalmente) e respetiva profundidade/ espessura. Não obstante à importância da avaliação destas propriedades físicas do solo, usadas na caracterização de campo, importa reconhecer que, para uma análise mais completa e, da qual direi, menos inequívoca na definição dos horizontes constituintes, pode atender-se ainda a fatores como porosidade, consistência, raízes e acidez/pH, etc.

Cor

A cor de um solo é o resultado da impressão visual resultante da componente da energia eletromagnética que é refletida pelo mesmo. Esta é determinada por comparação com as cores padrão da Carta de Cores do Solo de Munsell (fig. 2.2.2.1.1), em solo húmido. Cada cor é caracterizada em termos de matiz (cor da radiação), valor (intensidade da radiação) e croma (pureza do comprimento de onda dominante).

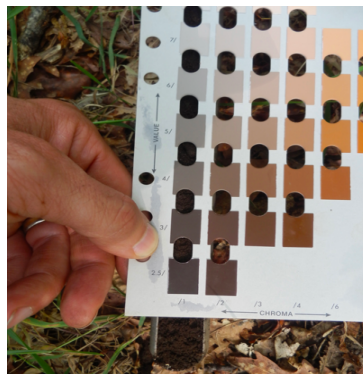


Fig.2.2.2.1.1- Determinação da cor do solo.

Textura

A textura designa a proporção relativa das diferentes classes granulométricas minerais que compõe as frações argila, silte e areia (<2 mm de dimensão) no solo. Aqui, as combinações possíveis das percentagens dos referidos elementos agrupam-se, comumente, em classes texturais, sendo que estas podem ser representadas em diagramas de texturas (fig. 2.2.2.1.2).

I: argiloso; II: argilo-arenoso; III: argilo-siltoso; IV: franco-argilo-arenoso; V: franco-argiloso; VI: franco-argilo-siltoso; VII: arenoso; VIII: arenoso-franco; IX: franco-arenoso; X: franco; XI: franco-siltoso; XII: siltoso.

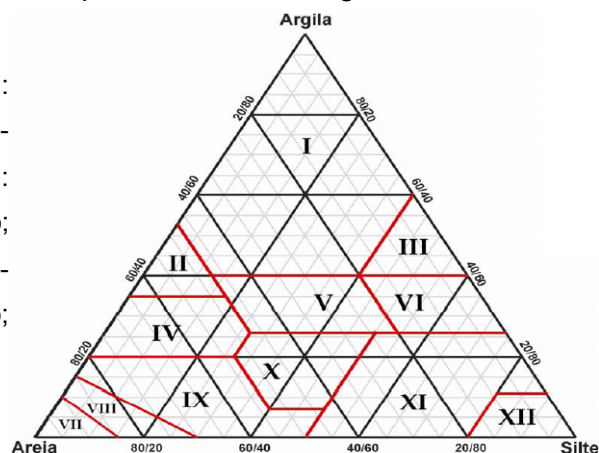


Figura 2.2.2.1.2- Diagrama de texturas do solo segundo SSDS (1993).

O procedimento relativo à determinação de campo da textura pode encontrar-se no anexo VIII.

Estrutura

A estrutura do solo trata-se da forma como as partículas individuais se unem entre si, dando origem a partículas secundárias, os agregados estruturais, separadas por espaços vazios. É, por norma, classificada de forma qualitativa tendo como base critérios morfológicos dos macroagregados (fig. 2.2.2.1.3). A análise de campo da estrutura pressupõe a descrição dos agregados quanto à nitidez (fraca, moderada, forte), quanto à dimensão (muito fina a extremamente grosseira) e quanto ao tipo (anisoforme, granular, laminar, prismática ou rochosa/columnar).

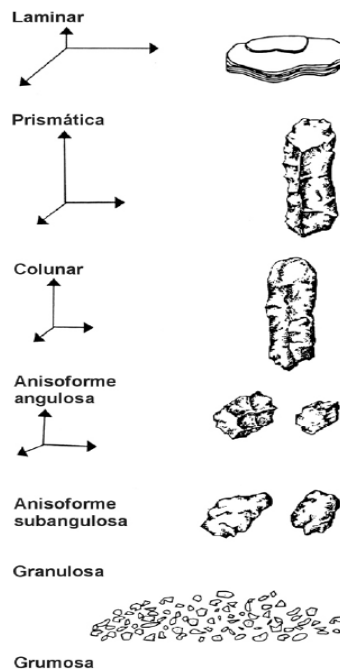


Fig. 2.2.2.1.4: Classificação da estrutura do solo (modificado de Porta *et al.* 1999).

2.2.2.2. Procedimento

A determinação do perfil do solo em cada parcela baseou-se no uso da sonda manual de meia-cana. Ora, esta permite individualizar uma secção vertical do solo após cravação no terreno (fig. 2.2.2.2.1). A partir daí, pode então proceder-se à identificação e descrição dos horizontes no que respeita às características a serem estudadas.

Com vista a atenuar o erro na extrapolação de um perfil médio, optou-se pela realização de três sondagens em cada tipo de ocupação, suficientemente espaçados e sob diferentes condições de cobertura.



Fig. 2.2.2.2.1- Determinação do perfil do solo pela sonda de meia-cana.

2.2.3. Medição da humidade do solo

2.2.3.1. Sonda ThetaProbe ML2x

2.2.3.1.1. Introdução à técnica

A sonda ThetaProbe (fig. 2.2.3.1.1.1) é projetada para medir o teor volumétrico de água no solo (θ_v), sendo que, comparativamente a outros métodos (como o Time Domain Reflectometry-TDR, ou os métodos de capacitância), visa alcançar precisão e facilidade de uso ao mesmo tempo que reduz a complexidade e as despesas. Aqui, um sinal sinusoidal é aplicado à matriz do solo localizado junto ao sensor objetivando aferir o conteúdo volumétrico de água, influenciado essencialmente às custas da constante dielétrica da água (80), bem maior que a do ar (1) ou dos restantes materiais que compõe a matriz do solo (3-4). Assim, a expressão representativa da relação entre o teor de água e a constante dielétrica aparente é então apresentada:

$$\theta_v = (\sqrt{\epsilon} - a_0) / a_1$$

onde ϵ é a constante dielétrica aparente ou permitividade aparente e a_0 e a_1 são constantes dependentes do tipo de solo.

Informações sobre o princípio de funcionamento e calibração podem ser consultadas no anexo IX.

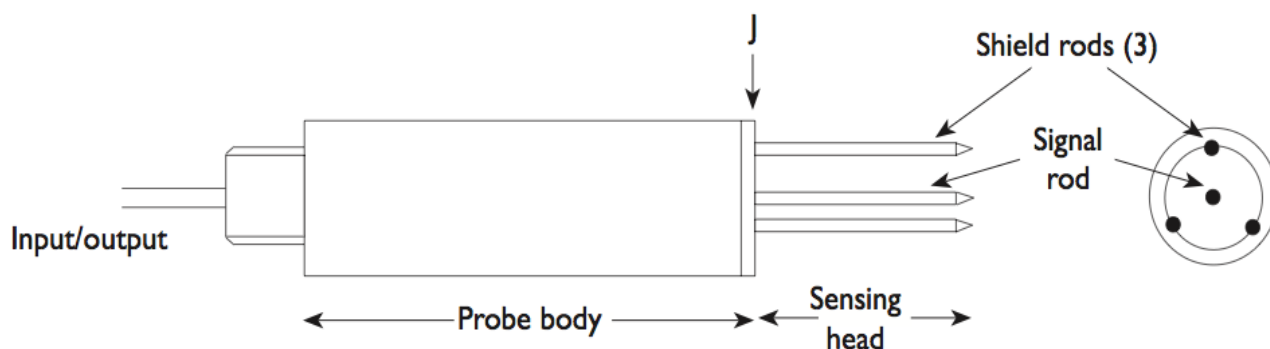


Fig.2.2.3.1.1.1- Representação esquemática da sonda ThetaProbe ML2x (extraído de Miller & Gaskin 1997).

2.2.3.1.2. Instalação e captura de dados

Com vista à concretização das medições da humidade do solo com recurso à sonda ThetaProbe, basta que, simplesmente, esta seja inserida no solo, após remoção do horizonte orgânico O (fig. 2.2.3.1.2.1: a e b), de tal forma que todas as hastas fiquem integralmente cobertas. Pode então fazer-se as leituras a partir da saída analógica, sendo que no trabalho de campo realizado neste estudo foi usado um medidor/ unidade de leitura (fig. 2.2.3.1.2.1: c), já que

se optou por leituras isoladas em determinadas datas, e não por um registo contínuo da humidade do solo. No último caso, poderia ser usado um aparelho de registo de dados (*data logger*).

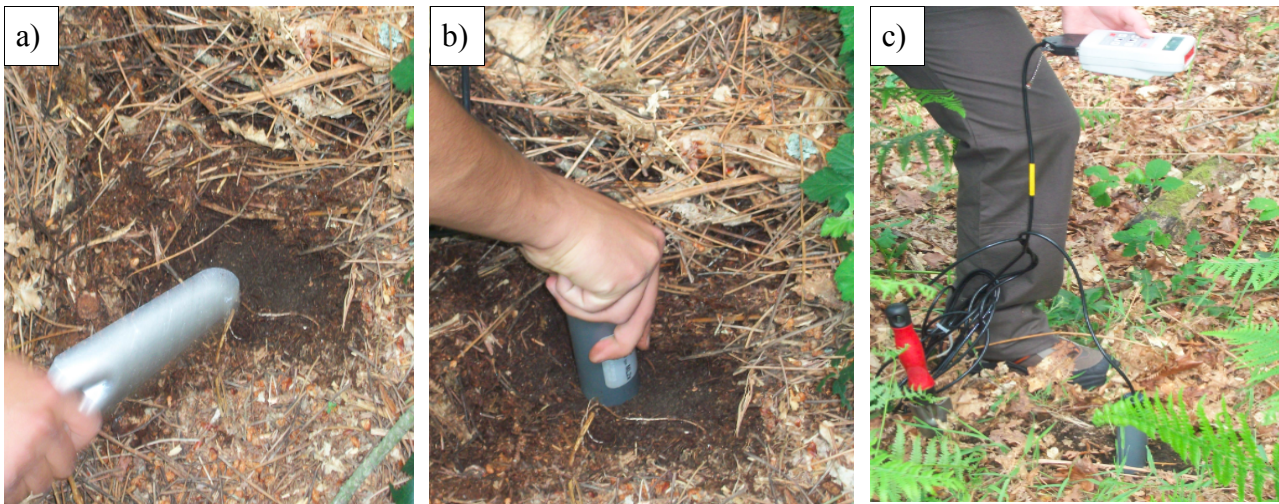


Fig. 2.2.3.1.2.1- Sequência de procedimentos com vista à determinação da humidade do solo pelo uso do ThetaProbe.

As variações espaço-temporais na humidade do solo foram monitorizadas a cada ida ao campo (anexo XIII), sendo que as leituras se processaram, na maior parte do tempo do estudo, com uma periodicidade bimensal. A humidade superficial (ThetaProbe) é amostrada, para cada parcela, em três pontos radialmente a cada tubo, o que perfaz nove leituras em cada uma destas.

Aquando das leituras, importou tomar algumas precauções, nomeadamente com vista a evitar bolsas de ar, raízes, pedras e água que esteja a ser canalizada diretamente para as hastes da sonda. Desta forma, valores atípicos nas leituras impuseram a repetição do processo para novo local.

2.2.3.2 Sonda Profile Probe PR1

2.2.3.2.1. Introdução à técnica

A sonda Profile Probe (PR1) assume-se como sensor de humidade a diferentes profundidades dentro, claro está, do perfil do solo. Ora, como se observa na figura 2.2.3.2.1.1 (a), esta consta de uma haste selada de policarbonato, a qual integra sensores eletrónicos em forma de anéis dispostos em intervalos regulares ao longo de seu comprimento.

Com vista às leituras, a sonda é inserida em tubos de acesso especialmente construídos com “paredes” finas, objetivando a máxima penetração de um campo eletromagnético no solo circundante. A sonda Profile Probe gera um sinal que é aplicado aos sensores eletrónicos que, por sua vez, geram o dito campo eletromagnético que se estende lateralmente pelo solo por aproximadamente 100 mm (fig. 2.2.3.2.1.1; b). Como resultado, o conteúdo de água no solo nas vizinhanças dos anéis determinará as suas propriedades dielétricas. Note-se que, se as propriedades dielétricas do solo diferirem da sonda eletrónica, então parte do sinal será refletido. Ora, a parte refletida do sinal é combinada com o sinal aplicado e a tensão resultante age como

uma medida sensível ao conteúdo de humidade do solo.

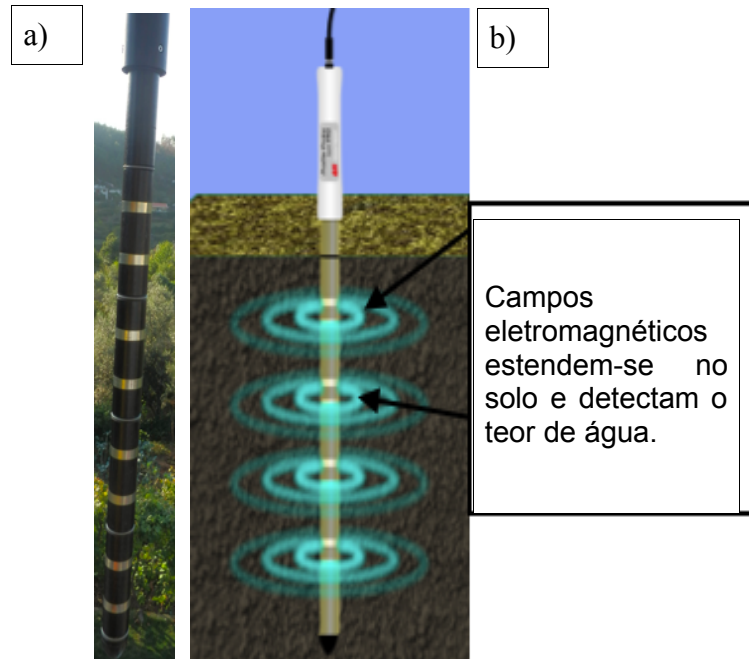


Fig. 2.2.3.2.1.1- Profile Probe (a) e princípio de funcionamento da sonda (b) (modificado de <http://www.deltat.co.uk/product-display.asp?id=PR2%20Product&div=Soil%20Science>).

A sonda usada nas medições de campo integra quatro sensores (PR1), permitindo medir o teor volumétrico de água no solo ao longo de intervalos regulares em profundidade (10, 20, 30, 40 cm).

2.2.3.2.2. Operação

Instalação dos tubo de acesso:

A sonda PR1 deve ser utilizada, como já expresso, no interior de tubos de acesso. No caso concreto do trabalho de campo, em termos de procedimento (fig. 2.2.3.2.2.1), recorreu-se a amostradores de meia cana e/ou trados (dependendo da pedregosidade do terreno) para a abertura no solo necessária à instalação dos tubos. Desta forma, pode inserir-se os tubos com o mínimo de mobilização e alteração das características do solo; para tal bastando que estes sejam “martelados”, usando o equipamento adequado, até à profundidade específica do seu comprimento.



Fig. 2.2.3.2.2.1- Abertura no solo e inserção do tubo de acesso.

A restante instrumentação de campo é então representada na figura 2.2.3.2.2.2, desempenhando, para lá dos equipamentos de leitura da humidade do solo, funções tão variadas como o fecho dos tubos (tampas), exemplarmente face à entrada de água, solo ou matéria orgânica da cobertura vegetal; impedimento da entrada de precipitação direta nas imediações do tubo (colares); limpeza e manutenção (vareta de limpeza).

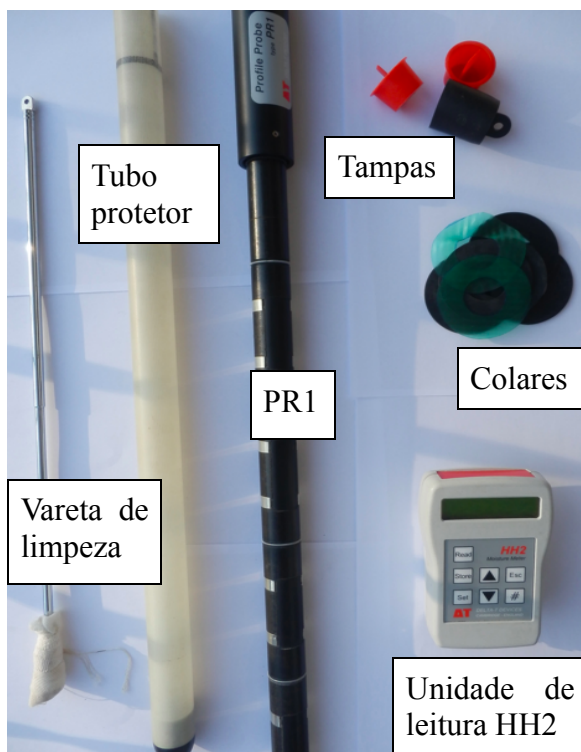


Fig. 2.2.3.2.2.2- Componentes acoplados aos tubos de acesso e equipamentos de leitura.

Inserção do Profile Probe e leitura da humidade:

Comece por se reconhecer a necessidade de limpeza dos tubos quando não são concretizadas medições por longos períodos, por exemplo há varias semanas. De facto, antes de se passar à leitura da humidade do solo, para esses casos importará verificar a ocorrência de condensação; especificamente usando toalhetes de papel/ gaze no interior do tubo recorrendo à haste ou vareta de limpeza. Note-se que, se houver água presente, será oportuno secar o tubo por completo.

Retirada que esteja a sonda do tubo protetor, importa verificar as molas da sonda, as quais são fulcrais para a centrar no tubo de acesso, com implicações na precisão das leituras. Por essa mesma razão, importa tomar precauções na inserção do PR1 no tubo de acesso, sendo que a sonda deverá ser previamente centrada para não comprimir desigualmente as molas contra o tubo.

Alinhada que esteja a sonda no tubo, uma boa maneira de potenciar a amostragem em cada local será tomar a média de três leituras, nomeadamente por rotação da sonda em 120° cada vez. Note-se, por fim, que as leituras podem ser feitas de forma imediata recorrendo a uma unidade de leitura, tal como se apresenta (fig. 2.2.3.2.2.3), ou, alternativamente, podem ser anexadas a um *logger* com vista à sua monitorização ao longo do tempo.

No trabalho de campo relativo ao estudo aqui apresentado, preconizaram-se leituras para os três tubos de cada uma das parcelas, com os registos instantâneos a serem feitos, uma vez mais, a cada ida ao campo (anexo XIII). Como resultado, o respetivo valor da humidade do solo corresponde à média desses três pontos de observação, sendo que em cada um dos quais são, como visto, recolhidas três leituras, às diferentes profundidades, fazendo-se uma amostragem radial.



Fig. 2.2.3.2.2.3 - Leitura dos dados da humidade do solo pelo uso da sonda PR1.

Com vista à leitura dos dados de campo quer com a sonda Profile Probe, quer com a sonda ThetaProbe, usando a unidade de leitura HH2 Moisture Meter (marca Delta-T Devices), seguiu-se a sequência de procedimento presente no anexo IX.

A humidade do solo pode ser determinada com boa precisão se for conhecido o tipo de solo que estamos a analisar. De facto, para a maioria dos propósitos basta, somente, dar a indicação aos sensores se estamos perante um solo mineral ou orgânico; o que se traduz em escolher uma das duas opções de calibração generalizadas. Foi este o tipo de calibração usado para as leituras de campo. Não obstante, assumam-se, todavia, o maior rigor inerente à calibração específica, em que são ajustados os parâmetros específicos do solo.

2.2.4. Medição da condutividade hidráulica

O coeficiente de permeabilidade, o mesmo que condutividade hidráulica (K), é uma medida da capacidade do solo se deixar atravessar por um líquido, geralmente a água. Não obstante de se tratar de um solo saturado ou não saturado, são similares os fatores que condicionam esta propriedade. Segundo alguns autores (Tavenas *et al.* 1983; Smiles *et al.* 1985), a temperatura e a salinidade interferem de forma significativa.

Richards (1974) cita que, para um solo saturado que perde água até se tornar num solo insaturado, então o ar vai substituindo progressivamente a água dos poros. Como resultado, assiste-se muito provavelmente a uma retração dos poros, o que culmina numa diminuição da condutividade hidráulica insaturada (K_i). Ora, reconheça-se que este efeito é particularmente vigente em solos bem estruturados ou com textura grosseira, ao passo que em solos mais argilosos, note-se com distribuição mais ampla das dimensões dos poros, a diminuição do K_i é mais suave (fig. 2.2.4.1). Face ao referido, percebe-se que a condutividade hidráulica insaturada pode ser retratada como função do teor de água do solo ou, em alternativa, do potencial matricial.

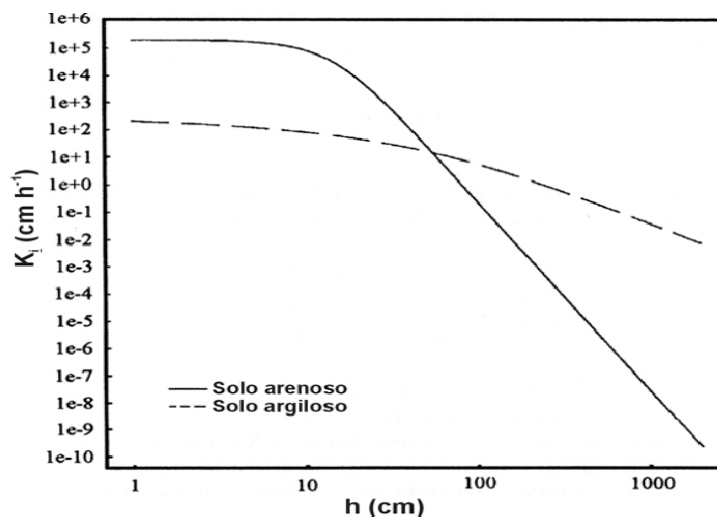


Fig. 2.2.4.1- Relação entre carga de pressão e condutividade hidráulica insaturada em solos arenosos e argilosos (adaptado de Radcliffe & Rasmussen 2002).

A condutividade hidráulica dos solos das parcelas foi estudada por meio de um método de campo, o qual tem por base a realização de ensaios de permeabilidade *in situ* com recurso ao permeâmetro de carga constante. De acordo com Reynolds *et al.* (1983), quando a condutividade hidráulica saturada é medida na ZNS é, habitualmente, designada por condutividade hidráulica saturada de campo (k_{sc}), pese, mesmo em condições “de saturação”, parte dos poros permanecerem insaturados. Dependendo da quantidade de ar aprisionado no solo, o valor de k_{sc} pode ser metade, ou até menos, do valor de k_s obtido por saturação completa (Bouwer, 1978; Reynolds & Elrick, 1987). Para múltiplos estudos da ZNS, k_{sc} é considerado mais apropriado, visto, na generalidade dos processos naturais de infiltração, a saturação completa do meio poroso ser utópica (Reynolds, 1993).

2.2.4.1. Permeâmetro de Guelph

2.2.4.1.1. Fundamentos teóricos

Como antecedido, a metodologia de avaliação *in situ* do coeficiente de permeabilidade é baseada na realização de ensaios de permeabilidade e emprega o permeâmetro de carga constante, no caso concreto o modelo conhecido como “permeâmetro de Guelph” (Reynolds & Elrick, 1986; Elrick *et al.* 1989; Reynolds, 1993; Reynolds & Elrick, 2002). Este equipamento permite, por via do valor de k_{sc} encontrado, estimar a condutividade hidráulica insaturada enquanto função da carga de pressão, recorrendo, exemplarmente, ao modelo de Gardner (1958), como se apresenta no anexo X.

O permeâmetro de Guelph é um permeâmetro de furo e de carga hidráulica constante, que mede a condutividade hidráulica acima da superfície freática, isto é, na zona não saturada. Como se pode observar na figura 2.2.4.1.1.1, este é composto de um marcador da carga hidráulica, que controla a carga constante de água dentro do furo, um reservatório com uma régua graduada onde a água é introduzida e um tripé que permite adaptar o aparelho a terrenos irregulares. Algumas das vantagens deste método de campo são: a leveza do aparelho, a facilidade de poder ser operado por uma única pessoa, a rapidez dos ensaios e a pouca quantidade de água (0,5 a 2l) por ensaio.

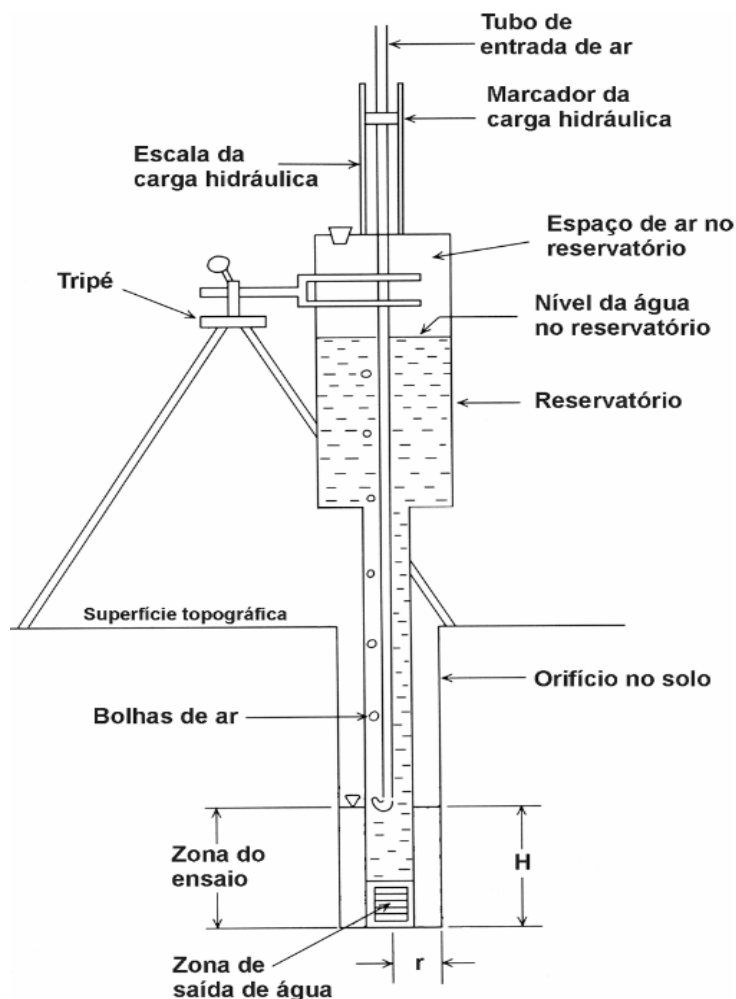


Fig. 2.2.4.1.1.1- Esquema do permeâmetro de Guelph (modificado de Reynolds 1993).

Após algum tempo, que dependerá, entre outros fatores, da humidade antecedente do solo e da sua textura, uma pequena área em torno do furo estará saturada (ver figura 2.2.4.1.1.2) e, então, o fluxo torna-se constante. Relembre-se, falo de uma saturação de campo e não total.

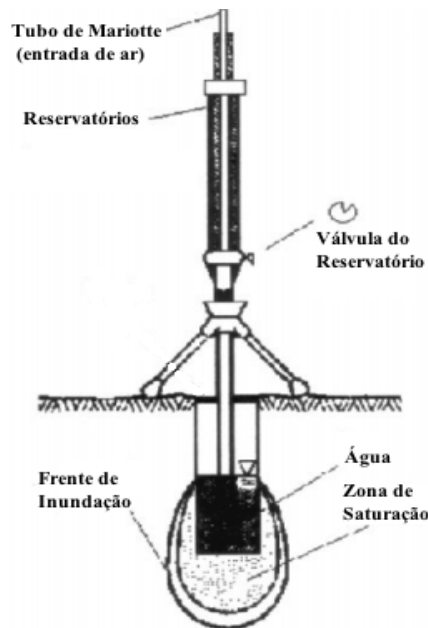


Fig. 2.2.4.1.1.2- Bolbo de saturação formado em volta do furo (adaptado de Soilmoisture 1987).

Coexistem aqui duas metodologias: uma recorrendo a ensaios com mais do que uma carga hidráulica, e uma segunda utilizando somente uma carga hidráulica durante o ensaio. A última adquire maior importância no que concerne a meios heterogêneos e com grandes vazios, para os quais a utilização de várias cargas resulta frequentemente em resultados negativos. No caso de serem utilizadas duas cargas hidráulicas durante o ensaio, tal como se apresenta no caso concreto do trabalho de campo, utilizam-se então as seguintes expressões gerais para o cálculo de K_{sc} :

$$K_{sc} = G_2 \cdot Q_2 - G_1 \cdot Q_1$$

Onde:

$$G_2 = \frac{H_1 \cdot C_2}{\pi [2H_1 \cdot H_2 (H_2 - H_1) + a^2 (H_1 C_2 - H_2 C_1)]}$$

$$G_1 = G_2 (H_2 \cdot C_1) / (H_1 \cdot C_2)$$

$$Q_1 = X(R_1) \text{ ou } Q_1 = Y(R_1)$$

$$Q_2 = X(R_2) \text{ ou } Q_2 = Y(R_2)$$

Para o procedimento padrão, isto é, $H_1 = 5$ cm e $H_2 = 10$ cm (carga hidráulica); $a = 3$ cm (raio):

$$K_{sc} = [0,0041(X \text{ ou } Y)(R_2)] - [0,0054(X \text{ ou } Y)(R_1)]$$

X é a constante do reservatório correspondendo à utilização combinada dos dois reservatórios (área da seção do tubo externo, em cm^2) e **Y** a constante do reservatório correspondente à utilização do reservatório interno (área da seção do tubo interno, em cm^2); **R₁** e **R₂** correspondem às taxas de rebaixamento (cm/s) aferidas para a 1ª (carga hidráulica H_1) e 2ª parte do ensaio (carga hidráulica H_2).

2.2.4.1.2. Fundamentos operacionais

Para se medir a condutividade hidráulica com o permeâmetro de Guelph, seguiram-se os seguintes passos:

1. (fig. 2.2.4.1.2.1) Começar pela abertura de uma sondagem/ furo com profundidade e diâmetro conhecidos. Para tal, usam-se trados manuais apropriados, posto o que é comum mudar-se a ponta de perfuração por uma de limpeza, a fim de nivelar a base do furo e regularizar as suas paredes. Pode ainda usar-se uma escova apropriada para restabelecer a permeabilidade das paredes da sondagem. Nota que este procedimento é antecedido pela remoção da manta morta, interessando garantir que não haja a mobilização de material desta para o furo durante o ensaio.



Fig. 2.2.4.1.2.1- Abertura da sondagem/ pontas de trado/ escova.

2. (fig. 2.2.4.1.2.2) Pode agora montar-se o permeâmetro de Guelph, importando ligar o tubo acrílico à garrafa de Mariotte (regula a carga hidráulica) através de mangueiras plásticas maleáveis. O permeâmetro é então nivelado sobre o furo com ou sem o auxílio do tripé.



Fig. 2.2.4.1.2.2- Sequência de montagem do permeâmetro de Guelph.

3. (fig. 2.2.4.1.2.3) Colocar a solução dentro do tubo acrílico, devendo deixar que a água encha completamente as mangueiras, sendo prudente verificar se não há vazamento nas roscas e ligações. Posto o que se regula a carga hidráulica através da régua graduada do tubo de Mariotte.



Fig. 2.2.4.1.2.3- Enchimento do reservatório/ escala da carga hidráulica.

4. (fig. 2.2.4.1.2.4) Assim que se iniciar o escoamento da água do reservatório para o orifício (a altura da água no orifício mantém-se constante e igual à carga hidráulica), começam-se a fazer as leituras em intervalos constantes de tempo (no caso deste estudo, um minuto), através da régua graduada do tubo de acrílico. Essas leituras são registadas em fichas de campo, como as que apresentam no anexo XI. O ensaio termina assim que as diferenças das medidas entre as leituras se tornarem constantes, commumente por três ou mais leituras consecutivas.



Fig. 2.2.4.1.2.4- Escoamento de água para o orifício e leituras do nível da água no reservatório.

A condutividade hidráulica saturada de campo foi avaliada para três orifícios em cada parcela, de acordo com o procedimento padrão ($H_1 = 5$ cm; $H_2 = 10$ cm; $a = 3$ cm), sendo a localização escolhida de forma estratégica com vista a tomar diferentes condições de cobertura vegetal e relevo.

2.2.5. Balanço de água no solo e determinação da evapotranspiração

2.2.5.1. Introdução

O estudo do papel das florestas ao nível do balanço hidrológico local desempenha um papel crucial, resultando daqui a necessidade de se aprofundarem os conhecimentos atuais sobre as influências hidrológicas exercidas pelos diferentes povoamentos, permitindo a correta avaliação dos impactes ambientais e uma adequada gestão dos recursos hídricos e do uso do solo (David 1995). Paralelamente, as questões relacionadas com o consumo de água pelas florestas assumem, ainda, uma importância crescente face ao possível agravamento das restrições hídricas em consequência das alterações climáticas em curso (Loustau *et al.* 1996).

As influências hidrológicas das florestas relacionam-se, sobretudo, com os consumos de água por evapotranspiração (ET). Esta tem duas componentes: a transpiração das plantas e a evaporação direta de água do solo. Para a generalidade das plantas, a transpiração, além de ser regulada pelo controlo estomático (condutância estomática ou o seu inverso, resistência estomática), é ainda condicionada pela energia disponível, pelo gradiente de pressão de vapor do ar entre a atmosfera e o copado e pelo vento. As plantas lenhosas podem apresentar uma resistência estomática relativamente alta, que assume então um papel importante no controlo das perdas de água por transpiração. A contribuição da evaporação do solo para a ET aumenta, de uma maneira geral, à medida que diminui a cobertura do solo pelas plantas (aumento da área de solo exposta à radiação), podendo representar uma fração significativa, sobretudo em cobertos descontínuos.

No caso concreto, ambicionou-se fazer uma análise, meramente comparativa, da maior ou menor influência que cada um dos tipos de ocupação florestal em estudo desempenha ao nível do balanço de água no solo e, desta forma, aferir acerca das suas necessidades hídricas. Daqui, resulta a possibilidade de se compreender melhor as variações espaciais da humidade do solo (isto é, variações de humidade entre parcelas), explicáveis pelas diferenças ao nível das características físicas e hidráulicas do solo mas também, tal como se apresenta, pelo papel do tipo e densidade do coberto, pela influência que exerce sobre os mecanismos da evapotranspiração (Gómez-Plaza *et al.* 2000; Illston *et al.* 2004). Relembre-se que estão em causa parcelas de pinheiro, a principal espécie florestal do país, ocupando 40,3% da área florestal nacional (D.G.F., 1993); castanheiro e carvalho, destacando-se a importância que este tipo de parcelas pode vir a desempenhar num contexto em que, à semelhança do que se verifica em todo o Sul da Europa, extensas áreas agrícolas marginais têm vindo a ser abandonadas pela agricultura, estando estas espécies florestais na linha da frente no que respeita à sucessão ecológica desses espaços.

2.2.5.2. Método

A quantificação das perdas de água por ET pode então ser feita recorrendo ao método do balanço de água no solo. Segundo este método, para a região superficial do solo, pode expressar-se:

$$\Delta S = P - (Q_s + D + ET)$$

sendo: “ ΔS ” a variação da quantidade de água armazenada no solo; “ P ” a precipitação bruta; “ Q_s ” o escoamento superficial; “ D ” a drenagem em profundidade/ gravítica; e “ ET ” é a perda de água por evapotranspiração.

As perdas de água por evapotranspiração integram a evaporação da água intercetada, a evaporação direta a partir da superfície do solo e, claro está, a transpiração. Reconheça-se, alternativamente, a possibilidade de se tomar a precipitação efetiva (veja-se, a componente da precipitação que alcança o solo: espaços livres do copado e gotejo a partir das folhas, leia-se precipitação sob-coberto, e por via do escoamento ao longo do tronco) e, desta forma, se descontar a componente relativa à evaporação da água intercetada.

Evidenciando na expressão anterior a evapotranspiração ($ET = P - \Delta S - Q_s - D$), então esta pode ser aferida aproximadamente a partir da medição das demais variáveis. Ora, para períodos particularmente secos, de que é exemplo paradigmático o período de estudo (consultar anexos XIV e XV), poderão ser descontadas as componentes relativas ao escoamento superficial (Q_s) e drenagem em profundidade (D), sem que tal imponha erros assinaláveis (Pereira 1994). De facto, nestas condições, os escoamentos totais (incluem a componente superficial e subterrânea) são frequentemente inferiores a 1% da precipitação bruta registada (David *et al.* 1994). Como resultado, temos agora que:

$$ET = P - \Delta S$$

Se a precipitação bruta é fornecida pelos quantitativos da estação meteorológica da rede oficial que serve de referência para a região (Vila Real), já a medição da variação do teor volumétrico de água no solo, ou humidade do solo, aproveitou os dispositivos que vinham sendo usados na sua monitorização. Desta forma, a equação do balanço hidrológico para cada parcela é respeitante aos perfis decifrados, isto é, entre os 10 e os 40 cm de profundidade. Não obstante, se ambicionássemos um maior rigor na estimativa da evapotranspiração, reconheça-se que importaria discriminar a região do solo explorada pelos sistemas radiculares, na qual se registam as oscilações mais significativas da humidade. O presente estudo não impôs um apertar da malha de medição, sendo a já existente (quinzenal e, pontualmente, mensal) um bom compromisso entre os períodos de mais rápida e mais lenta variação da humidade do solo.

3. Influência da Cobertura Vegetal Sobre as Propriedades Hidropedológicas

3.1. Enquadramento da área de estudo

3.1.1. Enquadramento geomorfológico e geológico

Geomorfologia

Em termos regionais, importa salientar pela sua imponência e importância o dorso da Serra do Marão (Ribeiro *et al.* 1962). Esta serra, marcada por uma natureza essencialmente xisto-quartzítica, forma grandes cristas que atingem 1415 m de altitude no vértice geodésico do Marão. Acrescente-se o seu papel divisório, leia-se, entre as províncias do Minho e de Trás-os-Montes, pois torna-se claro o contraste nítido entre ambas as regiões. Merecem, ainda, destaque regional os rios Douro e Tâmega. Entre estes, limitados de nordeste pelo vale do rio Fornelo (que marca a separação com a Serra do Marão), erguem-se as serras da Aboboreira e do Castelo, essencialmente graníticas. É na última que fica localizada a zona de estudo.

De topo mais ou menos aplanado, a Serra do Castelo quase atinge 900 m de altitude no seu ponto mais elevado, junto à zona alvo do estudo. Esta fica localizada na sua encosta voltada a Norte, numa zona já próxima ao rio Ovil, o qual separa as serras anteriores. Este rio apresenta uma vale aberto, pese sinuoso. De acordo com a folha 125 (Baião) da Carta Militar de Portugal na escala 1:25.000, afirma-se que as parcelas de diferentes usos e coberturas vegetais estão situadas a cotas compreendidas entre as curvas de nível dos 600 e 650 m de altitude.

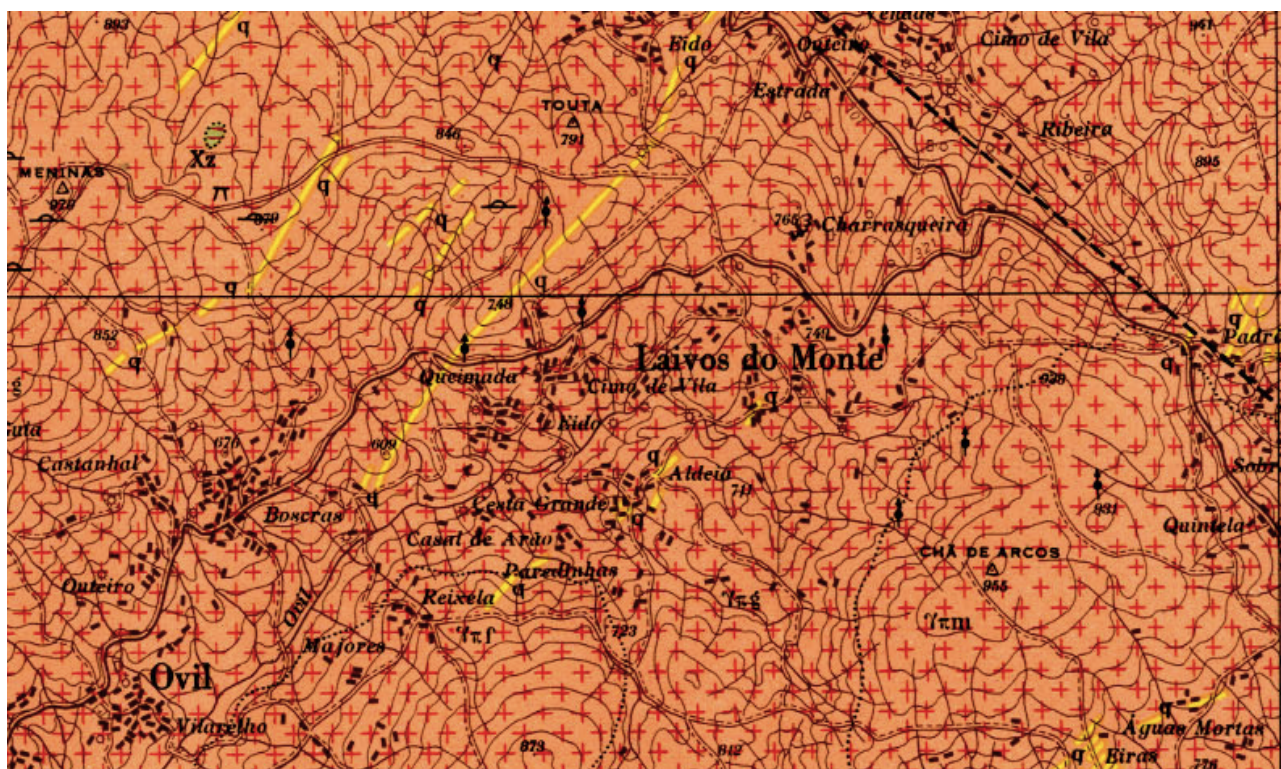
Geologia

A região estudada fica localizada na Zona Centro-Ibérica (ZCI), note-se uma das zonas geotectónicas da Península Ibérica (*e.g.*, Ribeiro *et al.* 2007). A ZCI é tipicamente constituída por rochas graníticas e metassedimentares (*e.g.*, Ferreira *et al.* 1987; Oliveira *et al.* 1992).

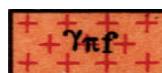
A região em estudo é abrangida pela folha 10C da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000. Nesta região ocorrem, predominantemente, rochas graníticas de idade Varisca, rochas metassedimentares de idade Precâmbrica-Câmbrica. São, ainda, de referir numerosos filões e massas filonianas aplitopegmatíticas e de quartzo, bem como depósitos aluvionares do Quaternário, predominantemente silto-argilosos, os quais se encontram a colmatar a parte inferior de pequenos vales onde ocorrem ribeiros e rios.

A nível local, os granitos são fortemente dominantes; merecendo especial referência a ocorrência, para além destas rochas, de numeroso filões de quartzo (fig. 3.1.1.1).

Todas as referidas unidades geológicas são afetadas ou controladas por uma rede de fracturação da crosta terrestre com duas direcções principais: NE-SW que determina por exemplo a orientação quase na totalidade do rio Ovil (junto à zona de estudo), e a conjugada NW-SE, bem marcada no território.



0 2 km



γπg- Granito porfiróide de grão grosseiro; γπm- granito porfiróide de grão médio e médio a fino; γπf- granito porfiróide de grão fino; q- filões de quartzo.



Xe- Séries metamórficas derivadas (corneanas, xistos luzentes, estaurolíticos, etc.).

Fig. 3.1.1.1: Extrato da folha 10C da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50.000.

Na zona afeta ao estudo, foram reconhecidas no campo as seguintes unidades geológicas, as quais são descritas de seguida:

Granitos

As rochas graníticas que ocupam a globalidade da área de estudo integram a mancha granítica do Minho. Especificamente, trata-se de granitos calco-alcálicos, leia-se monzoníticos, de duas micas, com predomínio da biotite, regra geral porfiróides. Pese embora possuam composição mineralógica mais ou menos uniforme, denotam texturas diferentes, desde granitos porfiróides grosseiros a granitos finos; destacando-se, pelo reconhecimento de campo na área de estudo e, acrescente-se, pela sua abrangência na região, a ocorrência de granitos porfiróides de grão grosseiro (fig. 3.1.1.2). A rocha, quando fresca, é leucomesocrática (possui cor azulada), com inúmeros megacristais de feldspato e biotite dominante. Contudo, esta apresenta-se, caso geral, muito meteorizada, note-se arenizada; sendo que a arenização atinge, frequentemente, grande

espessura. Disso é exemplo a presença de inúmeras saibreiras nas imediações do local de estudo.



Fig. 3.1.1.2- Granito porfiróide de grão grosseiro.

Rochas filonianas

A área abrangida pela zona de estudo é cortada por alguns filões de natureza quartzosa, com direção NE-SW. Trata-se de filões encaixados no granito porfiróide, que se mostra frequentemente alterado junto ao contacto (fig. 3.1.1.3). O quartzo é em geral leitoso, sendo frequentes, ao nível da região, as mineralizações em volframite, pirite, calcopirite, arsenopirite, etc.



Fig. 3.1.1.3- Granito intensamente meteorizado junto ao contacto com filão quartzoso (bordo esquerdo).

3.1.2. Enquadramento pedológico

Tendo por base a informação relativa aos solos constante da cartografia criada pela AgroConsultores/Geometral, sob adjudicação da Direção Regional de Agricultura Entre-Douro e Minho (DRAEDM), que resultou na Carta de Solos da Região de Entre-Douro e Minho (REDM) à escala 1/100 000 (publicada em 1991), distinguem-se dois tipos principais de grupos de solos de referência para região relativa à área do estudo (figura 3.1.2.1).

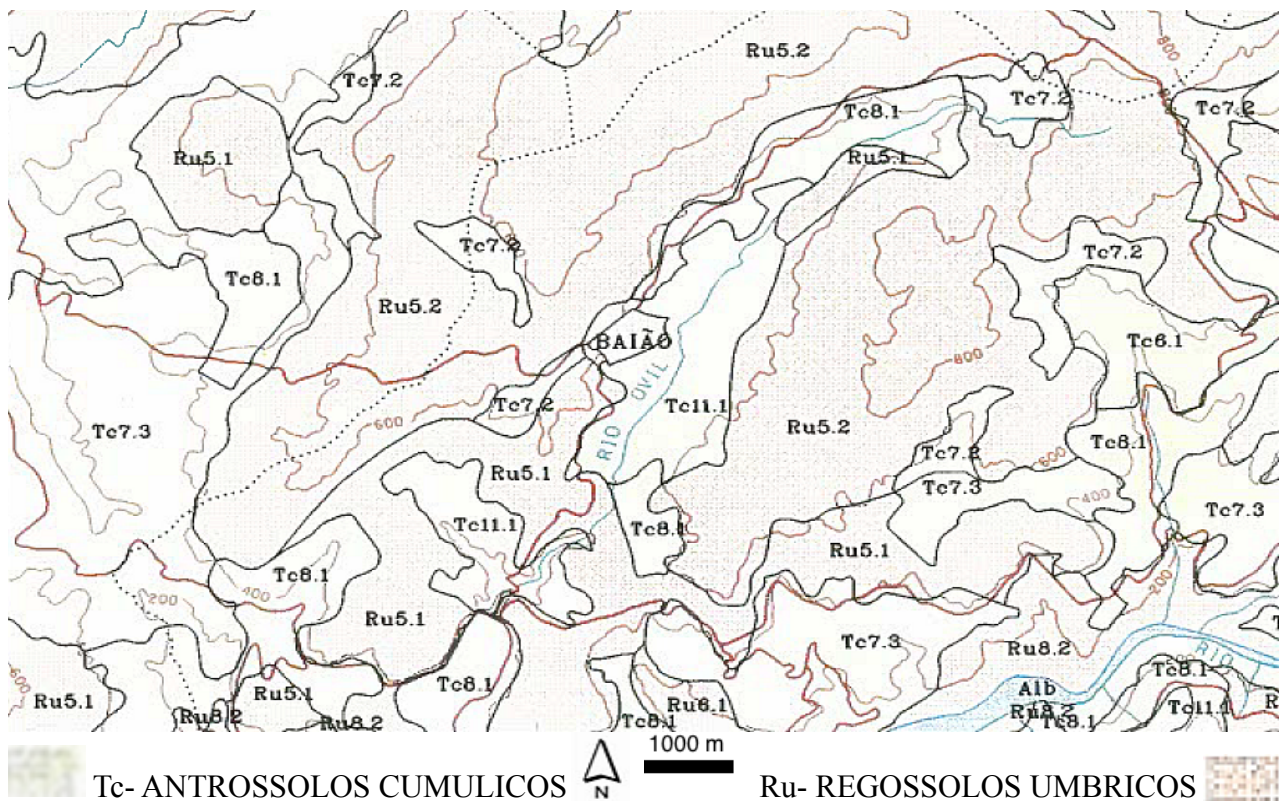


Fig 3.1.2.1- Extrato da Carta de Solos da Região de Entre-Douro e Minho, à escala 1/100 000.

Desta forma, as referentes designações e principais características das unidades-solo são apresentadas seguidamente, em que é posta em evidência a variação vertical e horizontal das características pedológicas.

Antrossolos (AT)

Solos que, em consequência da atividade ou ação humana, foram profundamente modificados por soterramento dos horizontes originais, ou por via de remoção ou perturbação dos horizontes superficiais, cortes ou escavações, adições seculares de materiais orgânicos, rega contínua e duradoura, entre outras ações. Para estes, não é exigível um material originário específico, antes um ambiente sujeito a práticas agrícolas de longa data.

No contexto da área afeta ao estudo, é apenas identificável a seguinte unidade-solo:

- Antrossolos cumúlicos (ATc): podendo ser feita a sua correspondência maioritária aos

solos que compõe os terraços ou socalcos (fig. 3.1.2.2), pese ocorrem em áreas não terraceadas.

Trata-se de “antrossolos apresentando acumulação de sedimentos com textura franco-arenosa ou mais fina, em espessura superior a 50 cm, resultante de rega contínua de longa duração ou elevação da superfície do solo por ação do homem”. Ora, os referentes antrossolos cumúlicos foram integrados na subunidade dos antrossolos cumúlicos dístricos (ATcd). Esta demarca-se pela ocorrência de “antrossolos cumúlicos com grau de saturação em bases (avaliados pelo método do acetato de amónio) inferior a 50%, pelo menos entre 20 e 50 cm de profundidade”.

O perfil é do tipo Ap-C ou Ap-C-Ab-Bb ou Ap-C-Ab-C`:

-horizonte Ap com 20/35 cm, pardo escuro ou pardo, de textura franca ou franco-arenosa; horizonte C até 50/135 cm e, à semelhança do anterior, pardo ou pardo escuro, franco ou franco-arenoso; some-se um substrato formado por perfil soterrado (Ab-Bb-C`, Ab-Bb, Ab-C`, Ab-C`-R), por material coluvionar (2C) ou de alteração da rocha subjacente (2C, 2C-2R), a partir de 50/135 cm;

A unidade pedológica dominante é, finalmente: Antrossolos Cumúlicos Dístricos em granitos e rochas afins: Atcd.g.



Fig. 3.1.2.2- Áreas terraceadas na região envolvente à área de estudo.

Regossolos (RG)

Trata-se de solos formados por materiais não consolidados, dos quais se excluem elementos com textura grosseira ou com propriedades flúvicas, não denotando outro horizonte de diagnóstico para além de um A úmbrico ou ócrico; acrescenta-se que não apresentam propriedades sálicas, assim como gleicas em 50 cm a partir da superfície. De facto, tratam-se de solos minerais muito pouco evoluídos, denotando um desenvolvimento do perfil incipiente (fig. 3.1.2.3).

A unidade dominante na grande maioria do território que compõe a região diz respeito a:

- Regossolos Úmbricos (RGu).

“Regossolos tendo um horizonte A úmbrico; sem camadas permanentemente congeladas até

200 cm, a partir da superfície”. Aqui, assume-se que a subunidade dominante é a correspondente aos Regossolos úmbricos espessos (RGuo). Ora, tratam-se de regossolos úmbricos desenvolvidos a partir de rególitos espessos (de 50-200 cm ou mais), os quais são frequentemente o resultado da arenização ou meteorização profunda de rochas compactas subjacentes, como sejam granitoides, quartzodioritos ou granodioritos; ou então, correspondentes a sedimentos detríticos não consolidados (presentes em terraços marinhos ou fluviais), coluviais de bases de encostas e fundos de vales, ou depósitos de vertente em encostas declivosas.

Quanto ao perfil, este é normalmente do tipo A-C e, por vezes, A-C-R:

– horizonte A com 20/75 cm, franco-arenoso, franco e, ocasionalmente, arenoso-franco; horizonte C constituído quer por material de alteração e desagregação de rocha subjacente, leia-se meteorização, quer por material de depósitos de vertente (em encostas declivosas) e coluviões de fundos de vales e bases de encostas ou, ainda, de sedimentos detríticos não consolidados; frequentemente sobre rocha dura e contínua, isto é, sobre rocha mãe (R) que se encontra a profundidade superior a 50 cm.

A unidade pedológica dominante é Regossolos Úmbricos Espessos em rególitos de granito: Rguo.g.



Fig. 3.1.2.3- Perfil de um regossolo na área de estudo.

Para a área afeta às parcelas de diferentes uso e cobertura vegetal, denote-se o reconhecimento de campo de Regossolos, não se tendo detetado a ocorrência de Antrossolos, o que é natural dada a escolha de áreas experimentais representativas de uso florestal e, num dos casos, por matagal. Antes, junto aos solos da parcela de castinçal registou-se a ocorrência de Leptossolos- LP (não presentes no extrato da carta de solos para a região do estudo). Tratam-se de solos limitados em profundidade, até 30 cm a partir da superfície, por rocha contínua e dura ou, ainda, com menos de 20% de terra fina até 75cm de profundidade. Estes não têm outros horizontes de diagnóstico além de um A mólico, úmbrico ou ócrico, com ou sem horizonte B câmbico.

3.1.3. Enquadramento climatológico

Em primeira instância, reconheça-se que o clima é condicionado essencialmente pela posição geográfica do território em relação ao Oceano Atlântico e, com grande importância para a área de estudo, pela forma e disposição dos conjuntos montanhosos. Em suma, o clima de Portugal Continental, segundo a classificação de Koppen, pode ser dividido em duas regiões (AEMET & IM 2011)-fig. 3.1.3.1: uma de clima temperado com inverno chuvoso e verão seco e quente (Csa) e outra de clima temperado com inverno chuvoso e verão seco e pouco quente (Csb).

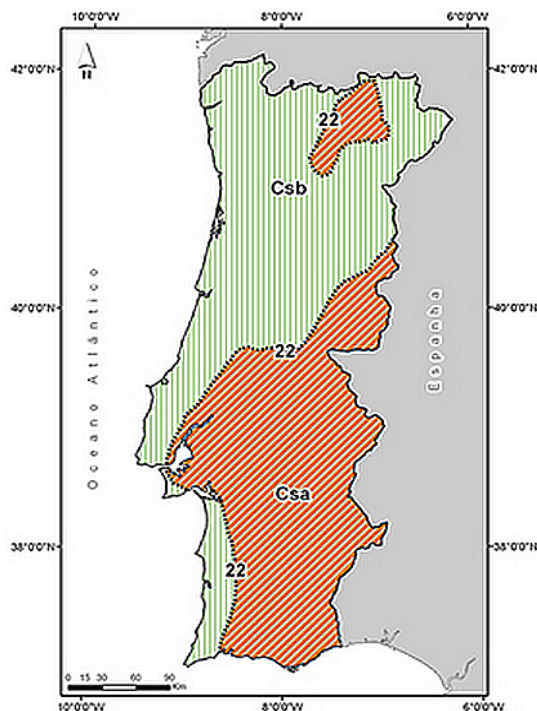
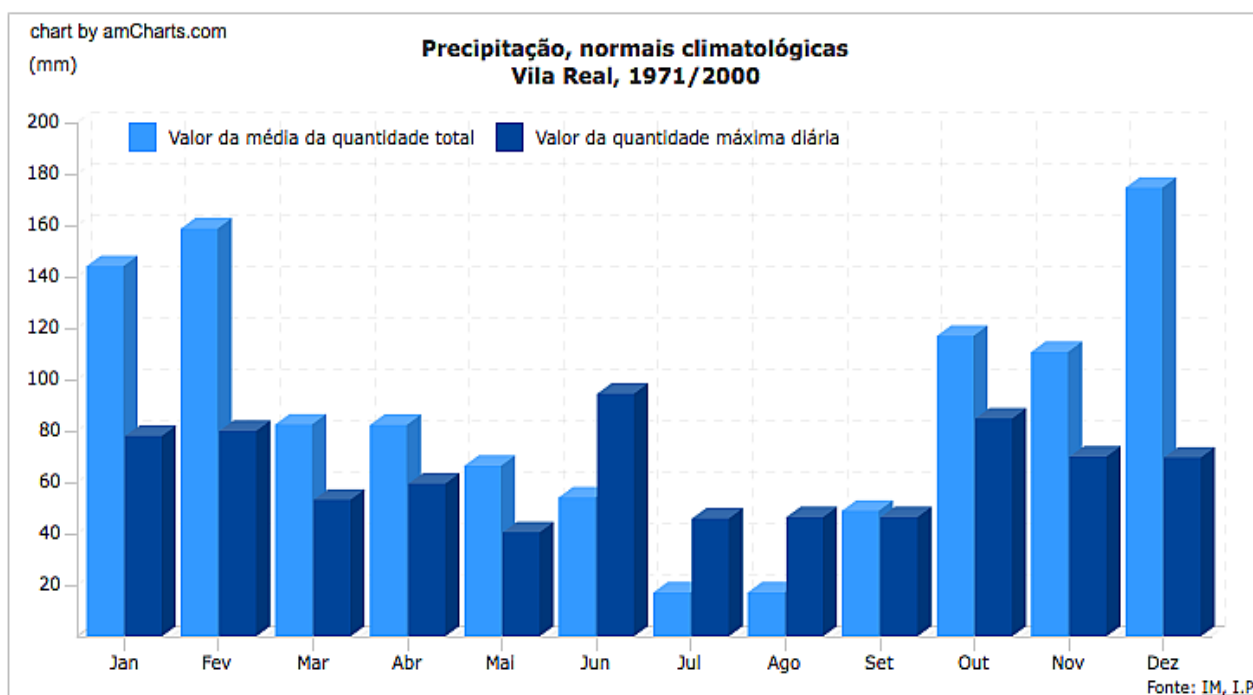
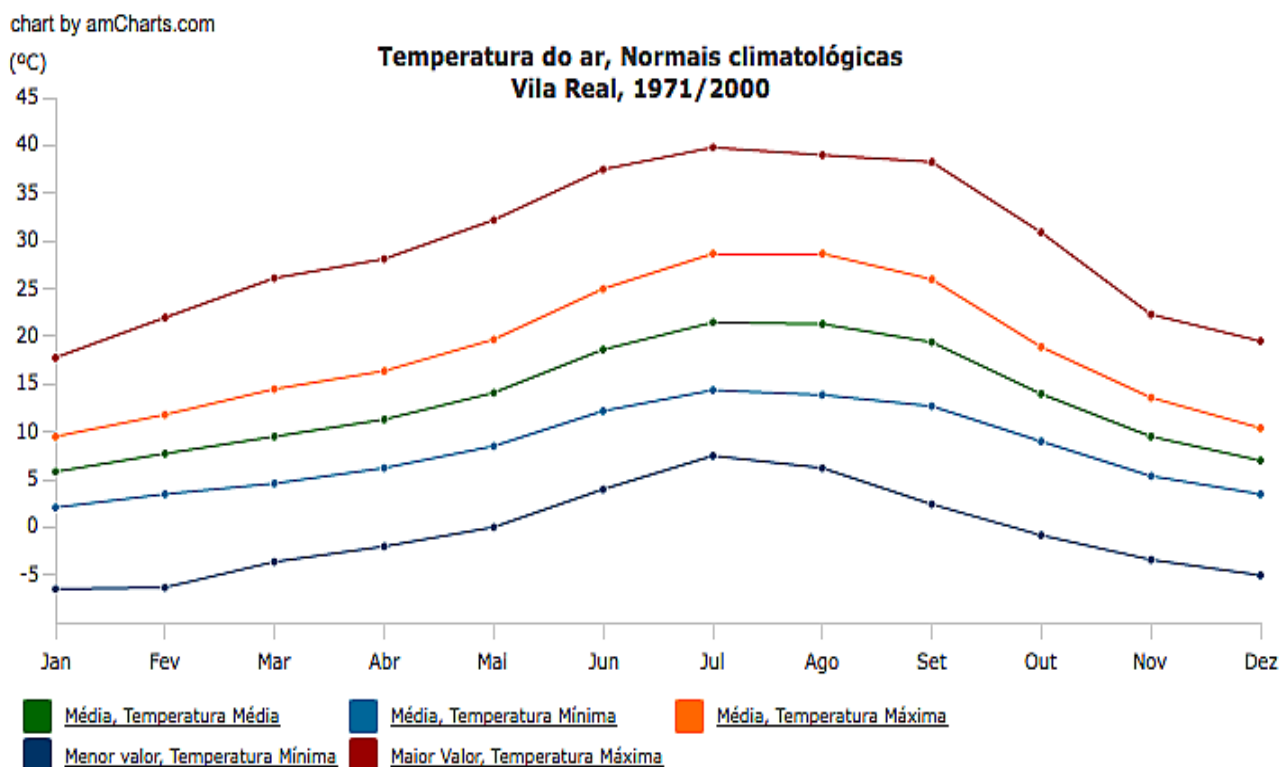


Fig. 3.1.3.1- Clima de Portugal Continental segundo a classificação de Koppen (extraído de IM, I.P. 2012).

Face ao referido, assume-se que a zona de estudo apresenta clima temperado do tipo Csb, isto é, clima temperado com inverno chuvoso e verão seco e pouco quente.

Paralelamente, são apresentadas as normais climatológicas para a estação meteorológica de Vila Real (fig. 3.1.3.2). Esta é, note-se, a estação oficial que serve de referência à área estudada e de onde se obtiveram os parâmetros meteorológicos que servem de base à análise dos resultados alcançados com este estudo: precipitação diária e temperatura máxima diária (anexo XIV). Assim, para o período considerado, a região denota uma temperatura média anual de 15,4 °C e uma precipitação total média anual de 1073,7 mm. Esta última impulsionada pelo papel das barreiras morfológicas (Serras do Marão, Aboboreira e Castelo), que provocam precipitações elevadas principalmente nas vertentes atlânticas. A sazonalidade da precipitação é tipicamente mediterrânea, ou seja, é no outono/inverno que ocorrem os maiores quantitativos, em contraste com a primavera e, em especial, o verão, marcado por uma acentuada escassez hídrica. A temperatura da região é igualmente condicionada pela altitude, que provoca abaixamento térmico.

Refira-se que, face à variação sazonal da temperatura, esta é máxima nos meses estivais, particularmente julho e agosto, e mínima na estação das chuvas, sobretudo dezembro e janeiro.



Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Anual
Média da quantidade de Precipitação Total (09-09UTC), mm.												
144.1	158.7	82.6	82.3	66.5	54.1	17.1	17.1	49.0	116.9	110.7	174.6	1073.7

Fig. 3.1.3.2- Normais climatológicas da temperatura do ar e precipitação para a estação meteorológica de Vila Real (extraído de IM, I.P. 2012).

3.2. Resultados

3.2.1. Caracterização do coberto vegetal

Os resultados da caracterização do coberto vegetal são apresentados em função do inventário florestal e descrição da estrutura da vegetação das parcelas. No primeiro caso, a metodologia seguida serviu de auxílio a um conjunto de medições e observações de campo que culminaram no preenchimento das fichas de campo para cada parcela. Exemplarmente, faz-se representar a ficha referente à parcela de carvalho (quadro 3.2.1.1); as demais podem ser consultadas no anexo VII.

Quadro 3.2.1.1- Ficha de medições do inventário florestal para a parcela de carvalho.

Data/hora		Identificação da parcela			
Data:	01/06/12	Parcela:	Carvalho		
Hora início:	15:15	GPS			
Hora fim:	16:38	Precisão (m):			
Caracterização fisiográfica da parcela					
Situação fisiográfica:	encosta	Exposição:	N		
		Declive (graus):	10-15°		
		Altitude:			
Caracterização da mancha homogênea					
Uso do solo:	florestal	Tipo de floresta:	aberta		
		Grau de coberto árvores florestais (%):	85%		
		Idade:			
		Distribuição: vertical	regular		
		horizontal:	irregular		
Composição:	pura	Profundidade da manta morta (cm)	3,6 cm (média)		
Estrato arbustivo					
Altura média do estrato arbustivo (m):	79,3 cm	Grau de coberto arbustivo (%):	50%		
Fatores de degradação do solo					
Erosão:	0	Queimadas:	1		
		Culturas:	1		
Árvores florestais		Parcela: Carvalho			
Nº Árvores florestais menores (<5cm de DAP e >1,3m de altura)		6			
Nº col.	Espécie	DAP	Altura	Vitalid.	Notas
1	carvalho	25	5-10	M	DB= 14 cm e DT= 1*150/15= 10cm
2	carvalho	27	>15	S	
3	carvalho	21	>15	S	
4	carvalho	41	>15	S	
5	carvalho	36	>15	S	
6	carvalho	23	>15	S	
7	carvalho	28	5-10	M	DB= 17 cm e DT= 0,5*100/15= 3,3 cm
8	carvalho	27	5-10	M	DB= 17 cm
9	carvalho	36	>15	S	
10	carvalho	22	10-15	S	
11	carvalho	37	>15	S	
12	carvalho	18	5-10	S	
13	carvalho	26	>15	S	
14	carvalho	29	5-10	M	DB= 18 cm e DT= 0,8*100/15=5,3 cm
15	carvalho	30	>15	S	
16	carvalho	37	>15	S	
17	carvalho	16	5-10	D	
18	carvalho	21	10-15	S	
19	castanheiro	10	<5	S	
20	castanheiro	5,5	<5	S	
21	carvalho	19	10-15	D	
22	carvalho	17	5-10	S	
23	castanheiro	14	5-10	D	
24	carvalho	29	>15	S	

Madeira morta derrubada		
N.º	Diâmetro	Densidade
1	10,5	apodrecida
2	12	intermédia



Fig. 3.2.1.1. Vista geral da parcela.

Densidade florestal

No caso concreto, em que se recorreu a métodos de quantificação para uma área amostrada definida, pode então calcular-se a densidade total (DT) das árvores florestais (DAP >5cm):

$$DT = N / A$$

com, N= número de árvores florestais; A= área (em m²) alvo da “medição de árvores florestais”

Para a parcela de carvalho, DT= 24/400= 0,06 árvores florestais/m² (600 árvores por hectare)

Paralelamente, recorrendo às anotações das espécies florestais, a metodologia usada permitiu aferir a densidade relativa (DR) para cada espécie:

$$DR_i = n_i / N$$

sendo agora, DR_i= densidade relativa da espécie i; n_i= número de indivíduos da espécie i

Para a espécie de carvalho, DR= 21/24

Finalmente, a densidade absoluta (D_i) para cada espécie é então:

$$D_i = (DR_i)(DT) = n_i/A$$

Para a espécie de carvalho, D= 21/400= 0,0525 carvalhos/m² (525 carvalhos por hectare)

No que concerne às características gerais das parcelas, denotadas pelo inventário florestal, importa começar por destacar o padrão que existe ao nível das características fisiográficas. Ambas as parcelas estão numa situação fisiográfica de encosta, partilham a mesma exposição dominante (N) e apresentam um declive médio idêntico, há exceção do castinçal (onde é superior: 40-45°, face aos 10-15° das restantes). Nota que, embora não tenha sido alvo do inventário, tomou-se uma quarta parcela de uso do solo por matagal. Esta é ocupada por uma formação rasteira com vegetação dominada por leguminosas, leia-se giesta e codeço, onde ocorrem algumas árvores muito esparsas.

Tratando as ocupações florestais, referencie-se que estamos, em qualquer dos casos, em presença de florestas abertas (as copas das árvores em regra não se sobrepõem). No que trata a distribuição das árvores, e começando pela vertical, esta é do tipo regular apenas na parcela de pinhal (árvores florestais pertencem maioritariamente à classe >15 m); a distribuição horizontal é, em qualquer dos casos, irregular, não havendo nenhum esquema de distribuição. Destaque-se o grau de coberto arbustivo e a sua altura, que se estimou em 25% (47,7 cm), 50% (79,3 cm) e 75%

(142 cm) para as parcelas de castiçal, carvalhal e pinhal, respetivamente. Pese estes valores serem relativos a uma análise pontual, o acompanhamento da sua evolução reconheceu-se similar entre as demais parcelas.

O solo de cada uma das parcelas não se apresenta muito degradado. As árvores florestais denotam algumas diferenças entre parcelas no que concerne a aspetos tão variados como DAP, estado de vitalidade e densidade. A densidade da espécie dominante nas parcelas amostradas é maior no castiçal (pese haver muitas árvores debilitadas) e mínima no pinhal (presença de árvores de outras espécies). O potencial de regeneração do estrato arbóreo é maior no pinhal (mais árvores menores).

Os resultados afins à descrição geral da estrutura da vegetação são sintetizados no quadro 3.2.1.2. Reitere-se, são relativos a uma análise pontual, e não ao acompanhamento da evolução.

Quadro 3.2.1.2- Estrutura da vegetação das parcelas.

	Pinhal	Carvalhal	Castiçal
Fanerófitas florestais (FPH) (>5m)	%	%	%
Castanea sativa	10	5	80
Quercus robur	5	75	5
Pinus pinaster	60		
Cobertura do estrato	70	75	85
Fanerófitas altas (TPH) (2-5m)	%	%	%
Adenocarpus lainzii		2	
Castanea sativa	5	10	1
Cytisus striatus		5	
Frangula alnus		10	
Erica arborea	2		
Ilex aquifolium			5
Quercus robur	10		
Cobertura do estrato	15	20	6
Fanerófitas baixas (LPH) e herbáceas altas (0.5-2m)	%	%	%
Castanea sativa			1
Cytisus striatus		2	
Lonicera periclymenum		1	1
Pteridium aquilinum	60	30	
Pyrus cordata	1		
Rubus ulmifolius	5		
Cobertura do estrato	60	30	2
Caméfitas (CHA) e herbáceas baixas (GEO, CHE, LHE)	%	%	%
Gramíneas (CHE)		20	10
Herbáceas (dicotiledóneas) diversas (LHE, GEO)	1	1	5
Pteridium aquilinum		5	20
Rubus ulmifolius	15	1	1
Cobertura do estrato	15	25	30
Solo (horizonte O, por inspeção visual)	%	%	%
Castanea sativa	15	5	70
Frangula alnus		1	
Pinus pinaster	70		
Pteridium aquilinum	30	10	5
Quercus robur	10	70	10
Cobertura do estrato	100	85	80

Um síntese da ficha das principais espécies que compõe as parcelas é apresentada no anexo XVI.

No que respeita a análise à evolução do solo coberto por vegetação (fig. 3.2.1.2), e considerando exclusivamente os povoamentos arbóreos, leia-se parcelas de carvalho, castiçal e pinhal, estes denotam uma evolução bastante diferenciada. Assim sendo, o solo coberto por povoamentos de pinheiros demarca-se dos demais por apresentar uma evolução mais homogénea ao longo do período de estudo com oscilações que não implicam alterações relevantes no grau de cobertura vegetal, a qual se cifra entre os 56,76% (18 de março) e 74,65% (27 de junho). Por seu turno, as parcelas ocupadas por carvalhos e castanheiros apresentam uma grande variação no grau de cobertura do solo para o período de estudo, contudo dá-se em alturas diferentes. Ora, se no início dos trabalhos o grau de cobertura era idêntico e baixo, sendo de 24,03 e 28,81%, respetivamente carvalho e castiçal; a partir de então e, sobretudo, com o despoletar da primavera o primeiro regista um incremento mais acentuado na percentagem de cobertura vegetal do solo. De tal forma, em 3 de abril (dia 94 do ano) a parcela de carvalhos registava 71,68% de solo resguardado por vegetação, ao passo que no castiçal se ficava pelos 37,16%. De facto, a folhagem dos carvalhos dá-se mais cedo que a dos castanheiros, registando a última um grande incremento apenas a partir de maio. Com a aproximação do período estival, a percentagem de cobertura vegetal equivale-se novamente entre os dois tipos de ocupação do solo, sendo, a 24 de maio, de 79,21% (parcela de castiçal) e 82,05% (parcela de carvalho). Daí em diante a percentagem de cobertura tende a manter-se relativamente estável, oscilando em torno dos 80%, intercalando as parcelas de carvalho e castiçal na liderança do maior grau de cobertura vegetal.

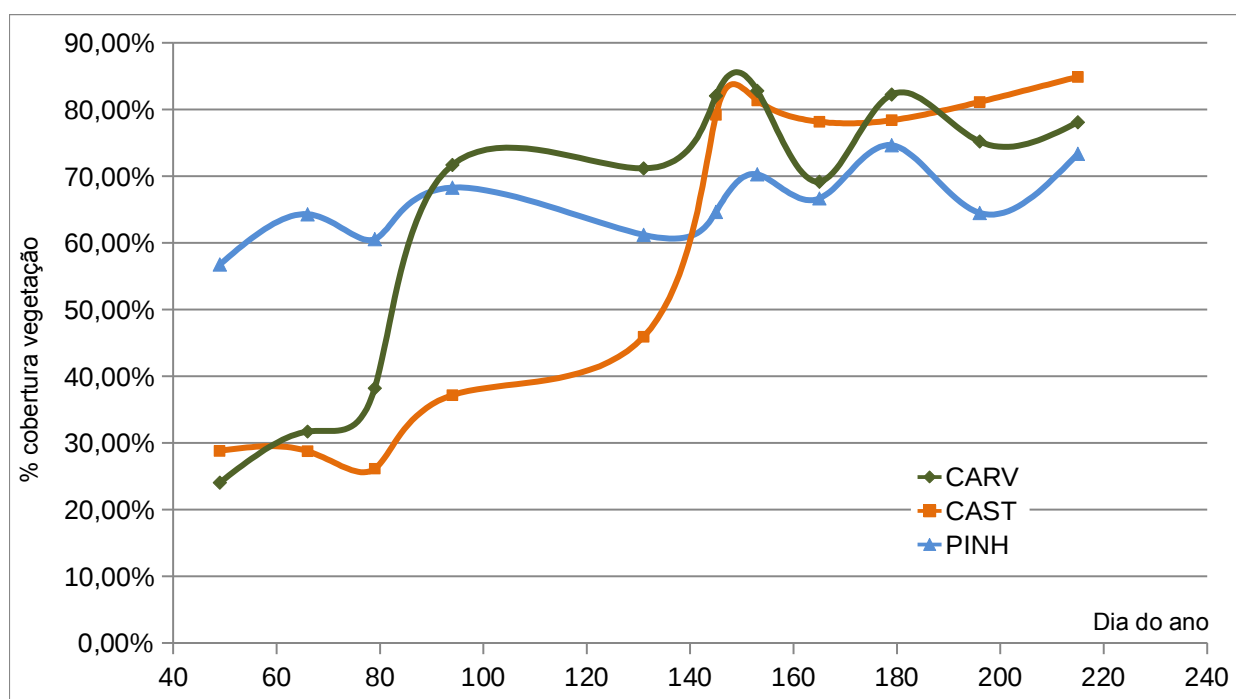
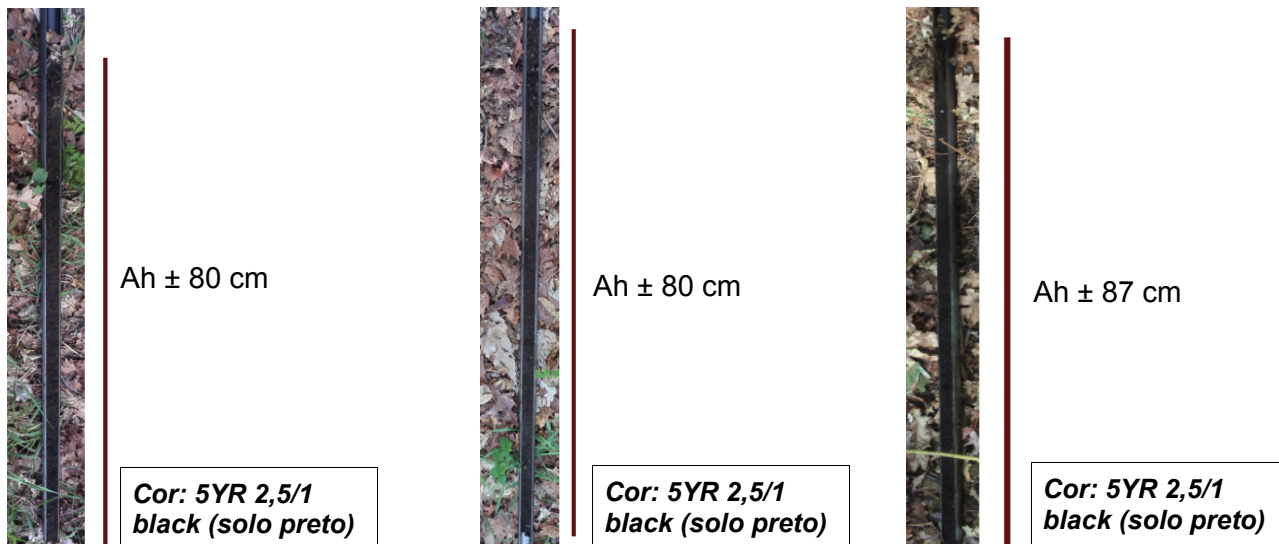


Fig. 3.2.1.2- Evolução da cobertura vegetal nas parcelas florestais de carvalho, castiçal e pinhal.

3.2.2. Estudo do perfil do solo

O trabalho de campo permitiu identificar e descrever os horizontes dos seguintes perfis do solo (figuras 3.2.2.1; 3.2.2.2; 3.2.2.3):

Carvalhoal



*Nota que a individualização dos horizontes e respetiva espessura não se encontra à escala.

Fig. 3.2.2.1: Perfis do solo amostrados para parcela de carvalhoal.

Na parcela ocupada por carvalhoal, denota-se a ocorrência de um único horizonte mineral nas secções dos perfis do solo amostrados (fig. 3.2.2.1). Desta forma, estamos em presença de um horizonte Ah (acumulação de matéria orgânica), de cor 5YR 2,5/1 correspondente a um solo preto, cuja espessura ultrapassa largamente a zona de estudo da humidade do solo. Em termos de características gerais da parcela, no respeitante à geomorfologia estamos em presença de uma zona dita de encosta, com declive de 5-10° e exposição para N, sendo o substrato rochoso granítico (granito monzonítico de duas micas, com predomínio da biotite, regra geral porfiróide).

Castinçal

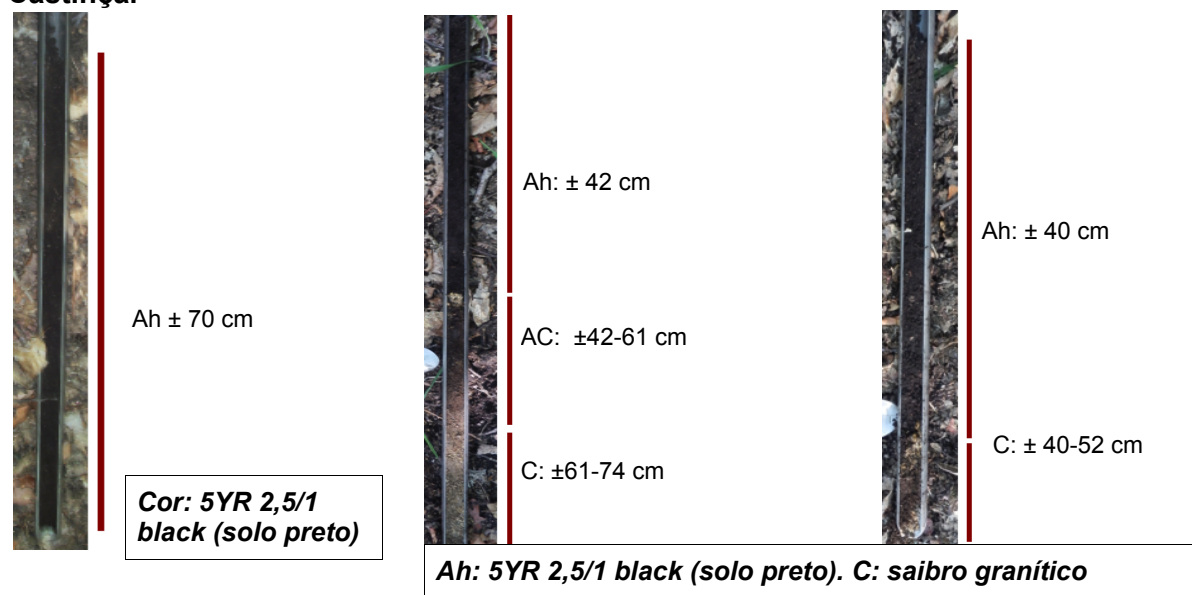


Fig. 3.2.2.2- Perfis do solo amostrados para parcela de castinçal.

No que trata a parcela de castiçal, as secções de solo amostrados traçam três cenários distintos para o perfil do solo (fig. 3.2.2.2). Se por um lado existirão zonas onde é evidenciado um horizonte Ah espesso, outras hão em que estamos em presença de um horizonte Ah de menor espessura com transição para um C, podendo ainda existir um horizonte de propriedades intermédias, com um certo predomínio das propriedades de um horizonte sobre as do outro (AC). A geomorfologia da parcela é típica de encosta (declive de 35-40° e exposição para N) mantendo-se o substrato rochoso. Foi ainda aferido o perfil do solo a partir de um talude da estrada, o que permitiu a individualização e caracterização dos seus horizontes até uma maior profundidade (fig. 3.2.2.3).



Ah com espessura média de 80 cm e cor 5YR 2,5/2 correspondente a um solo castanho avermelhado escuro.

Fronteira: nítida (2-5 cm)

Solo húmido em profundidade. Textura de campo franca-arenosa e estrutura do tipo anisforme, com uma nitidez fraca.

Horizonte C corresponde a granito alterado (amarelado). Prolonga-se ao longo da extensão do perfil, que é de $\pm 1,80$ m.

Fig. 3.2.2.3- Perfil do solo em talude da estrada.

Pinhal

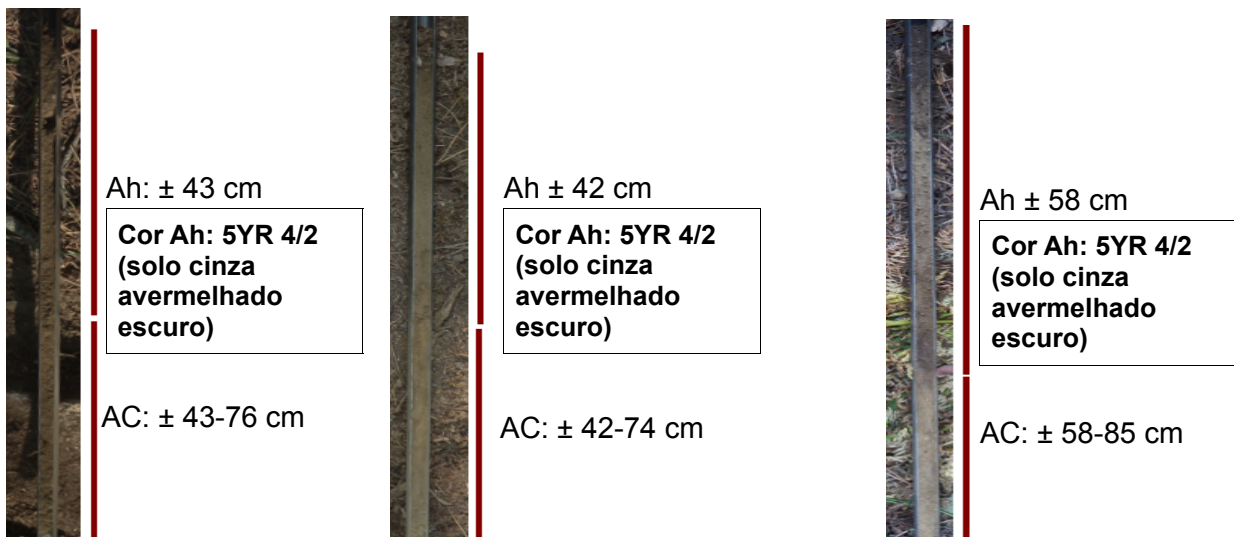


Fig. 3.2.2.4.- Perfis do solo amostrados para parcela de pinhal.

Para a parcela ocupada por pinheiros, o perfil do solo aferido (fig. 3.2.2.4) foi homogéneo no que trata aos seus horizontes: horizonte Ah precedido de um horizonte AC de propriedades intermédias, com predomínio de A relativamente a C (a estrutura petrográfica está quase totalmente destruída e denuncia alguma afetação pelos processos pedogenéticos). Geomorfologia é de encosta (5-10° de declive), sendo a exposição para N. O substrato rochoso mantém-se.

3.2.3. Medição da humidade do solo

Variações da humidade no perfil dos solos

São apresentados na figura 3.2.3.1 parâmetros estatísticos relativos à humidade do solo, no decurso do período de estudo, para os diferentes perfis. Dê-se conta que os valores expostos correspondem ao valor médio das 4 leituras efetuadas às profundidades de 10, 20, 30 e 40 cm. Assim, os extremos representam os valores máximos e mínimos observados, a caixa encontra-se delimitada pelo 1º e 3º quartil e o traço do meio é referente ao valor da mediana.

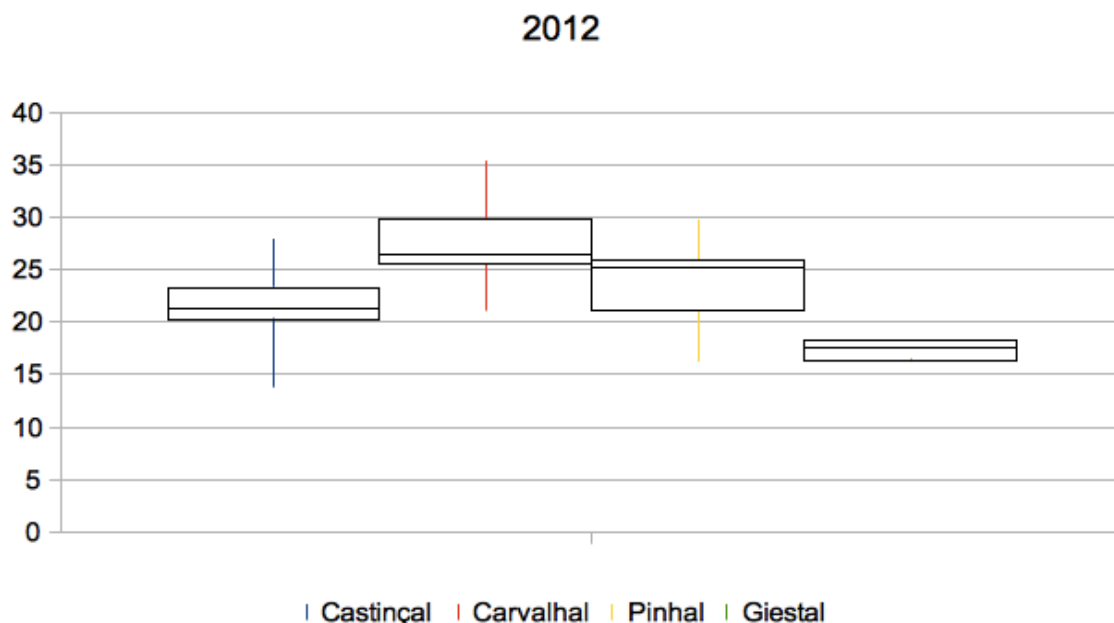


Fig. 3.2.3.1- Humidade no perfil dos solos sob diferentes usos e cobertos vegetais.

Da análise da figura resultam diferenças claras entre os diferentes tipos de cobertura vegetal no que concerne aos valores médios de humidade do solo. É possível estabelecer uma hierarquia ao nível deste parâmetro hidrológico: os valores mais elevados de humidade são registados pelo solo com carvalho, a que corresponde uma mediana de 26,5 %; seguindo-se o solo com pinhal, com uma mediana de 24,3 %; castinçal, mediana de 21,4 %; por último, giestal, com o perfil que comporta comunidade arbustiva a fixar-se pelos 17,9 % de mediana. Na mesma linha surgem os valores extremos. Aqui, a análise, excluindo a cobertura arbustiva (o estudo apenas contemplou os primeiros 4 meses do ano), denota que quer os valores mais altos quer os mais baixos seguem a mesma ordem decrescente da mediana para os diferentes perfis. Exemplarmente, o valor mais alto de humidade foi registado no perfil do solo ocupado por comunidade arbórea de carvalho, 35,4%, e o valor mais baixo na ocupação por castinçal, 13,8 %. Valores intermédios dos extremos de humidade verificam-se no perfil do solo com ocupação por Pinhal: 29,8 % e 16,3 %, respetivamente máximo e mínimo. Do diagrama anterior, que utiliza os quartis da série observada de dados, pode ainda extrair-se informação sobre a concentração desses dados, a qual é maior na parcela de giestal, e, para o caso de uso florestal, no solo do castinçal (50 % dos valores estão entre 20,3 e 23,3 % de humidade).

Importa agora comparar a evolução mensal dos valores médios de humidade com os parâmetros climáticos mais relevantes, leia-se precipitação e temperatura. De facto, a humidade do solo apresenta, inequivocamente, uma relação direta com as variações sazonais de tais meteoros (fig. 3.2.3.2).

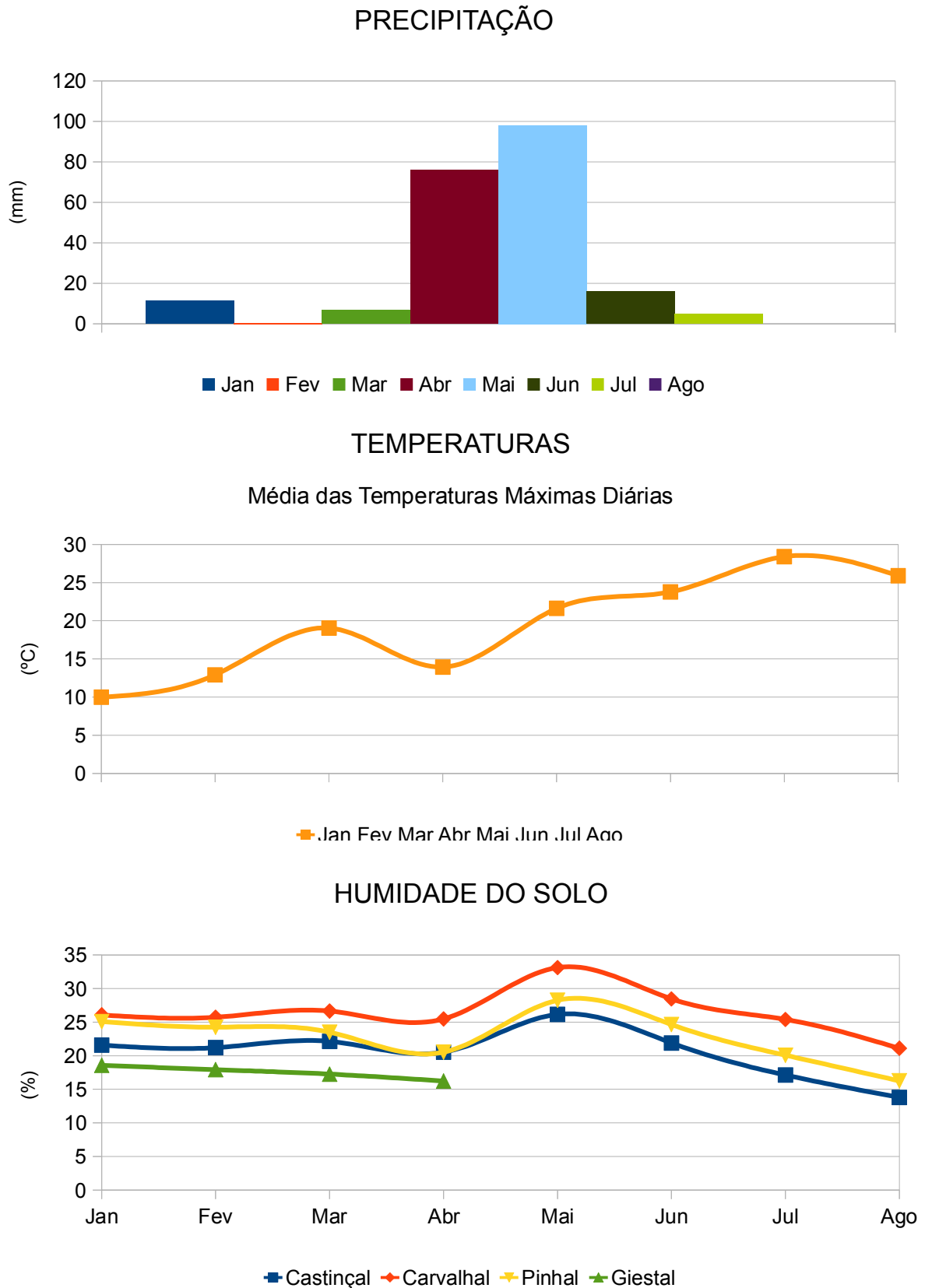


Fig. 3.2.3.2- Evolução mensal da precipitação, média da temperaturas máximas e humidade no perfil do solo.

Interessa então fazer a análise comparativa dos três gráficos, procurando explicações (ver secção da discussão dos resultados) para a evolução mensal do teor volumétrico de água no solo das diferentes coberturas vegetais. Assim, de janeiro para fevereiro assiste-se a uma redução ligeira da humidade do solo, sendo a redução comum a todos os tipos de ocupação. Ora, esta deve-se à redução da precipitação, que foi quase nula no segundo mês do ano, sendo ainda que a temperatura subiu ligeiramente. De fevereiro para março, assiste-se a uma resposta diferenciada na humidade do solo de acordo com o tipo de coberto: se na ocupação por pinhal e giestal a humidade decresceu ligeiramente, já no carvalhal e castinçal registou-se a evolução inversa. Isto acontece na sequência do acréscimo da precipitação e, ao mesmo tempo, da temperatura. Na comparação de Março-Abril, registou-se uma descida geral da humidade do solo, o que não está em consonância com os parâmetros climáticos, já que a precipitação teve um grande aumento e, ao mesmo tempo, notou-se uma queda acentuada das temperaturas máximas. A explicação para esta aparente contradição reside no facto de só ter sido possível, nesse mês, realizar uma única amostragem e que foi concretizada logo no dia 3, pelo que, na verdade, reflete mais o mês anterior. Não obstante, veio a verificar-se que abril haveria de ser particularmente chuvoso assim como maio, note-se os dois meses mais chuvosos do ano para o período do estudo. Como resultado, assiste-se a um aumento brutal da humidade do solo para o mês de maio. A partir de então a resposta é uniforme, com a humidade a registar sucessivas reduções até ao fim do estudo (agosto); o que é explicável quer pela redução das precipitações quer pelo aumento das temperaturas com implicações na evapotranspiração.

Em suma, os maiores teores de humidade foram assinalados nos meses em que se registaram os mais altos quantitativos de precipitação, o que nem sempre coincidiu com as menores temperaturas, sendo o exemplo mais flagrante o mês de maio. Ora, tal constatação parece mais ou menos intuitiva num ano de forte escassez pluviométrica, em que praticamente não choveu nos primeiros meses do ano. Paralelamente, as mais baixas concentrações de humidade ocorreram nos meses de verão, quando a precipitação é negligenciável, as temperaturas são bastante altas e a evapotranspiração atinge os valores anuais mais elevados.

Variações espaciais da humidade

Para a área de estudo, considerando a instabilidade espacial da humidade no perfil dos solos ao longo do período em análise (fig. 3.2.3.3), pode assumir-se que os desvios mais acentuados, notados por via da análise da evolução mensal dos coeficientes de variação, ocorrem nos períodos em que a humidade atinge as menores percentagens. Assim se explica o incremento nas diferenças espaciais da humidade do solo nos primeiros meses do ano, a queda em maio em detrimento da precipitação registada (nota que abril deverá apresentar o mesmo comportamento que maio, ao contrário da ilação que se tira do gráfico; como já foi explicado, o fosso de amostragem sucedido, que data somente do dia 3 daquele mês, não representa o mês chuvoso e frio que se viria a suceder com inevitável quebra da humidade do solo), de que resulta maior homogeneidade entre os perfis monitorizados, e novo aumento gradual ao longo do período de

verão de junho a agosto.

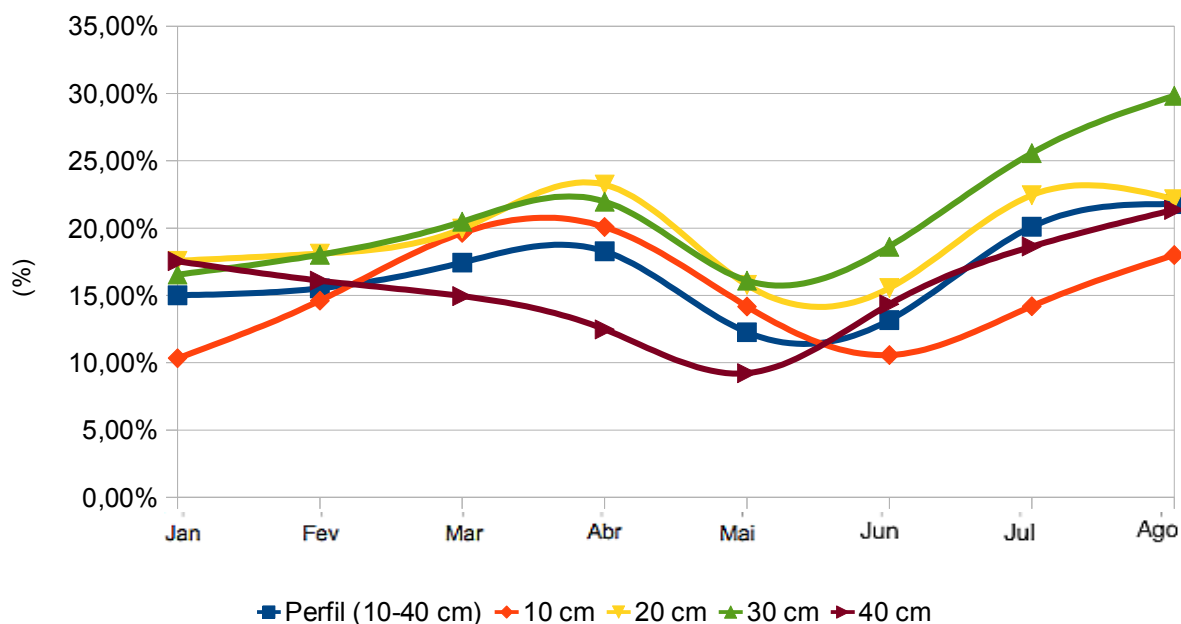


Fig. 3.2.3.3- Evolução mensal dos coeficientes de variação da humidade entre os diferentes tipos de coberto vegetal para diferentes profundidades e no perfil do solo.

Desta forma, retira-se que os desvios mais expressivos ocorrem nos períodos de maior escassez pluviométrica, os quais tendem a coincidir com temperaturas mais altas, face aos que denotam maiores quantitativos de precipitação e temperaturas inferiores.

Pode ainda extrair-se que, é nas camadas mais superficiais dos solos que se observam mais oscilações temporais da humidade do solo em cada tipo de ocupação, tendendo estas a atenuar-se em profundidade, pois note-se a evolução das linhas representativas das camadas mais profundas, particularmente a dos 40 cm, com uma evolução mais homogêneo ao longo do período de estudo.

No que concerne aos valores médios da humidade do solo para o período de estudo nos diferentes perfis de ocupação vegetal, representados em gráfico de dispersão (fig. 3.2.3.4), estes podem ser avaliados sob diversas perspetivas comparativas: evolução em profundidade, amplitude de variação, valores de humidade a dada profundidade. Face ao referido, comece por se notar que, na globalidade, a humidade do solo ou o teor volumétrico de água no solo tende a aumentar em profundidade. De facto, pode adiantar-se esta consideração pela tendência geral expressa no gráfico da figura abaixo, sendo claramente à profundidade de 40 cm que se registam os mais altos teores de humidade no solo e à profundidade de 10 cm os menores. Pelo meio, ocorre um acréscimo progressivo na humidade que liga, por assim dizer, os valores mais extremos. Não obstante, refira-se contudo a redução, embora pequena, da humidade para a parcela ocupada por carvalhos entre as profundidades de 30 e 40 cm; o que não põe em causa a consideração anterior, já que não foram raras as vezes em que se registou um acréscimo dos

teores de água no solo entre estas profundidades. Aos 10 cm, é claramente o carvalho que apresenta o mais alto teor de humidade no solo, seguindo-se o castiçal, pinhal e, por fim, o giestal. Quanto aos 40 cm, agora é no pinhal que se registam os maiores teores de humidade, contudo bem próximos dos registados no carvalho; segue-se o castiçal e o giestal. A amplitude de variação da humidade, note-se ao longo do perfil do solo, é máxima no pinhal, registando-se um acréscimo da humidade em cerca de 10% até aos 40 cm de profundidade. Tal variação é tão significativa que passa do tipo de ocupação florestal menos húmido à superfície a mais húmido em profundidade. Do lado inverso está o castiçal, que acusa menor amplitude de variação, ou seja, a variação da humidade com o aumento da profundidade é inferior. Intermédias são as variações observadas no carvalho e giestal, destacando-se, no último, a evolução particularmente gradual da humidade à medida que “descemos” no perfil do solo.

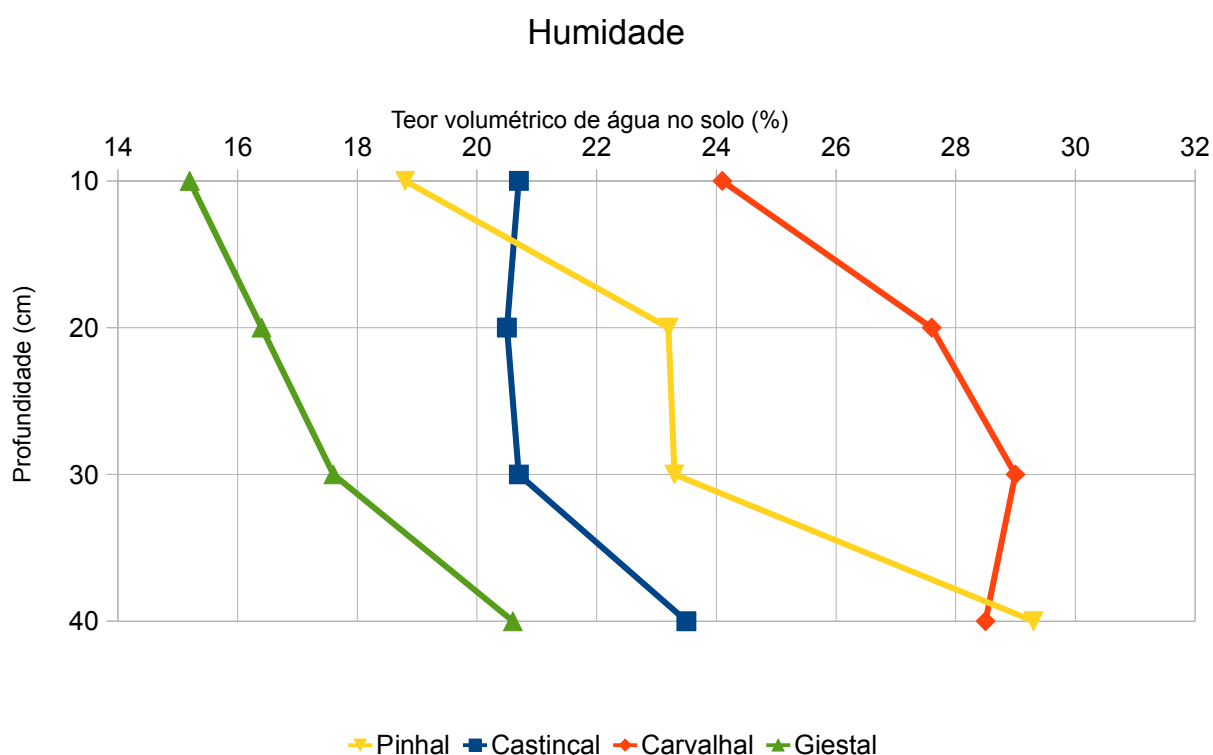


Fig. 3.2.3.4- Evolução do teor volumétrico de água no solo com a profundidade entre as diferentes parcelas.

Para além da avaliação da humidade do solo ao longo de um perfil em profundidade (uso da sonda Profile Probe), amostrou-se igualmente a dita humidade superficial, recorrendo aqui à sonda ThetaProbe. Como já foi antecedido, esta determina o teor volumétrico de água no solo referente aos 6 cm iniciais abaixo do horizonte orgânico. Deste modo, os dados afins ao período de estudo são representados nas figuras 3.2.3.5 e 3.2.3.6. Segundo a primeira, a humidade superficial é maior nas parcelas ocupadas por carvalho e castiçal, ligeiramente superior no primeiro caso, sendo inferior no pinhal e giestal, decrescente por esta ordem. Ora, as medições então efetuadas atestam as conclusões de que a humidade aumenta em profundidade, na medida em que, em qualquer dos casos, obtiveram-se valores inferiores aos registados à profundidade de

10 cm. De facto, a humidade superficial atenua-se em 4-7%, sendo a menor diferença registada no castiçal e a maior no carvalhal.

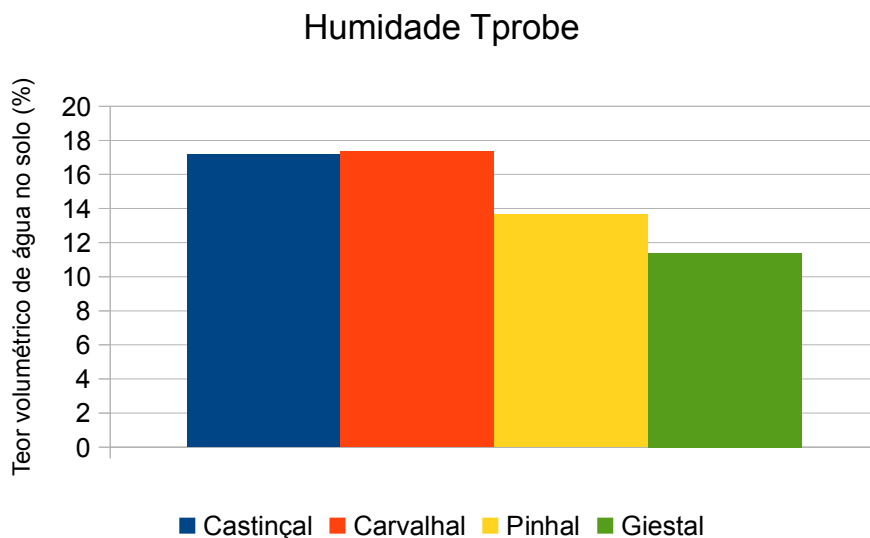


Fig. 3.2.3.5- Humidade ThetaProbe das parcelas para o período de estudo.

Quanto à sua evolução ao longo do período do estudo, não se assiste a alterações relevantes nas posições de parcelas com maior ou menor humidade superficial, que assim denotam um evolução mais ou menos homogénea. Em todo o caso, referencie-se a ocorrência de maior variabilidade nas parcelas de uso florestal, face à ocupada por matos (giestal). Dentro das parcelas florestais, o pinhal é o que denota menor variação nos valores lidos pela sonda ThetaProbe.

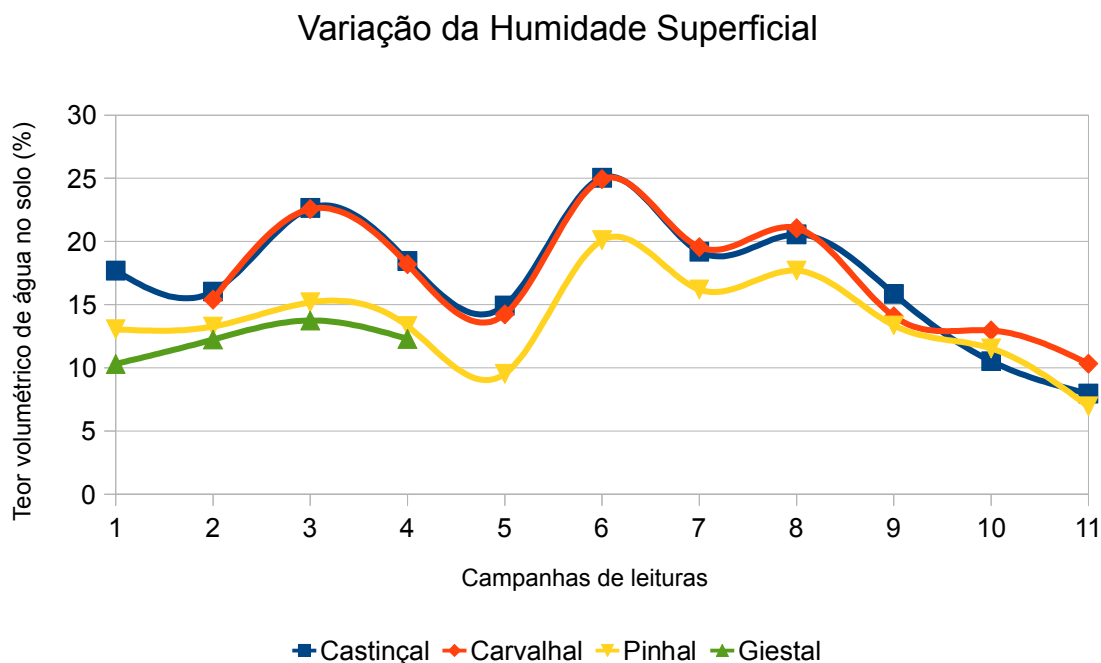


Fig. 3.2.3.6- Variação da humidade superficial nas parcelas para o período de estudo.

3.2.4. Avaliação da condutividade hidráulica dos solos das parcelas

Importa comparar entre si os valores da condutividade hidráulica dos solos estudados (quadro 3.2.4.2), mas também em relação a sistemas de classificação da capacidade desses solos para transportar água. Reconheça-se a existência de diversas classificações dos solos quanto à permeabilidade (e.g., Raposo, 1996; MMA, 2000). No âmbito do presente estudo, adotou-se a classificação proposta pela SSDS (1993), baseada no valor de K_s , apresentada no quadro 3.2.4.1.

Quadro 3.2.4.1- Classificação dos solos quanto à permeabilidade (adaptado de SSDS, 1933).

Classe de permeabilidade	K_s ($\mu\text{m/s}$)	K_s (cm/h)
Muito alta	> 100,0	> 36,0
Alta	10,0 – 100,0	3,6 – 36,0
Moderadamente alta	1,0 – 10,0	0,36 – 3,6
Moderadamente baixa	0,1 – 1,0	0,036 – 0,36
Baixa	0,01 – 0,1	0,0036 – 0,036
Muito Baixa	< 0,01	< 0,0036

Quadro 3.2.4.2- resultados dos ensaios de condutividade hidráulica para os solos das parcelas.

Ocupação	K_s (cm/s)	K_s (cm/h)	Classe de Permeabilidade
Carvalho	0,0017	6	Alta
	0,0034	12,1	Alta
	0,0024	8,8	Alta
Média	0,0025	9	Alta
Castañal	0,00099	3,6	Alta
	0,0027	9,6	Alta
	0,0015	5,2	Alta
Média	0,0017	6,1	Alta
Pinhal	0,00065	2,3	Moderadamente Alta
	0,00067	2,4	Moderadamente Alta
	0,000012	0,042	Moderadamente Baixa
Média	0,00044	1,6	Moderadamente Alta
Desvio Padrão	-	3,9	Alta

Considerando a média dos ensaios para cada parcela em estudo comparativamente com o critério da SSDS (1993), verifica-se que se por um lado os solos ocupados por carvalho e castañal apresentam permeabilidade alta, já o solo com cobertura por pinhal demarca-se por uma

permeabilidade moderadamente alta, tendo inclusivamente num dos ensaios registado uma permeabilidade moderadamente baixa. Refira-se ainda que a capacidade de transporte de água pelo solo é maior na parcela de carvalho, registando uma média de 9 cm/h, face aos 6,1 cm/h no castiçal.

Para a totalidade dos ensaios, o valor máximo de K_{sc} é de 12,1 cm/h (carvalho) e o mínimo é de 0,042 cm/h (pinhal). Por seu turno, o valor médio de k_{sc} de todos os ensaios é de 5,56 cm/h, com o desvio padrão a ficar-se pelos 3,9 cm/h. Com efeito, a permeabilidade varia num intervalo de valores relativamente estreito.

No que concerne à classificação hidrológica dos solos propriamente dita, recorreu-se à proposta do *U. S. Soil Conservation Service* (1964). A mesma tem vindo a ser aperfeiçoada por diversos autores (e.g., Langan & Lammers 1991, Boulding 1993, Dingman 1994) e, segundo este método, é possível classificar um dado solo numa de quatro categorias (A, B, C e D), denominadas grupos hidrológicos de solos. A definição dos grupos tem por base a capacidade de infiltração mínima do solo, assumida como aproximadamente igual à condutividade hidráulica saturada; assim como, adicionalmente, a espessura e a textura do solo.

Atendendo às características dos solos estudados, pode afirmar-se que estes se enquadram no grupo A (quadro 3.2.4.3): solos muito favoráveis à infiltração. Especificamente, tratam-se de solos excessivamente drenados, com a superfície freática a mais de 1,5 m de profundidade. A favorabilidade à infiltração e, obviamente, à recarga dos aquíferos é máxima nos solos deste grupo.

Quadro 3.2.4.3: Características dos grupos hidrológicos de solos do tipo A.

Grupos Hidrológicos de Solos	Grupo A: muito favorável à infiltração
K_s	$K_s > 0,76 \text{ cm h}^{-1}$
Classes de drenagem	Solo bem drenado: superfície freática entre 1,0 e 1,5 m de profundidade, sem especificação da duração anual.
	Solo excessivamente drenado: superfície freática a mais de 1,5 m.
Textura	Grosseira
Profundidade camada pouco permeável	Mais de 1 m

3.2.5. Balanço de água no solo

A evapotranspiração (ET), determinada através do balanço de água no solo ($ET = P - \Delta S$), denota uma variabilidade temporal em resposta direta à precipitação e humidade do solo, para o período do estudo (fig. 3.2.5.1). Assim, os maiores valores de ET são registados na primavera (sobretudo em maio), altura em que se deram os maiores quantitativos de precipitação. Do lado oposto, quer no inverno quer no verão a precipitação escassa resultou em taxas de evapotranspiração mínimas. As diferenças de evapotranspiração entre as demais parcelas são, portanto, mínimas e irregulares (isto é, ora é numa parcela que se registam as menores taxas de evapotranspiração, ora é noutra), pelo que não é possível preferir linearmente qual o povoamento com maior ou menor consumo hídrico.

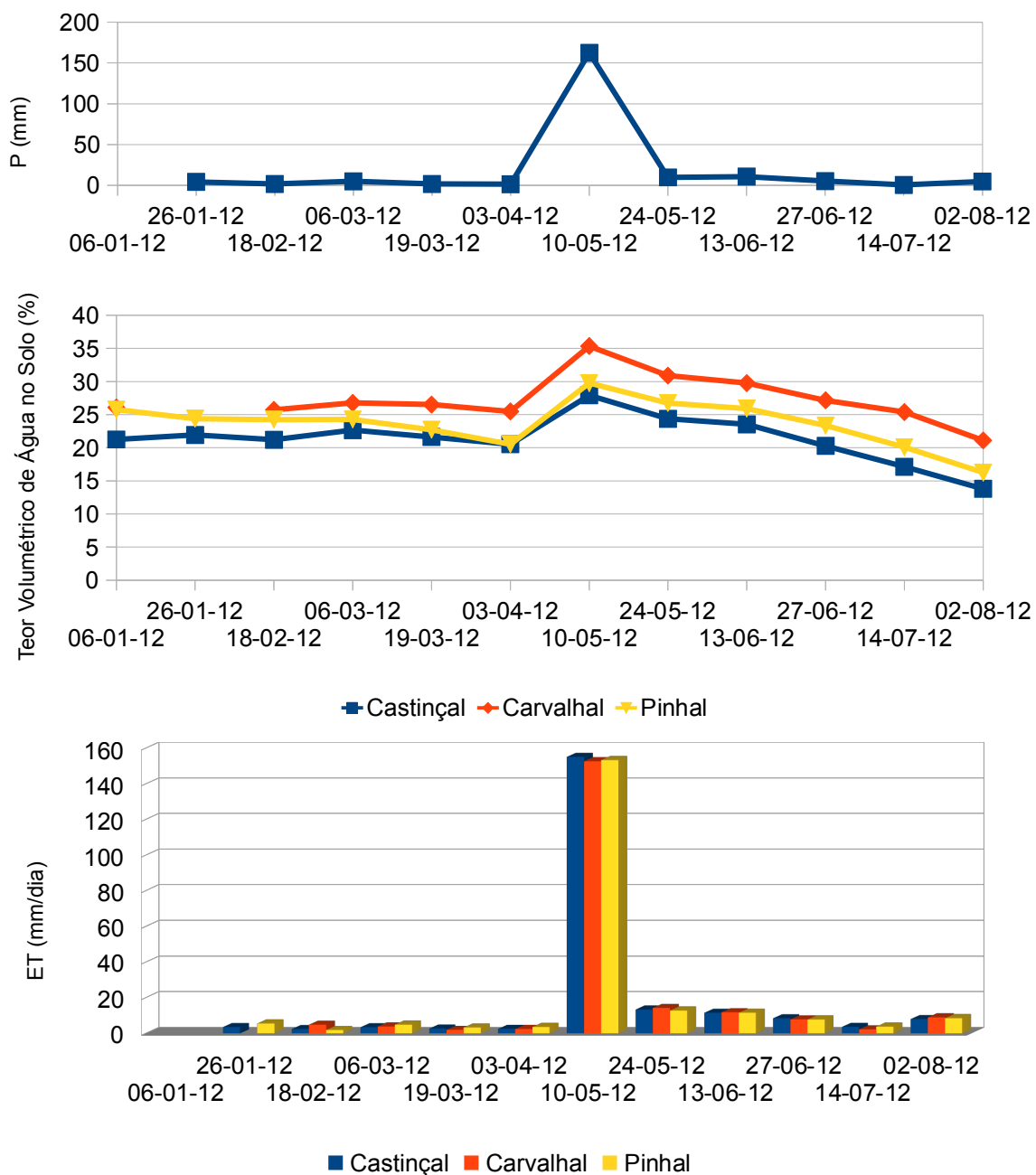


Fig. 3.2.5.1- Evolução temporal da precipitação bruta, do teor volumétrico de água no solo e da evapotranspiração estimada pelo método do balanço hidrológico para cada parcela.

3.3. Discussão dos resultados

Começando pelo inventário florestal, os resultados obtidos evidenciam que se alcançou a ambição de se tomarem áreas-amostra com características fisiográficas similares. Ora, a constância destas características repercute-se num ambiente climático idêntico entre parcelas, dando assim maior enfoque à influência que o tipo de ocupação do solo desenvolve nos processos hidropedológicos intraparcels. Do mesmo modo, as parcelas apresentaram, em qualquer dos casos, uma composição pura (uma única espécie é dominante), o que é uma garantia da representatividade dos cobertos vegetais em estudo. A caracterização à estrutura da vegetação atesta o inventário florestal, vindo reforçar a descrição dos diferentes estratos, nomeadamente os estratos inferiores (por caméfitas e herbáceas) que não são contemplados no inventário, nem, acrescente-se, na metodologia definida com vista à análise da evolução do copado. Nota principal para os efeitos da espécie *pteridium aquilinum*, vulgarmente designada por fetos, que chegam a tomar 60% de cobertura do solo. São consequentes as implicações sobre a interceção da chuva e, sobretudo, na redução da evaporação do solo por aumento da área coberta (origina sombra). Quanto à análise da evolução do solo coberto por vegetação, refira-se que os resultados demarcam uma evolução bem diferenciada. Ora, reconheça-se que tais diferenças no grau de cobertura originam diferenças espaciais na humidade do solo entre as parcelas, pois interferem de forma diferente, e com sazonalidades igualmente diferentes, sobre os mecanismos da evapotranspiração.

Quanto ao perfil do solo, os resultados vem de encontro ao enquadramento pedológico. De facto, o reconhecimento de campo traduziu-se na identificação de Regossolos nos diferentes solos estudados. Estes foram originados a partir de regolitos espessos, os quais são frequentemente o resultado da arenização ou meteorização profunda de rochas compactas subjacentes, neste caso rochas graníticas. O perfil do solo denota um horizonte Ah (franco-arenoso, segundo a determinação de campo) de maior espessura na parcela de carvalho, sendo nas demais sucedido por um horizonte C com ou sem horizonte intermédio (AC). Considere-se a importância da cor, nomeadamente a referente ao horizonte Ah, “escura”, que é indicativa de elevado teor de matéria orgânica, que é portanto inferior na parcela de pinhal (solo cinza, face ao solo preto dos demais).

No que concerne aos resultados da humidade do solo, estes denunciaram diferenças claras entre os vários tipos de cobertura vegetal quanto aos valores médios de humidade. De facto, foi possível estabelecer uma hierarquia ao nível deste parâmetro hidrológico. Isso reflete diferenças nos mecanismos da evapotranspiração entre as diferentes parcelas ou, com maior importância, diferenças espaciais das propriedades físicas desses solos (nomeadamente a textura, estrutura e matéria orgânica), com implicações na capacidade de circulação, retenção e conservação da água. A humidade do solo apresenta uma relação direta com as variações sazonais dos principais meteoros (precipitação e temperatura), contudo as parcelas revelaram, ocasionalmente, uma

resposta diferenciada aos mesmos. A explicação reside na maior ou menor dependência que um ou outro tipo de cobertura do solo manifesta em relação à precipitação ou temperatura. Quanto à instabilidade espacial da humidade no perfil dos solos ao longo do período em análise, assumiu-se que os desvios mais acentuados ocorrem nos períodos em que a humidade atinge as menores percentagens. Ora, estas conclusões estão de acordo com vários estudos, os quais, efetuados em distintas condições climáticas, consideram que sob climas húmidos, a variabilidade espacial da humidade do solo é superior quando o perfil está seco (Famiglietti *et al.* 1999; Illston *et al.* 2004), enquanto em condições semiáridas as diferenças espaciais incrementam-se quando o perfil está mais húmido (Gómez-Plaza *et al.* 2000; Martínez-Fernández *et al.* 2003).

A análise à condutividade hidráulica saturada de campo, cujos ensaios se deram no horizonte Ah (de acordo com o estudo ao perfil do solo), destacaram uma capacidade de transporte de água diferenciada entre os solos estudados. Numa análise interpretativa da relação entre a condutividade hidráulica e os teores volumétricos de água no solo de cada parcela para o período do estudo (rever fig. 3.2.3.4) podem assumir-se algumas considerações. Assim, os valores da humidade registados na fração mais superficial do solo apresentam uma relação com a condutividade hidráulica. Aparentamos que a variação da humidade entre as diferentes parcelas acompanha a variação da capacidade desse solo em transmitir água. De facto, a parcela com maior média de humidade aos 10 cm de profundidade é a que apresenta maior condutividade hidráulica; inversamente, a parcela com menor humidade superficial é a que regista menor valor de condutividade. Ora, isto parece sugerir que a condutividade hidráulica afeta o balanço entre a quantidade de água que se infiltra e a água que é drenada superficialmente. Pressupõe-se então que quanto maior a condutividade hidráulica, maior será a proporção de água infiltrada. Todavia, para profundidades maiores, o efeito é o oposto. Ou seja, o facto de o solo ter menos capacidade em se deixar atravessar pela água fará com que seja atenuada a drenagem gravítica. Isto é particularmente vigente no pinhal, onde aos 40 cm de profundidade são registados elevados valores de humidade. A confirmação destas considerações carece do estudo correlativo com as propriedades físicas do solo; do mesmo modo, ensaios com recurso ao infiltrômetro deverão atestar a capacidade de infiltração para cada parcela.

A evapotranspiração apresentou uma variabilidade temporal em resposta direta à precipitação e humidade do solo. Os maiores valores de ET coincidiram com os maiores quantitativos de precipitação. Deste modo, e tendo em conta o primeiro semestre do ano extremamente seco, assim se justifica que esta tenha sido destacadamente superior no mês de maio (mês particularmente chuvoso), sendo mínima quer no inverno quer no verão. De facto, estivemos em presença de um início de ano em que a humidade do solo apresentou, quase sempre, teores mínimos, os quais costumam somente ser comuns para o período estival. Neste caso, a ET é, apenas, abastecida pela precipitação, sem contributo da água armazenada no solo.

4. Conclusões e Perspetivas Futuras

4.1. Principais conclusões do estudo realizado

Na presente dissertação foi preconizado o estudo da influência de diferentes tipos de uso (florestal e matagal/ matos) e cobertura vegetal (castinçal, carvalhal, pinhal e giestal/ codeçal) sobre as propriedades hidropedológicas. A zona de estudo foi então definida a partir da seleção de áreas-amostra representativas dos tipos de ocupação, atendendo ainda que apresentassem a mesma situação fisiográfica. Para esta, denote-se a importância do seu enquadramento. Dando exemplos, o enquadramento geológico permitiu assumir que, na zona de estudo, os granitos eram dominantes (granito monzonítico, de duas micas e, regra geral, porfiróide); do mesmo modo que a pedologia anteviu a presença de Regossolos. Ora, o reconhecimento de campo, nomeadamente com o estudo do perfil do solo, permitiu atestá-los, tendo sido identificados nos solos das parcelas Regossolos (perfil Ah, Ah-C, ou ainda Ah-AC-C), que se assumem como o resultado da meteorização profunda das rochas subjacentes, granitos, das quais resulta um solo franco-arenoso. Procedeu-se, ainda, ao enquadramento climatológico, pelo qual se considerou que a zona de estudo apresenta clima temperado do tipo Csb (com inverno chuvoso e verão seco), pela classificação de Koppen. De acordo com a estação meteorológica de referência para a região (Vila Real), a sazonalidade da precipitação é tipicamente mediterrânea (concentrada no outono/inverno, com verão marcado por forte escassez hídrica). Ora, a referida estação forneceu os dados climáticos que suportam este estudo (precipitação e temperatura), nomeadamente na análise aos resultados da humidade do solo.

As parcelas de diferentes uso e ocupação do solo relevaram diferenças significativas no que respeita ao teor de humidade no solo, no decurso do período do estudo. Em termos sazonais, as oscilações no comportamento dos teores de humidade, quer à superfície quer no perfil dos solos, estão dependentes da estacionalidade da precipitação (relação positiva) e variações registadas nas temperaturas (relação negativa). De facto, a análise à evolução do teor volumétrico de água no solo permite verificar que os solos alcançaram os maiores teores de humidade nos meses em que se registaram os mais altos quantitativos de precipitação, o que nem sempre coincidiu com as menores temperaturas, dado um início de ano com forte escassez pluviométrica (praticamente não choveu nos meses de inverno, por norma, a época das chuvas). Paralelamente, as mais baixas concentrações de humidade ocorreram nos meses estivais, quando a precipitação é negligenciável e as temperaturas são bastante altas; resultando que, nas épocas mais críticas em termos de evapotranspiração, se atinja um acentuado défice hídrico. Denote-se que o mesmo é particularmente vigente nas camadas superficiais, em que a água praticamente desaparece ou fica muito limitada para a vegetação. A disponibilidade da água no solo das parcelas depende, assim, dos principais meteoros (papel do contexto climático), das necessidades hídricas do coberto vegetal, mas também, some-se, da aptidão do solo para favorecer a entrada e armazenamento de água.

Os resultados obtidos denotam a importância do uso e coberto vegetal no teor de humidade do

solo, sendo claras as diferenças entre as parcelas experimentais no que toca a essa propriedade hidropedológica. Estabeleceu-se a seguinte hierarquia: os valores mais elevados de humidade são registados no solo com carvalho, seguindo-se os solos com pinhal, castinçal e, por último, giestal. Na mesma linha surgem os valores extremos de humidade. Esta tende a aumentar em profundidade, sendo à profundidade de 40 cm que se registam os valores mais altos de humidade no solo e à profundidade de 10 cm os menores. A parcela de pinhal é a que regista maior amplitude de variação da humidade ao longo do perfil do solo e a parcela de castinçal a menor. Estes resultados estão, grosso modo, em linha, por exemplo, com os que foram obtidos em estudos produzidos por Rauzi (1963) ou Rauzi & Smith (1973), ou mais recentemente por Bosch *et al.* (2006).

Para as parcelas em estudo, considerando a instabilidade espacial da humidade no perfil dos solos ao longo do período em análise, conclui-se que os desvios mais acentuados ocorrem nos períodos em que a humidade atinge as menores percentagens, correspondendo aos períodos de maior escassez pluviométrica. Assuma-se ainda que, é nas camadas mais superficiais que se observam as maiores oscilações temporais da humidade entre os tipos de cobertura vegetal, tendendo estas a atenuar-se em profundidade. De facto, na parte superior do solo a precipitação e a vegetação são os principais fatores a influenciar a variabilidade da humidade, uma vez que a evapotranspiração (intimamente dependente da temperatura do ar, mas também da maior ou menor densidade do sistema radicular) se manifesta mais ativa. A vegetação constitui assim um fator determinante no conteúdo de água do solo, devido às variações sazonais no grau de cobertura vegetal, às exigências por parte dessa mesma vegetação e ao padrão das raízes (Gómez-Plaza *et al.* 2000). À medida que a profundidade aumenta, a estabilidade temporal tende a incrementar-se, havendo uma dependência da humidade quase exclusivamente em relação aos principais elementos do clima.

A maior variabilidade da humidade superficial obtida na parcela sujeita a matagal e, dentro da ocupação florestal, no pinhal, sugerem que estes solos respondem de forma mais dinâmica às oscilações sazonais dos principais elementos do clima, mas também evidenciam uma fraca capacidade de retenção hídrica.

Considerando a média dos ensaios da condutividade hidráulica para cada uma das parcelas em estudo comparativamente com o critério da SSDS (1993), verificou-se que se por um lado os solos ocupados por carvalho e castinçal apresentam permeabilidade alta, sendo que a capacidade no transporte de água pelo solo é maior no primeiro caso; já o solo com cobertura por pinhal demarca-se por uma permeabilidade moderadamente alta, tendo inclusivamente num dos ensaios registado uma permeabilidade moderadamente baixa. Não obstante, refira-se que a permeabilidade dos solos estudados varia num intervalo de valores relativamente estreito (desvio padrão de 3,9 cm/h).

Os resultados obtidos para a condutividade hidráulica denotam que a variação da humidade entre as diferentes parcelas acompanha a variação da capacidade desses solos em transmitir

água. Deste modo, os solos com maior humidade superficial são os que registaram maior condutividade hidráulica (carvalho e castinhal). Em profundidade, o efeito da permeabilidade sobre a humidade do solo é o oposto. Ou seja, o facto de o solo ter menos capacidade em se deixar atravessar pela água conduz a uma redução da drenagem gravítica, já que a retenção de água é maior. Assim se explicam os altos teores de humidade, em profundidade, no solo da parcela de pinhal (menor coeficiente de permeabilidade). A confirmação destas considerações carece de um estudo correlativo com as propriedades físicas do solo, nomeadamente matéria orgânica, porosidade e textura; do mesmo modo, ensaios com recurso ao infiltrômetro deverão atestar a capacidade de infiltração para cada parcela de ocupação florestal.

A evapotranspiração, determinada através do método do balanço hidrológico, revela uma variabilidade temporal em resposta direta à precipitação e humidade do solo. Assim, e considerando o 1º semestre do ano excepcionalmente seco, os maiores valores de evapotranspiração foram registados aquando os maiores quantitativos de precipitação, que aconteceram na primavera. Do lado oposto, quer no inverno quer no verão a precipitação escassa resultou em taxas de evapotranspiração mínimas. Não obstante, reconheça-se que as diferenças de evapotranspiração entre as demais parcelas são mínimas e irregulares, pelo que não foi possível determinar os povoamentos com maior ou menor consumo hídrico. Para tal, poderão ser usados outros métodos.

Assuma-se, por último, a correspondência entre as propriedades e processos hidropedológicos estudados face a alguns serviços de ecossistema. De facto, quer a humidade do solo, quer a capacidade do mesmo em transportar água, estão na base de determinados serviços. Assim, a disponibilidade hídrica no solo é crucial para a prestação de serviços de suporte, nomeadamente no que concerne à possibilidade do mesmo em albergar determinados habitats de flora (e fauna). Como sabemos, a ocupação do solo é gerida, correntemente, no sentido da máxima obtenção de produtos e bens de consumo (serviços de produção), como sejam alimentos e materiais de construção; tendo vindo a afetar os processos naturais dos ecossistemas, pondo em causa, exemplarmente, o amortecimento da escassez de água em períodos de seca. Reitere-se a percepção de que o valor *in situ* da água não é tomado em conta na gestão da ocupação do solo, o que pode colocar em causa a sustentabilidade da exploração futura da água, em sentido lato, abrangendo quer a extração e água para utilização humana, quer a prestação de um conjunto de outros serviços associados ao funcionamento natural dos sistemas hidropedológicos. Reconheça-se, por fim, a importância deste e outros estudos que abordam o papel da ocupação do solo (e sua tendência de evolução) sobre a disponibilidade hídrica, pois note-se o papel que o seu controlo poderá exercer numa altura em que se anunciam importantes mudanças nos quantitativos e distribuição da precipitação. O referido controlo constituirá, assim, mais um elemento a ponderar num leque de estratégias de resposta e adaptação com vista à eficaz gestão dos recursos hídricos no futuro.

4.2. Proposta para investigação futura

4.2.1. Capacidade de Infiltração

Reconheça-se a importância em aferir a capacidade de infiltração dos solos estudados. De facto, a análise do potencial de recarga das parcelas de ocupação do solo é muito muito relevante, na medida em que constitui a via de entrada da água nos solos da zona não saturada e, por esta via, nos sistemas subterrâneos. Desta forma, é possível concluir acerca da maior ou menor capacidade da superfície desses solos em se deixarem atravessar pela água da precipitação ou, em oposição, originar escoamento superficial. Os dados da capacidade de infiltração ajudam a justificar diferenças espaciais da humidade do solo entre parcelas, face a iguais quantitativos de precipitação a que estas estão sujeitas, tendo aplicabilidade na realização dos balanços hidrológicos dos solos.

A capacidade de infiltração pode ser medida diretamente no campo recorrendo ao uso de aparelhos denominados infiltrômetros (anexo III).

4.2.2. Propriedades Físicas do Solo

Resuma-se o papel dos solos dentro do ciclo hidrológico, em que os mesmos funcionam para lá de um reservatório natural de água para a componente biológica. De facto, particularmente as suas propriedades, determinam o volume do escoamento da precipitação, a sua distribuição temporal e as descargas-máximas, tanto em superfície como subterraneamente (Coelho Netto, 1994). Assim, reveste-se de grande interesse as informações advindas da correlação entre as propriedades físicas do solo e as características naturais como geologia, clima, ou o tipo de vegetação presente no ambiente em que os mesmos se formam e se encontram.

Em concreto, pretende avaliar-se a influência exercida pelas parcelas de diferentes coberturas vegetais sobre as propriedades dos seus solos, contribuindo assim para justificar as variações espaciais da disponibilidade hídrica e permeabilidade. Nesse propósito, a desenvolvimento do presente estudo deverá integrar a determinação das principais propriedades físicas dos solos estudados (textura, porosidade e matéria orgânica), para lá das determinações de campo já preconizadas. Em anexo (anexo IV) é apresentada a influência de tais propriedades sobre os principais processos hidropedológicos: infiltração, escoamento e armazenamento de água no solo.

4.2.3. Curvas características de humidade do solo

Um dos últimos passos na persecução do estudo deverá passar pela determinação das curvas características dos solos das diferentes parcelas de ocupação vegetal. Expresse-se a sua aplicabilidade ao estimar a disponibilidade hídrica desses solos no que respeita à quantidade máxima e mínima de armazenamento de água, ou o armazenamento em qualquer ponto da curva, correspondente a dado potencial matricial. Tratam-se de um excelente indicador da capacidade de drenagem do solo, funcionando como um bom “BI” das principais propriedades do mesmo.

Quando determinadas as propriedades físicas do solo (tal como se apresenta como objetivo de trabalho futuro), pode ainda induzir-se a influência da cobertura vegetal sobre a drenagem desse solo. De facto, alterações na forma da curva característica refletem o efeito da compactação e tensões aplicadas ao solo, claro está diferentes entre os demais tipos de cobertura vegetal. Tanto mais estando na presença de solos cujas propriedades, antevistas pelas determinações de campo, são, grosso modo, idênticas.

4.2.4. Evapotranspiração

As variações espaciais da humidade do solo (isto é, variações de humidade entre parcelas) são explicáveis pelas diferenças ao nível das propriedades físicas e hidráulicas do solo (incluindo a capacidade de infiltração) mas também, como visto, pelo papel do tipo e densidade do coberto, pela influência que exerce sobre os mecanismos da evapotranspiração (Gómez-Plaza *et al.* 2000; Illston *et al.* 2004). Ora, no estudo apresentado foi feita uma determinação comparativa da variação da evapotranspiração entre as parcelas de ocupação florestal, através da avaliação do balanço hidrológico do solo, calculando a evapotranspiração como termo residual ($ET = P - \Delta S - Q_s - D$).

Contudo, reconheça-se que, se ambicionarmos maior rigor na determinação da ET, será então necessário recorrer a outros métodos que não os hidrológicos, nomeadamente medindo as componentes da evapotranspiração, a transpiração e a evaporação direta do solo, ou recorrendo a modelos. A importância desta determinação vem de encontro às ambições deste estudo, especificamente no que concerne à definição dos tipos de cobertura vegetal mais favoráveis à disponibilidade de água no solo, note-se passível de recarregar as formações aquíferas subterrâneas. Breves considerações sobre as metodologias de determinação da ET são apresentadas no anexo V.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AEMET (Agencia Estatal de Meteorología) e IM (Instituto de Meteorologia de Portugal) (2011). Atlas climático ibérico, temperatura do ar e precipitação (1971-2000). 79p.

Afonso do Paço, M.T., 2003. Modelação da Evapotranspiração em Cobertos Descontínuos, 227 pp., Universidade técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia (Tese de Doutoramento).

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. & Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome, Italy, 300 p.

Band, L. E., Paterson, P., Nemani, R., Running, S. W., 1993, 'Forest ecosystem processes at the watershed scale: incorporating hillslope hydrology', *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 63, pp. 93-126.

Barbour, S.L.(1998). Nineteenth Canadian Geotechnical Colloquium: The soil-water characteristic curve: a historical perspective. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 35, p. 873-894.

Boast, C.W. & Robertson, T.M. (1982). A "micro-lysimeter" method for determining evaporation from bare soil: description and laboratory evaluation. *Soil Science Society of America Journal*, 46, 689-696.

Bosch, D. D., Lakshmi, V., Jackson, T. J., Choi, M., Jacobs, J. M., 2006, 'Large scale measurements of soil moisture for validation of remotely sensed data: Georgia soil moisture experiment of 2003', *Journal of Hydrology*, vol. 323, pp. 120-137.

Bouwer, h. (1978). *Groundwater hydrology*, 480 pp. McGraw-hill, Inc, New york.

Bouyoucos, G.J. Estimation of the Colloidal Materials in Soil. *Science*. v. 64, p 362-364. 1926.

Calouro, F. & Avelar, T., 2003. Os códigos de boas práticas agrícolas. In: *Colectânea de trabalhos do Ciclo de Seminários Agricultura Sustentável*, 11 pp. Estação Agronómica Nacional, Lisboa.

Calouro, F., 2005. *Actividades agrícolas e ambiente*, 96 pp. Sociedade Portuguesa de Inovação, Porto.

Carvalho, M., 2003. Contribuição da sementeira directa para o aumento da sustentabilidade dos sistemas de culturas arvenses. In: *Colectânea de trabalhos do Ciclo de Seminários Agricultura Sustentável*, 13 pp. Estação Agronómica Nacional, Lisboa.

Cerdà, A., 1997, 'Distribución de la humedad del suelo en las cárcavas del sur del País Valenciano, *Cuadernos de Geografía*', vol. 61, pp. 1-13.

Chaves, H. M. L. *et al.* Previsão da infiltração sob condições dinâmicas de selamento superficial. *Rev. Bras. Cienc. Solo*. Campinas, v. 17, p. 141-147, 1993.

Clark, J. S., 1990, 'Landscape interaction among nitrogen mineralization, species composition, and long-term fire frequency', *Biogeochemistry*, vol. 11, pp. 1-22.

Custodio, E. & Llamas, M.R., 1996. *Hidrologia subterránea*, 2 Vols, 2350 pp. Omega, Barcelona.

Daamen, C.C., Simmonds, J.S., Wallace, J.S., Laryea, K.B. & Sivakumar, M.V.K. (1993). Use of microlysimeters to measure evaporation from sandy soils. *Agriculture and Forest Meteorology*, 65, 159-173.

David, J.S., Henriques, M.O., David, T.S., Tomé, J., Ledger, D.C., 1994. Clearcutting effects on

streamflow in coppiced *Eucalyptus globulus* stands in Portugal. *J. Hydrology* 162 : 143-154.

David, T.S., 1995. Transpiração num povoamento adulto de *Eucalyptus globulus* Labill. Tese de Mestrado em Produção Vegetal, Instituto Superior de Agronomia, U.T.L., Lisboa.

Delta-T Devices. Profile Probe. User Manual PR2-UM-2,0.

Delta-T Devices. ThetaProbe soil moisture sensor. User Manual ML2-UM-1.

Dingman, S. L., 1994. *Physical hydrology*, 575 pp. Prentice Hall, New Jersey.

D.G.F., 1993. Distribuição da floresta em Portugal Continental. Direcção Geral das Florestas – Estudos e Informação 303. Lisboa.

Domingues, H.; Serrão, M.G.; Martins, J.C.; Fernandes, M.L.; Pires, F.; Monteiro, O.R.; Campos, A.M.; Horta, C.; Salgueiro, A. & Dordio, A., 2005. Teores de cobre na água de escoamento superficial num solo ao qual foi aplicada lama residual urbana com elevada concentração de cobre. In: Resumos do Encontro Anual da Sociedade Portuguesa da Ciência do Solo, Situação do Conhecimento do Solo em Portugal. ESACB, Castelo Branco.

Elrick, D. E., Reynolds, w. D. and Tan, k. A. (1989). hydraulic conductivity measurements in the unsaturated zone using improved well analyses. *Groundwater Monit. Rev.*, 9: 184–193.

Espinha Marques, J. M. (2007). Contribuição para o conhecimento da hidrogeologia da região do Parque Natural da Serra da Estrela (Sector de Manteigas – Nave de Santo António – Torre), 466 pp., universidade do Porto, Faculdade de Ciências. (Tese de Doutoramento).

Espinha-Marques J (2009) - Hidrogeologia e património hidrogeológico. in Honrado J (coord.), O património natural e cultural como factor de desenvolvimento e competitividade territoriais no Baixo Tâmega, relatório final da 1ª fase, pp. 85-97. Porto.

Espinha Marques J., Duarte J. M., Constantino, A. T., Aguiar, C., Rocha, F. T., Marques, J. M., Samper, J., Borges, F. S., Carvalho, J. M., and Chaminé, H. I. (2009). In situ measurement of hydraulic conductivity of mountain soils: a case study in Serra da Estrela mountain (Central Portugal). *Cadernos Labor. Xeol. Laxe, A Coruña*, 34:143-164.

Famiglietti, J. S., Rudniki, J. W., Rodell, M., 1998, 'Variability in surface moisture content along a hillslope transect: Rattlesnake Hill, Texas', *Journal of Hydrology*, vol. 210, pp. 259-281.

FAO – food and agriculture organization of the united Nations (1998). world refer- ence base for soil resources. *World soil Resources Reports*, 84.

Ferreira, N., Iglésias, M., Noronha, F., Pereira, E., Ribeiro, A. & Ribeiro, M.L. (1987). Granitóides da Zona Centro-Ibérica e seu enquadramento geodinâmico. In: F. Bea, A. Carnicero, J. C.

Fetter, C. W. (1999). *Contaminant hydrogeology*, 500 pp. Prentice-hall, New Jersey.

Fetter, C. W. (2001). *Applied Hydrogeology*. 4th Edition. Prentice Hall, New Jersey, 598 pp..

Fitts, C. R. (2002). *Groundwater science*. Academic Press, London, 450 pp.

Foth, H. D. (1990). *Fundamentals of soil science* (8E). Wiley, 360 p.

Fredlund, D.G.; Xing, A. & Huang, S. (1994). Predicting the Permeability Function for Unsaturated Soils using the Soil-Water Characteristic Curve. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 31, p. 533-546.

Gómez-Plaza, A., Alvarez-rogel, J., Albaladejo, J., Castillo, V. M., 2000, 'Spatial patterns and temporal stability of soil moisture across a range of scales in semi- arid environment', *Hydrological Processes*, vol. 14, pp. 1261-1277.

Gonzalo, M. López Plaza & M.D. Rodríguez Alonso (eds). *Geología de los granitóides y rocas asociadas del Macizo Hespérico* (Libro de Homenaje a L. C. García de Figuerola. Editorial Rueda. Madrid, pp. 37-51.

Granier, A., 1987. Evaluation of transpiration in a Douglas-fir stand by means of sap flow measurements. *Tree Physiology* 3: 309-320.

Guelph Permeameter – Model 2800KI- Operating Instructions, Soilmoisture Equipment Corp, Santa Barbara, CA, 1987.

Hillel, D., 2004. *Introduction to environmental soil physics*, 494 pp. Elsevier Academic Press, Amsterdam, San Diego.

Illston, B. G., Basara, J. B., Crawford, K. C., 2004, 'Seasonal to interannual variations of soil moisture measured in Oklahoma', *International Journal of Climatology*, vol. 24, pp. 1883-1896.

INAG [Instituto da Água], 2000. *Plano de bacia hidrográfica do rio Mondego. 1a fase: análise e diagnóstico da situação actual. Anexo 4 (Recursos Hídricos Subterrâneos)*, 269 pp. Lisboa.

Lascano, R.J., Bavel, C.H.M.v., Hatfield, J.L. & Upchurch, D.R. (1987). Energy and water balance of a sparse crop: simulated and measured soil and crop evaporation. *Soil Science Society of America Journal*, 51, 1113-1121.

Lencastre, A. & Franco, F.M., 1992. *Lições de Hidrologia*, 453 pp. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

Loustau, D., Berbigier, P., Roumagnac, P., Pacheco, C.A., David, J.S., Ferreira, M.I., Pereira, J.S., Tavares, R., 1996. Transpiration of a 64-year-old Maritime Pine stand in Portugal: 1. Seasonal course of water flux through maritime pine. *Oecologia* 107 : 33-42.

Manual de medições de campo do inventário florestal nacional da Guiné-Bissau Versão 3.1. Direcção-Geral do Ambiente da República da Guiné-Bissau e Instituto do Ambiente da República Portuguesa. Projecto Carboveg–GB (2009).

Martínez-Fernández, J., Ceballos Barbancho, A., Casado Ledesma, S., Morán Tejeda, C., 2003, 'Estabilidad temporal de la humedad edáfica bajo diferentes condiciones ambientales mediterráneas y usos del suelo', In *Estudios de la Zona No Saturada del Suelo*, J. Álvarez-Benedí & P. Marinero, vol. 7, pp. 77-82.

Mendonça, J.J.L.; Almeida, C.C. & Marques da Silva, M., 1999. Produtividade de captações e características hidrogeológicas dos sistemas aquíferos descontínuos do Maciço Hespérico na Área da bacia hidrográfica do rio Mondego. In: *Seminário sobre Águas Subterrâneas*. APRH, 11pp.

Miller, C.J.; Yesiller, N.; Yaldo, K. & Merayyan, S. (2002). Impact of Soil Type and Compaction Conditions on Soil Water Characteristic. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.128, no 9. p.733-742.

MMA – Ministério de Médio Ambiente (2000). *Guía para la elaboración de estudios del medio físico*, 809 pp., Madrid. (Serie Monografías).

NAP [National Academy Press], 2001. *Conceptual models of flow and transport in the fractured vadose zone*, 374 pp., Washington, D.C.

- Nielsen, D. R.; van Genuchten, M. T. & Biggar, J. W., 1986. Water flow and solute transport processes in the unsaturated zone. *Water Resources Research*, Vol. 22, p. 89S-109S.
- Nunes, A., 2010. Análise comparativa da humidade do solo sob diferentes usos e cobertos vegetais. In: II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física. Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Oliveira, J. T., Pereira, E., Ramalho, M., Antunes M. T., & Monteiro, J. H., Coords, 1992. Carta Geológica de Portugal à escala 1/500 000. 5ª Ed., 2 folhas. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa.
- Oliveira Jr., R.S.; Sousa, A.P. & Pereira, C.J., 2001. Técnica colorimétrica para detecção de baixas concentrações do herbicida ametrine. *Rev. Ecosistema*, 26,1: 78-81.
- Paraíba, L.C., Luiz, A.J.B. & Pérez, D.V., 2005. Estimativa da superfície específica de solos e do coeficiente de sorção de pesticidas. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, Vol. 29, 18 pp. Embrapa, São Paulo.
- Pereira, F.L., 1994. Estudo das perdas de água por transpiração em povoamentos adultos de *Eucalyptus globulus* Labill. E de *Pinus pinaster* Aiton. Tese de Mestrado em Produção Vegetal, Instituto Superior de Agronomia, U.T.L., Lisboa.
- Pires, V. C., 2003. Frequência e intensidade de fenómenos meteorológicos associados a precipitação. Desenvolvimento de uma sistema de monitorização de seca em Portugal Continental. Dissertação no âmbito do Mestrado em Ciências e Engenharia da Terra, Lisboa, 89 pp.
- Prada, S., 2004. Evolução geológica do Arquipélago da Madeira – alguns aspectos hidrológicos. In: Livro de Resumos do V Encontro Alfa de Fitossociologia e Simpósio Internacional FIP, Funchal, p18.
- Radcliff, D. E. and Rasmussen, T. C. (2002). Soil water movement. In: A. w. Warrick, Ed., soil physics companion, p. 85-126. CRC Press, Boca Raton.
- Raposo, J. R. (1996). A rega, dos primitivos regadios às modernas técnicas de rega, 485 pp. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- Rauzi, F., 1963, 'Water Intake and Plant Composition as Affected by Differential Grazing on Rangelands', *Journal of Soil Water Conservation*, vol. 18, pp. 114-116.
- Rauzi, F. & Smith, F. M., 1973, 'Infiltration rates: three soil with three grazing levels in northeastern Colorado', *Journal Range Management*, vol. 26 (2), pp. 126-129.
- Reichardt, K. (1985). *Processos de Transferência no Sistema Solo-Planta- Atmosfera*, 4ª ed. Campinas: Fund. Cargill. 466p.
- Reynolds, W. D. (1993). Saturated hydraulic conductivity: field measurement. In: M. R. Carter, Ed., *soil sampling and Methods of Analysis*, p. 599-613. Lewis Publ., Boca Raton.
- Reynolds, W. D. and Elrick, D.E. (1986). A method for simultaneous in situ measurement in the vadose zone of field-saturated hydraulic conductivity, sorptivity and the conductivity–pressure head relationship. *Ground Water Monitoring Review*, winter, p.84–95.
- Reynolds, W. D. and Elrick, D. E. (1987). A laboratory and numerical assessment of the Guelph permeameter method. *soil sci.*, 144:282–299.
- Reynolds, W. D. and Elrick, D. E. (2002). Constant head well permeameter (vadose zone). In: J. h.

- Dane & G. C. Topp, Eds, Methods of soil analysis, part 4, physical methods, p. 844-858. Soil Science Society of America, Inc., wisconsin.
- Ribeiro, A., Cramez, C., Silva, L. C. Da & Macedo, J. (1962) – Nota sobre a geologia da serra do Marão. Bol. da Soc. Geol. de Portugal. Vol. XIV: 151-170. Lisboa.
- Ribeiro A., Munhá J., Dias R., Mateus A., Pereira E., Ribeiro L., Fonseca PE., Araújo A., Oliveira JT., Romão J., Chaminé HI., Coke C., Pedro J. (2007) - Geodynamic evolution of the SW Europe Variscides. Tectonics 26 (TC6009): 1-24.
- Santos, C.R (2000) Elaboração de Software para aplicação em Mecânica dos Solos não Saturados, Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP.
- Shigaki, F.; Sharpley, A. & Prochnow, L.I., 2006. Animal-based agriculture, phosphorus management and water quality in Brazil: options for the future. Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.), 63, 2: 194-209.
- Silva, A.M., 2005. Banco de dados de curvas de retenção de água de solos brasileiros, 125 pp., Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos (Tese de Mestrado).
- SSDS – Soil Survey Division Staff (1993). Examination and description of soils. In: soil survey Manual (new edition). Agricultural Handbook no. 18, Chapter 3. Soil Conservation Service, Washington- ton DC.
- Stephenson, N. L., 1998, 'Actual evapotranspiration and deficit: biologically meaningful correlates of vegetation distribution across spatial scales' Journal of Biogeography, vol. 25, pp. 855-870.
- Teixeira, C.; Peinador Fernandes, A.; Martins Peres, A.; Ribeiro, A., 1967. Carta Geológica de Portugal na escala de 1/50.000. Notícia Explicativa da folha 10-C – Peso da Régua, 57 pp. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.
- Teixeira, J., Chaminé, H.I., Espinha Marques, J., Gomes, A., Carvalho, J.M., Pérez Albertí, A. & Rocha, F.T. (2010). Integrated approach of hydrogeomorphology and GIS mapping to the evaluation of ground water resources: an example from the hydromineral system of Caldas da Cavaca, NW Portugal. In: B.S. Paliwal (Ed.), Global Groundwater Resources and Management, Scientific Publishers (India), Jodhpur, pp. 227-249.
- Vanapalli, S.K.; Fredlund, D.G. & Pufhal, D.E. (1999). The Influence of Soil Structure and Stress History on the Soil-Water Characteristics of a Compacted Till. Géotechnique, Vol. 49, no 2, p. 143-159.
- Varela, M., 1993. El medio físico. Relaciones agua-aire-suelo. In: L. Candela & M. Varela, Eds, La zona no saturada y la contaminación de las águas subterráneas. Teoría, medición y modelos, p. 11-26. Cimne, Barcelona.
- Vertessey, R. A, Hatton, T. J., Benyon, R. G. Dawes, W. R., 1996, 'Long-term growth and water balance predictions for a mountain ash (*Eucalyptus regnans*) forest catchment subject to clear-felling and regeneration', Tree Physiology, vol.16, pp. 221-232.
- Villela, S.M. & Mattos, A., 1975. Hidrologia aplicada, 245 pp. McGraw-Hill, São Paulo.
- White, I. and Sully, M. J. (1987). Macroscopic and microscopic capillary length and time scales from field infiltration. Water Resources Research. 23:1514-1522.
- Zimmermann, M.H. & Brown, C.L. (1971). Trees, structure and function. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.

Cartografia geológica e topográfica

Carta Geológica de Portugal na escala 1/50 000, Folha 10-C – Peso da Régua. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 1967.

Carta Militar de Portugal na escala 1/25 000, Folha 125 (Baião), Instituto Geográfico do Exército, Ed. 2, Lisboa, 1984.

Páginas da Internet

APA [Agência Portuguesa do Ambiente] – Atlas do Ambiente.
Digital.<http://sniamb.apambiente.pt/webatlas> (consultado em 16/06/2012)

Delta-T Devices - Soil Science.
<http://www.delta-t.co.uk/default.asp> (consultado em 26/05/12)

ICNF [Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas] - Inventário Florestal Nacional.
<http://www.icnf.pt/portal/florestas/ifn> (consultado em 16/07/2012)

IM [Instituto de Meteorologia] – O clima de Portugal.
<http://www.meteo.pt> (consultado em 12/08/2012)

LNEG [Laboratório Nacional de Energia e Geologia] - geoPortal.
<http://geoportal.lneg.pt/geoportal/mapas/> (consultado em 15/07/1012)

LNEG [Laboratório Nacional de Energia e Geologia] - Léxico de termos hidrogeológicos.
<http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/dossiers/hidrogeologia> (consultado em 15/07/1012)

Naturlink - Fichas de Espécies.
<http://naturlink.sapo.pt/Natureza-e-Ambiente/Fichas-de-Especies> (consultado em 06/07/12)

ANEXOS

Anexos I

Fatores condicionantes da infiltração de água no solo

Entre os fatores que condicionam o balanço entre a infiltração e o escoamento superficial, bem como a capacidade de infiltração, destacam-se (excetuando os ligados ao tipo, quantidade e distribuição temporal da precipitação):

Uso do solo e cobertura vegetal

A natureza da superfície ou o tipo de uso dado ao solo é considerado um fator determinante no processo de infiltração. De facto, reconheça-se, exemplarmente, que áreas urbanizadas apresentam menores taxas de infiltração que áreas agrícolas. Paralelamente, reconheça-se o papel da condição do solo. Assim, o preparo ou trabalho do solo tende a aumentar a capacidade de infiltração, pese coexistirem situações opostas associadas a mau uso, bem vigentes quando se remove a cobertura vegetal. Para lá do uso do solo, as variações da cobertura vegetal exercem igualmente influência sobre a situação hidrológica da infiltração (fig. I.1). Ora, se por um lado age no sentido de reduzir a velocidade do escoamento superficial contribuindo, como tal, para o acréscimo de água infiltrada; não é menos verdade que o sistema radicular das plantas cria caminhos preferenciais para o movimento da água rumo ao subsolo. De facto, o último fator é especialmente relevante se considerarmos que a fixação de matéria orgânica potencia a atividade biológica, culminando nos supracitados canais biológicos. Some-se que a presença de cobertura vegetal reduz ainda o impacto das gotas de chuva.

Quadro III.1- Situação hidrológica da infiltração para diferentes tipos de uso e cobertura vegetal do solo (adaptado de Chaves 1993).

COBERTURA VEGETAL OU OU TIPO DE USO DO SOLO	SITUAÇÃO HIDROLÓGICA DA INFILTRAÇÃO	GRUPO HIDROLÓGICO DO SOLO				
		A	B	C	D	E
Arado, quase sem cobertura vegetal	Boas	65	80	88	92	95
	Boas	65	78	88	90	92
Semeação densa ou a lanço; cobertura curta, mas densa, como a das leguminosas e dos postos em rodízio	Más	56	64	72	80	86
	Boas	50	58	66	76	82
	Más	54	60	69	76	83
	Boas	48	56	64	72	80
	Más	50	58	65	75	80
	Boas	40	52	60	70	70
Pastagem velha com arbustos	Más	65	70	78	85	90
	Médias	60	66	75	82	87
	Boas	56	62	72	79	84
	Más	55	62	70	78	86
	Médias	42	59	67	75	82
	Boas	50	56	64	72	79
Mata, Capoeira velha	Más	32	40	55	67	76
	Boas	18	25	42	58	70
Estradas de terra	Más	80	85	90	93	95
	Boas	74	80	86	90	92

Tipo de solo: diferentes tipos de solos denotam, geralmente, textura e estrutura diferentes. Ora, as suas propriedades físico-químicas, condicionadas também pela litologia, influenciam expressivamente o seu comportamento hidráulico e, nesse seguimento, a infiltração. Esta varia diretamente com a porosidade e com o tamanho das partículas do solo. Segundo Pinto *et al.* (1976), as características presentes numa pequena camada superficial, com espessura da ordem de 1 cm, acarreta grande influência sob a capacidade de infiltração.

Humidade inicial do solo: para um mesmo solo, a infiltração será tanto maior quanto mais seco estiver o solo inicialmente. De facto, para um solo seco, as forças capilares e de atração molecular fazem com que a capacidade de infiltração inicial seja muito alta.

Relevo ou declive: um acréscimo da inclinação do terreno implica sempre o aumento do escoamento superficial face à infiltração, pois note-se a variação da componente tangencial da gravidade a que a água está sujeita. Em oposição, surgem os terrenos pouco declivosos, para os quais acresce o aumento da carga hidráulica por via de uma maior espessura da lâmina de água sobre a superfície do solo, sendo potenciada a infiltração. A infiltração será, ainda, tanto maior quanto a irregularidade do terreno.

Temperatura: a velocidade de infiltração aumenta com a temperatura, devido à diminuição da viscosidade da água.

Presença de fendas, condutas e canais biológicos (originados pela fauna e flora): estas formações atuam como caminhos preferenciais por onde a água se movimenta com pouca resistência e, portanto, aumentam a capacidade de infiltração.

Compactação do solo: quer seja decorrente da movimentação de máquinas e/ou animais, quer da própria ação da chuva, é gerada uma camada compactada que reduz a capacidade de infiltração do solo. Exemplarmente, no segundo caso, o efeito será tanto maior quanto mais intensa for a energia cinética da precipitação/irrigação, podendo ser atenuado em função de fatores como a cobertura vegetal e a estabilidade dos agregados do solo.

Anexos II

Forma da curva característica da humidade do solo

As Curvas Características podem assumir várias formas, querendo isto indiciar variações ao nível da retenção de humidade pelo solo. Ora, entre os fatores que aqui interferem constam: a textura e estrutura do solo (associados ao índice de vazios), mineralogia, compactação e histórico de tensões. Acrescente-se que, tais fatores podem interferir de diferentes maneiras na forma da curva de retenção, em virtude de sobressair um ou outro dependendo, paralelamente, do tipo de solo. Não obstante, amostras de um dado tipo de solo, apesar de terem a mesma textura e mineralogia, podem exibir diferentes curvas se possuírem, exemplarmente, diferentes compactações. Como resultado, o comportamento desse solo também será diferente (Miller *et al.* 2002).

O tipo de Solo

O solo denota uma relação “potencial matricial vs humidade” bastante característica (veja-se, geralmente apresentada em forma sigmoïdal), desde que não se altere o arranjo poroso e a geometria do sistema. A figura II.1 mostra três curvas de retenção típicas. Nas mesmas, pode-se notar que, a uma pequena variação do potencial matricial, respondem com maior variação de humidade os solos arenosos face aos argilosos; estes últimos necessitam de amplas variações de sucção para modificar preponderantemente o valor da humidade Θ_w . Além disso, o decréscimo do tamanho dos grãos leva a um aumento no valor da pressão de entrada de ar e suaviza a inclinação da curva (Barbour, 1998). Em suma, solos de textura mais fina retêm mais água para qualquer valor do potencial matricial, ao passo que em solos mais grosseiras (importância da macroporosidade), após drenagem, remanesce menor quantidade de água.

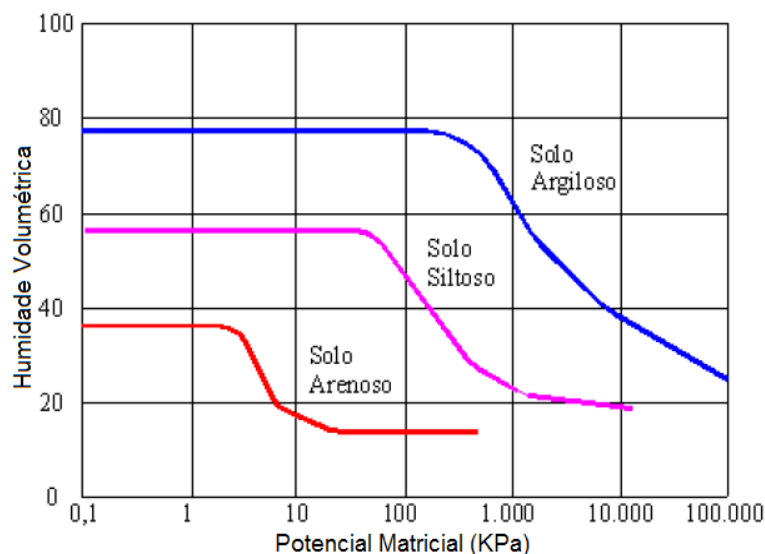


Fig. II.1- Curva Característica típica para diferentes solos (adaptado de Fredlund & Xing 1994).

Nota última para a estrutura do solo (II.2). Ora, torna-se claro que solos bem estruturados, em que a macroporosidade é dominante, apresentam maior teor de água em saturação e na região de entrada de ar. Do mesmo modo, se a estrutura for destruída, então assiste-se a um aumento da quantidade de poros com dimensão intermédia, ao passo que os de menor dimensão tendem a não sofrer alteração. Como resultado, num solo mal estruturado, é de esperar que a retenção de humidade seja maior na região capilar, tendo a ser semelhante à dos solo bem estruturado na região das forças de adesão.

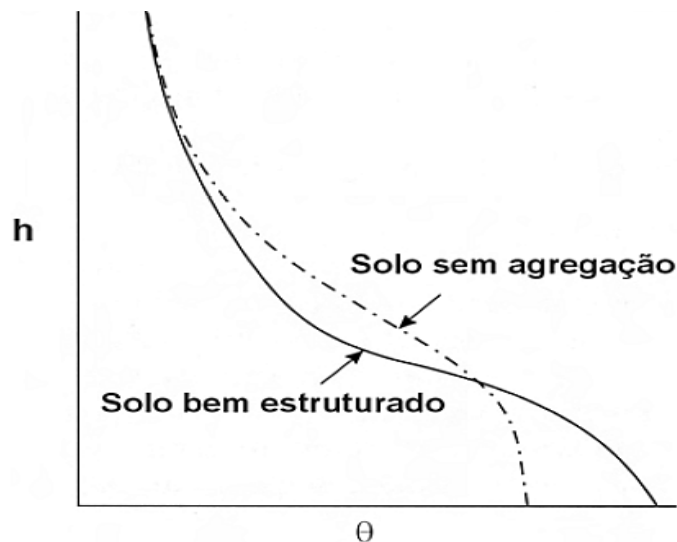


Fig II.2- Influência da estrutura do solo na retenção de água pelo mesmo (adaptado de Hillel 2004).

A Compactação

É sabido que a carga de pressão aumenta com o decréscimo do tamanho dos poros, isto é, com o aumento da microporosidade. Sendo assim, como resultado do aumento da compactação (menor tamanho dos poros), a curva de retenção desloca-se para as porções superiores do gráfico e regista-se um aumento da pressão de entrada de ar.

Miller *et al.* (2002) mostraram que este efeito é mais significativo em solos com alta plasticidade, isto porque o aumento da compactação leva a uma mudança percentual maior da densidade (e, claro está, na porosidade) em solos com maior quantidade de argila. A Figura II.3 exemplifica este comportamento para um solo argiloso. Note-se, todavia, que até um certo valor do potencial matricial (geralmente próximo à pressão de entrada de ar) a posição das curvas inverte-se. Ora, segundo os autores, isto ocorre porque o solo com maior porosidade (ou seja, menos compactado) terá maiores valores de Θ_s . A partir de então, com o aumento da pressão o teor de humidade associado com qualquer potencial matricial para solos menos compactados é menor do que para os solos mais compactados.

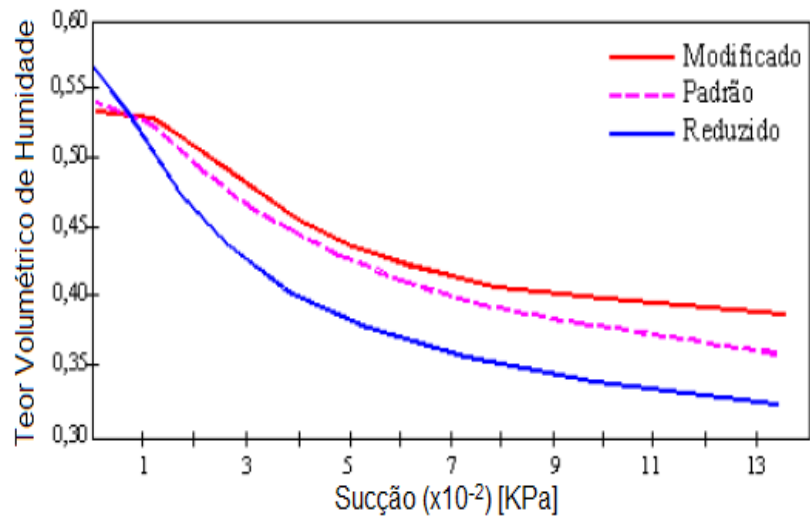


Fig. II.3- Efeito da energia de compactação sobre a curva de retenção (adaptado de Miller *et al.* 2002).

Associado à compactação está o histórico de tensões, o qual também pode modificar a forma da Curva Característica. Segundo os dados apresentados por Vanapalli *et al.* (1999), o aumento da tensão imposta ao solo potencia o acréscimo da pressão de entrada de ar.

Fenómeno da histerese

É de notar, ainda, que as curvas de retenção de humidade, obtidas por humedecimento ou por drenagem das amostras, não são inteiramente coincidentes, manifestando histerese (*e.g.*, Fetter 1999, Hillel 2004). De facto, segundo Reichardt (1985), cada método fornece uma curva contínua, pese, no geral, diferentes (fig. II.4); resultando que a relação entre a sucção/ potencia matricial e a humidade não é unívoca.

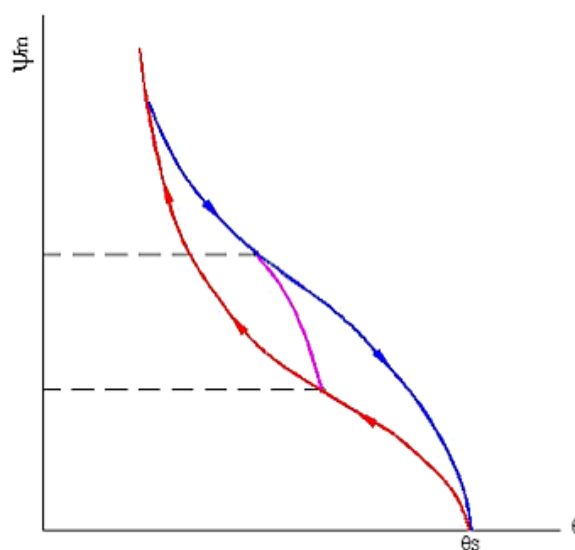


Fig. II.4: Fenómeno de histerese em curva de retenção do solo (adaptado de Reichardt 1985).

Anexos III

Uso do infiltrômetro na determinação da capacidade de infiltração

Os infiltrômetros (fig. III.1) consistem, geralmente, em dois tubos cilíndricos/ anéis (ou qualquer outro limite projetado para isolar uma secção do solo) que, cravados verticalmente no solo, permitem um contacto com a atmosfera, através dos quais um volume conhecido de água é adicionado, de maneira a manter-se constante uma película ou lâmina de água sobrejacente a esse contacto. Conhecida a taxa de adição de água sobre essa superfície livre, é possível determinar a taxa de infiltração.

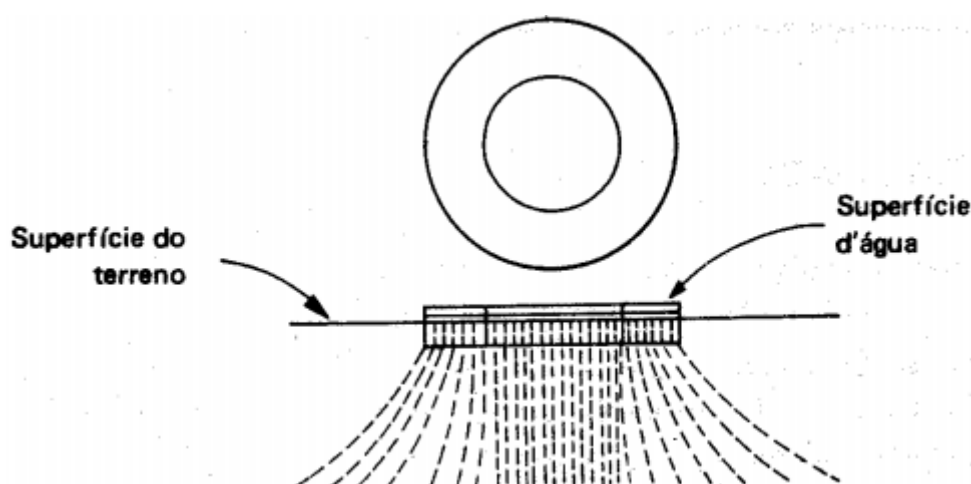


Fig. III.1- Infiltrômetro (extraído de Villela 1975).

Pese a importância da determinação deste parâmetro, assume-se que nunca expressa totalmente as condições naturais da chuva, nomeadamente no que respeita ao efeito de compactação pelas gotas. Claro está que não são indissociáveis inconvenientes à técnica do infiltrômetro e que originam erros. Ainda assim, permite extrair informações comparativas entre as diferentes parcelas relativamente à sua capacidade de infiltração e infiltração total para um dado período de tempo. A interpretação e comparação da capacidade de infiltração pode ser feita com base na classificação proposta por Reichardt (1990), que possibilita a análise tanto qualitativa como quantitativa (quadro III.1).

Quadro III.1- Interpretação da capacidade de infiltração (extraído de Reichardt 1990).

Infiltração básica	Taxa
Muito alta	> 3 00 mm/h
Alta	150 – 300 mm/h
Média	50 – 150 mm/h
Baixa	50 – 10 mm/h
Muito baixa	<10 mm/h

Anexos IV

Propriedades físicas do solo e processos hidropedológicos

Textura

A textura expressa, relembre-se, a proporção relativa em que se encontram, em determinada massa de solo, as classes granulométricas de partículas minerais com dimensão inferior a 2 mm (areia, silte ou limo e argila). Em termos gerais, solos de textura grosseira (exemplarmente, solos arenosos) são permeáveis, apresentando baixa capacidade de retenção de água (sobretudo quando associados a baixos teores em matéria orgânica), o que ocasiona uma alta taxa de infiltração e consequentes perdas de água por percolação. Por oposição, solos de textura fina (solos argilosos) denotam baixa permeabilidade e alta capacidade de retenção de água, o que é acentuado pela alta suscetibilidade à compactação.

Ora, a avaliação da textura afirma-se, assim, de extrema importância na determinação das propriedades físicas de um solo, com aplicações práticas no estudo da taxa de infiltração de água, da aeração, da capacidade de retenção de água, assim como na própria aderência ou força de coesão entre as partículas do solo. Não obstante de ser uma das características que mais influência o comportamento hidrológico, a textura é a propriedade física do solo que menos sofre alteração ao longo do tempo, isto é, mais estável.

Coexistem dois métodos laboratoriais principais com vista à determinação da textura: método da pipeta e método do densímetro (Bouyoucos 1926).

Porosidade

Os poros do solo são representados por cavidades de diferentes tamanhos e formas, determinados pelo arranjo das partículas sólidas (Hillel, 1972; Marques, 2000), e constituem a fração volumétrica do solo ocupada pelas componentes gasosa (essencialmente ar) e líquida (água e respetivos solutos, como sejam nutrientes). Aqui, expresse-se-se a possibilidade dos poros estarem conectados ou poderem estar semifechados condicionando, deste modo, a passagem de água através das formações, lei-se, permeabilidade. Pese na maioria dos casos se tratarem de espaços porosos associados a agregados de grãos no solo, outros hão associados a formações rochosas, onde correspondem mais propriamente a diaclases e fraturas.

A porosidade total (Pt) de um solo define como o rácio entre o volume de espaços vazios e o volume total de uma dada amostra, sendo expresso em percentagem. Ora, o espaço vazio ou poroso corresponde, portanto, ao espaço onde ocorrem os processos dinâmicos do ar e da solução do solo (Hillel, 1972); sendo, por esta lógica, a distribuição dos poros um fator condicionante do comportamento físico-hídrico. Em particular, a porosidade do solo influencia, entre outros fatores, a aeração, a condução e a retenção de água, assim como a própria ramificação das raízes no solo. Como consequência, exerce um papel importante na

disponibilidade e aproveitamento de água no solo (Tognon, 1991) e, desta forma, na fertilidade do mesmo. Basta ver que a presença de uma rede ideal de poros no solo afeta a casualidade entre drenagem, retenção e absorção de nutrientes.

Reconheça-se a importância da determinação da distribuição dos poros na matriz do solo. Esta evidencia, em função da distribuição dos diferentes tamanhos de poros, possíveis restrições do fluxo de água no solo, sendo essencial para um conhecimento minucioso da permeabilidade, dos processos de infiltração e redistribuição, e da capacidade de retenção.

A porosidade total do solo pode, como visto, ser calculada a partir da relação entre as densidades real e aparente ou, em alternativa, ser medida diretamente a partir de uma amostra não perturbada de solo (Embrapa 1997).

Matéria Orgânica

A designação “matéria orgânica do solo” (MOS), correntemente “húmus”, refere-se ao conteúdo total de matéria orgânica (viva e morta), incluindo a biomassa (Waksman, 1936). Esta é composta por uma diversidade de materiais orgânicos que assumem diferentes funções no ecossistema solo. A quantidade de matéria orgânica no solo é muito variável, tanto em profundidade (ao longo do perfil do solo), como horizontalmente, e evolui ao longo do tempo.

A importância da determinação da matéria orgânica advém do reconhecimento do seu papel no solo. Denote-se a sua importância do ponto de vista físico-químico, dado que contribui para a manutenção/estabilização da estrutura do solo, potenciando a infiltração e a retenção de água. Favorece a disponibilidade hídrica quer tratando-se de solos de textura fina, onde a formação de agregados estruturais melhora a circulação de água, quer tratando-se de solos de textura grosseira, onde aumenta a capacidade de retenção face à forte drenagem gravítica.

Em Portugal, o método padrão usado na determinação da matéria orgânica do solo é o Walkley-Black modificado (Walkley & Black, 1934); ainda que o padrão mundial seja o método do Analisador Elementar, com o qual não apresenta 100% de correlação (Swift, 1996).

Anexos V

Considerações sobre metodologias de determinação da evapotranspiração

As medições de campo da evapotranspiração são morosas e necessitam de suportes técnicos nem sempre disponíveis, dificultando o seu uso. Desta forma, a ET é frequentemente estimada recorrendo a modelos, nomeadamente o uso de coeficientes culturais. Estes integram o uso combinado da evapotranspiração de referência (ETo) e de coeficientes empíricos já conhecidos, os coeficientes culturais (Kc): $ET = ETo Kc$. Para o cálculo da Eto utiliza-se, frequentemente, o método de Penman-Monteith (Allen *et al.* 1998), recorrendo às medições das variáveis meteorológicas; enquanto os Kc foram obtidos experimentalmente, pelo que apenas importa garantir a sua aplicação ao tipo de ocupação vegetal presente em cada caso concreto.

Alternativamente, pode medir-se, em separado, a transpiração e a evaporação direta do solo. Exemplarmente, a transpiração poder ser aferida recorrendo à medição do fluxo de seiva em plantas individuais (largamente utilizada nos últimos anos). O conteúdo total de solutos da seiva do xilema é geralmente muito baixo (cerca de 0.1%) (Zimmermann e Brown, 1971) podendo considerar-se assim, sem incorrer em grande erro, que o fluxo de seiva medido é equivalente ao fluxo de água posteriormente transpirada. A evaporação do solo, que depende da humidade do solo e grau de cobertura pela vegetação, pode ser conseguida através de lisímetros (dimensões e características variadas), sendo frequente o uso de microlisímetros, tanto em solo nu, como em solo coberto por vegetação, podendo ser colocados debaixo da folhagem, para obter estimativas nessas condições (Boast e Robertson, 1982; Lascano *et al.* 1987; Daamen *et al.* 1993).

Anexo VI

Metodologia completa do inventário florestal

Para a marcação do centro da parcela, deve fazer-se passar uma fita ou corda pelos diferentes tubos, após o que se procede à marcação do centro da parcela por cravação de uma berguinha de ferro. Com vista a uma revisão futura do inventário, a marcação pode ser permanente, pelo que se deverá circunscrever o centro da parcela por material rochoso e sucedente fotografia ao local; dando conta da falibilidade dos processos de relocalização, cuja redundância servirá para maximizar as possibilidades de o encontrar em futuras visitas.

Classificação da ocupação do solo

A classificação da ocupação do solo da parcela é relativa à mancha homogénea do ponto de vista da ocupação do solo: florestal/ matagal.

A definição de floresta adotada é: área ocupada com “árvores florestais” que têm, ou que se espera que venham a ter, uma percentagem de coberto no mínimo de 30% e uma altura igual ou superior a 5 metros. Por seu turno, matagal: área ocupada por uma formação vegetal rasteira ao solo composta maioritariamente por arbustos (commumente, leguminosas e ericáceas), com ocorrência de algumas árvores esparsas.

Tipo de floresta da parcela

Tratando-se de ocupação florestal, regista-se então o tipo de floresta encontrado na parcela:

- Floresta densa (FD): formação vegetal multiestrato, em que as copas das árvores se sobrepõem.
- Floresta aberta (FA): formação vegetal com dominância de lenhosas mas em que as copas das árvores em regra não se sobrepõem.

Medições e observações

Caracterização fisiográfica da parcela:

- Situação fisiográfica

Anota-se a situação fisiográfica da parcela: fundo de vale, encosta, planalto, etc.

- Exposição dominante

A exposição dominante da parcela é registada com recurso à utilização da bússola. Indica-se então um dos 8 pontos cardeais (N, NE, E, SE, S, SO, O, NO).

- Declive

Mede-se o declive da parcela segundo uma linha de declive médio. Pode utilizar-se, para tal, a bússola e regista-se a medição em graus.

Fitovolume arbustivo da parcela

O fitovolume arbustivo não traduz somente o volume ocupado pelas plantas arbustivas; antes, o volume do sólido equivalente ocupado pelos diferentes arbustos, incluindo os espaços entre folhas, plantas, etc.

O fitovolume é obtido com base nas estimativas visuais de dois parâmetros: o grau de coberto arbustivo médio e a altura média do estrato arbustivo. O primeiro traduz o quociente entre a área ocupada pelas formações arbustivas e a área de terreno respetiva na parcela, sendo expresso em percentagem (%) (os seus valores variam entre 0 e 100%, constituindo a figura VI.1 um bom auxiliar de campo exemplificativo das diferentes percentagens de coberto). Já o segundo parâmetro, a altura média do estrato arbustivo, deve ser estimado com recurso a algumas medições em pontos que se reconheçam representativos, devendo os valores ser registados em centímetros.

Acrescente-se que, tanto na estimativa do grau de coberto, como na estimativa da altura média, é preferencial que o valor final resulte da média das estimativas de várias pessoas; pois considera-se que a estimativa por mais de uma pessoa dilui parcialmente o erro associado à sua subjetividade.

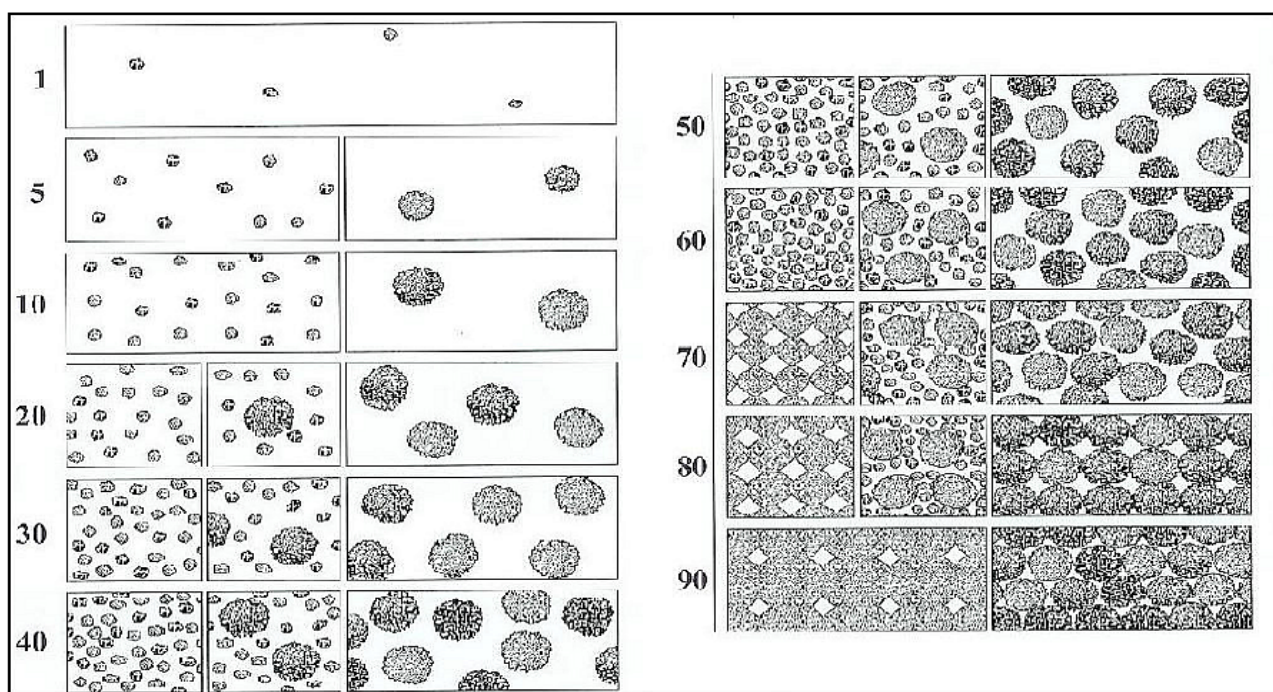


Fig. VI.1- Exemplos de graus de coberto (extraído de “Manual de medições de campo do inventário florestal nacional da Guiné-Bissau”, versão 3.1).

Grau de coberto arbóreo florestal médio da parcela

O grau de coberto arbóreo médio traduz o quociente entre a área da projeção vertical das copas das árvores florestais e a área de terreno respetiva. O registo é concretizado em percentagem, sendo, à semelhança da cobertura arbustiva, estimado visualmente (recorrer novamente à fig. VI.1).

Tipo de composição

O tipo de composição da ocupação do solo ao nível da parcela é registado na ficha de campo, podendo aqui ser, alternativamente, “pura” ou “mista”.

Note-se, considera-se que a composição é do tipo “puro” quando uma única espécie é responsável por mais de 75% do grau de coberto. Ora, se isso não acontecer, então a composição é classificada como sendo do tipo “misto”.

Profundidade da manta morta

A manta morta compreende a camada superficial onde estão depostos materiais orgânicos mortos (reconheça-se, não decompostos ou parcialmente decompostos), como sejam restos de plantas, folhas, ramos (note-se, até 10cm de diâmetro, sob pena de serem considerados madeira morta derrubada), ou outras partes vegetais.

A profundidade é medida com recurso a uma pequena régua em 4 pontos cardeais, dispostos a uma distância de 4 m do “ponto central da parcela”, fazendo-se posteriormente a média (se um ou mesmo todos os pontos não apresentarem manta morta, regista-se o valor zero, ainda que haja manta morta no resto da parcela). Ora, estes pontos não se devem encontrar remobilizados/pisados aquando da medição; o que, a acontecer, implica que se aumente a distância de todos os locais de amostragem ao ponto central. Em termos práticos, coloca-se a régua na superfície do solo firme e mede-se a altura da manta morta, sendo o valor registado em centímetros com uma casa decimal.

Avaliação da idade da vegetação florestal

Apesar da lógica dificuldade de atribuição de uma idade à vegetação arbórea da mancha, deve contudo procurar-se fazê-lo através da inquirição local a habitantes da zona, ou através da observação do porte das árvores, ciente das espécies existentes. Quando não se consegue estimar com rigor uma idade, indica-se um intervalo de idade da mancha (ex.: “10-20 anos”).

Distribuição vertical das árvores

O tipo de estrutura vertical da floresta é registado na ficha de campo, tendo por base a altura atingidas pelas diferentes árvores da mancha florestal. Pode ser “regular” ou “irregular”, consoante as árvores sejam maioritariamente de uma classe de altura ou sejam distribuídas por várias alturas.

Distribuição horizontal das árvores

O tipo de distribuição horizontal das árvores das parcelas florestais é registado na ficha de campo, podendo ser de distribuição “regular”, caso exista um compasso regular na distribuição das árvores (associado geralmente a plantações), ou “irregular”, quando a distribuição não obedece a nenhum esquema de distribuição de árvores.

Análise de fatores de degradação do espaço florestal:

-Erosão do solo

Regista-se o nível de erosão do solo presente no global da parcela, de acordo com os níveis descritos no quadro VI.1.

Quadro VI.1 – Níveis de erosão do solo.

Nível erosivo	Descrição
0	Sem indícios erosivos
1	Colos de raízes a descoberto
2	Sulcos paralelos ou valas no solo
3	Movimentos de massas

-Queimadas

Regista-se a ocorrência de vestígios de queimadas, de acordo com os códigos definido no quadro VI.2. Esta análise é feita ao nível global da parcela.

Quadro VI.2 – Níveis de vestígios de queimadas.

Código	Descrição
0	Sem vestígios de queimadas
1	Vestígios de queimada antiga
2	Vestígios de queimada recente

-Existência de vestígios de culturas agrícolas

Regista-se a existência de vestígios de culturas agrícolas no seio da parcela, de acordo com os códigos definidos no quadro VI.3.

Quadro VI.3 – Níveis de vestígios de culturas agrícolas.

Código	Descrição
0	Sem vestígios de culturas
1	Vestígios de cultura agrícola antiga
2	Vestígios de cultura agrícola recente

Medições de árvores florestais

Para cada parcela, as árvores florestais foram ou não incluídas nas medições em função do diâmetro à altura do peito (DAP), que deverá ser superior a 5 cm, estando estas englobadas numa área quadrada (20*20m) cujo centróide é centro da parcela (fig. VI.2).



Fig. VI.2- Centro da parcela.

Para a medição, faz-se o “varrimento” dos quadrantes definidos pelas fitas que se cruzam no centro da parcela. Por uma questão de ordem, deverá medir-se primeiro as árvores dispostas no alinhamento “N-S” e, em seguida, “S-N”, tal como se exemplifica na figura VI.3. Nota que, se houver duas árvores dispostas no mesmo alinhamento, a primeira a ser analisada é a árvore mais próxima do centro da parcela.

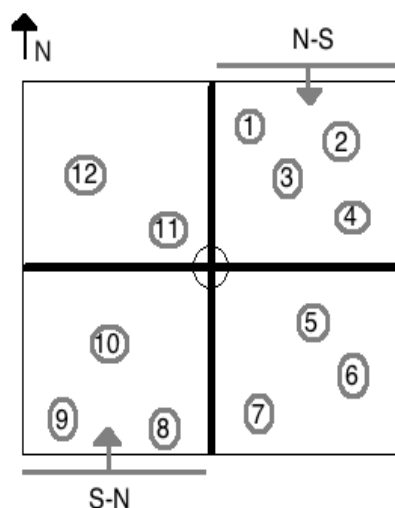


Fig. VI.3- Ordem de medição de árvores na parcela.

-Identificação da Espécie

A espécie da árvore é a primeira identificação, sendo esta registada na ficha de campo.

-Código de vitalidade

Regista-se o código de vitalidade da árvore, de acordo com o definido no quadro VI.4. Denote-se

que, o estado “debilitada” pode ser resultante de vários sinais de perda de vitalidade, como sejam: desfoliação ou descoloração das folhas, árvore queimada, etc.

Quadro VI.4- Estado de vitalidade das árvores.

Estado de vitalidade das árvores	Código
Viva e saudável	S
Viva e debilitada	D
Morta	M

-Diâmetro à Altura do Peito (DAP)

Regista-se o DAP de todas as árvores florestais que atendam ao critério anterior. O DAP é medido a 1,30 metros do solo e expresso em centímetros, usando-se para o efeito uma fita métrica.

Referenciem-se algumas regras básicas de medição (figura VI.4):

- 1 O DAP é medido perpendicularmente à orientação do tronco;
- 2 Caso o DAP esteja acima de uma bifurcação, então é medido em cada uma das pernas, sendo que cada uma passa a ser considerada, para efeitos de inventário, uma árvore individual;
- 3 No caso do DAP estar ao nível de uma deficiência ou protuberância do tronco é medido acima e abaixo desta, assumindo-se a média das medições;
- 4 No caso da árvore estar situada num terreno declivoso, o 1,30 m é medido a partir do ponto mais alto do terreno;
- 5 No caso de árvores inclinadas, o 1,30 m acompanha a inclinação segundo o eixo do tronco e é medido no lado interior (no lado do tronco para o qual a árvore está inclinada);
- 6 Em árvores tortuosas, o 1.30 m é medido ao longo do tronco de forma a acompanhar as tortuosidades;
- 7 No caso de árvores que tenham contrafortes, o DAP deve ser medido acima destes. Caso tal não seja possível, pode-se projectar a vertical do tronco acima dos contrafortes e medir assim o DAP.

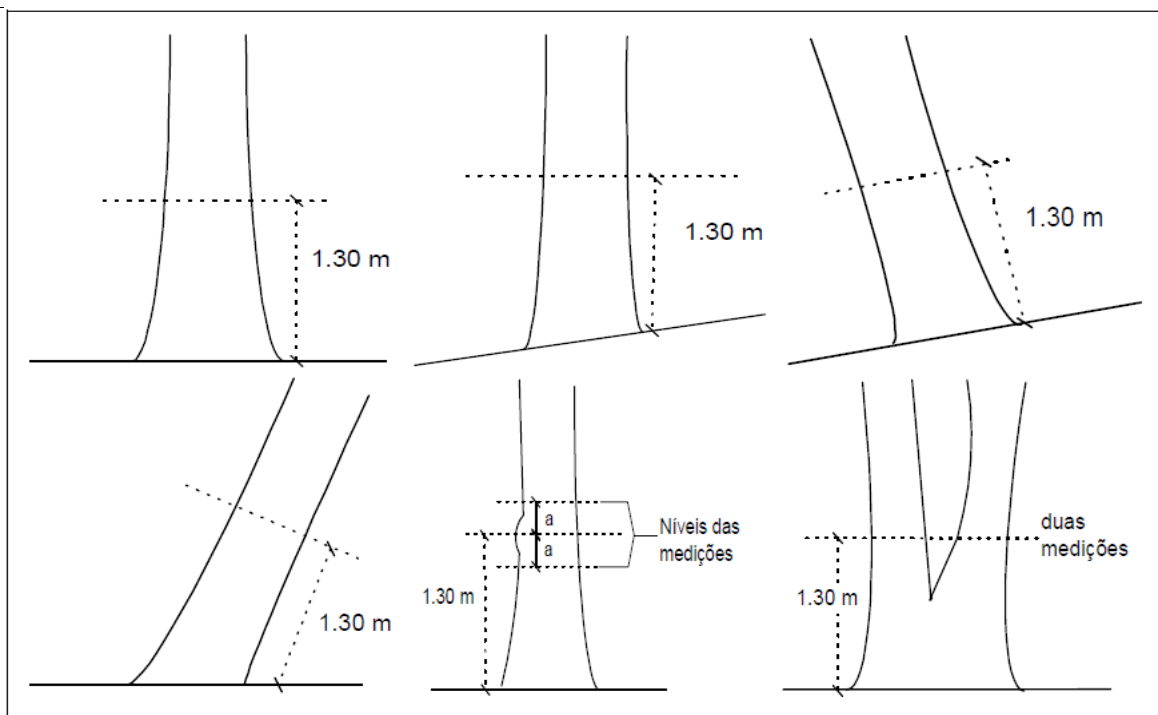


Fig. VI.4- Representação gráfica de regras de medição do DAP (extraído de “Manual de medições de campo do inventário florestal nacional da Guiné-Bissau”, versão 3.1).

-Diâmetro da base e do topo das árvores mortas

A medição do diâmetro da base (DB) é concretizada para as árvores mortas, adotando-se o mesmo procedimento e regras de medição da DAP, contudo faz-se a 15 cm do solo.

O diâmetro do topo (DT), por seu turno, é registado apenas quando o tronco ou a bicada da árvore estão partidos. Estima-se o diâmetro do topo usando uma régua colocada a 15 cm da vista, registando-se o diâmetro aparente. O diâmetro verdadeiro é equivalente à multiplicação do diâmetro aparente pelo quociente entre a distância do operador à árvore e a distância da régua à vista do operador (15 cm). Nota que o registo do diâmetro da base e, eventualmente, do topo, pode ser feito na mesma tabela do DAP e alturas, sendo apresentado na quadrícula das notas.

-Altura total das árvores

Regista-se a altura total de todas as árvores, vivas ou mortas, que se enquadrem no critério definido. A medida da altura não é feita recorrendo a instrumentação; antes, parte de uma estimativa visual que a permita enquadrar numa das seguintes classes de altura: <5m; 5-10m; 10-15 m; >15 m.

Contagem de árvores menores

As árvores menores simbolizam, em dada medida, o potencial de regeneração do estrato arbóreo. Assume-se que as mesmas são aquelas que já atingiram 1,30 metros de altura mas que, todavia, ainda não têm 5 cm de DAP. Nesse propósito, conta-se o número de árvores menores existentes na área definida aquando da medição das árvores florestais.

Medições de madeira morta derrubada

As medições de madeira morta derrubada são baseadas na realização de dois transectos de 20 metros: dispostos em cruz cujo ponto de cruzamento é o centro da parcela e orientados nas direcções Norte-Sul e Este-Oeste, como se representa na figura abaixo (fig. VI.5).

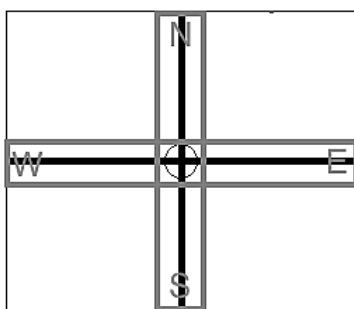


Fig. VI.5- Transectos perpendiculares cruzados no centro da parcela.

O percurso dos transectos aproveita a marcação já feita com fitas métricas (relembre-se, com vista ao estudo das árvores florestais) ou, em alternativa, com cordas, devendo em ambos os casos garantir-se que estas se encontram esticadas o mais direito que for possível nas direcções anteriores. Posto isto, percorre-se a totalidade do transecto, medindo e registando o diâmetro de

todos os fragmentos de madeira morta, desde que estes obedeçam a dados critérios:

1. Sejam cruzados pela fita métrica (ou cordas) em pelo menos 50% da sua largura/diâmetro;
2. Ter mais de 10cm de diâmetro de espessura;
3. Apresentar mais de 50% da sua biomassa acima do solo.

Para além do diâmetro médio, regista-se igualmente a densidade do fragmento, atribuindo-lhe uma de três classes de densidade: maciça, intermédia e apodrecida. Com vista a determinar a classe de densidade, pode então usar-se uma serra, catana, machado (pequeno) ou mesmo um canivete com faca. Assim:

1. Se a lâmina perfurar a madeira sem oposição, a densidade é da classe apodrecida;
2. Se a lâmina perfurar a madeira parcialmente, então a densidade é da classe intermédia;
3. Se a lâmina não perfurar a madeira, ou perfurar somente com muita dificuldade, a densidade é da classe maciça.

Anexo VII

Fichas complementares do inventário florestal

Quadro VII.1- Ficha de medições do inventário florestal para a parcela de castiçal.

Data/hora		Identificação da parcela	
Data:	<input type="text" value="01/06/12"/>	Parcela:	<input type="text" value="Castiçal"/>
Hora início:	<input type="text" value="18:00"/>	GPS	<input type="text"/>
Hora fim:	<input type="text" value="19:04"/>	Precisão (m):	<input type="text"/>

Caracterização fisiográfica da parcela

Situação fisiográfica: Exposição: Declive (graus):

Caracterização da mancha homogénea

Uso do solo: Tipo de floresta: Grau de coberto árvores florestais (%):

Idade: Distribuição: vertical horizontal:

Composição: Profundidade da manta morta (cm) (média)

Estrato arbustivo

Altura média do estrato arbustivo (m): Grau de coberto arbustivo (%):

Factores de degradação do solo

Erosão: Queimadas: Culturas:

Árvores florestais Parcela

Nº Árvores florestais menores (<5cm de DAP e >1,3m de altura)

Nº col.	Espécie	DAP	Altura	Vitalid.	Notas
1	castanheiro	18,5	>15	S	
2	castanheiro	23	10-15	S	
3	castanheiro	14	10-15	S	
4	castanheiro	5,5	5-10	D	
5	castanheiro	19	>15	S	
6	castanheiro	9	5-10	D	
7	castanheiro	34	10-15	D	
8	castanheiro	13	10-15	S	
9	castanheiro	8	<5	D	Muitas bifurcações
10	castanheiro	17	>15	S	
11	castanheiro	26	>15	D	
12	castanheiro	35	>15	S	
13	azevinho	5,2	<5	D	
14	castanheiro	28	>15	S	
15	castanheiro	19	<5	M	DB= 25 cm e DT=4*100/15= 26,6 cm
16	castanheiro	15	10-15	S	
17	castanheiro	11	5-10	D	
18	castanheiro	32	>15	S	
19	castanheiro	28	>15	S	
20	castanheiro	9,5	10-15	M	DB= 17 cm e DT=0,5*100/15= 3,3 cm
21	castanheiro	20	>15	S	
22	castanheiro	8,5	5-10	D	
23	castanheiro	19	>15	S	
24	castanheiro	43	>15	S	
25	castanheiro	11	5-10	D	
26	castanheiro	8	5-10	D	
27	castanheiro	14	10-15	D	
28	castanheiro	13	5-10	D	
29	castanheiro	36	>15	S	
30	castanheiro	18	>15	S	
31	castanheiro	33	>15	S	
32	castanheiro	28	>15	S	

Madeira morta derrubada

N.º	Diâmetro	Densidade
1	12	intermédia

Observações



Fig. VII.1- Vista geral da parcela.

Quadro VII.2- Ficha de medições do inventário florestal para a parcela de pinhal.

Data/hora
 Data: 01/06/12
 Hora início: 16:45
 Hora fim: 17:40

Identificação da parcela
 Parcela: Pinhal
 GPS: Precisão (m):

Caracterização fisiográfica da parcela
 Situação fisiográfica: encosta Exposição: N Declive (graus): 10-15°

Caracterização da mancha homogénea
 Uso do solo: florestal Tipo de floresta: aberta Grau de coberto árvores florestais (%): 60%
 Idade: Distribuição: vertical regular horizontal: irregular
 Composição: pura Profundidade da manta morta (cm): 13,4 cm (média)

Estrato arbustivo
 Altura média do estrato arbustivo (m): 1,42 cm Grau de coberto arbustivo (%): 75%

Factores de degradação do solo
 Erosão: 0 Queimadas: 0 Culturas: 1

Árvores florestais Parcela: Pinhal

Nº Árvores florestais menores (<5cm de DAP e >1,3m de altura) 28

Nº col.	Espécie	DAP	Altura	Vitalid.	Notas
1	carvalho	6	<5	S	
2	pinheiro	27	>15	S	
3	pinheiro	28	>15	S	
4	pinheiro	34	>15	S	
5	carvalho	5	<5	S	
6	pinheiro	43	>15	S	
7	pinheiro	39	>15	S	
8	castanheiro	15	5-10	S	
9	castanheiro	5,6	<5	S	
10	castanheiro	36	>15	S	
11	pinheiro	22	>15	S	
12	pinheiro	29	>15	S	
13	castanheiro	9,5	5-10	S	
14	pinheiro	41	>15	S	
15	carvalho	6	<5	S	
16	pinheiro	42	>15	S	
17	castanheiro	6,5	5-10	S	
18	castanheiro	12	10-15	D	
19	pinheiro	34	>15	S	
20	pinheiro	9	<5	M	DB= 14 cm e DT=0,5*100*15= 3,3 cm
21	pinheiro	37	>15	S	
22	pinheiro	29	>15	S	
23	pinheiro	37	>15	S	
24	pinheiro	27	>15	S	
25	castanheiro	8	5-10	S	
26	pinheiro	31	>15	S	

Madeira morta derrubada

N.º	Diâmetro	Densidade

Observações



Fig. VII.2- Vista geral da parcela.

Anexo VIII

Determinação de campo da textura e estrutura

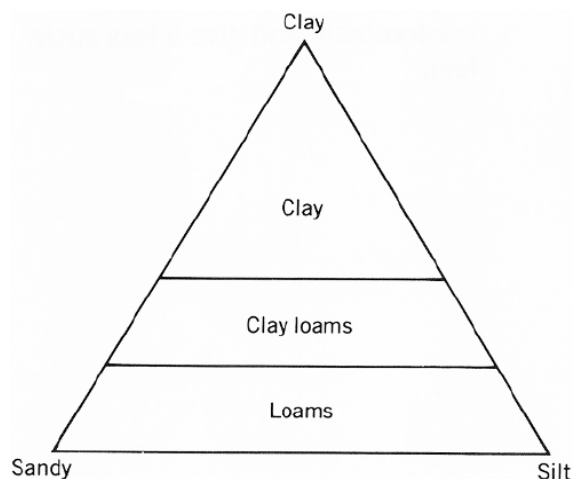
Na determinação de campo da textura, com vista à identificação da classe textural, importa seguir uma dada sequência de procedimentos:

I. Humedecer um volume de solo semelhante ao de uma bola de golfe (não usando demasiada água).

II. Apertar a amostra húmida entre os dedos, de modo a formar uma tira.

III. Verifique se o solo é:

- a) Muito pegajoso e duro — argiloso;
- b) Moderadamente pegajoso e duro — franco-argiloso;
- c) Mole, fácil de comprimir, ligeiramente pegajoso — franco.



IV. Por fim, importa subdividir cada uma das classes determinadas em III, verificando se o solo é:

- a) muito sedoso — siltoso;
- b) algo áspero — não use nenhum adjetivo;
- c) muito áspero — arenoso.

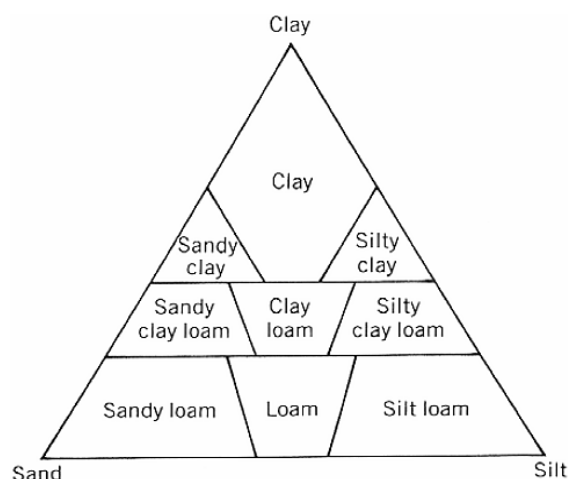


Fig. VIII.1- Classificação da textura do solo (extraído de Foth 1990).

Anexo IX

Princípio de funcionamento e calibração da sonda ThetaProbe

A sonda, juntamente com o solo adjacente, constituem um circuito eletrônico; já referido resultar da transmissão de um sinal sinusoidal, acrescente-se com 100MHz, para uma leitura cuja impedância depende da constante dielétrica da matriz do solo. Note-se que, a frequência do sinal foi escolhida para minimizar o efeito da condutividade, leia-se iônica ou elétrica, do solo e, por esta via, da sua salinidade. A impedância (Z) aferida pela sonda é ainda condicionada, some-se, pelas suas dimensões físicas (condicionam o sinal), pelo que denote-se:

$$Z = (60/\sqrt{\epsilon}) \cdot \ln(r_2/r_1)$$

em que r_1 e r_2 são, respetivamente, função do sinal e do “escudo” condutor.

O ThetaProbe integra, como se pode observar na fig. IX.1, um cabo de entrada/ saída, o corpo da sonda propriamente dito e uma cabeça de deteção. Em resumo, o cabo permite a ligação a uma fonte de alimentação adequada e a saída do sinal analógico. O “corpo da sonda” contém um oscilador, uma linha de transmissão interna especialmente projetada e um circuito de medição, posicionados dentro de um local à prova de água. A cabeça do sensor/ de deteção refere-se a um conjunto de quatro varas ou hastes, sendo três exteriores, que ligam o instrumento ao solo, formando-se um escudo elétrico. Referencie-se que, a cabeça de deteção pode ser apresentada como uma secção adicional da linha de transmissão, apresentando uma dada impedância dependente da constante dielétrica da matriz em que está inserida. Ora, se essa impedância diferir da registada na linha de transmissão interna, então uma parte do sinal é refletida de volta a partir da junção (J) entre as hastes da sonda e a linha de transmissão.

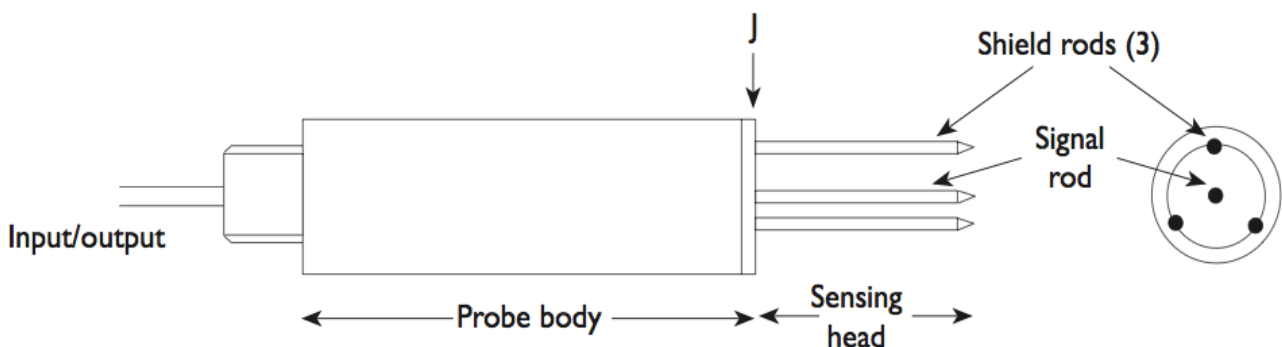


Fig. IX.1- Representação esquemática da sonda ThetaProbe ML2x (extraído de Miller & Gaskin 1997).

Em termos mais técnicos/mecânicos, a linha de transmissão interna da sonda é projetada para dar um atraso de $1/4f$, onde “ f ” é a frequência do oscilador, visando potenciar o sinal de saída quando as hastes da sonda são imersas em locais com humidade. Além disso, acrescente-se que o comprimento das referidas hastes (60 mm) foi escolhido de modo a maximizar o padrão da onda

estacionária na linha de transmissão. Desta forma, cada aparelho ThetaProbe é ajustado durante o fabrico para fornecer um sinal de saída consistente: 0-1 V DC para uma série de constantes dielétricas do solo entre 1 e 32, o que corresponde a uma variação de 0 a, aproximadamente, 0.5 m³m⁻³ de teor volumétrico de água no solo para a generalidade dos solos minerais.

A relação entre o sinal de saída da sonda e a raiz quadrada da constante dielétrica ($\sqrt{\epsilon}$) é única para todos os ThetaProbes (ML2x), podendo ser calculada a partir da figura IX.2. Na referida figura, faz-se representar, em escala abreviada, a gama de sinais de saída de sonda mais frequentes.

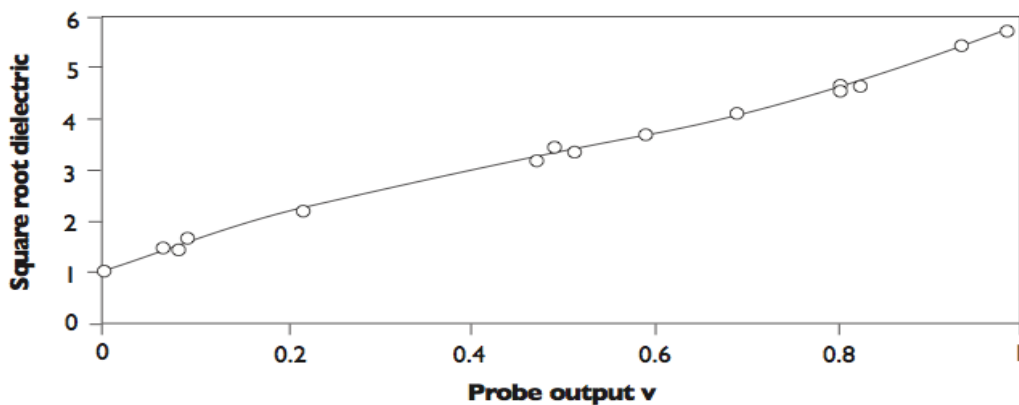


Fig. IX.2- Sinais de saída de sonda para uma variação realista de solventes de conhecida constante dielétrica (extraído de Miller & Gaskin 1997).

Segundo uma variação de 0 a 1 volt, como já tinha sido antecipado em parte anterior, a relação com a constante dielétrica pode ser descrita pelas próximas equações:

$$\sqrt{\epsilon} = 4.44V + 1.10 \text{ (relação linear) ou, com mais precisão, } \sqrt{\epsilon} = 4.70V^3 - 6.40V^2 + 6.40V + 1.07$$

Por seu turno, a relação entre o índice refrativo (equivalente à $\sqrt{\epsilon}$) e o teor volumétrico de água foi estabelecida por muitos investigadores incluindo Whalley, White e Topp. A mesma é mostrada na figura IX.3, resumindo os dados desses autores.

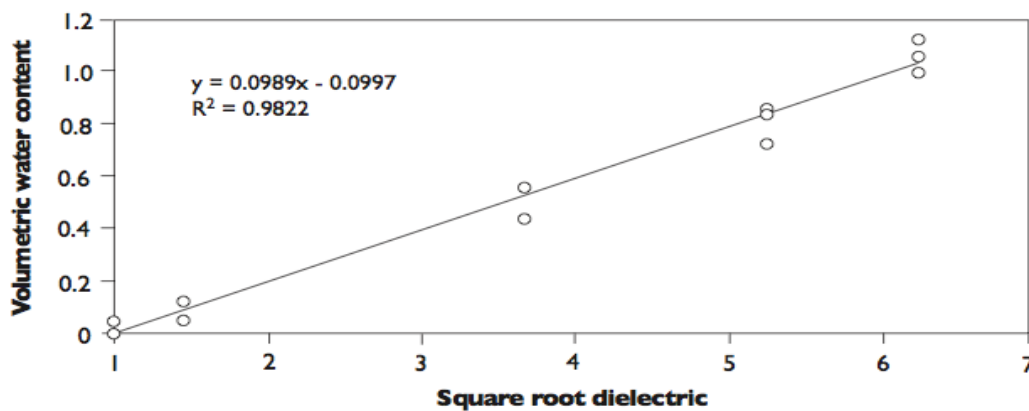


Fig. IX.3- Relação entre o índice refrativo e o teor volumétrico de água (m³m⁻³) (extraído de Miller & Gaskin 1997).

Do exposto, assume-se que $\sqrt{\epsilon} = a_0 + a_1 \cdot \theta_v$ e, portanto, $\theta_v = (\sqrt{\epsilon} - a_0) / a_1$.

Uma vez que a relação entre a tensão de saída (V) e o índice refrativo já foi estabelecida, resta esclarecer a determinação dos coeficientes a_0 e a_1 . Estes podem ser calculados com base em dois pontos de calibração, para solo seco e húmido, ou com base numa calibração generalizada, como se apresenta:

Quadro IX.1: Parâmetros para calibração generalizada.

	a_0	a_1
Solos minerais	1,6	8,4
Solos orgânicos	1,3	7,7

Assuma-se que a calibração específica do solo deve atingir uma precisão típica de pelo menos $\pm 0,02 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$, ao passo que o uso dos parâmetros de calibração para solos minerais/orgânicos (calibração geral) pode levar a erros da ordem dos $\pm 0,05 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$.

Leitura da humidade através das sondas Profile Probe e ThetaProbe

Com vista à leitura dos dados de campo, o primeiro passo será conectar o Profile Probe à unidade de leitura HH2, bastando para tal usar o cabo PRC/d-HH. Posto isto, segue-se a próxima sequência de procedimentos que, reconheça-se, ser coincidente à usada para a leitura dos valores de humidade para a sonda ThetaProbe, há exceção que será oportunamente assinalada:

- ✓ Pressionar a tecla **ESC** para ligar o aparelho, sendo ocasionalmente necessário pressionar novamente até que surja no visor a imagem ao lado.



- ✓ Verificar se o medidor está configurado para ler a partir de um PR1. Para tal, é necessário pressionar a tecla **SET** e percorrer até à opção “Device”, fazendo-se **SET** novamente. No presente ponto, importa escolher a opção “PR1”, fazendo-se **SET** para confirmar.

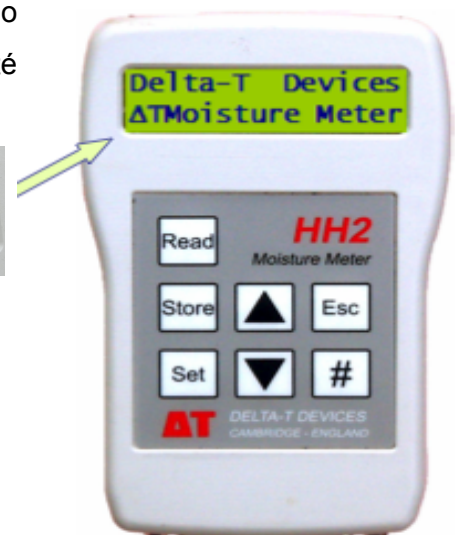


Fig. IX.4: Configuração unidade de leitura HH2.

Nota: no caso da Sonda ThetaProbe, a única diferença é que deveremos escolher, em “Device”, a opção “ML2x”.

Para ambas as sondas, referencie-se que a calibração do solo é concretizada através das opções “Soil Type” e “Soil Set-Up”.

- ✓ Nesta altura, estamos já em condições de passar às leituras inserindo, caso ainda não tenha sido feito, a sonda PR1 no tubo de acesso. Pressiona-se então a tecla **Read** para fazer a primeira leitura, o que demora cerca de 3 segundos; posto o que basta pressionar a tecla de deslocação para visualizar as demais leituras às diferentes profundidades. Estas podem ser armazenadas, pressionado **Store** ou, em alternativa, poderão ainda ser descartadas fazendo-se **Esc**:



Fig. IX.5: Leitura da humidade do solo pelo medidor HH2.

Anexo X

Determinação da condutividade hidráulica insaturada

O permeâmetro de Geulph permite, por via do valor de k_{sc} encontrado, estimar a condutividade hidráulica insaturada, enquanto função da carga de pressão, recorrendo (por exemplo) ao modelo de Gardner (1958). A equação de Gardner (1958) expressa-se da seguinte forma:

$$K_i(h) = K_s \exp [a(h - h_a)] \quad \text{se } 0 < a < +\infty \text{ e } h < h_a \leq 0$$

$$K(h) = K_s \quad \text{se } h \geq h_a$$

Onde “ k_i ”, “ k_s ”, “ h ” e “ h_a ” são definidos como anteriormente; “ a ” é um parâmetro de forma que depende, fundamentalmente, da textura e da estrutura do solo.

Para a maioria dos solos naturais, $h_a \approx 0$ e $a \approx a^*$ (Reynolds & Elrick, 2002); este último (quadro X.1), representa a razão entre a gravidade e as forças da capilaridade durante a infiltração ou drenagem e, normalmente, varia entre 0,01 e 0,5 cm^{-1} (White & Sully, 1987). Aqui, valores elevados de a^* indiciam um movimento da água essencialmente gravítico, que tende a ocorrer em solos com textura grosseira e/ou com estrutura forte; ao passo que valores reduzidos são comuns em solos com textura fina e/ou mal estruturados, nos quais predominam as forças de capilaridade sobre as de gravidade. Em suma, o referido modelo permite representar o comportamento de campo da condutividade hidráulica insaturada, sendo esta representada em função da carga de pressão.

Quadro X.1- Valores de a^* em função da textura e estrutura do solo (adaptado de Elrick *et al.* 1989).

Tipo de solo	a^* (cm^{-1})
Materiais sem estrutura, argilosos ou siltosos (tais como os usados no isolamento de aterros sanitários), sedimentos lacustres ou marinhos, etc.	0,01
Solos simultaneamente com textura fina (argilosa ou siltosa) e sem estrutura; podem incluir certas areias finas.	0,04
A generalidade dos solos com textura argilosa a siltosa e estrutura nítida; estão aqui incluídos solos de areias finas a médias. É a categoria onde se enquadra a maioria dos solos agrícolas.	0,12
Solos compostos por areias grossas ou materiais com maior granulometria; podem estar incluídos alguns solos de estrutura excepcionalmente bem definida e/ou com abundantes fendas e outros macroporos, etc.	0,36

Anexo XI

Fichas de campo da condutividade hidráulica

Folha de Cálculo do Permeâmetro de Guelph

Data	14-07-2012	Operador		Profundidade do furo	
------	------------	----------	--	----------------------	--

Constantes dos reservatórios		Assinalar a opção utilizada	Local do ensaio
Reservatórios combinados	X = 35,39 cm ²		Castinçal
Reservatório interior	Y = 2,15 cm ²		

Dados do Ensaio

Quadro 1 - leituras carga hidráulica de 5 cm

Número da leitura	Tempo (min)	Intervalo de tempo (min)	Nível de água no reservatório (cm)	Variação do nível (cm)	Taxa de variação do nível (cm/min)
1		0	29.0		
2		1	30.4	1.4	
3		1	31.4	1	
4		1	32.3	0.9	
5		1	32.9	0.6	
6		1	33.6	0.7	
7		1	34.2	0.6	
8		1	34.8	0.6	
9		1	35.4	0.6	
10		1	36.6	0.6	
11		1	36.6	0.6	
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					

Quadro 2 - leituras carga hidráulica de 10 cm

Número da leitura	Tempo (min)	Intervalo de tempo (min)	Nível de água no reservatório (cm)	Variação do nível (cm)	Taxa de variação do nível (cm/min)
1		0	41.5		
2		1	42.0	0.5	
3		1	43.3	1.3	
4		1	44.2	0.9	
5		1	45.4	1.2	
6		1	46.4	1	
7		1	47.6	1.2	
8		1	48.8	1.2	
9		1	50.0	1.2	
10		1	51.0	1	
11		1	52.3	1.3	
12		1	53.4	1.1	
13		1	54.6	1.2	
14		1	55.8	1.2	
15			57.0	1.2	
16					
17					
18					

Cálculos

<p>R₁ (taxa estável de fluxo do Quadro 1) = _____ / 60 s = _____ cm/s</p> <p>R₂ (taxa estável de fluxo do Quadro 2) = _____ / 60 s = _____ cm/s</p> <p>K_{fs} (condutividade saturada de campo) = [(0,0041)x(X ou Y)x(R2)]-[(0,0054)x(X ou Y)x(R1)]</p> <p>= _____ cm/s</p>

Folha de Cálculo do Permeâmetro de Guelph

Data		Operador		Profundidade do furo	
-------------	--	-----------------	--	-----------------------------	--

Constantes dos reservatórios		Assinalar a opção utilizada	Local do ensaio
Reservatórios combinados	X = 35,39 cm ²		Castinçal
Reservatório interior	Y = 2,15 cm ²		

Dados do Ensaio

Quadro 1 - leituras carga hidráulica de 5 cm						Quadro 2 - leituras carga hidráulica de 10 cm					
Número da leitura	Tempo (min)	Intervalo de tempo (min)	Nível de água no reservatório (cm)	Variação do nível (cm)	Taxa de variação do nível (cm/min)	Número da leitura	Tempo (min)	Intervalo de tempo (min)	Nível de água no reservatório (cm)	Variação do nível (cm)	Taxa de variação do nível (cm/min)
1		0	19.7			1		0	29.6		
2		1	20.8	1.1		2		1	29.9	0.3	
3		1	21.5	0.7		3		1	30.9	1	
4		1	21.9	0.4		4		1	31.8	0.9	
5		1	22.5	0.6		5		1	32.8	1	
6		1	22.9	0.4		6		1	33.7	0.9	
7		1	23.3	0.4		7		1	34.6	0.9	
8		1	23.5	0.2		8		1	35.5	0.9	
9		1	24.0	0.5		9		1	36.5	1	
10		1	24.3	0.3		10		1	37.5	1	
11		1	24.6	0.3		11		1	38.5	1	
12		1	24.9	0.3		12					
13						13					
14						14					
15						15					
16						16					
17						17					
18						18					

Cálculos

$$R_1 \text{ (taxa estável de fluxo do Quadro 1)} = \frac{\quad}{60 \text{ s}} = \quad \text{cm/s}$$

$$R_2 \text{ (taxa estável de fluxo do Quadro 2)} = \frac{\quad}{60 \text{ s}} = \quad \text{cm/s}$$

$$K_{fs} \text{ (condutividade saturada de campo)} = [(0,0041) \times (X \text{ ou } Y) \times (R_2)] - [(0,0054) \times (X \text{ ou } Y) \times (R_1)]$$

$$= \quad \text{cm/s}$$

Folha de Cálculo do Permeâmetro de Guelph

Data	14-07-2012	Operador		Profundidade do furo	
-------------	------------	-----------------	--	-----------------------------	--

Constantes dos reservatórios			
Reservatórios combinados	X = 35,39 cm ²	Assinalar a opção utilizada	Local do ensaio
Reservatório interior	Y = 2,15 cm ²		Castiçal

Dados do Ensaio

Quadro 1 - leituras carga hidráulica de 5 cm					
Número da leitura	Tempo (min)	Intervalo de tempo (min)	Nível de água no reservatório (cm)	Variação do nível (cm)	Taxa de variação do nível (cm/min)
1		1	40.6		
2		1	58.8	1.8	
3		1	59.2		
4		1	60.4	1.2	
5		1	61.3	0.9	
6		1	62.3	1	
7		1	63.0	0.7	
8		1	63.6	0.6	
9		1	64.4	0.8	
10		1	65.1	0.7	
11		1	65.8	0.7	
12		1	66.3	0.5	
13		1	67.1	0.8	
14					
15					
16					
17					
18					

Quadro 2 - leituras carga hidráulica de 10 cm					
Número da leitura	Tempo (min)	Intervalo de tempo (min)	Nível de água no reservatório (cm)	Variação do nível (cm)	Taxa de variação do nível (cm/min)
1		1	59.8		
2		1	60.8	1	
3		1	62.7	1.9	
4		1	64.7	2	
5		1	66.7	2	
6		1	68.6	1.9	
7		1	70.6	2	
8		1	72.6	2	
9		1	74.7	2.1	
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					

Cálculos

<p>R₁ (taxa estável de fluxo do Quadro 1) = _____ / 60 s = _____ cm/s</p> <p>R₂ (taxa estável de fluxo do Quadro 2) = _____ / 60 s = _____ cm/s</p> <p>K_{fs} (condutividade saturada de campo) = [(0,0041)x(X ou Y)x(R2)]-[(0,0054)x(X ou Y)x(R1)] = _____ cm/s</p>

Folha de Cálculo do Permeâmetro de Guelph

Data	14-07-2012	Operador		Profundidade do furo	
-------------	------------	-----------------	--	-----------------------------	--

Constantes dos reservatórios			
Reservatórios combinados	X = 35,39 cm ²	Assinalar a opção utilizada	Local do ensaio
Reservatório interior	Y = 2,15 cm ²		Pinhal

Dados do Ensaio

Quadro 1 - leituras carga hidráulica de 5 cm					
Número da leitura	Tempo (min)	Intervalo de tempo (min)	Nível de água no reservatório (cm)	Variação do nível (cm)	Taxa de variação do nível (cm/min)
1		0	32.2		
2		1	32.6	0.4	
3		1	33.3	0.7	
4		1	33.8	0.5	
5		1	34.2	0.4	
6		1	34.4	0.2	
7		1	34.7	0.3	
8		1	34.9	0.2	
9		1	35.2	0.3	
10		1	35.5	0.3	
11		1	35.7	0.2	
12		1	35.9	0.2	
13		1	36.2	0.3	
14					
15					
16					
17					
18					

Quadro 2 - leituras carga hidráulica de 10 cm					
Número da leitura	Tempo (min)	Intervalo de tempo (min)	Nível de água no reservatório (cm)	Variação do nível (cm)	Taxa de variação do nível (cm/min)
1		0	41.1		
2		1	42	1.1	
3		1	42.6	0.6	
4		1	43.3	0.7	
5		1	43.9	0.6	
6		1	44.5	0.6	
7		1	45.1	0.6	
8		1	45.7	0.6	
9		1	46.3	0.6	
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					

Cálculos

<p>R₁ (taxa estável de fluxo do Quadro 1) = _____ / 60 s = _____ cm/s</p> <p>R₂ (taxa estável de fluxo do Quadro 2) = _____ / 60 s = _____ cm/s</p> <p>K_{fs} (condutividade saturada de campo) = [(0,0041)x(X ou Y)x(R2)]-[(0,0054)x(X ou Y)x(R1)] = _____ cm/s</p>

Folha de Cálculo do Permeâmetro de Guelph

Data	14-07-2012	Operador		Profundidade do furo	
-------------	------------	-----------------	--	-----------------------------	--

Constantes dos reservatórios			Assinalar a opção utilizada	Local do ensaio
Reservatórios combinados	X = 35,39 cm ²			Pinhal
Reservatório interior	Y = 2,15 cm ²			

Dados do Ensaio

Quadro 1 - leituras carga hidráulica de 5 cm					
Número da leitura	Tempo (min)	Intervalo de tempo (min)	Nível de água no reservatório (cm)	Variação do nível (cm)	Taxa de variação do nível (cm/min)
1		0	21.8		
2		1	22.8	1	
3		1	23.5	0.7	
4		1	24.0	0.5	
5		1	24.3	0.3	
6		1	24.6	0.3	
7		1	24.9	0.3	
8		1	25.2	0.3	
9		1	25.4	0.2	
10		1	25.7	0.3	
11		1	25.9	0.2	
12		1	26.3	0.4	
13		1	26.5	0.5	
14					
15					
16					
17					
18					

Quadro 2 - leituras carga hidráulica de 10 cm					
Número da leitura	Tempo (min)	Intervalo de tempo (min)	Nível de água no reservatório (cm)	Variação do nível (cm)	Taxa de variação do nível (cm/min)
1		0	31.8		
2		1	32.2	0.4	
3		1	32.9	0.7	
4		1	33.5	0.6	
5		1	34.2	0.7	
6		1	34.9	0.7	
7		1	35.6	0.7	
8		1	36.2	0.6	
9		1	36.9	0.7	
10		1	37.6	0.7	
11		1	38.3	0.7	
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					

Cálculos

R_1 (taxa estável de fluxo do Quadro 1) = _____ / 60 s = _____ cm/s

R_2 (taxa estável de fluxo do Quadro 2) = _____ / 60 s = _____ cm/s

K_{fs} (condutividade saturada de campo) = $[(0,0041) \times (X \text{ ou } Y) \times (R_2)] - [(0,0054) \times (X \text{ ou } Y) \times (R_1)]$
 = _____ cm/s

Folha de Cálculo do Permeâmetro de Guelph

Data	14-07-2012	Operador		Profundidade do furo	
-------------	------------	-----------------	--	-----------------------------	--

Constantes dos reservatórios			Assinalar a opção utilizada	Local do ensaio
Reservatórios combinados	X = 35,39 cm ²			Pinhal
Reservatório interior	Y = 2,15 cm ²			

Dados do Ensaio

Quadro 1 - leituras carga hidráulica de 5 cm					
Número da leitura	Tempo (min)	Intervalo de tempo (min)	Nível de água no reservatório (cm)	Variação do nível (cm)	Taxa de variação do nível (cm/min)
1		0	18		
2		1	18.8	0.8	
3		1	19.2	0.4	
4		1	19.5	0.3	
5		1	19.8	0.3	
6		1	20.1	0.3	
7		1	20.4	0.3	
8		1	20.7	0.3	
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					

Quadro 2 - leituras carga hidráulica de 10 cm					
Número da leitura	Tempo (min)	Intervalo de tempo (min)	Nível de água no reservatório (cm)	Variação do nível (cm)	Taxa de variação do nível (cm/min)
1		0	25.7		
2		1	26.2	0.5	
3		1	26.7	0.5	
4		1	27.1	0.4	
5		1	27.6	0.5	
6		1	28.0	0.4	
7		1	28.5	0.5	
8		1	28.9	0.4	
9		1	29.3	0.4	
10		1	29.7	0.4	
11		1	30.1	0.4	
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					

Cálculos

R_1 (taxa estável de fluxo do Quadro 1) = _____ / 60 s = _____ cm/s

R_2 (taxa estável de fluxo do Quadro 2) = _____ / 60 s = _____ cm/s

K_{fs} (condutividade saturada de campo) = $[(0,0041) \times (X \text{ ou } Y) \times (R_2)] - [(0,0054) \times (X \text{ ou } Y) \times (R_1)]$
 = _____ cm/s

Folha de Cálculo do Permeâmetro de Guelph

Data	27-06-2012	Operador		Profundidade do furo	
-------------	------------	-----------------	--	-----------------------------	--

Constantes dos reservatórios			Assinalar a opção utilizada	Local do ensaio
Reservatórios combinados	X = 35,39 cm ²			Carvalhal
Reservatório interior	Y = 2,15 cm ²			

Dados do Ensaio

Quadro 1 - leituras carga hidráulica de 5 cm					
Número da leitura	Tempo (min)	Intervalo de tempo (min)	Nível de água no reservatório (cm)	Variação do nível (cm)	Taxa de variação do nível (cm/min)
1	12:38	0	2.2		
2		1	3.3	1.1	
3		1	4.0	0.7	
4		1	4.6	0.6	
5		1	5.2	0.6	
6		1	5.8	0.6	
7		1	6.4	0.6	
8		1	7.0	0.6	
9		1	7.4	0.4	
10		1	7.9	0.5	
11		1	8.5	0.6	
12		1	9.2	0.7	
13		1	9.6	0.4	
14					
15					
16					
17					
18					

Quadro 2 - leituras carga hidráulica de 10 cm					
Número da leitura	Tempo (min)	Intervalo de tempo (min)	Nível de água no reservatório (cm)	Variação do nível (cm)	Taxa de variação do nível (cm/min)
1	12:51	0	14.0		
2		1	15.7	1.7	
3		1	17.6	1.9	
4		1	19.5	1.9	
5		1	21.3	1.8	
6		1	23.2	1.9	
7		1	25.2	2.0	
8		1	27.1	1.9	
9		1	29.0	1.9	
10		1	31.1	2.1	
11		1	33.1	2.0	
12		1	35.2	2.1	
13		1	37.3	2.1	
14		1	39.4	2.1	
15					
16					
17					
18					

Cálculos

R_1 (taxa estável de fluxo do Quadro 1) = _____ / 60 s = _____ cm/s

R_2 (taxa estável de fluxo do Quadro 2) = _____ / 60 s = _____ cm/s

K_{fs} (condutividade saturada de campo) = $[(0,0041) \times (X \text{ ou } Y) \times (R_2)] - [(0,0054) \times (X \text{ ou } Y) \times (R_1)]$
= _____ cm/s

Folha de Cálculo do Permeâmetro de Guelph

Data	27-06-2012	Operador		Profundidade do furo	
-------------	------------	-----------------	--	-----------------------------	--

Constantes dos reservatórios			Assinalar a opção utilizada	Local do ensaio
Reservatórios combinados	X = 35,39 cm ²			Carvalhal
Reservatório interior	Y = 2,15 cm ²			

Dados do Ensaio

Quadro 1 - leituras carga hidráulica de 5 cm					
Número da leitura	Tempo (min)	Intervalo de tempo (min)	Nível de água no reservatório (cm)	Variação do nível (cm)	Taxa de variação do nível (cm/min)
1	14:08	0	2.5		
2		1	3.4	0.9	
3		1	4.0	0.6	
4		1	4.4	0.4	
5		1	4.9	0.5	
6		1	5.2	0.3	
7		1	5.6	0.4	
8		1	6.0	0.4	
9		1	6.4	0.4	
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					

Quadro 2 - leituras carga hidráulica de 10 cm					
Número da leitura	Tempo (min)	Intervalo de tempo (min)	Nível de água no reservatório (cm)	Variação do nível (cm)	Taxa de variação do nível (cm/min)
1	14:16	0	10.5		
2		1	12.0	1.5	
3		1	13.3	1.3	
4		1	14.5	1.2	
5		1	15.6	1.1	
6		1	16.9	1.3	
7		1	18.0	1.1	
8		1	19.2	1.2	
9		1	20.5	1.3	
10		1	21.7	1.2	
11		1	22.9	1.2	
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					

Cálculos

R_1 (taxa estável de fluxo do Quadro 1) = _____ / 60 s = _____ cm/s

R_2 (taxa estável de fluxo do Quadro 2) = _____ / 60 s = _____ cm/s

K_{fs} (condutividade saturada de campo) = $[(0,0041) \times (X \text{ ou } Y) \times (R_2)] - [(0,0054) \times (X \text{ ou } Y) \times (R_1)]$
 = _____ cm/s

Folha de Cálculo do Permeâmetro de Guelph

Data	27-06-2012	Operador	Profundidade do furo
-------------	------------	-----------------	-----------------------------

Constantes dos reservatórios		Assinalar a opção utilizada	Local do ensaio
Reservatórios combinados	X = 35,39 cm ²		Carvalho
Reservatório interior	Y = 2,15 cm ²		

Dados do Ensaio

Quadro 1 - leituras carga hidráulica de 5 cm						Quadro 2 - leituras carga hidráulica de 10 cm					
Número da leitura	Tempo (min)	Intervalo de tempo (min)	Nível de água no reservatório (cm)	Variação do nível (cm)	Taxa de variação do nível (cm/min)	Número da leitura	Tempo (min)	Intervalo de tempo (min)	Nível de água no reservatório (cm)	Variação do nível (cm)	Taxa de variação do nível (cm/min)
1		3	5.1	2.6		1			15.0		
2		1	5.7	0.6		2	1		16.2	1.2	
3		1	6.3	0.6		3	1		17.3	1.1	
4		1	6.7	0.4		4	1		19.3	1.0	
5		1	7.2	0.5		5	1		20.7	1.4	
6		1	7.6	0.4		6	1		22.3	1.5	
7		1	8.2	0.6		7	1		23.9	1.6	
8		1	8.6	0.4		8	1		25.3	1.4	
9		1	9.1	0.5		9	1		27.0	1.7	
10		1	9.5	0.4		10	1		28.5	1.5	
11		1	10	0.5		11	1		30.2	1.7	
12						12	1		31.8	1.6	
13						13	1		33.8	2.0	
14						14	1		35.1	1.3	
15						15	1		36.7	1.6	
16						16	1		38.3	1.6	
17						17					
18						18					

Cálculos

$$R_1 \text{ (taxa estável de fluxo do Quadro 1)} = \frac{\quad}{60 \text{ s}} = \quad \text{cm/s}$$

$$R_2 \text{ (taxa estável de fluxo do Quadro 2)} = \frac{\quad}{60 \text{ s}} = \quad \text{cm/s}$$

$$K_{fs} \text{ (condutividade saturada de campo)} = [(0,0041) \times (X \text{ ou } Y) \times (R_2)] - [(0,0054) \times (X \text{ ou } Y) \times (R_1)]$$

$$= \quad \text{cm/s}$$

Anexo XII

Cadeia de processamento realizado no programa “Photoshop CS5”

[Dentro de parêntesis são apresentados os valores dos parâmetros de cada uma das funções aplicadas à imagem original]

1. Redimensionamento da imagem (50% do tamanho original; acelera o processamento; Image > Image Size);
2. Aplicação de um filtro de melhoramento da nitidez (Filter > Sharpen > Sharpen more)
3. Substituição de cor (os tons de azul na imagem original foram convertidos em branco, *fuzzyness=110*);
4. Modificação/ melhoramento da exposição (*exposure=0.35*, *offset=-0.092*, *gamma correction=0.82*);
5. Melhoramento do contraste e da luminosidade (*brightness=29*, *contrast=37*);
6. Conversão da imagem para escala de cinzas (Image > Mode > Grayscale);
7. Aplicação de um filtro de limiar/”thresholding” (conversão da imagem de escala de cinzas para preto/branco, *level=134*);
8. Gravação da nova imagem em formato PNG (fig. XII.1).



Fig. XII.1- Fotos verticais às parcelas de ocupação florestal (10-05-12), já sujeitas ao processamento informático que as converteu em preto/branco.

Código no programa “R” para o cálculo da percentagem de cobertura por vegetação arbórea

```
require(rgdal)
require(raster)

# Directório de trabalho
setwd("C:/BIN1")

flist<-list.files()

dframe<-data.frame(fn=flist,veg=0,sky=0)

i<-0
for(fn in flist){
  i<-i+1
  img<-readGDAL(fn)
  z<-table(img@data)

  zt<-sum(z)
  sky.prop<-z[2]/zt
  veg.prop<-1-sky.prop
  dframe[i,2:3]<-c(veg.prop,sky.prop)
}
```

Anexo XIII

Humidade Profile Probe e ThetaProbe e fotos verticais

Quadro XIII.1- Humidade Profile Probe a 06-01-12.

	Castinçal10cm	Castinçal20cm	Castinçal30cm	Castinçal40cm
0°	21,2	22,6	19,5	26,7
120°	21,6	22,8	19,4	26,7
240°	22,1	23,1	21,7	26,7
0°	15	24,1	23,7	22,3
120°	16,4	23,8	21,4	20,3
240°	15,2	25,5	23,6	21,4
0°	15	12,9	21	27,7
120°	14,9	15	22	28,2
240°	15	15,7	23,1	27,3

	Carvalho10cm	Carvalho20cm	Carvalho30cm	Carvalho40cm
	20,6	27,9	26,9	30,1
	21	27,7	26,5	28,8
	21,5	26,7	27,1	31,7
	23,3	24,5	31,8	31,7
	23,3	26,7	31	33,9
	23	25,1	29,7	37,5
	17,1	27,9	26,2	21,5
	18	28,2	25,8	21,6
	16,9	26,9	27,1	24,5

	Pinheiro10cm	Pinheiro20cm	Pinheiro30cm	Pinheiro40cm
	15,8	22,3	20,4	33,5
	12,8	22,7	23,8	29,7
	14,3	23	21,3	31,2
	19,8	27,3	31,5	31,4
	21,2	27,7	30,7	29,6
	21,3	26,3	30,7	34,5
	26,6	25,9	24,5	36,4
	19,6	27,1	25,3	31,8
	20,7	25,8	24,9	35,8

Quadro XIII.2- Humidade Profile Probe e ThetaProbe a 26-01-12.

Castiçal10cm	Castiçal20cm	Castiçal30cm	Castiçal40cm
21,5	22,4	18,2	25,8
21,9	22,5	18,6	25,9
22,4	22,8	21,1	25,9
20,7	26	23,3	21,9
22,3	24,8	21,6	19,7
20,3	27,1	24,2	20,5
18,2	13,6	21,5	27,3
18	15,5	22,5	27,5
17,7	16,2	23,1	27,1
17,5	16,8	17,8	
22,2	17,9	21,9	
14	17,4	13,8	

Pinheiro10cm	Pinheiro20cm	Pinheiro30cm	Pinheiro40cm
17	22,8	20,2	30,5
13,9	23,2	23,4	31,2
17,3	23	20	30,7
21,5	25	24	33
20,1	25,9	24,6	33,2
21,8	25,4	24,4	33,6
Theta	13,4	12,2	12,9
Probe	12,7	14,5	12,6

Glesta10cm	Glesta20cm	Glesta30cm	Glesta40cm
14,1	18,4	18,2	17,6
15,2	17,3	17,4	17,8
14	18,6	18	17,5
20,6	18	19,8	25
20,3	17,9	20,3	25,5
20,8	18,8	20,7	25,3
12,7	16,4	17,8	21,4
14,6	18,7	19,9	21,4
11	17,1	18,9	21,6
10,4	11	9,9	
9,5	9,4	12,4	
9,1	11,2	9,9	

Quadro XIII.3- Humidade Profile Probe e ThetaProbe a 18-02-12.

Castinçal10cm	Castinçal20cm	Castinçal30cm	Castinçal40cm
20,4	21,5	18,8	25,3
20,6	21,8	18,4	25,5
20,7	21,7	19,9	25,3
19,3	24,2	22,3	21,3
20,9	24,2	21,1	19,2
19	25,6	24,4	19,9
18,1	13,3	21,1	26,5
17,7	15,4	22,1	27,1
17,9	14,6	21,3	26,5
14,8	17,7	17,9	
19,4	16	15,7	
10,2	18,3	14,4	

Pinheiro10cm	Pinheiro20cm	Pinheiro30cm	Pinheiro40cm
15,8	21,7	19,2	30,2
12,6	21,6	22,2	30,4
15,9	21,7	19	30,1
19,7	26,3	30,1	29,7
20,9	26,5	29,1	28,7
20,6	25,3	29,4	29,9
20,6	23,3	22,9	31,7
19,3	24	23,4	31,8
20,6	23,7	23,2	32,1
14,5	13,9	13,2	
12,5	14	14,6	
11,9	12,3	12,6	

Carvalho10cm	Carvalho20cm	Carvalho30cm	Carvalho40cm
23	23,4	25,7	25,2
23,5	21,6	24,5	25,7
22,9	23,7	25,7	24,8
21,7	24,6	31,1	31,6
24,8	27,1	30,8	32
23,8	25,2	31	32,6
20	29,8	26,2	22,1
20,9	29,6	27,6	24,1
19,8	29,5	26,7	22,7
12,2	15,7	15	
17,8	16,5	12,3	
17,5	18,5	13,2	

Giestal10cm	Giestal20cm	Giestal30cm	Giestal40cm
13,1	17,6	17,6	17,1
13,6	16,1	16,7	17,4
12,9	17,6	17,3	17
21,1	17,7	19,9	24,9
21	17,3	19,2	24,6
20,2	17,6	19,6	24,5
12,8	16,4	17,2	20,7
14,4	17,8	18,8	20,5
11,4	15,7	17,3	20,9
15,4	11,6	14,9	
12,8	9,8	12,4	
10,5	12,9	9,9	



Figura XIII.1- Fotos verticais a 18-02-12.

Quadro XIII.4- Humidade Profile Probe e ThetaProbe a 06-03-12.

Castinçal10cm	Castinçal20cm	Castinçal30cm	Castinçal40cm
24,8	24,2	18,4	25,2
25	24,3	19	25,3
26,1	24,5	20,7	25,3
22,1	26,6	23,2	21,4
23,9	26,7	21,5	19,2
21,8	27,2	25	20
20,6	14	22	27,2
20,8	15,8	22,6	26,8
20,7	14,9	21,7	26,9
23,8	21,4	22	
24,7	22	26	
20	18,1	25,9	

Carvalho10cm	Carvalho20cm	Carvalho30cm	Carvalho40cm
24,3	24,1	26,3	25,6
25	22,4	24,9	26
24	24,7	26,1	25,1
26	25,6	32,7	31,9
26,4	27,8	31,8	32,6
25,8	26,1	31	32,9
23,5	30,8	27	22,9
24	30,9	26,4	22,2
22,7	30,2	28,2	25,4
17	25	21,2	
27,2	19	25,6	
21	26,5	20,7	

Pinheiro10cm	Pinheiro20cm	Pinheiro30cm	Pinheiro40cm
16,9	21,6	18,2	29,2
13,4	21,9	21,4	29,7
16,6	22	18,4	29,3
22,7	26,7	29,6	28,5
23,5	26,9	28,5	27,6
23,3	25,6	28	28,4
22,5	23,3	22	30,4
21,7	23,9	22,6	30,6
22,5	23,7	22,3	30,7
15,7	12,8	13,8	
20,9	14,9	16,6	
15,3	11,6	15,1	

Giestal10cm	Giestal20cm	Giestal30cm	Giestal40cm
12,5	17,4	16,7	16,4
12,8	15,6	15,8	16,8
12,3	17,4	16,6	16,3
22,8	17,6	20	26,9
22,5	17,5	18,9	27,5
21,8	17,5	19,1	27,6
12,9	15,6	17,3	20,4
14,7	17,6	19,3	20,4
11,8	14,9	17,2	20,5
11	8,7	9,8	
9,1	13,6	14,7	
22,3	12,9	21,7	

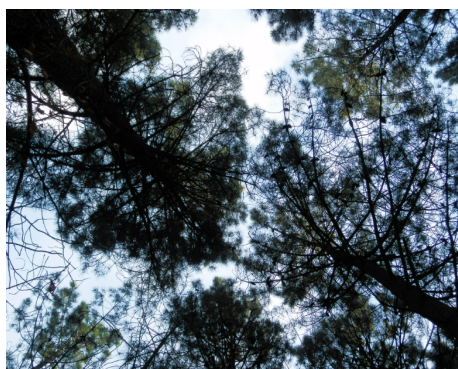


Figura XIII.2- Fotos verticais a 06-03-12.

Quadro XIII.5- Humidade Profile Probe e ThetaProbe a 19-03-12.

Castiçal10cm	Castiçal20cm	Castiçal30cm	Castiçal40cm
21,9	21,9	17,4	24,6
22,2	22	17,8	24,7
22,6	22,1	19,8	24,7
21,9	25,1	22,6	20,9
23,8	24,1	20,8	18,7
21,7	26	23,8	19,4
19,8	13	21,2	26,5
19,6	15,2	22,2	27,5
19,8	15,3	22	26,7
15,8	21,7	17,6	
22,3	21	14,2	
19,4	17,6	16,6	

Carvalho10cm	Carvalho20cm	Carvalho30cm	Carvalho40cm
24,1	23,6	25,9	25,3
24,5	22	24,6	25,6
23,7	24,3	25,7	24,9
24,8	25,5	32,8	31,8
26,5	28	31,7	32,6
25,8	25,8	31,2	32,9
23,3	30	26,6	22,9
24,1	30,1	27,1	23,4
22,7	29,7	27,5	24
13,8	21,4	14,6	
22	20,9	17,3	
14,8	19,7	19,3	

Pinheiro10cm	Pinheiro20cm	Pinheiro30cm	Pinheiro40cm
14,5	19,5	17,3	28,4
11,5	19,6	20,2	29
14,6	19,8	17,3	28,6
20,3	24,6	27,8	27,2
21,6	24,8	26,9	26,3
21,5	23,5	26,8	27,2
20,4	21,7	21,1	29,3
19,5	22,3	21,5	29,2
20,6	22,1	21,4	29,7
14,9	13,1	12,3	
9,7	15,4	12,9	
14,5	13,3	13,6	

Giestal10cm	Giestal20cm	Giestal30cm	Giestal40cm
11,9	16,9	15,3	15,3
12,5	15,4	14,4	15,9
11,7	17,2	15,4	15,3
19	15,1	17,6	23,1
18,8	15,1	17,1	23
18,7	15,3	17,7	23
12,4	14,8	15,9	19
13,4	17,2	17,8	19,5
12,4	14,9	16,1	19,5
12,5	9,6	7,1	
11,7	23	10,3	
11,8	11,9	12,8	



Figura XIII.3- Fotos verticais a 19-03-12.

Quadro XIII.6- Humidade Profile Probe e ThetaProbe a 03-04-12.

Castiçal10cm	Castiçal20cm	Castiçal30cm	Castiçal40cm
19,7	20,9	17,7	24,2
19,8	21,1	17,4	24,2
20	21	19,2	24,1
18,9	22,9	21	20,1
20,4	23,5	20,2	18,5
18,6	24,8	22,4	19,5
17,7	12,9	21,1	26,5
17,7	14,7	21,6	26,4
17,8	14,5	21,2	26,3
13,2	14		13,5
15,6	19,5		17
11,7	14,5		15,5

Carvalho10cm	Carvalho20cm	Carvalho30cm	Carvalho40cm
22,7	22,9	25,3	25
22,9	21,3	24,2	25,4
22,3	23,3	25,1	24,6
22,5	24,4	31,5	31,7
24,9	27,3	31	32,4
24,3	25	30,9	32,7
19,7	29	25,5	21,9
20,1	28,9	26	22,7
19,1	28,2	26,8	24,8
12,9	11		11,5
14,9	12,6		20,9
14,6	13,1		16,7

Pinheiro10cm	Pinheiro20cm	Pinheiro30cm	Pinheiro40cm
12,2	17,4	15,7	26,9
9,7	17,3	18,3	27,5
11,8	17,9	16	27,1
17,8	22,5	25,3	24,6
18,4	22,7	24,3	23,7
18,2	21,7	24,8	24,6
18	19,9	19,3	26,7
17,4	20,2	19,7	26,8
18,2	20,1	19,4	27
8,5	7,7		8,3
11,2	10,1		11,5
9,5	9,7		9,3

Giestal10cm	Giestal20cm	Giestal30cm	Giestal40cm
17,9	14,9	17,4	22,6
17,8	14,6	16,8	22,3
17,1	14,8	17,1	22,5
10,5	13,8	15,2	18
11,9	14,9	16,2	17,7
9,1	13	15,1	17,9
5,2	6		8,7
8,2	12		8,2
7,1	9,6		10



Figura XIII.4- Fotos verticais a 03-04-12.

Quadro XIII.7- Humidade Profile Probe e ThetaProbe a 10-05-12.

Castiçal10cm	Castiçal20cm	Castiçal30cm	Castiçal40cm
27,3	29,2	24,1	33,6
27,4	29,2	23,2	33,5
28,6	29,6	27,5	33,8
27,5	31,4	28,8	26,8
29,9	30,6	26,7	23,6
27	32,9	30,8	25
24,6	17,8	28,3	33,5
24,4	20	29,2	33,9
24,3	20,7	28,4	33
23,8	24,5	22,6	
22,6	26,2	30,7	
24,1	25,6	25,3	

Carvalho10cm	Carvalho20cm	Carvalho30cm	Carvalho40cm
33,4	31,6	35,2	33,9
34,4	29,5	33,3	34,6
32,7	32,4	35	33,8
33,2	35,7	42	40,3
32,6	38,4	40,9	41
34,2	36,8	38,5	42,8
30,9	42,3	35,4	28,5
31,3	47,5	34,2	27,1
28,5	39,2	38	34
25,9	28,7	23,9	
37,2	24,7	18,9	
25,5	18,9	20,7	

Pinheiro10cm	Pinheiro20cm	Pinheiro30cm	Pinheiro40cm
20,1	28,4	24,3	33,4
16,6	28,8	29,1	34,6
20,4	29	24,4	33,9
25,3	31,4	35,6	35,3
25,5	31,7	34,2	34,4
25,8	30,3	34,3	35,2
27,7	29,2	28,9	36,4
26,7	30,6	29,7	36,8
27,6	30	28,9	36,8
15,7	17,8	23,6	
17,4	20,1	24,5	
21,4	20,8	19,6	

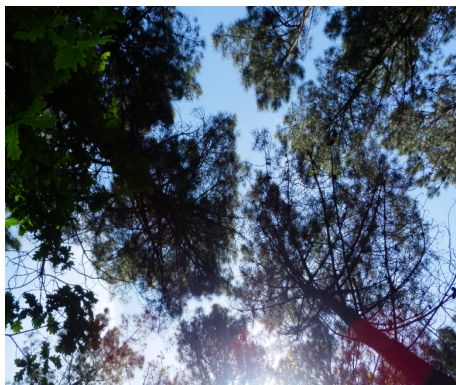
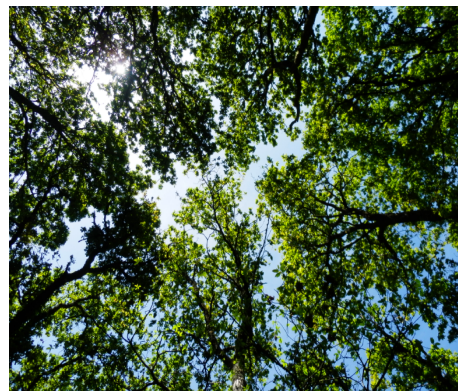


Figura XIII.5- Fotos verticais a 10-05-12.

Quadro XIII.8: Humidade Profile Probe e ThetaProbe a 24-05-12.

Castinçal10cm	Castinçal20cm	Castinçal30cm	Castinçal40cm
24,8	24,9	20,8	28,4
24,7	25	20,4	28,4
25,5	25,2	23,2	28,5
24,1	27,6	26,1	22
26,7	27	23	20,4
23,8	28,2	25,5	21,6
22,2	15,2	24,7	29,5
22,2	17,2	25,5	29,7
21,8	18,2	25,8	29,1
18,7	19,1	21,7	21,7
20,6	17,9	16,3	16,3
17,6	21,2	19,7	19,7

Carvalho10cm	Carvalho20cm	Carvalho30cm	Carvalho40cm
29,2	28,7	32,3	30,9
30,2	26,6	30,5	31,9
29,1	29,1	31,6	30,9
28,7	29,9	36,2	37
27,7	31,8	36,2	37
28,7	31,2	34,2	38,7
24,9	33,8	31,4	26,4
25,6	34,6	30,3	24,8
25,1	33,6	33,9	29,4
18,6	20,4	16,3	16,3
16,7	27,3	20,2	20,2
21,5	18,2	16,9	16,9

Pinheiro10cm	Pinheiro20cm	Pinheiro30cm	Pinheiro40cm
18,6	25,1	21,7	31,8
15,2	25,1	25,2	32,3
17,8	25,5	22,3	31,5
22,8	27,9	32,7	32
23,9	28	31,7	31,2
23,6	26,8	31,6	32
24,3	25,1	25,2	33,6
23,4	26,3	25,9	33,8
24,3	25,9	25,6	33,8
15	15,7	17	17
16	17,3	12,9	12,9
17,3	16,9	17,7	17,7

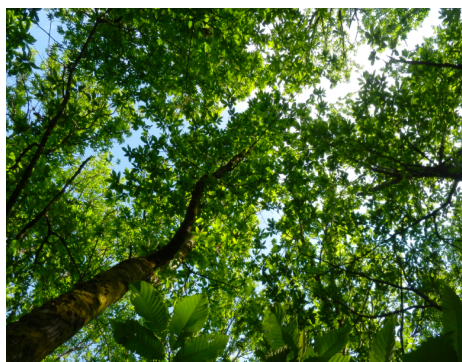


Figura XIII.6- Fotos verticais a 24-05-12.

Quadro XIII.9- Humidade Profile Probe e ThetaProbe a 13-06-12.

Castinçal10cm	Castinçal20cm	Castinçal30cm	Castinçal40cm
25,4	24,1	19,8	25,6
25,4	24,4	19,1	25,7
26,2	24,4	21,7	25,6
26,7	26,5	22,3	19,4
29,2	25	20,5	17,8
26,6	27,2	22,9	18,4
24,3	16,1	23	26,6
23,9	18,2	24,1	27,4
23,9	19	24	26,4
23,3	24,6	16,4	
18,7	18,1	20	
16	27,1	21	

Carvalho10cm	Carvalho20cm	Carvalho30cm	Carvalho40cm
27,6	29,6	29,1	27,6
28,1	24,9	28,3	29,5
27,5	27,2	29,2	28,8
27	29,3	34,9	36
28,5	31,8	34,9	36,2
28,2	29,9	33	38,1
27,7	33,5	28,3	23,2
28,9	33,8	29,1	24,4
26,7	33	30,5	27,5
18,1	24,4	27,2	
14,6	22,9	23	
16,1	24,2	19	

Pinheiro10cm	Pinheiro20cm	Pinheiro30cm	Pinheiro40cm
20,1	24,4	19,6	29,6
16,4	24,4	22,6	30,1
19,2	25,1	20,2	30
24,7	27,3	30,2	29,8
26,1	27,5	29,3	28,7
25,4	26,4	28,9	29,7
25,8	25,1	23,1	30,9
24,6	26,3	24,1	31,5
25,7	25,7	23,5	31,5
17,8	18	17,4	
20,7	17,2	14,8	
17,9	19,6	16,6	

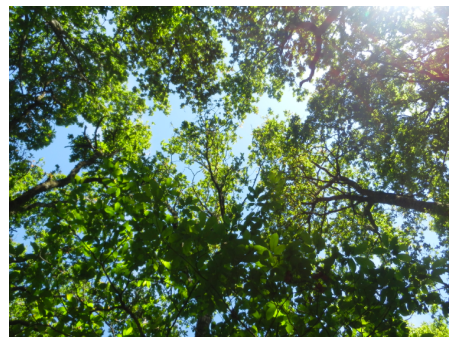
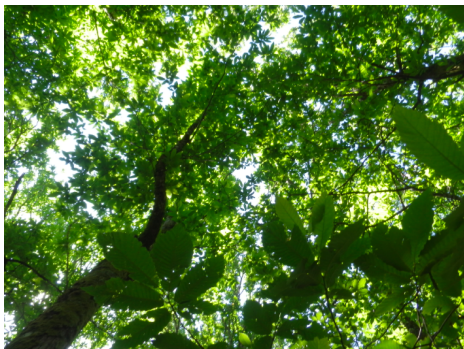


Figura XIII.7- Fotos verticais a 13-06-12.

Quadro XIII.10- Humidade Profile Probe e ThetaProbe a 27-06-12.

Castinçal10cm	Castinçal20cm	Castinçal30cm	Castinçal40cm
23,1	22,4	17,9	23,9
23	22,5	18,4	24
23,8	22,5	20,4	23,9
21,4	22,7	20,3	17,8
23,3	22,3	18,3	16,6
21,2	23,5	19,8	17,4
17,5	11,7	19,5	23,3
17,4	13,3	19,9	23,5
17,3	13,6	19,5	23,4
16,2	15,6	19,4	
20,6	16,9	16,2	
11,8	12,6	13,4	

Carvalho10cm	Carvalho20cm	Carvalho30cm	Carvalho40cm
25,1	23,8	26,9	26,8
25,3	22,4	25,9	26,9
24,5	24,3	26,6	26,6
23,9	26,9	32,8	34,7
25,1	29	32,6	34,8
24,9	27,3	31,2	36,3
23,1	30,3	26,4	22,4
23,3	30,8	26,4	22,6
22,5	29,9	28,3	26,5
12,7	14,7	10,9	
16,7	12,5	14	
12	13,8	19,5	

Pinheiro10cm	Pinheiro20cm	Pinheiro30cm	Pinheiro40cm
21,1	24,7	28,7	27,6
21,6	25,1	27,4	26,4
21,3	23,8	27,5	27
15,4	20,6	18,6	28,5
12,9	21,2	21,2	29,2
15,1	21,4	18,7	28,6
21,3	22,5	21,9	29
20,9	22,9	22,4	29,5
21,8	22,7	22,2	29,6
12	10,2	12,4	
15	14,4	11,8	
14,2	15,8	14,5	

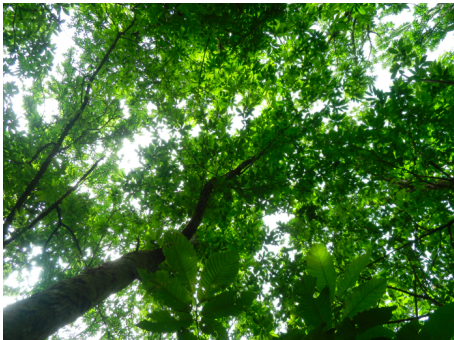


Figura XIII.8- Fotos verticais a 27-06-12.

Quadro XIII.11- Humidade Profile Probe e ThetaProbe a 14-07-12.

Castiçal10cm	Castiçal20cm	Castiçal30cm	Castiçal40cm
19,5	19,3	15,1	20,8
19,7	19,4	15	20,8
20	19,4	17,2	20,7
17,7	19,6	17,5	16,7
19,2	18,9	16,1	15,1
17,6	20,5	17,8	16
12,9	9,4	15,5	19,5
12,7	10,7	15,9	19,7
12,8	11,2	15,8	19,5
9,7	14,9	10,3	
11,9	11	9,4	
9,6	9,8	8,2	

Carvalho10cm	Carvalho20cm	Carvalho30cm	Carvalho40cm
22,3	22,3	24,9	24,9
22,2	21,1	24,1	24,9
21,7	22,7	24,6	24,4
22,5	25,3	31,5	33,4
24,2	27,5	31,5	33,5
23,3	25,5	30,4	34,3
20,8	28,1	25,2	22,4
21,6	28,7	22,5	21,6
20,6	27,9	26,2	25
9,9	15,3	11	
9,5	13	23,2	
11,5	11,3	12	

Pinheiro10cm	Pinheiro20cm	Pinheiro30cm	Pinheiro40cm
18,2	21,7	24,9	23,7
18,6	22	23,7	22,9
18,3	20,8	24,2	23,6
11,3	17,3	15,9	26,8
9,2	17	18	27,1
10,8	17,5	16,1	26,9
17,5	19	18,8	25,9
16,8	19,6	19,3	25,7
17,6	19,3	19,2	26,5
12,2	12,7	16,1	
9,5	7,5	8,8	
10,3	14,5	12,3	

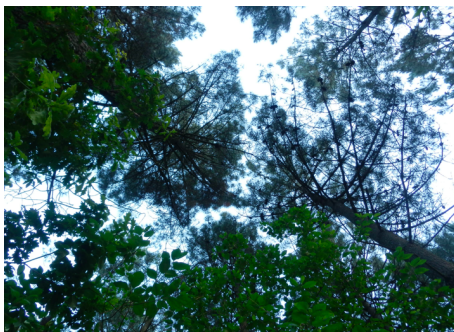
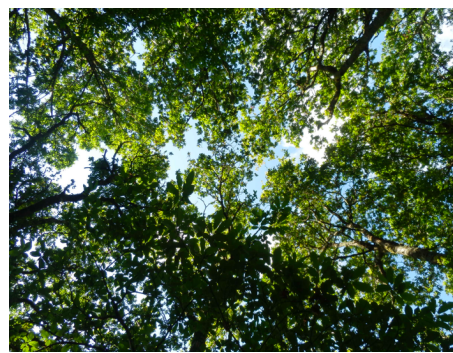
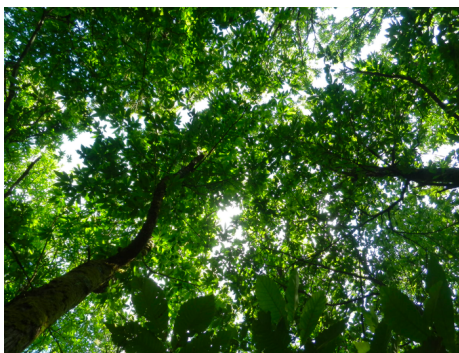


Figura XIII.9- Fotos verticais a 14-07-12.

Quadro XIII.12- Humidade Profile Probe e ThetaProbe a 02-08-12.

Castiçal10cm	Castiçal20cm	Castiçal30cm	Castiçal40cm
16,1	15,2	10,2	16,4
16	15,1	10,6	16,4
16,2	15,2	12,1	16,3
14	16,5	14,8	14,8
15,1	17,1	13,7	13,4
14,1	17,5	15,4	13,9
10,3	6,9	12,3	15,5
10	8,1	12,9	16
10,3	8,6	12,9	15,5
7	6,7	9,5	
8,7	10,5	8,1	
7,3	6,9	7	

Carvalho10cm	Carvalho20cm	Carvalho30cm	Carvalho40cm
16	17,1	19,8	20,8
16,3	16,2	19,2	20,6
15,7	17,2	19,5	20,3
17,9	20	26,5	28,9
19,7	21,3	26,7	28,9
18,4	20,1	26,3	29,9
16,7	24	22,7	21,2
17,4	24,6	22,4	20,8
16,9	24	23,1	22,4
8,4	8	9	
8,7	8	11,5	
19,7	9,4	10,4	

Pinheiro10cm	Pinheiro20cm	Pinheiro30cm	Pinheiro40cm
9,1	14,5	12,7	23,1
7,2	14,2	14,6	23,2
8,7	14,7	12,9	23,1
14,3	17,2	20	18,8
14,4	17,2	19,3	18,2
14,4	16,3	19,2	18,7
14	15,2	15,1	22,1
13,5	15,2	15,6	22
14,1	15,3	15,3	21,9
7,2	7,8	6,8	
6,9	6,7	6,6	
7,8	6,6	6,2	

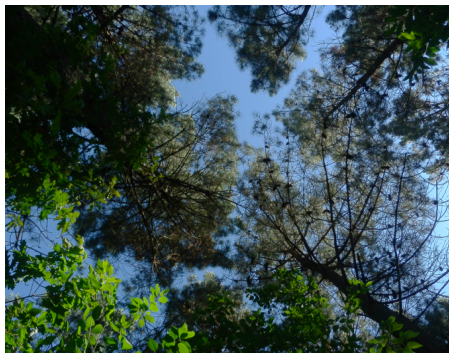
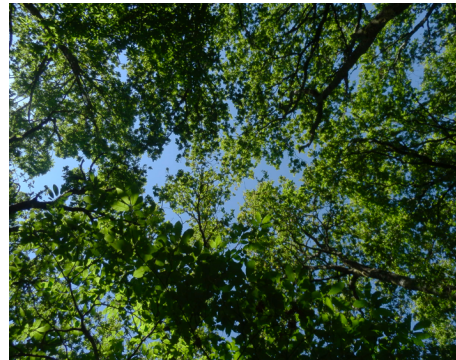
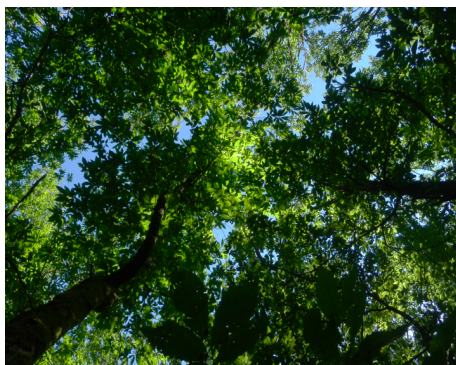
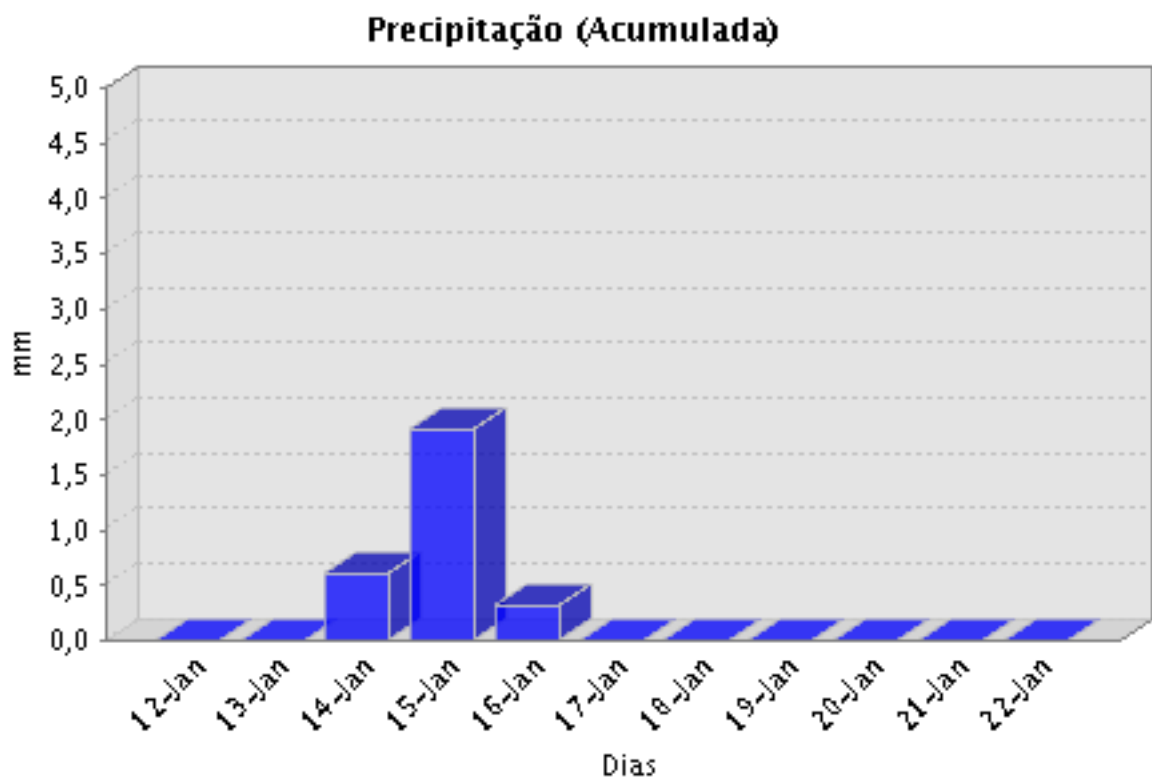
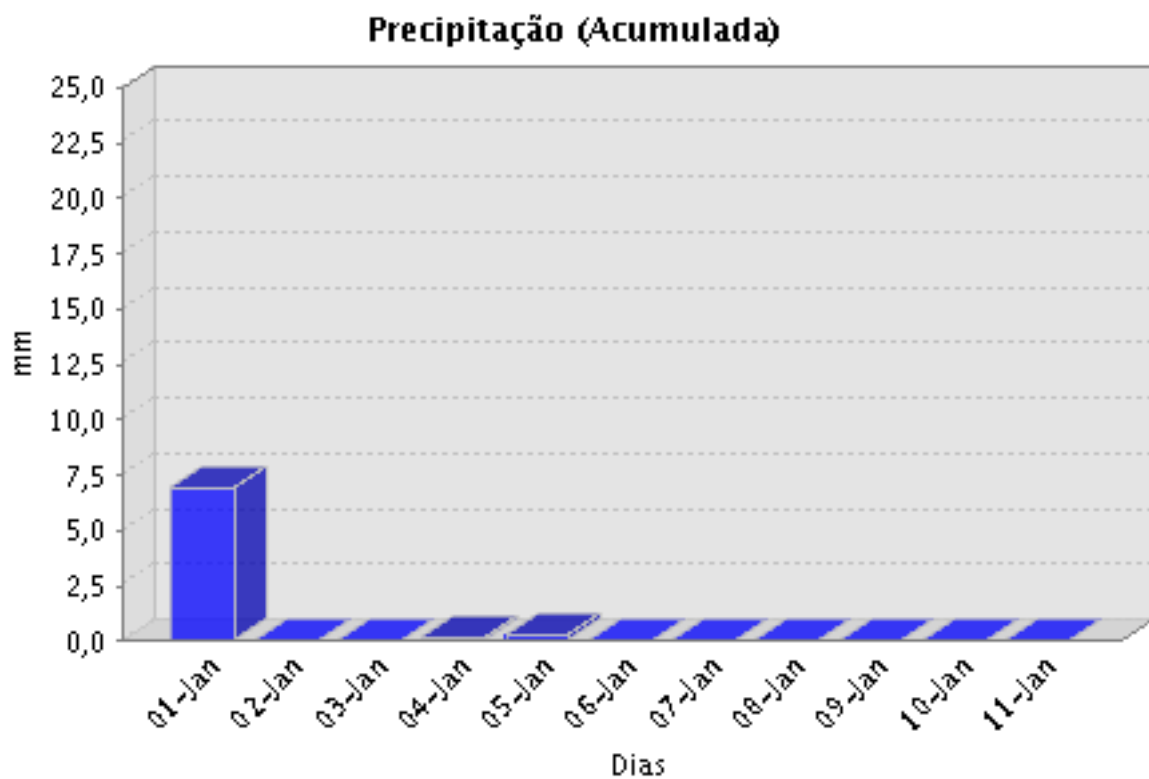


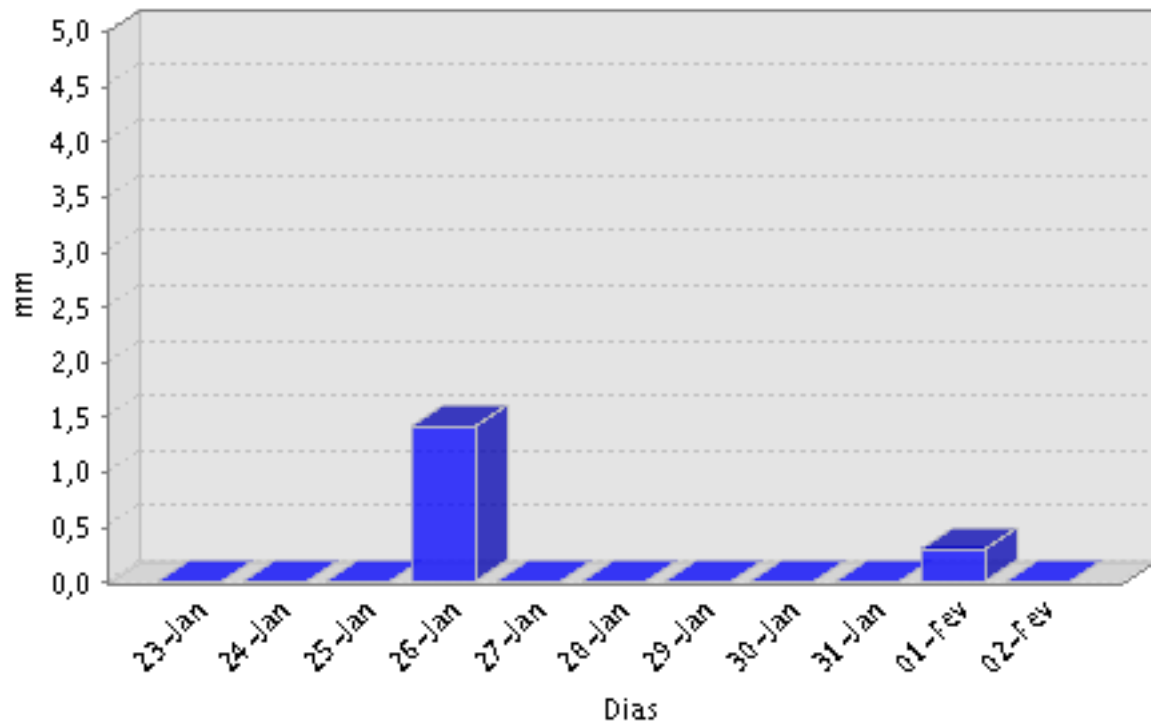
Figura XIII.10- Fotos verticais a 02-08-12.

Anexo XIV

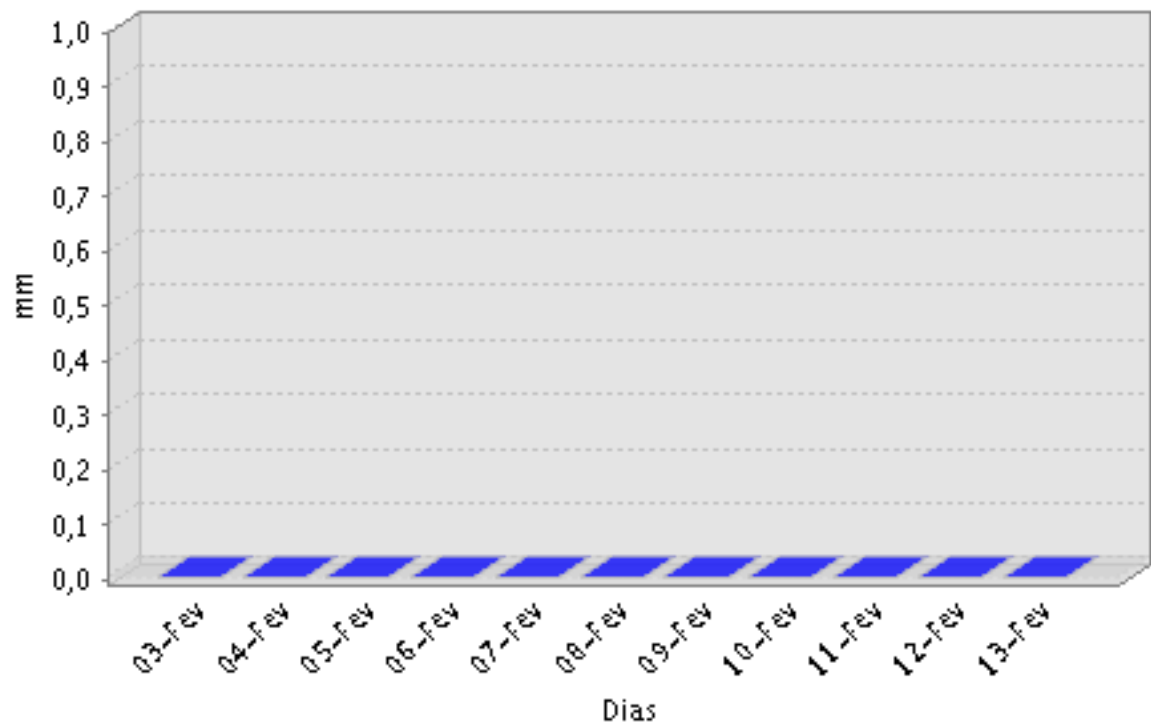
Dados precipitação estação meteorológica de Vila Real



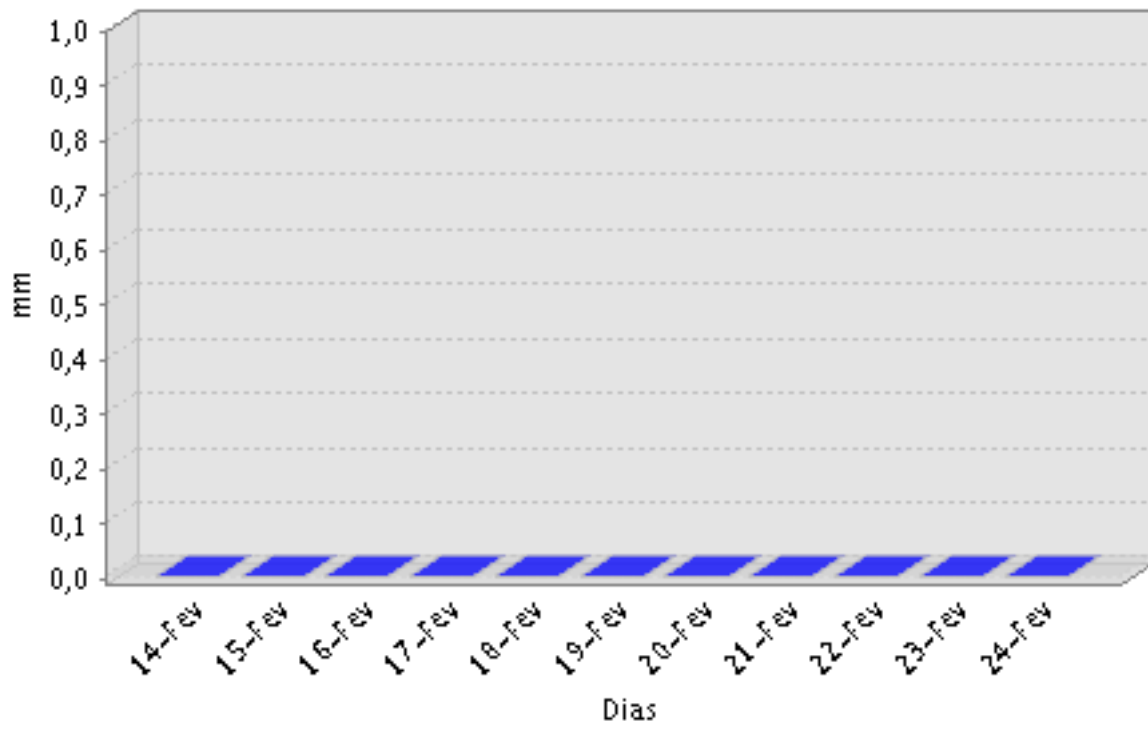
Precipitação (Acumulada)



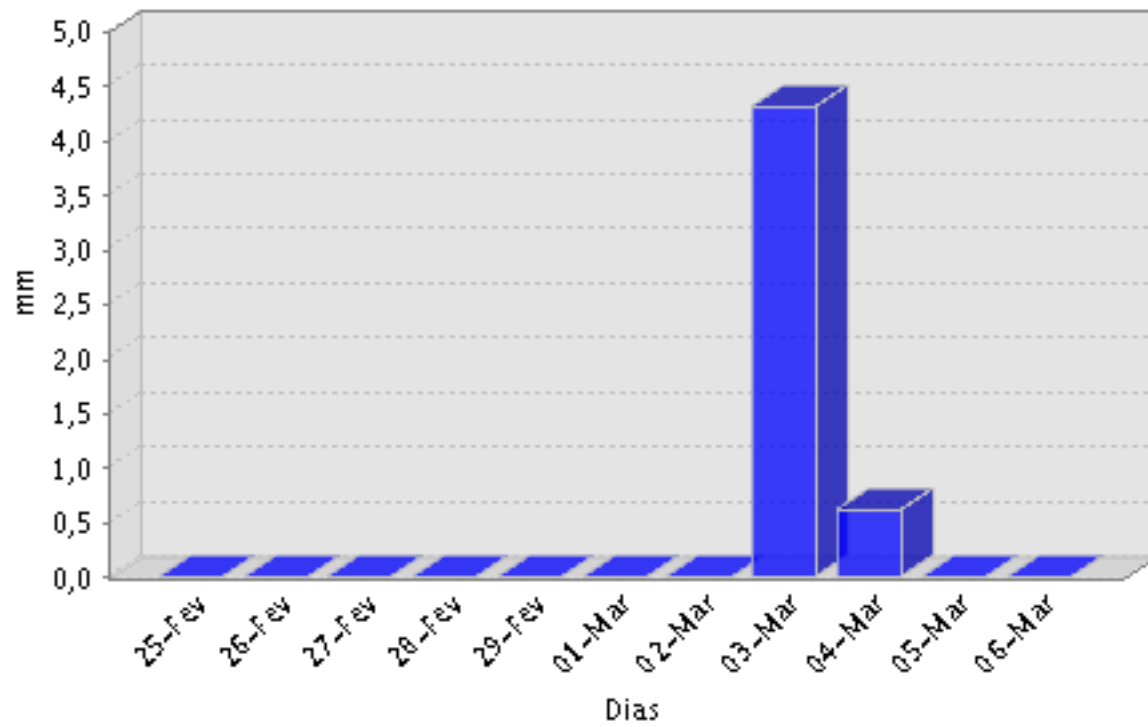
Precipitação (Acumulada)



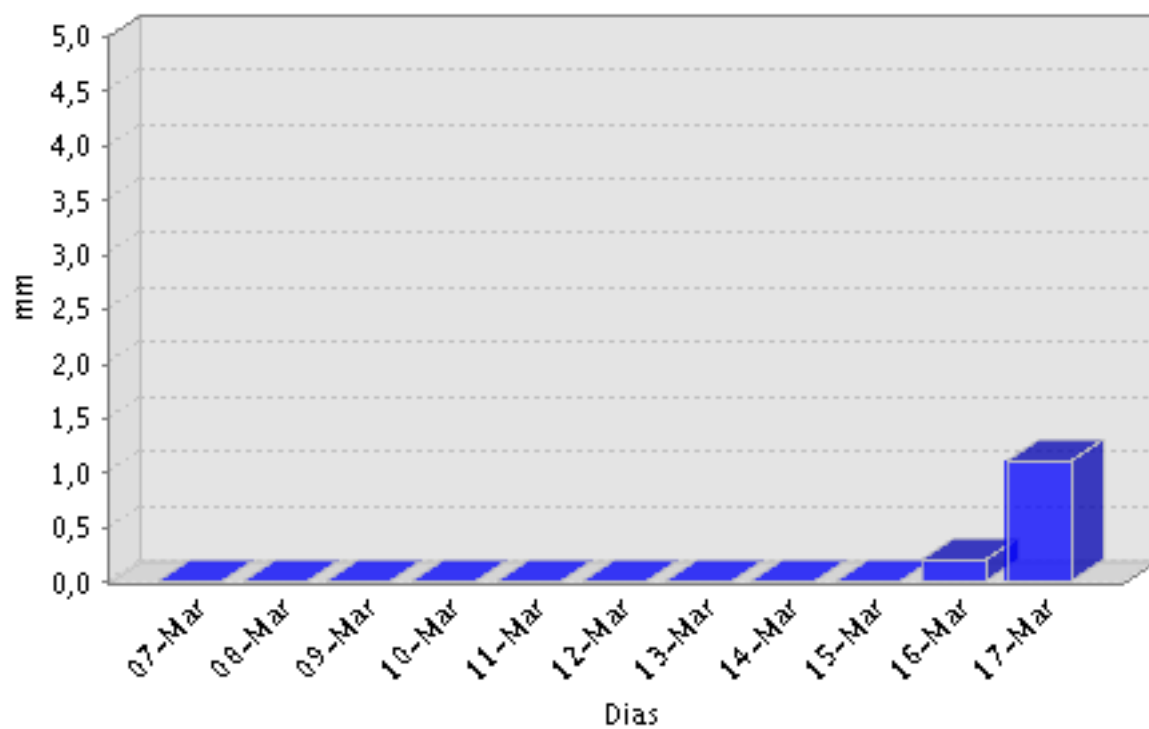
Precipitação (Acumulada)



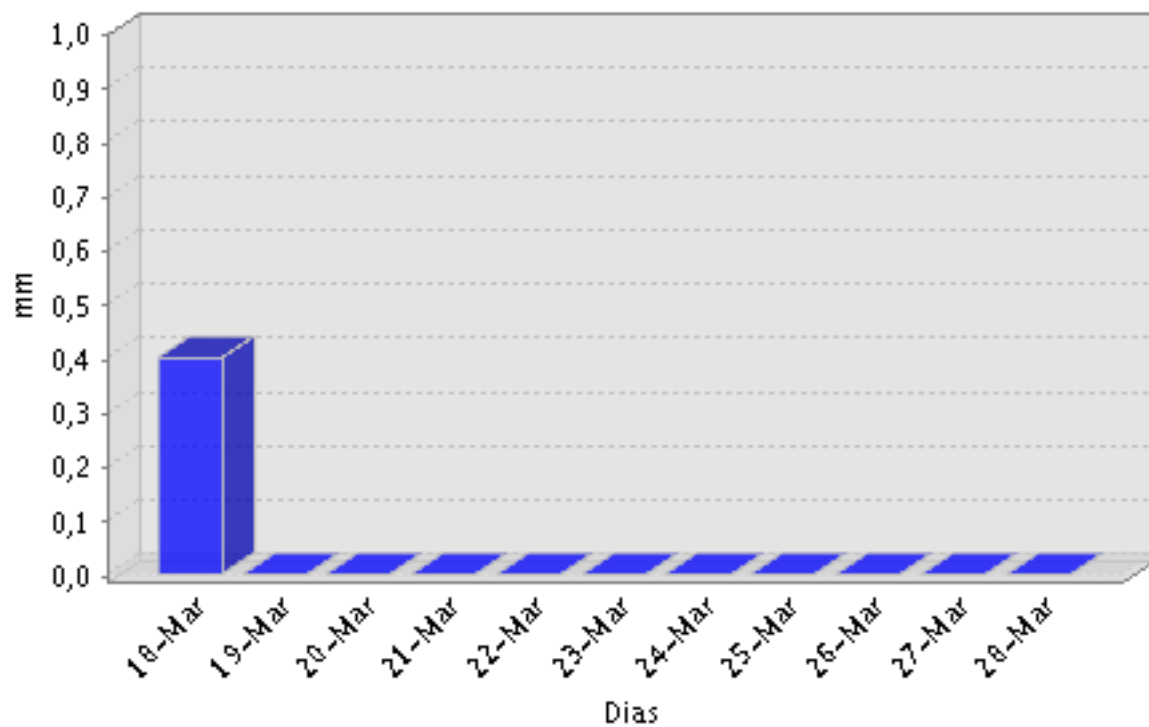
Precipitação (Acumulada)



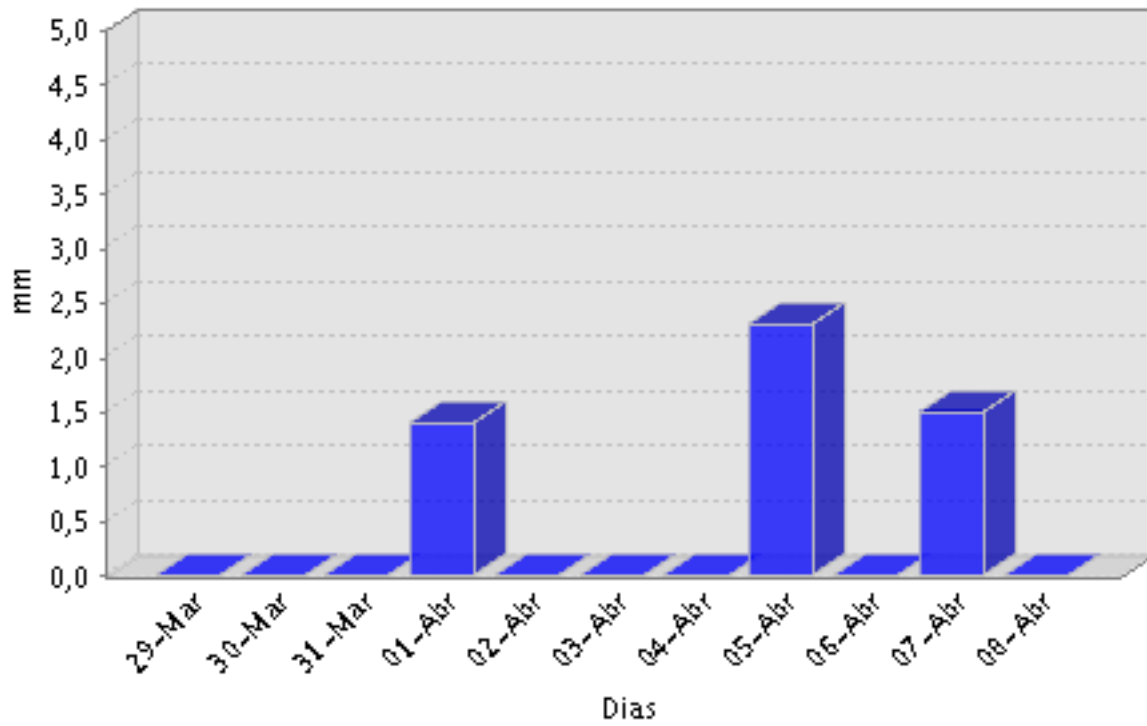
Precipitação (Acumulada)



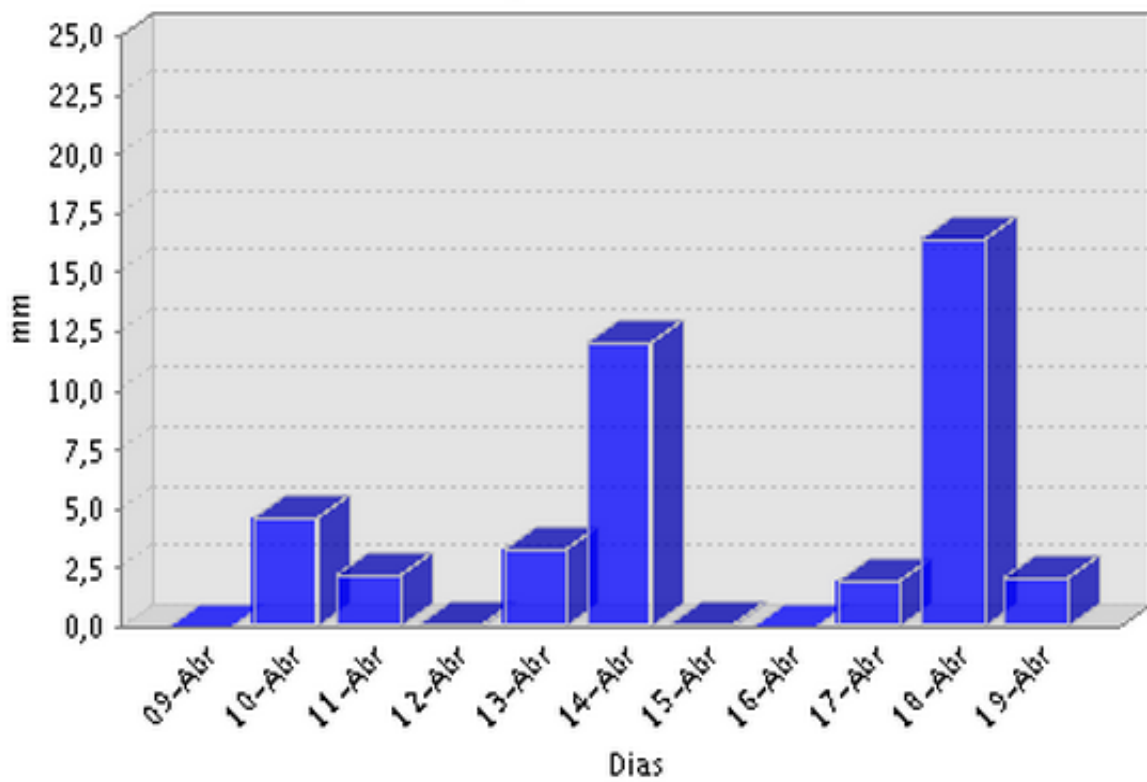
Precipitação (Acumulada)



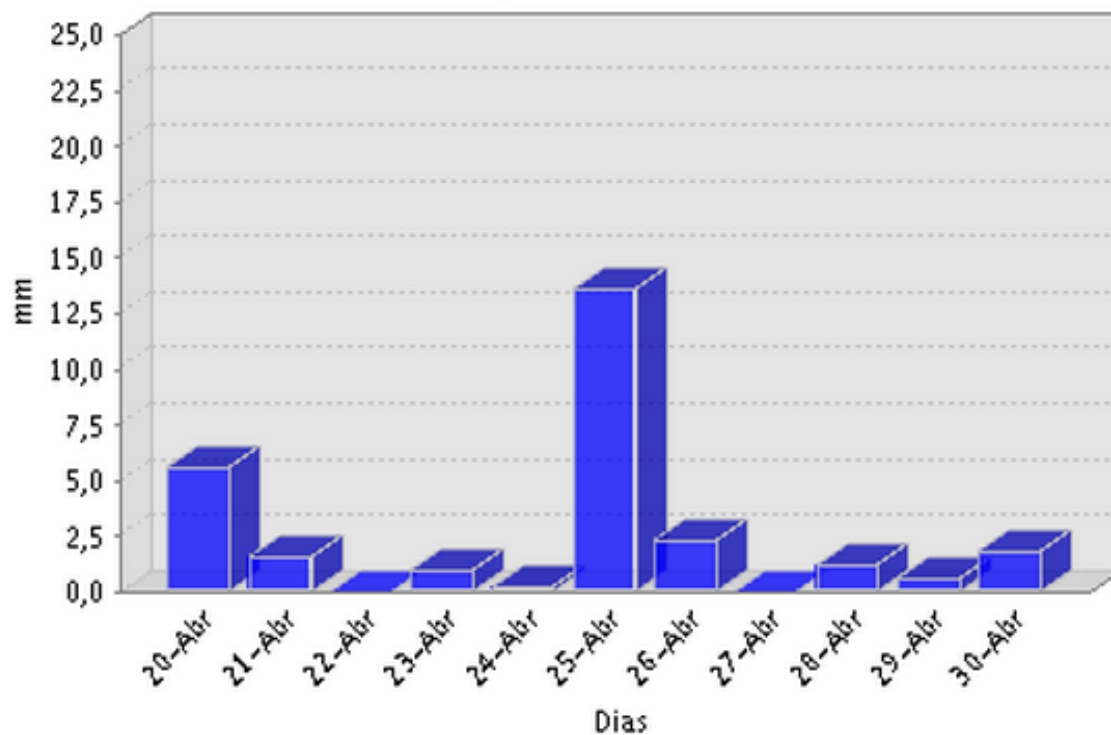
Precipitação (Acumulada)



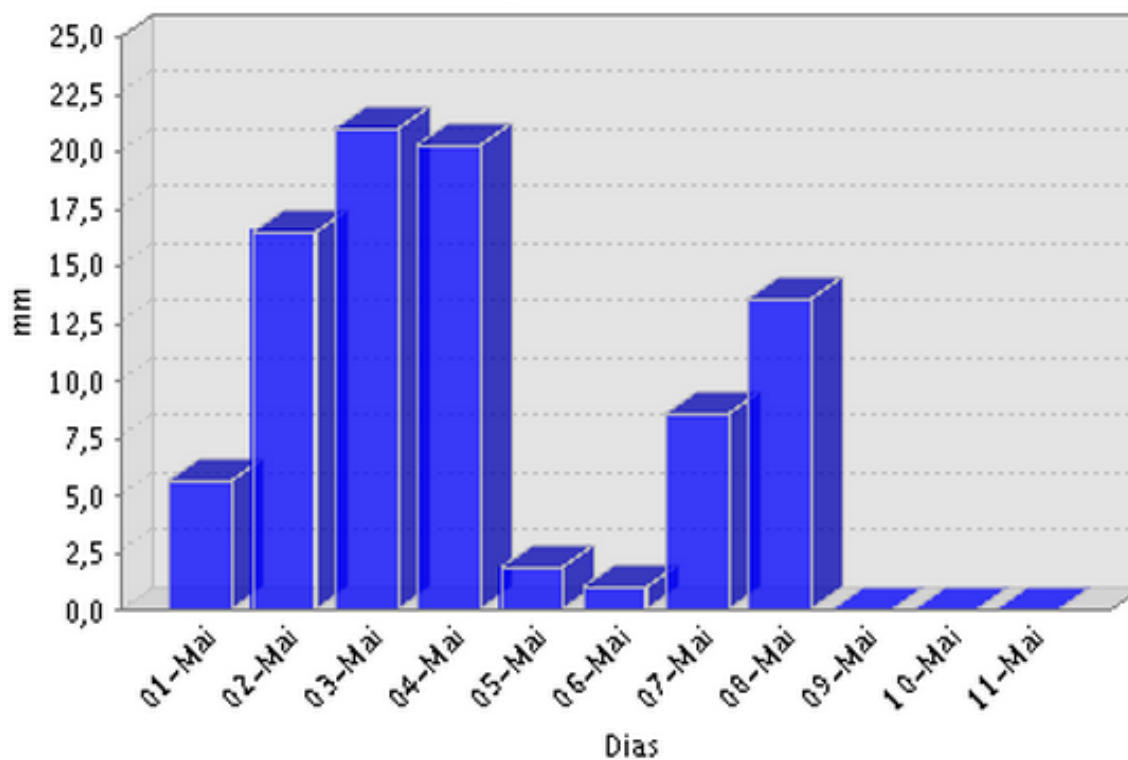
Precipitação (Acumulada)



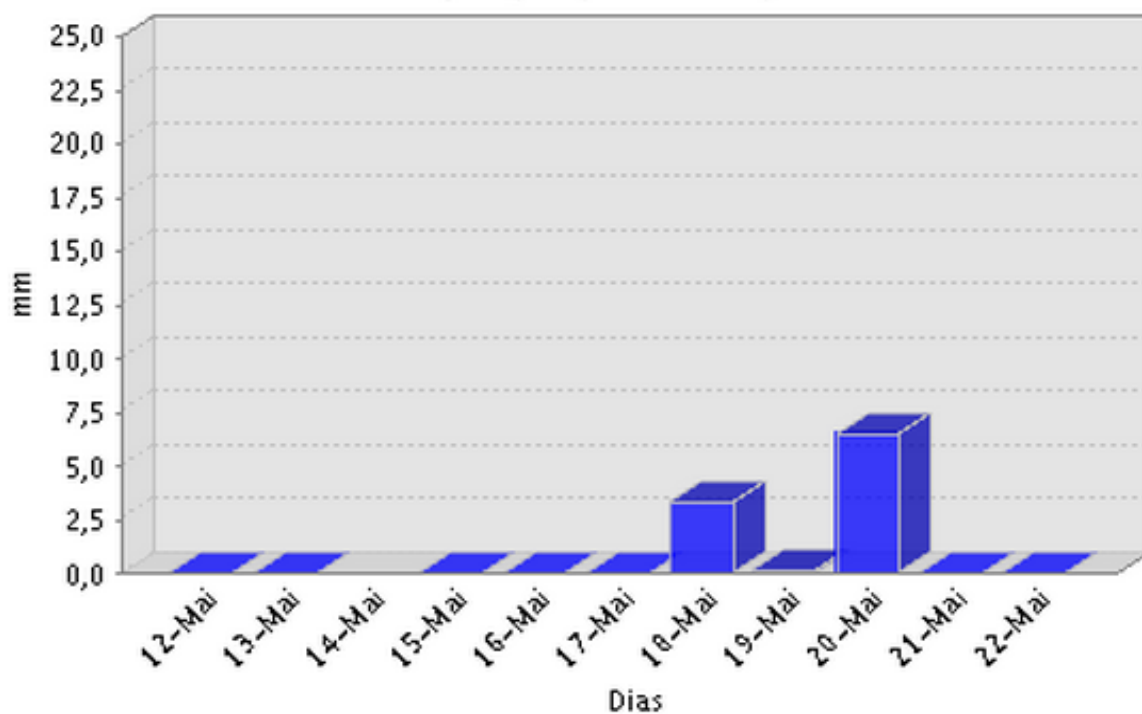
Precipitação (Acumulada)



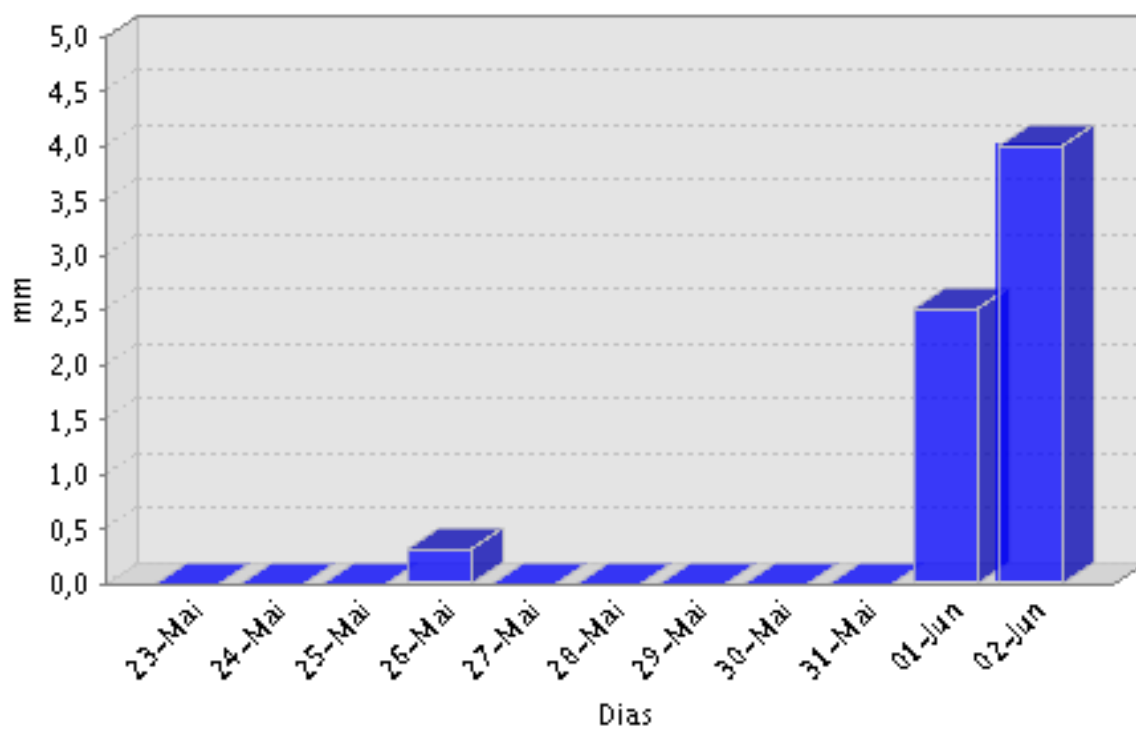
Precipitação (Acumulada)



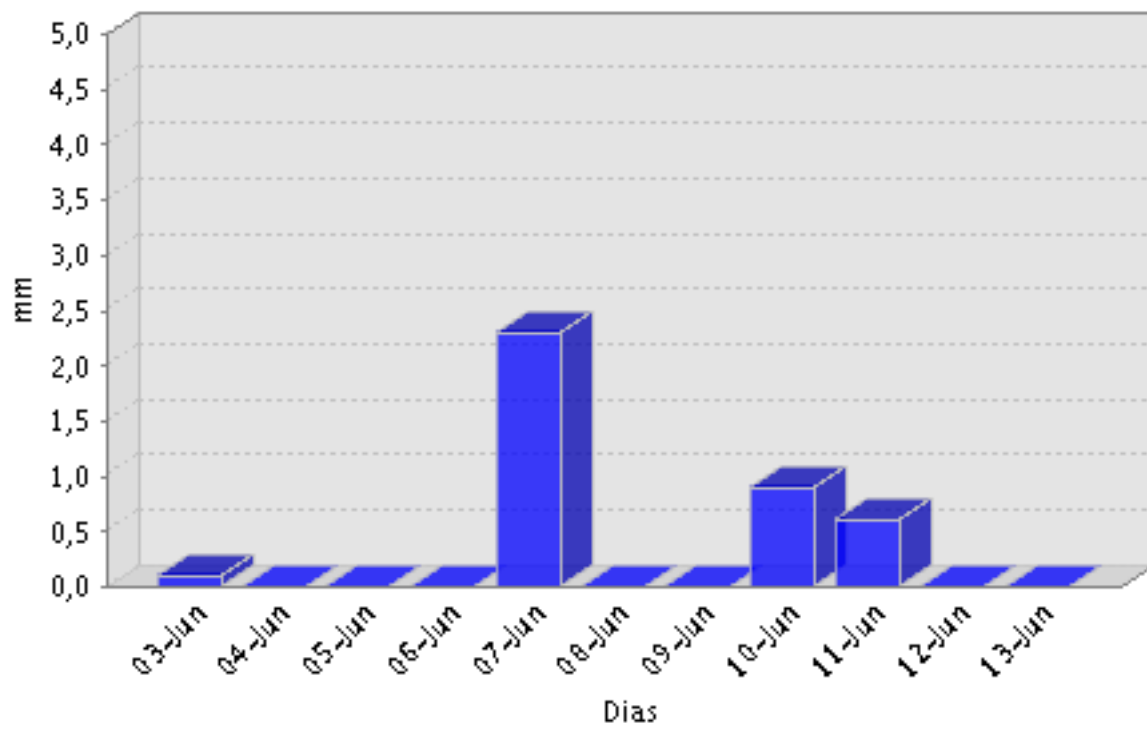
Precipitação (Acumulada)



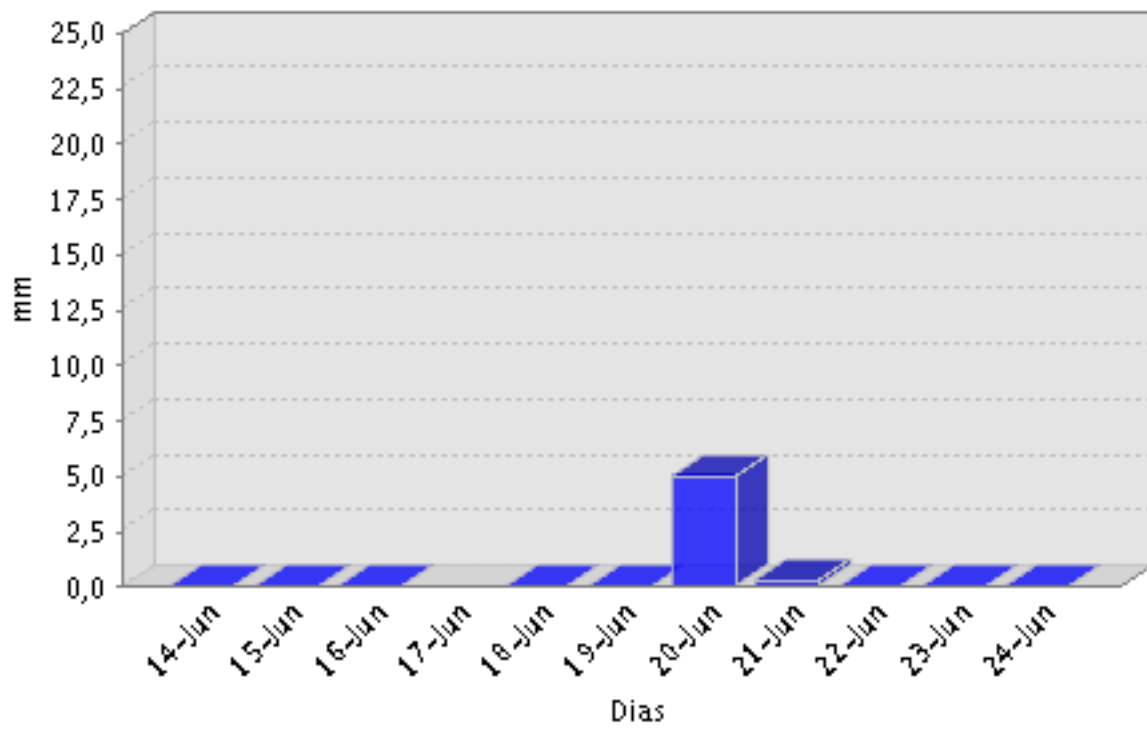
Precipitação (Acumulada)



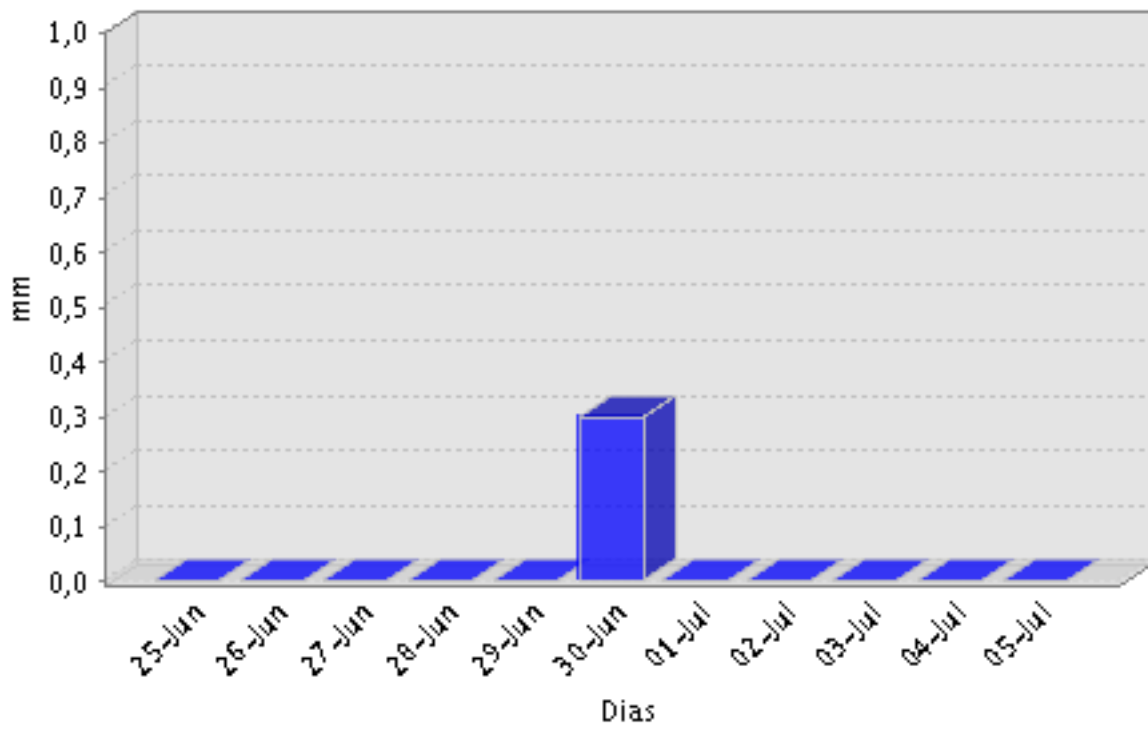
Precipitação (Acumulada)



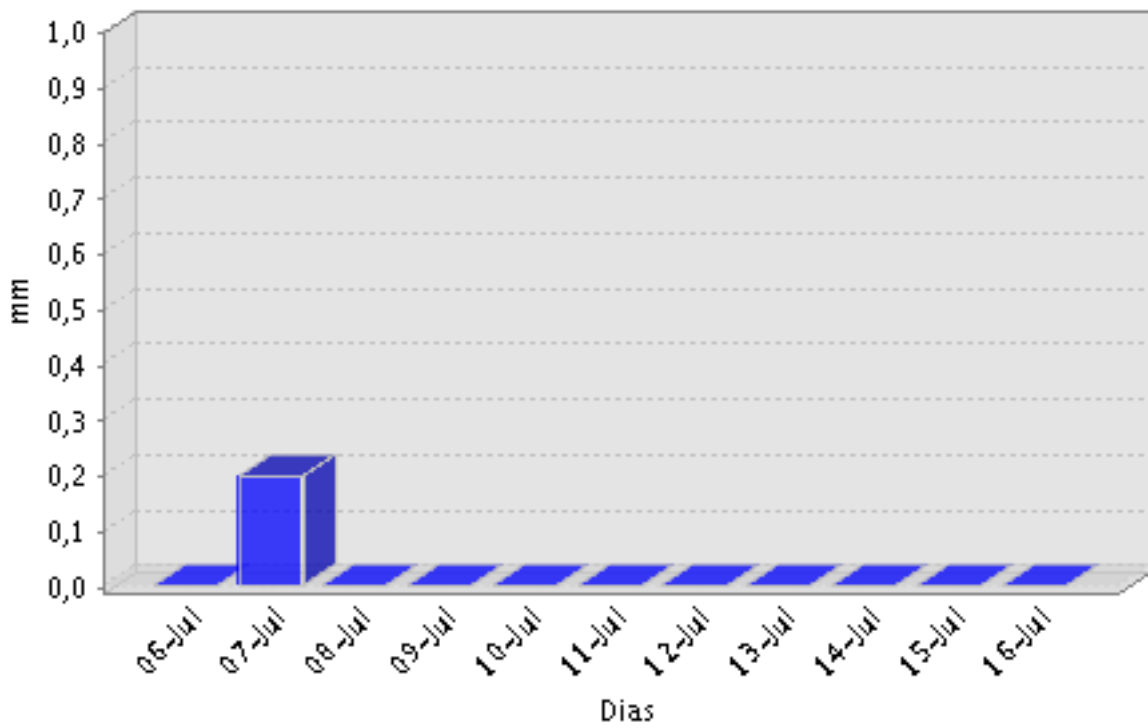
Precipitação (Acumulada)



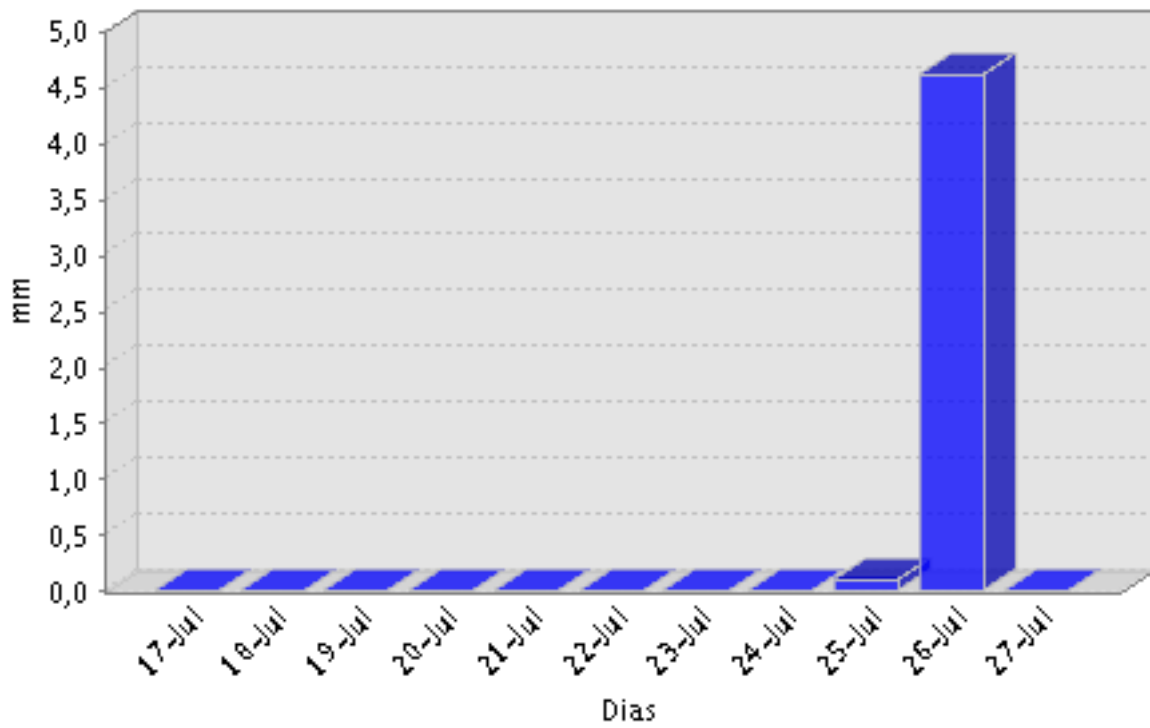
Precipitação (Acumulada)



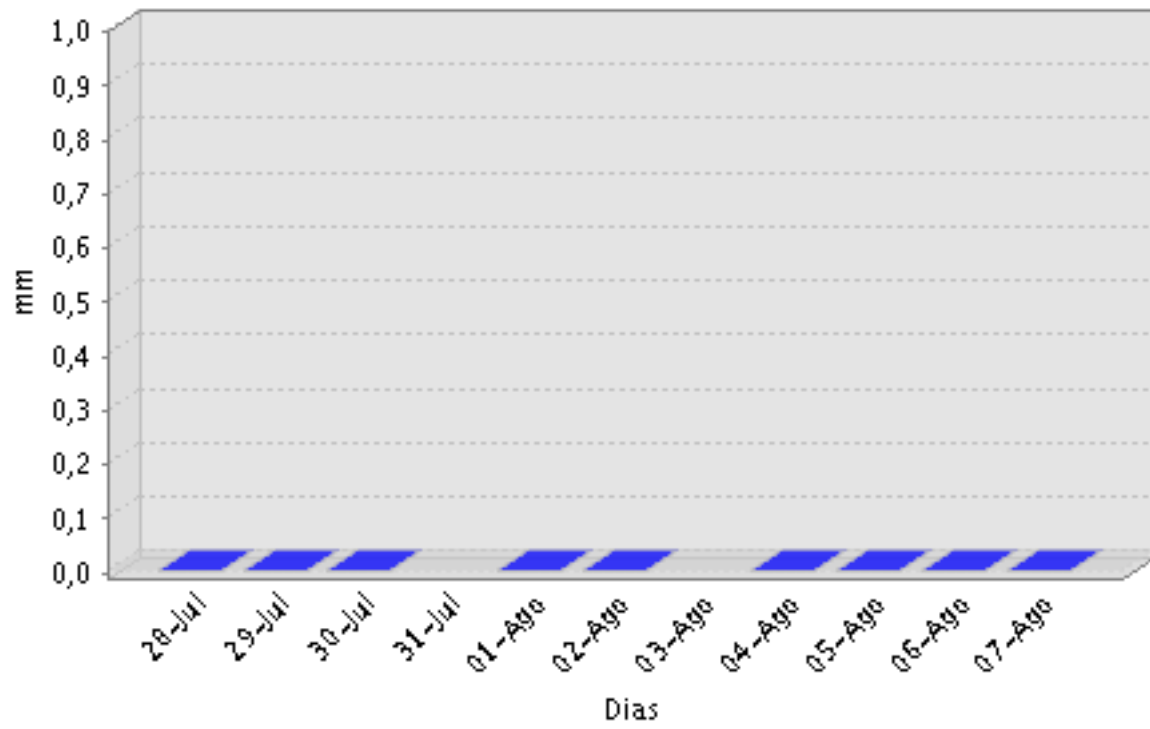
Precipitação (Acumulada)



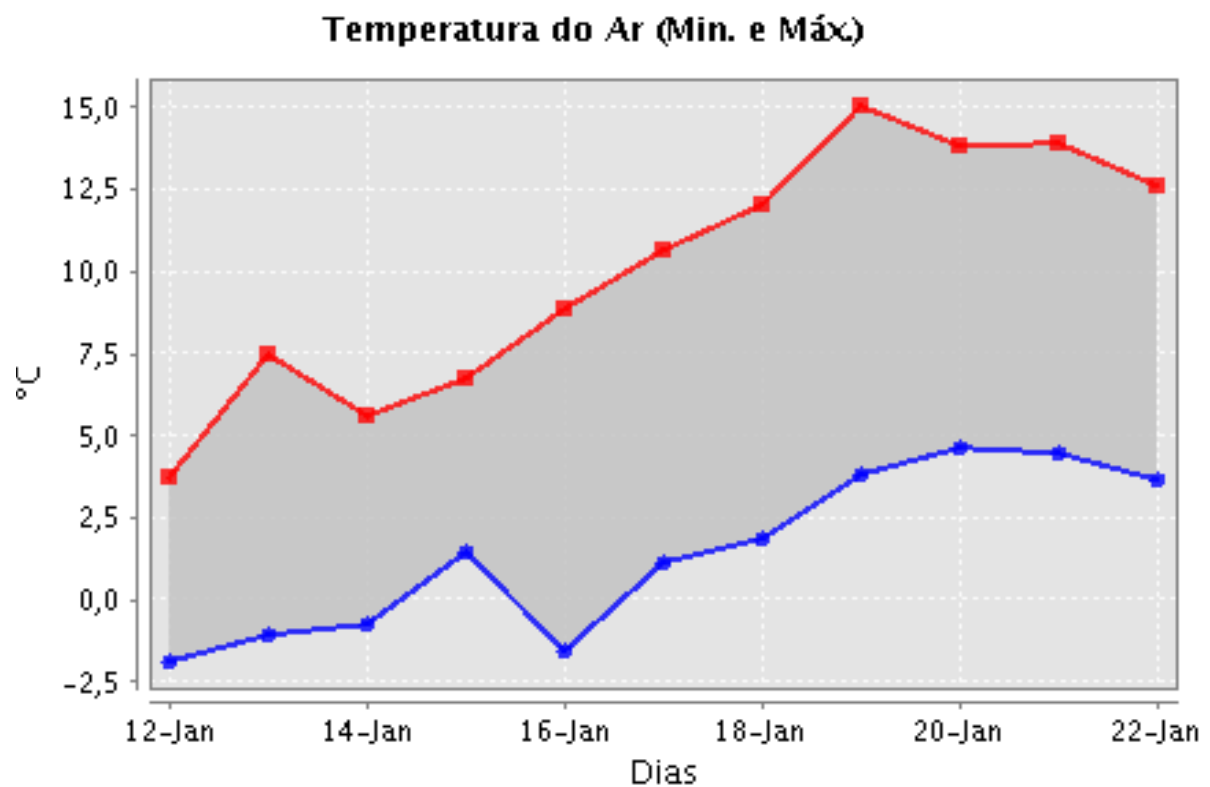
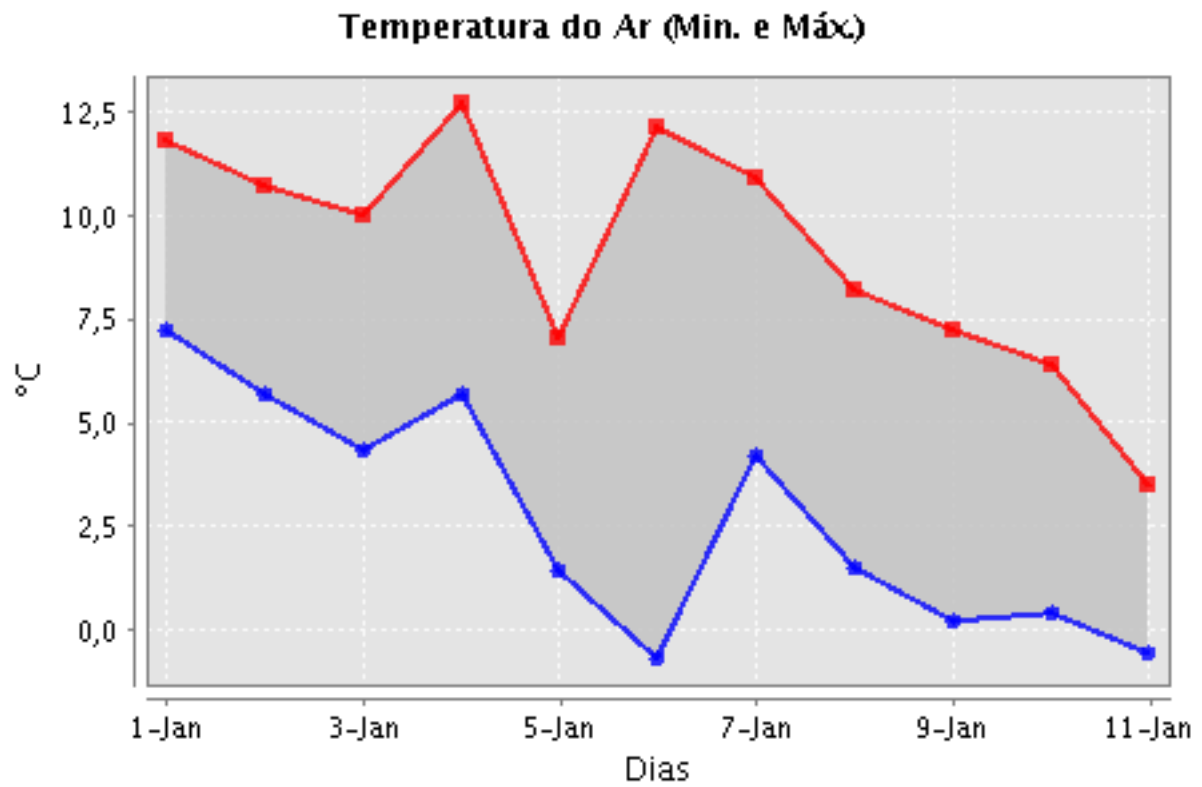
Precipitação (Acumulada)



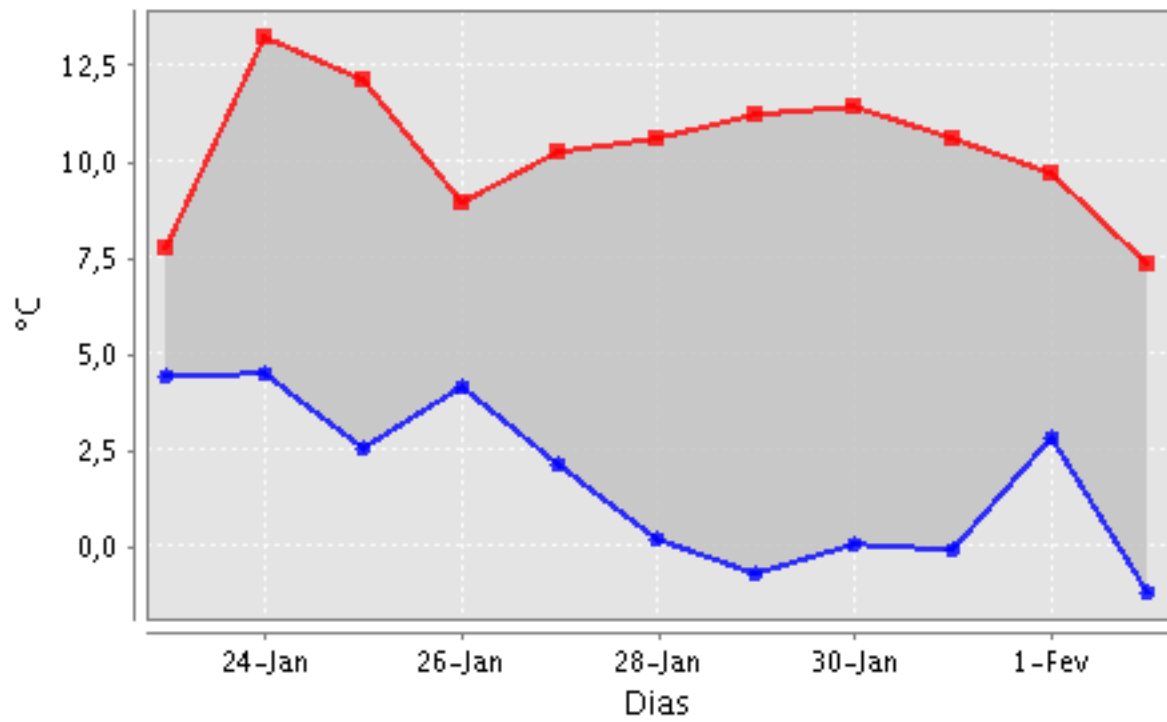
Precipitação (Acumulada)



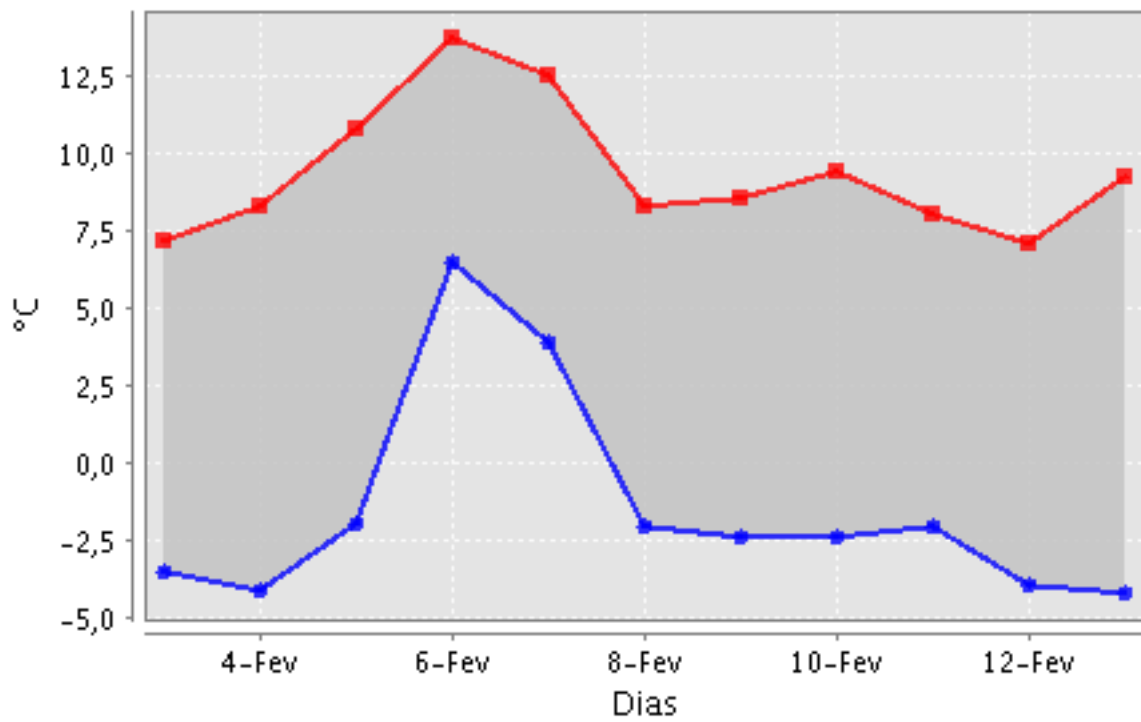
Dados temperatura estação meteorológica de Vila Real



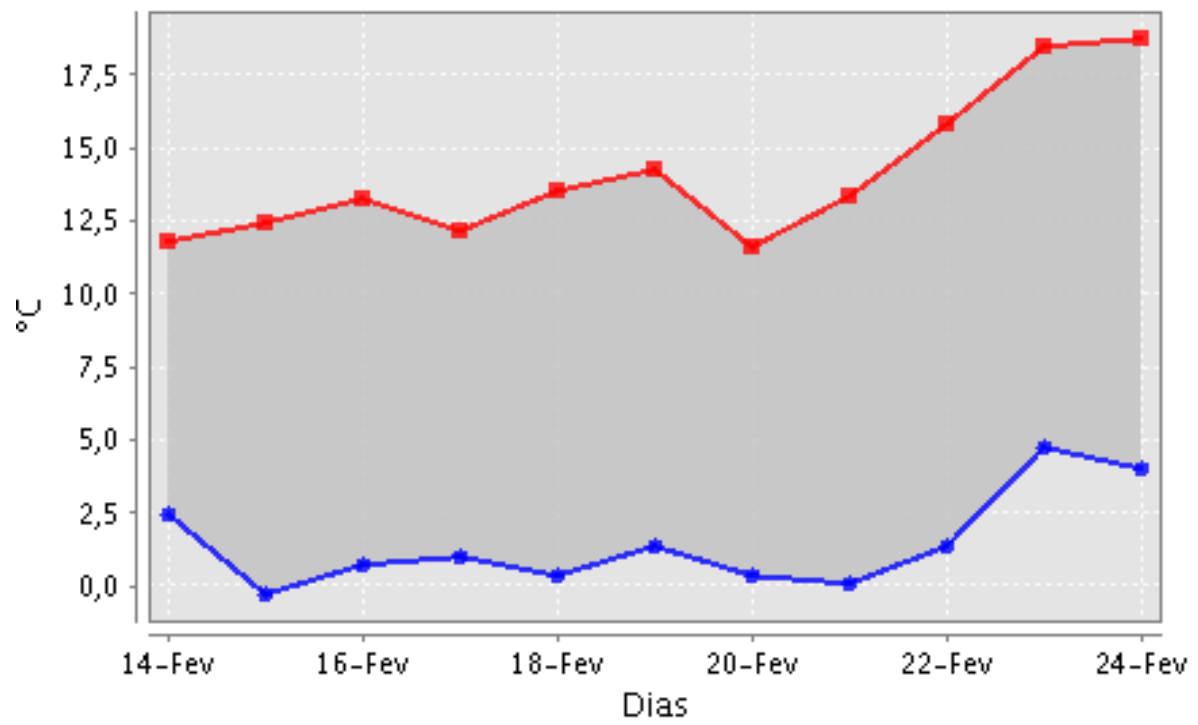
Temperatura do Ar (Min. e Máx)



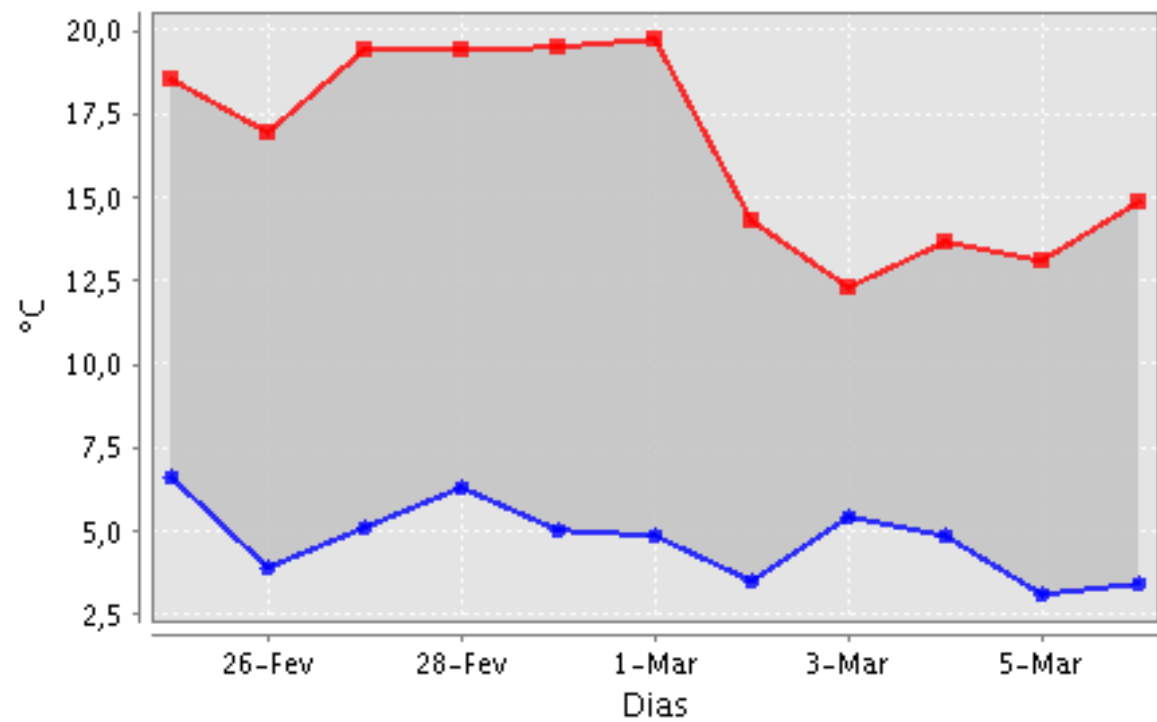
Temperatura do Ar (Min. e Máx)



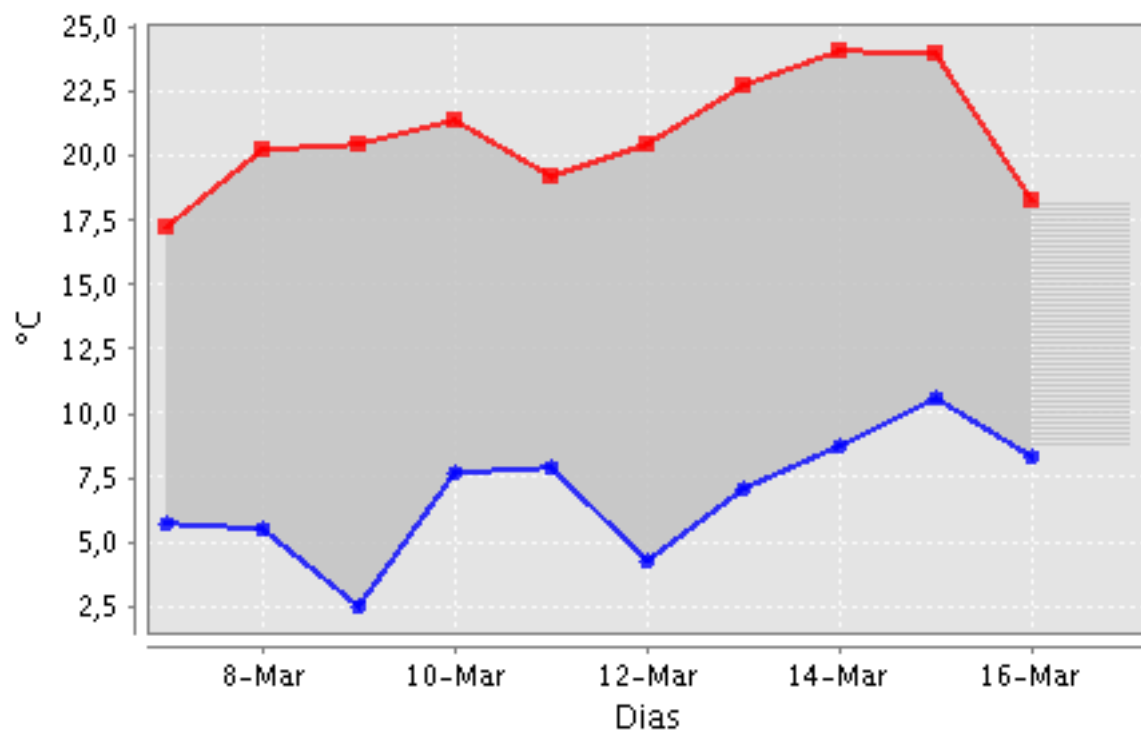
Temperatura do Ar (Min. e Máx)



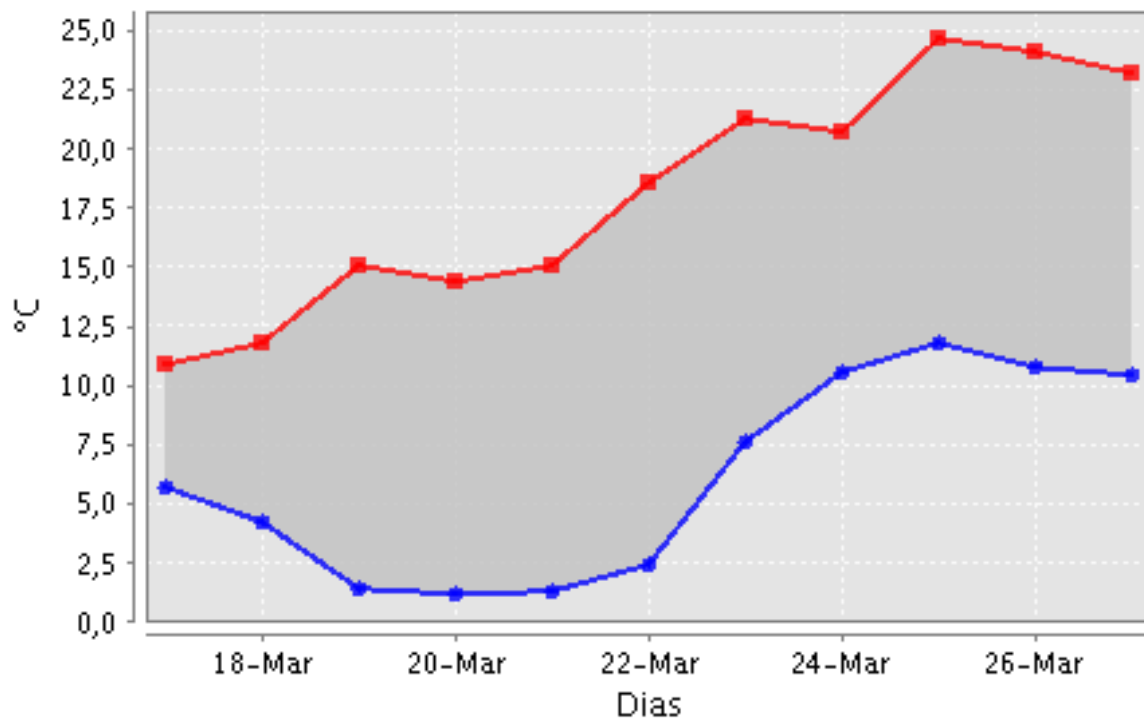
Temperatura do Ar (Min. e Máx)



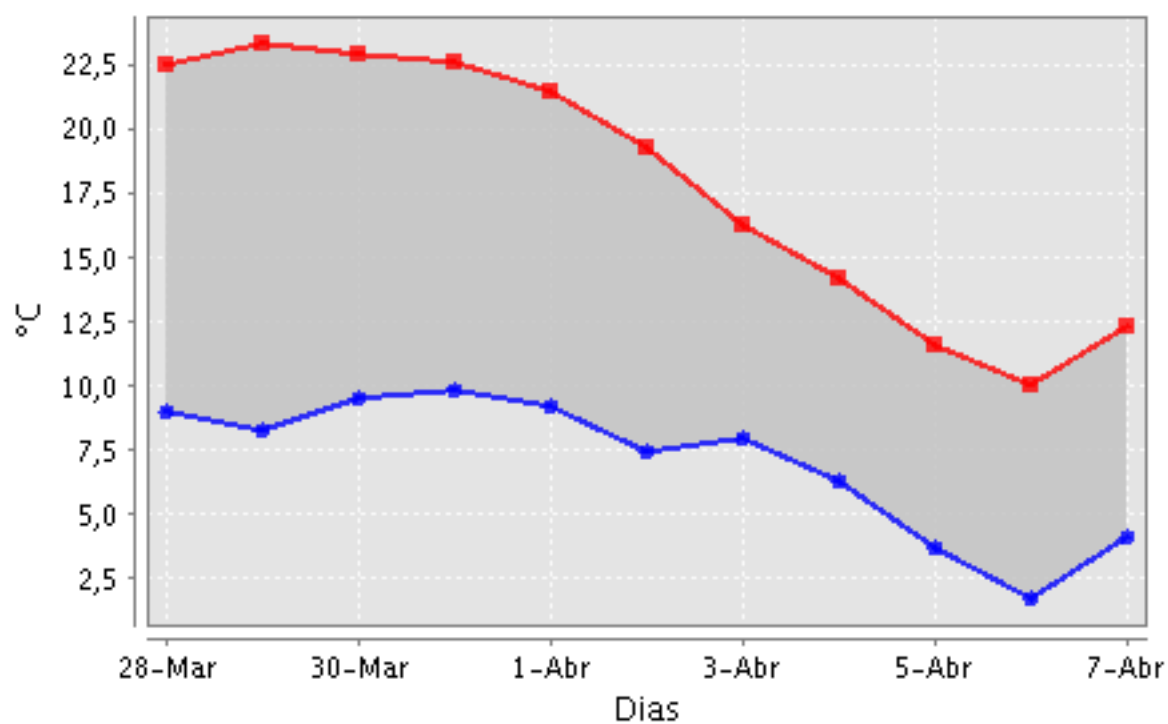
Temperatura do Ar (Min. e Máx)



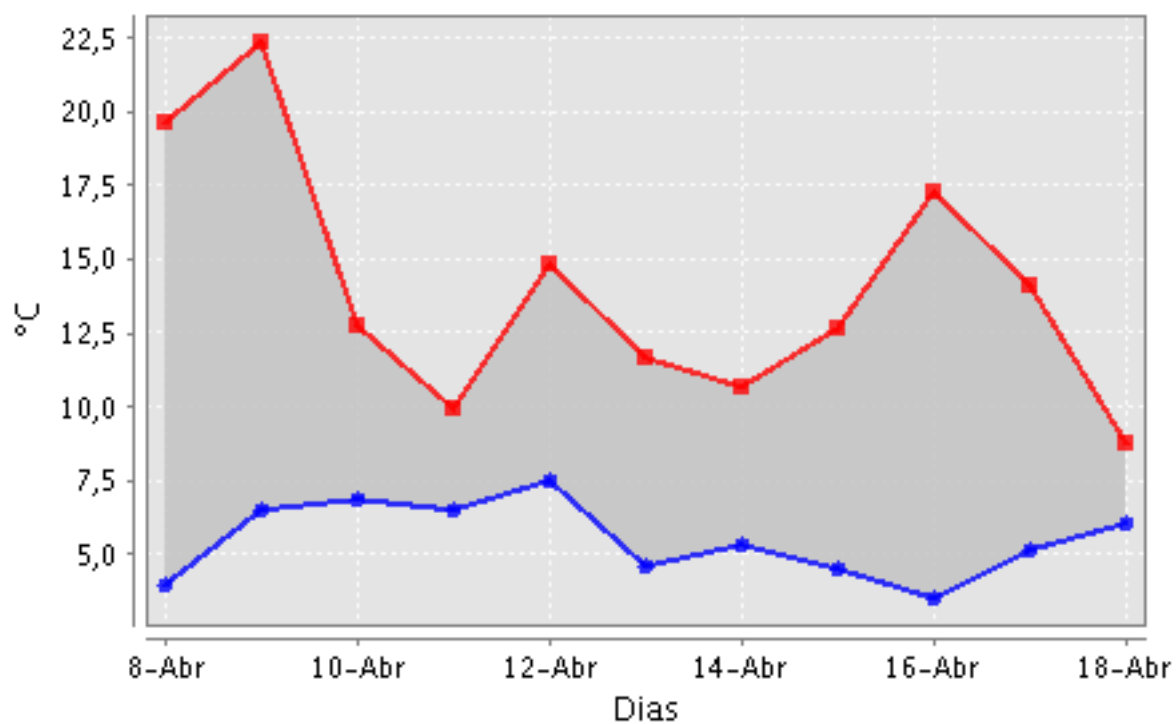
Temperatura do Ar (Min. e Máx)



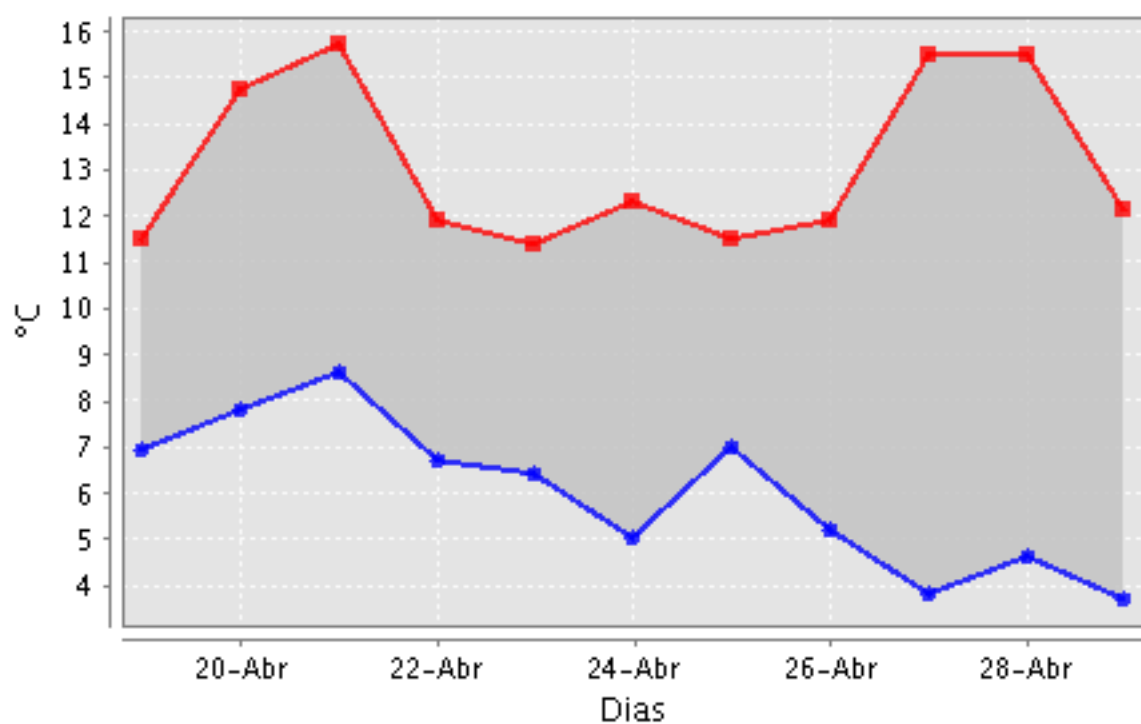
Temperatura do Ar (Min. e Máx)



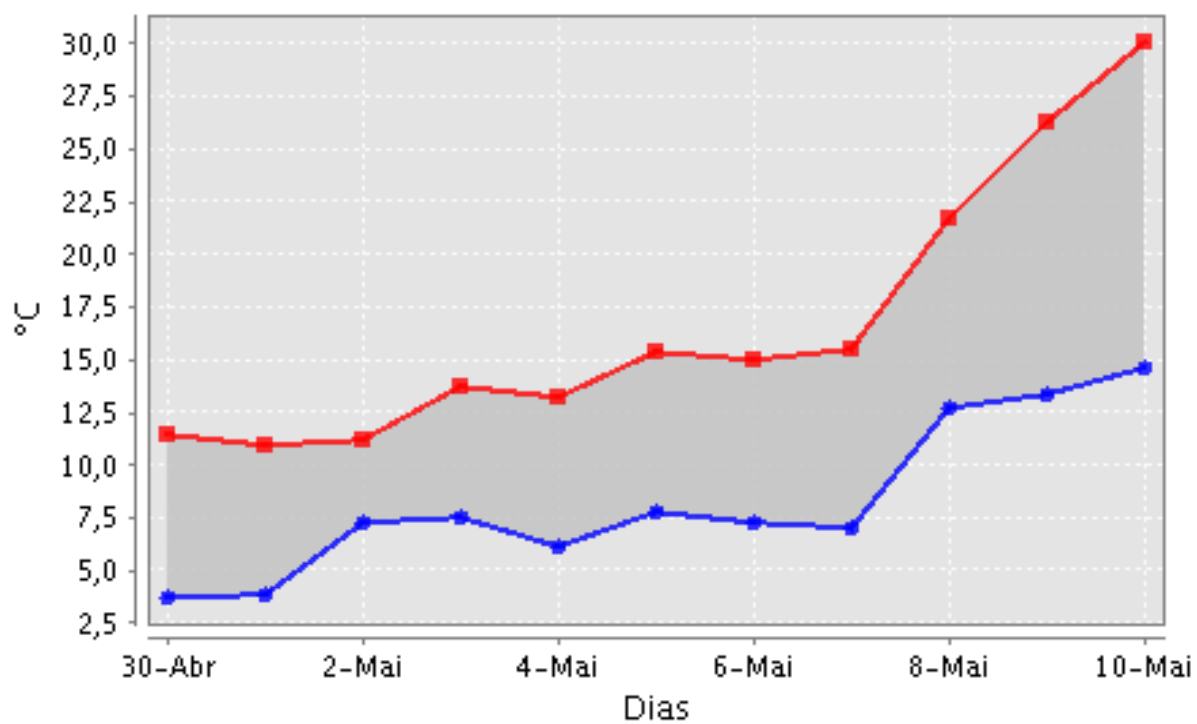
Temperatura do Ar (Min. e Máx)



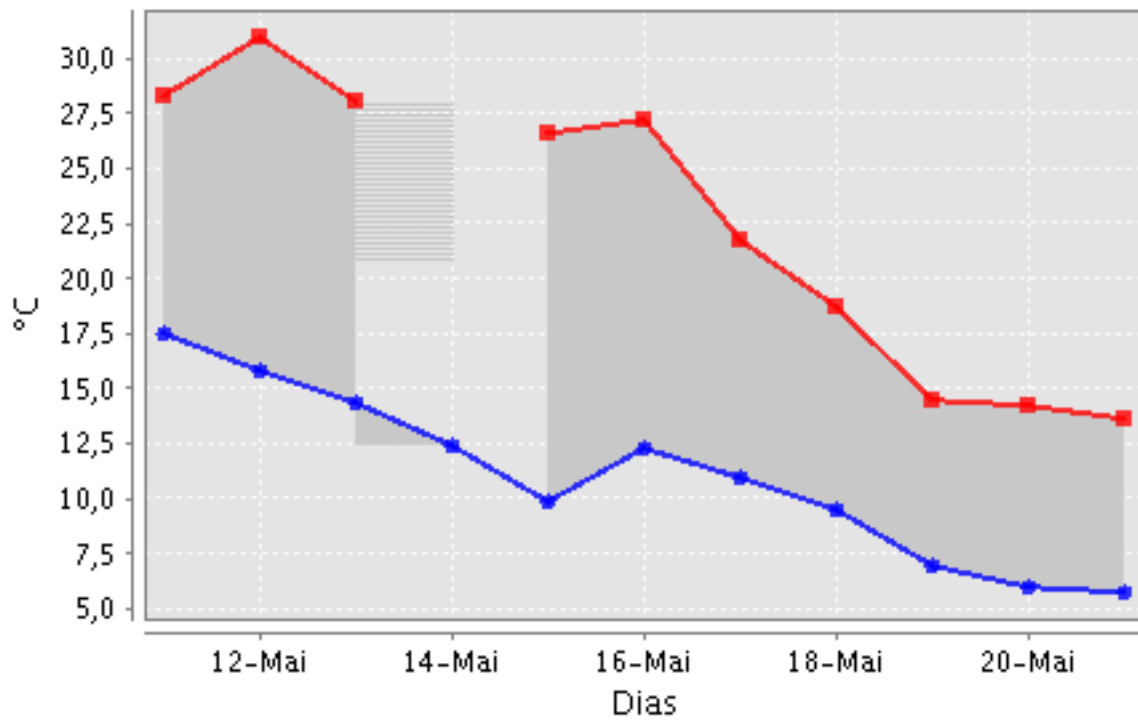
Temperatura do Ar (Min. e Máx.)



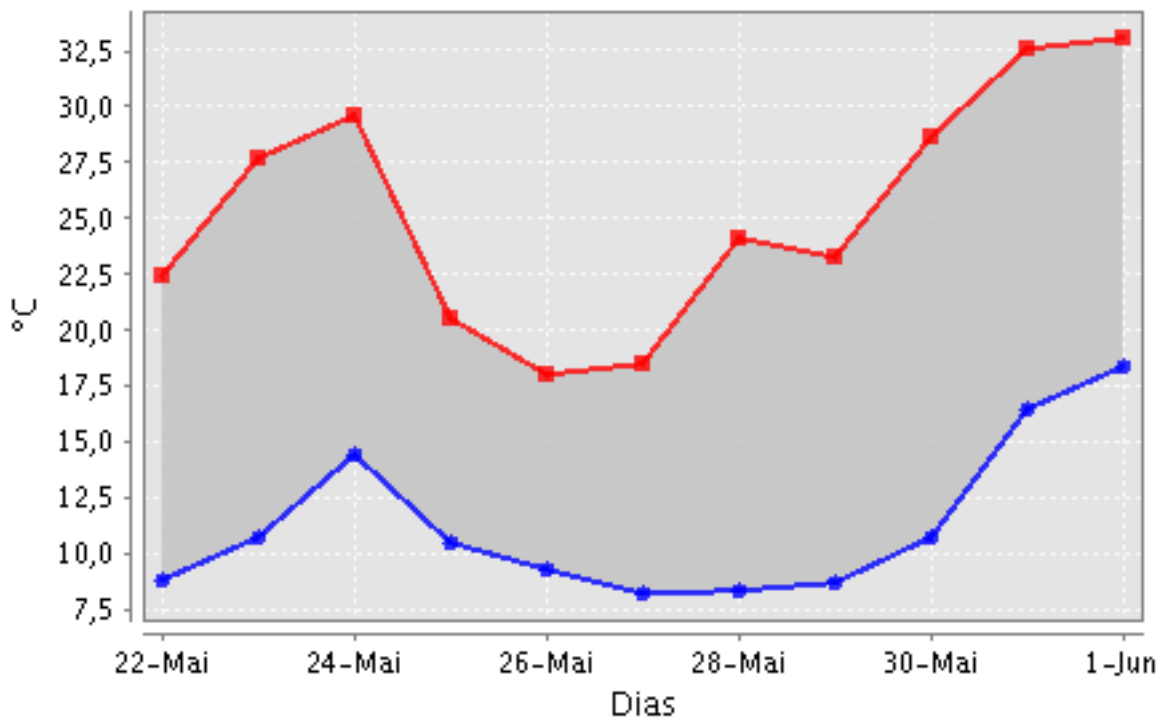
Temperatura do Ar (Min. e Máx.)



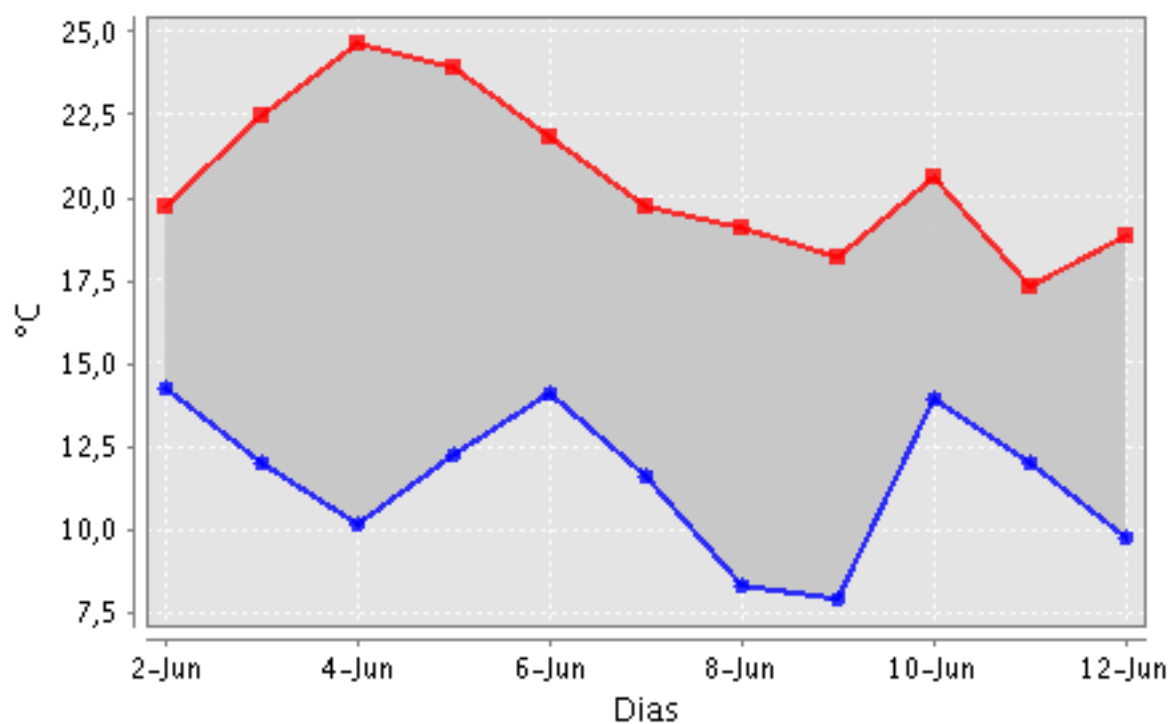
Temperatura do Ar (Min. e Máx)



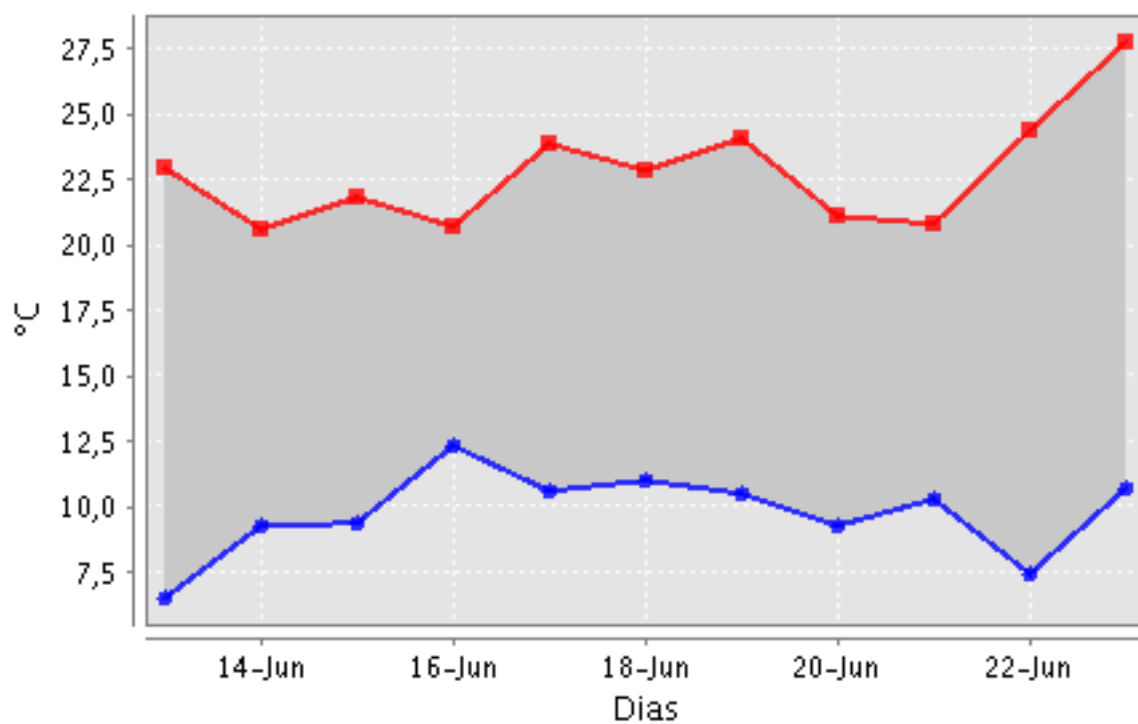
Temperatura do Ar (Min. e Máx)



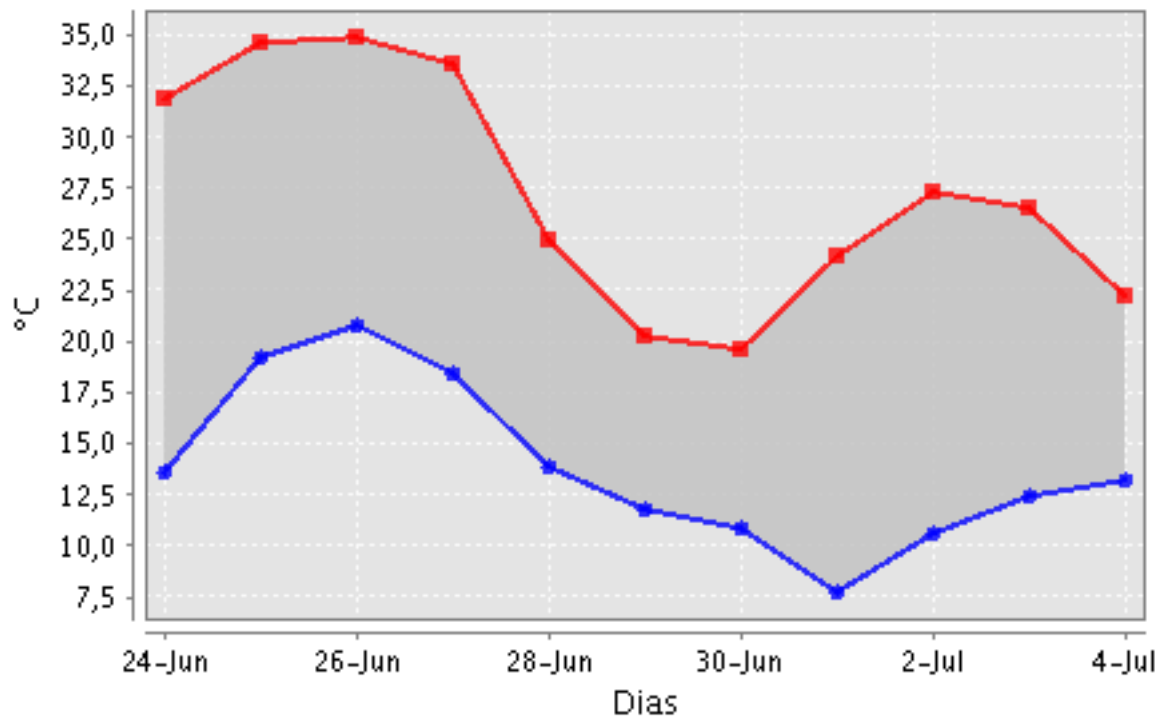
Temperatura do Ar (Min. e Máx)



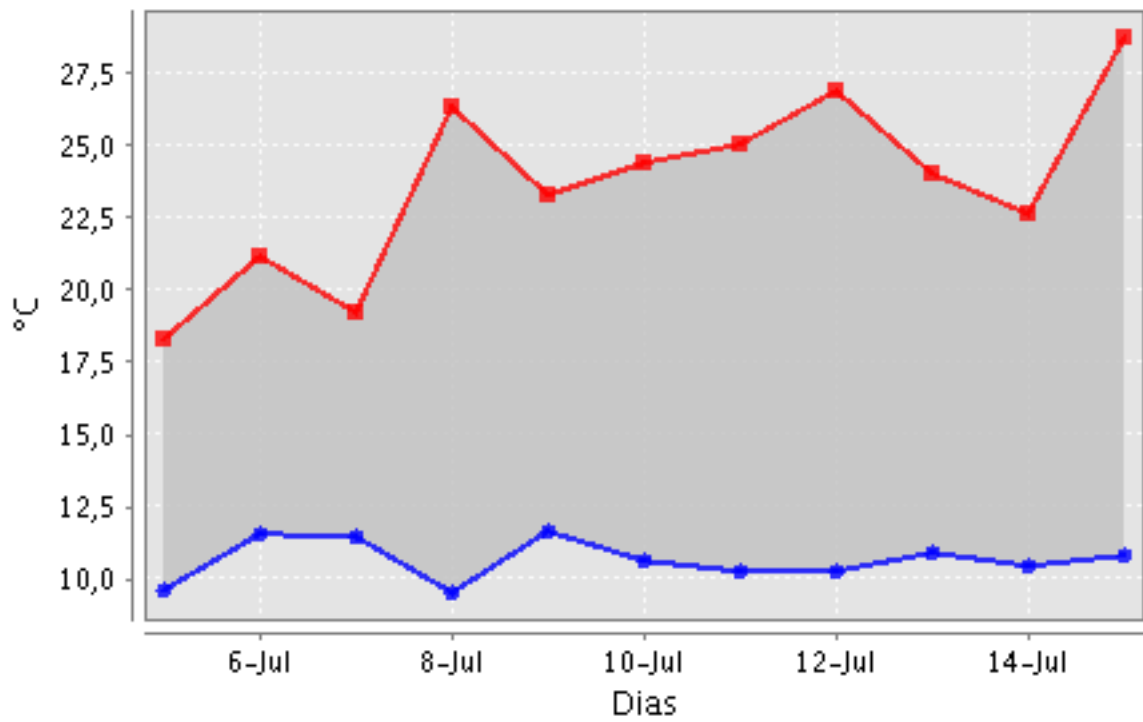
Temperatura do Ar (Min. e Máx)



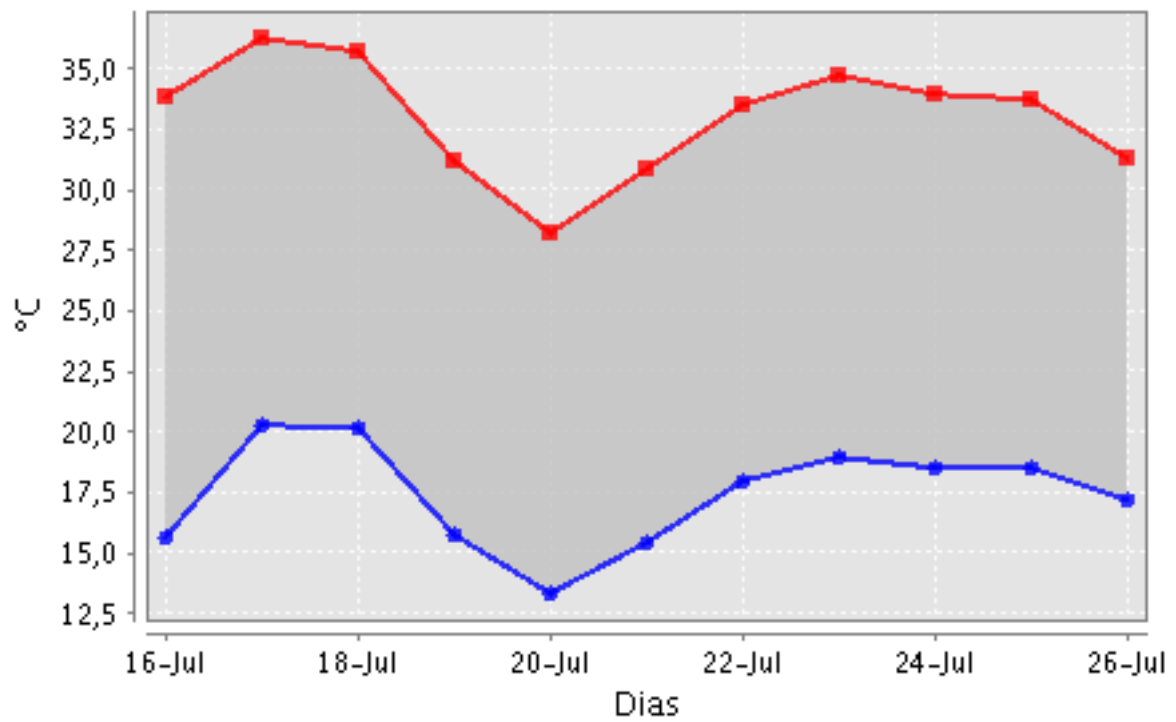
Temperatura do Ar (Min. e Máx)



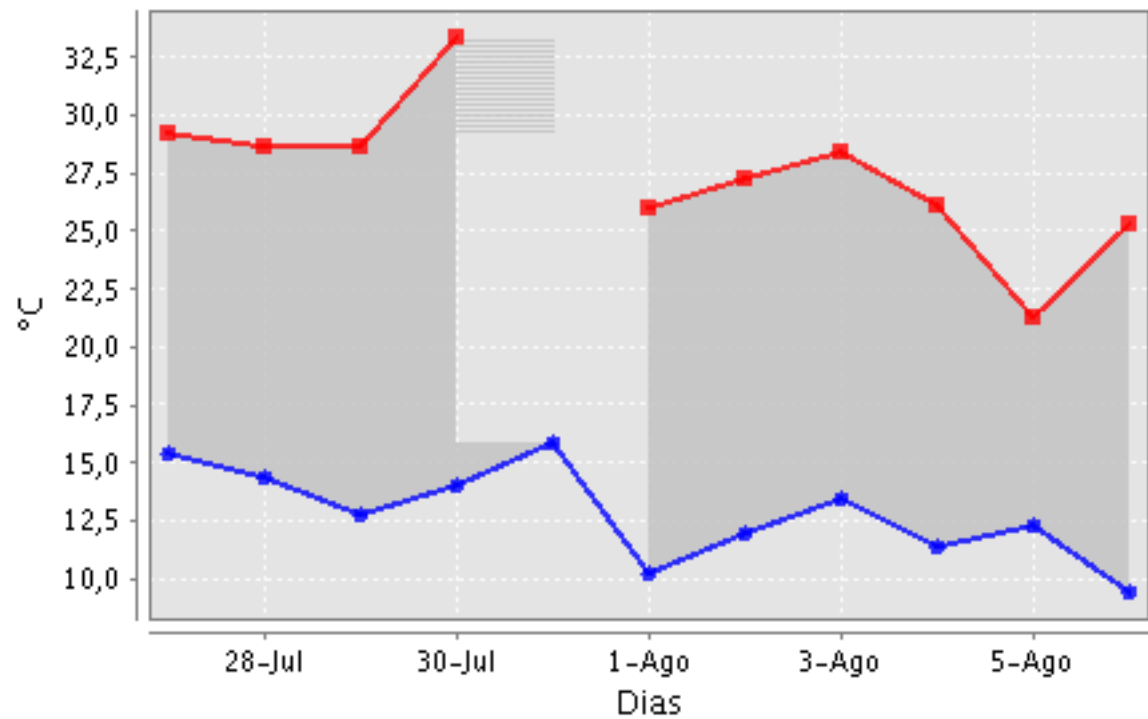
Temperatura do Ar (Min. e Máx)



Temperatura do Ar (Min. e Máx)



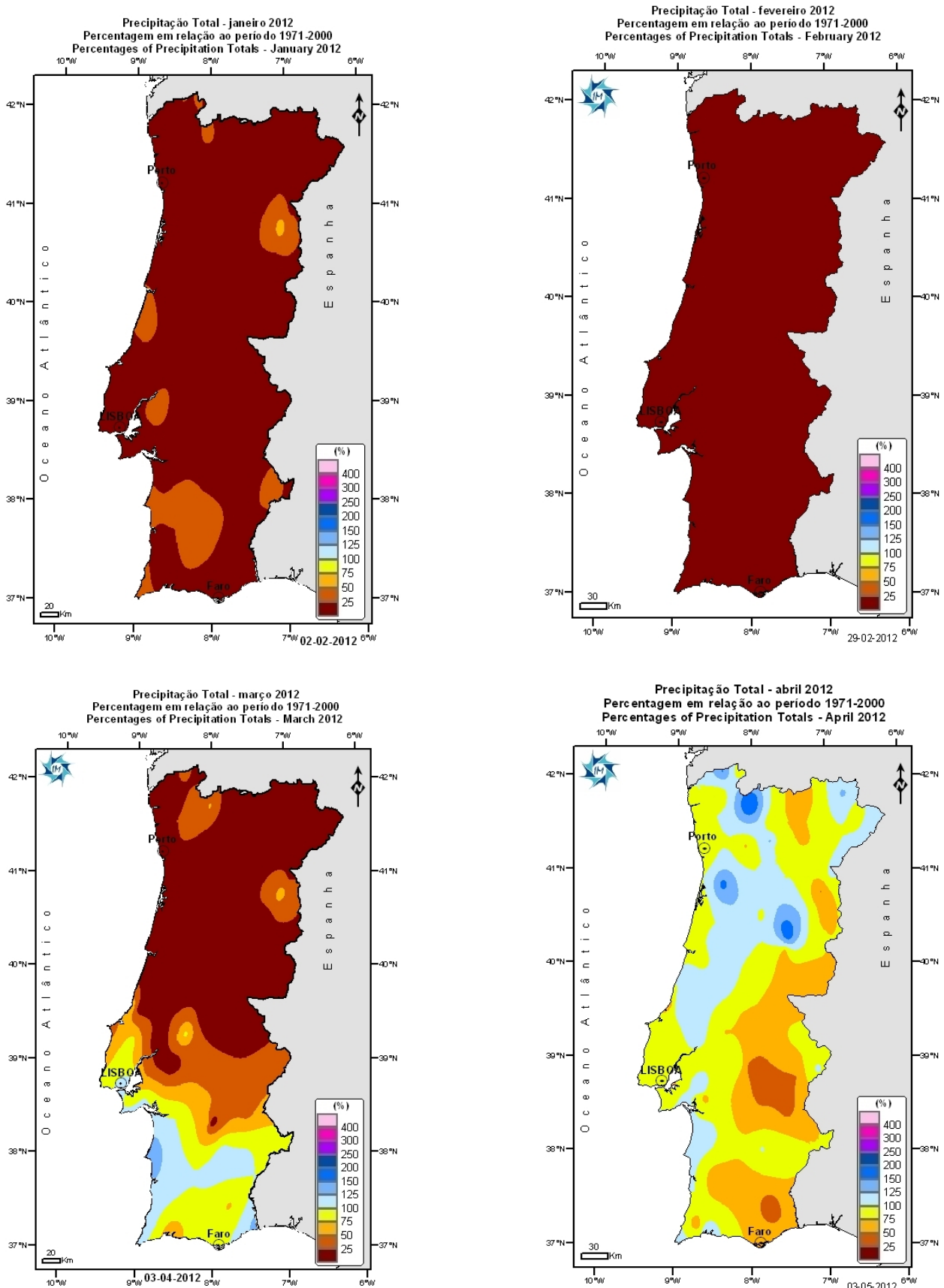
Temperatura do Ar (Min. e Máx)



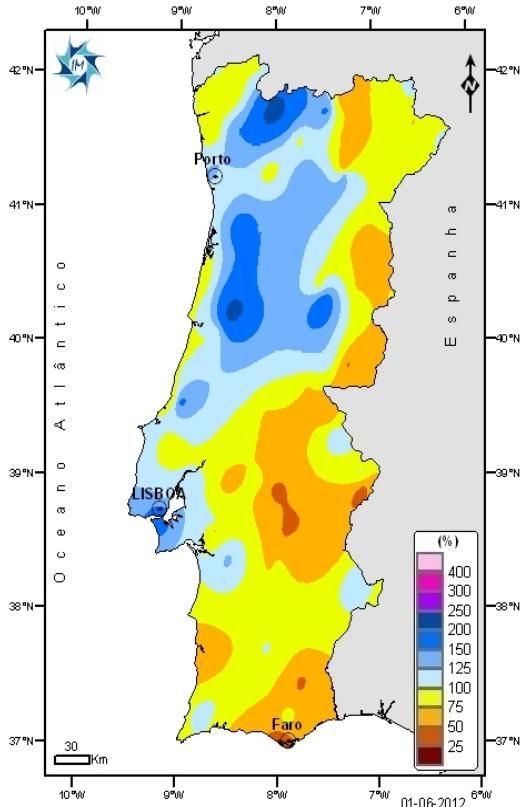
Anexo XV

Boletins climatológicos (Instituto de Meteorologia de Portugal)

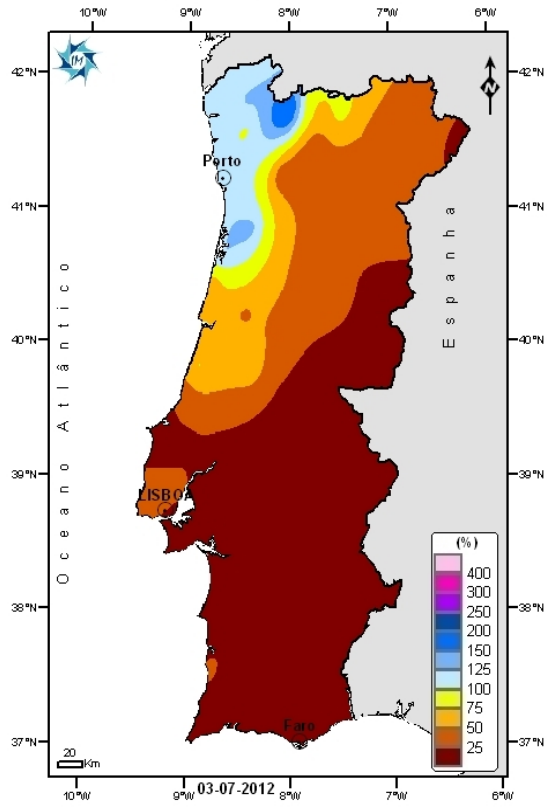
Quadro XVI.1- Percentagem de precipitação total (Janeiro-Agosto 2012) em relação a 1971-2000.



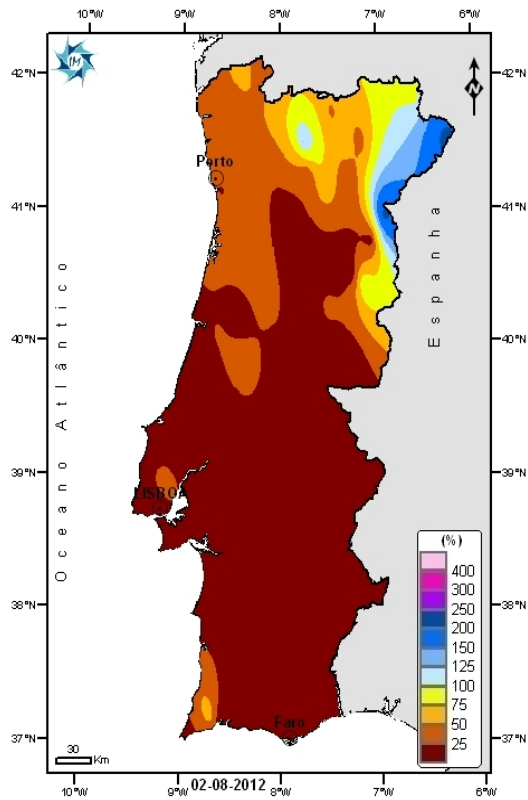
Precipitação Total - maio de 2012
 Percentagem em relação ao período 1971-2000
 Percentages of Precipitation Totals - May 2012



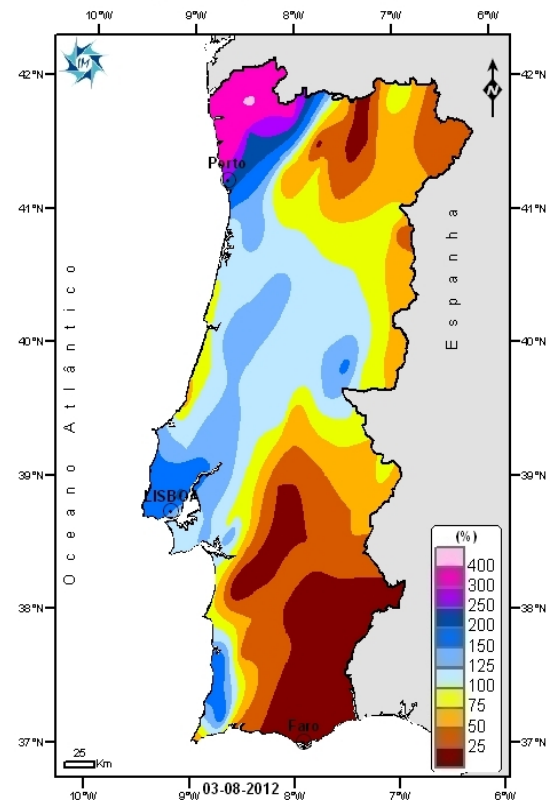
Precipitação Total - junho 2012
 Percentagem em relação ao período 1971-2000
 Percentages of Precipitation Totals - June 2012



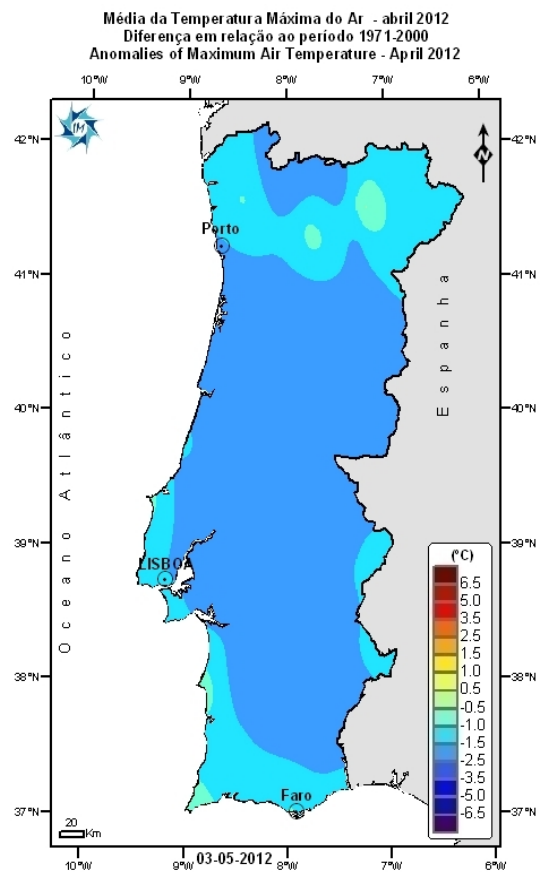
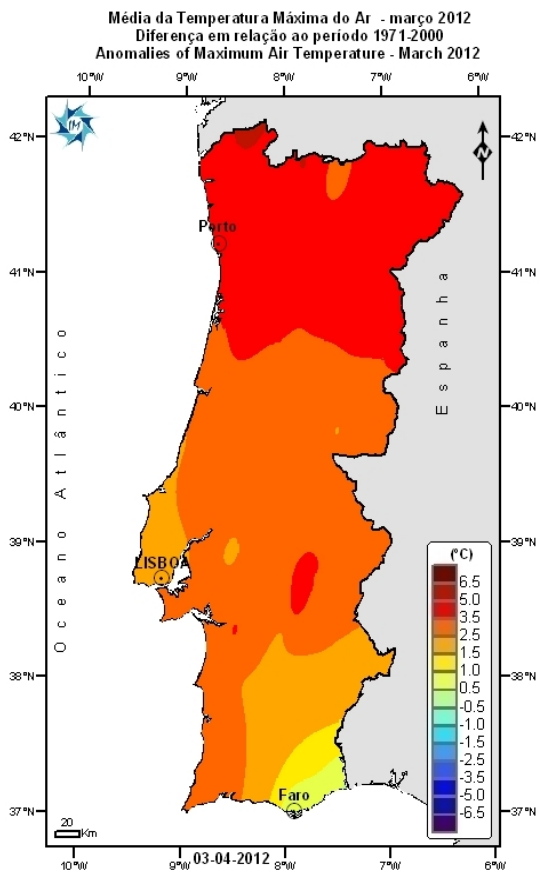
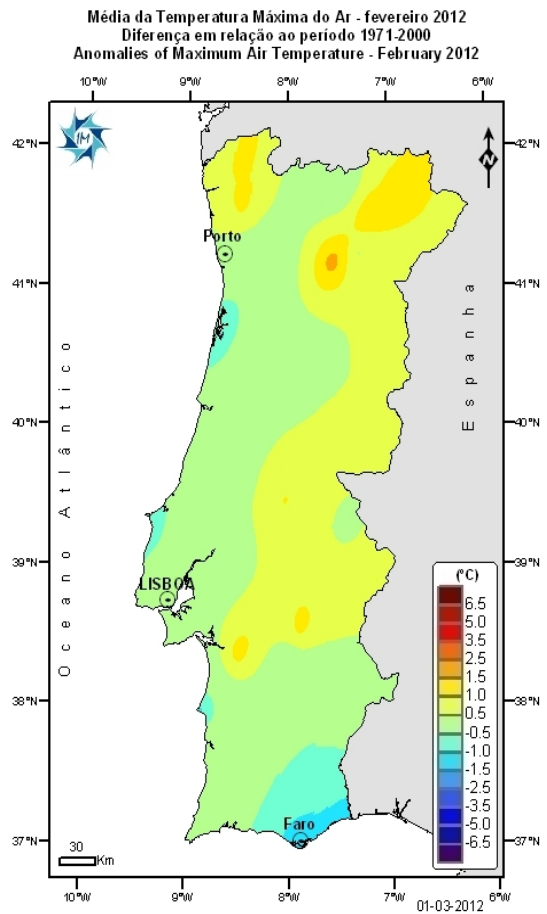
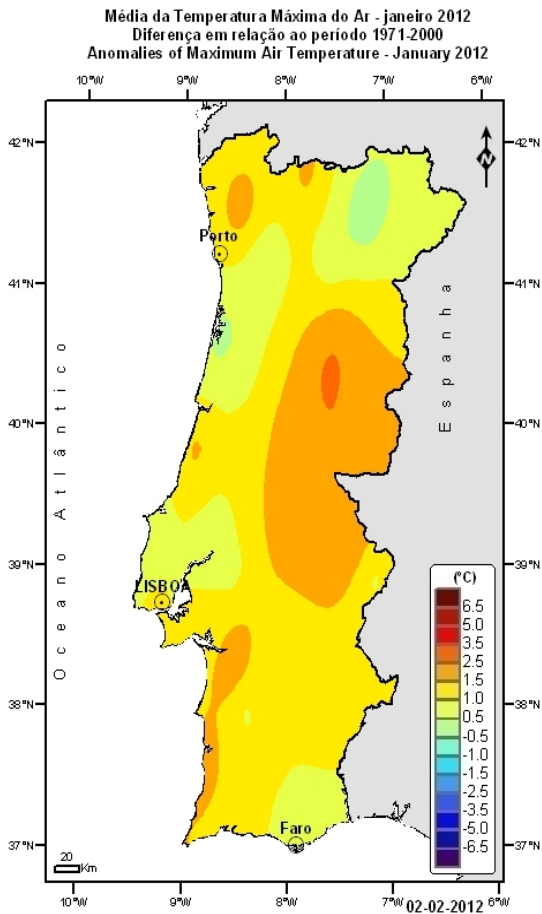
Precipitação Total - julho 2012
 Percentagem em relação ao período 1971-2000
 Percentages of Precipitation Totals - July 2012

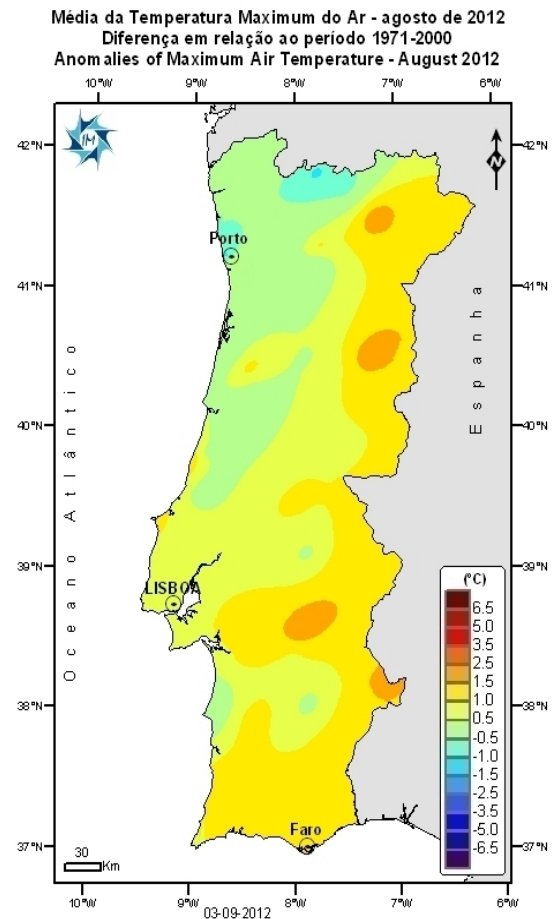
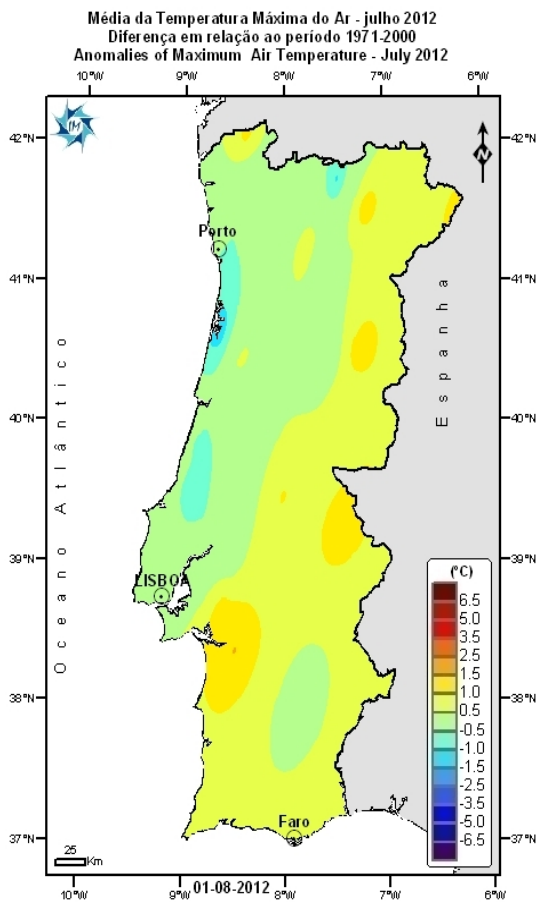
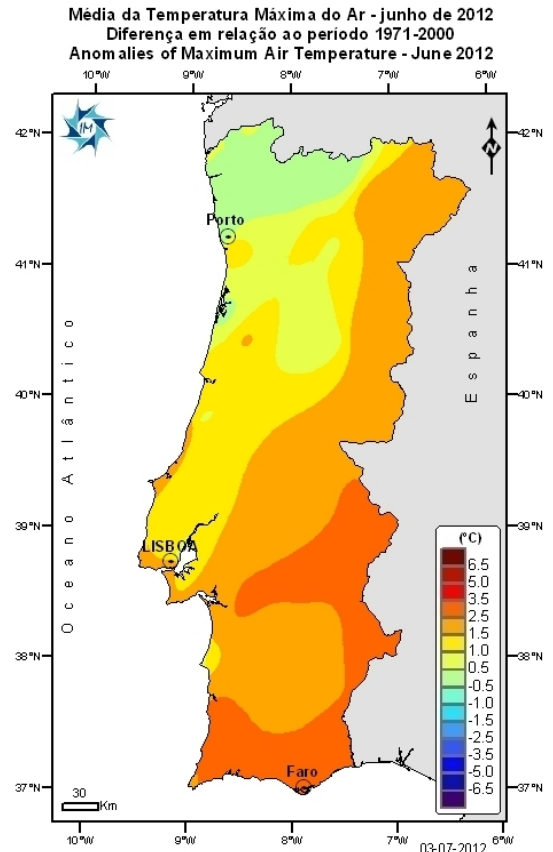
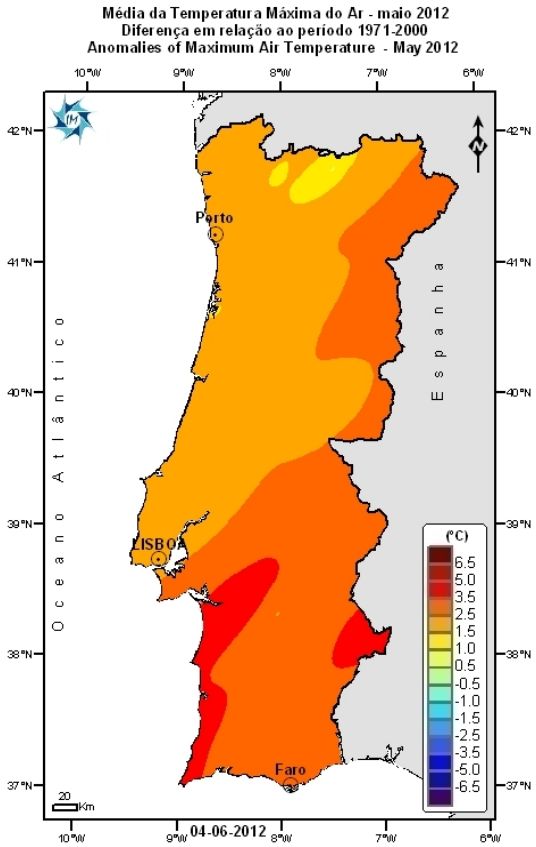


Precipitação Total - agosto 2012
 Percentagem em relação ao período 1971-2000
 Percentages of Precipitation Totals - August 2012

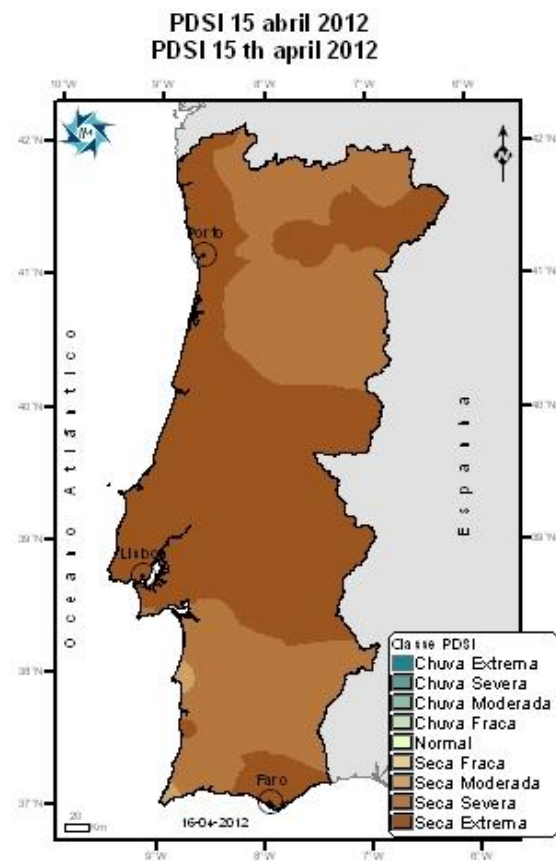
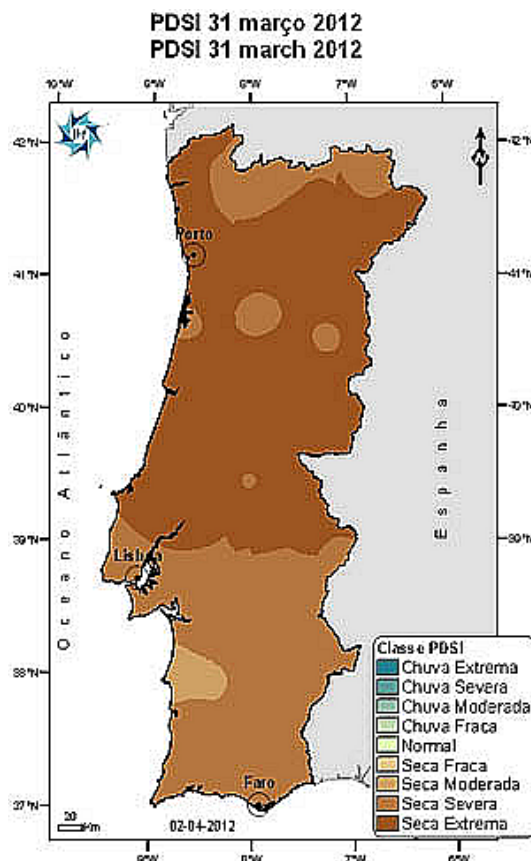
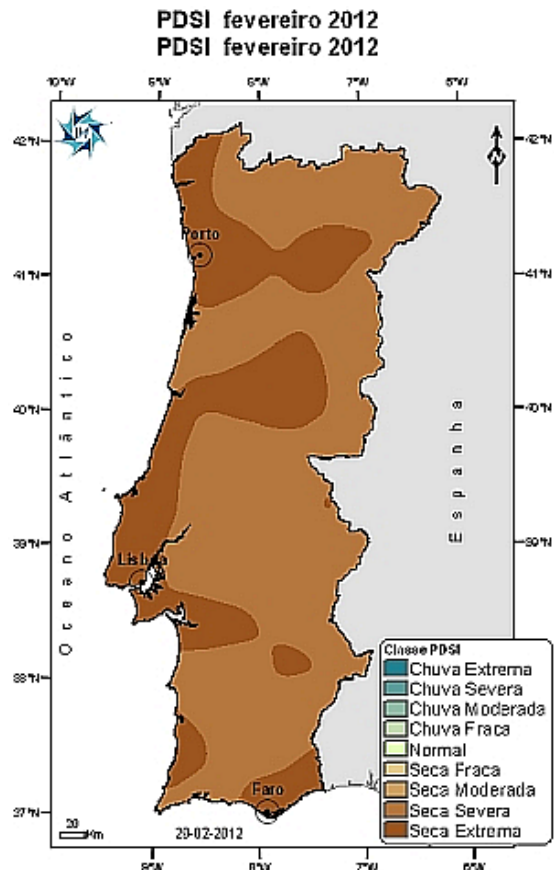
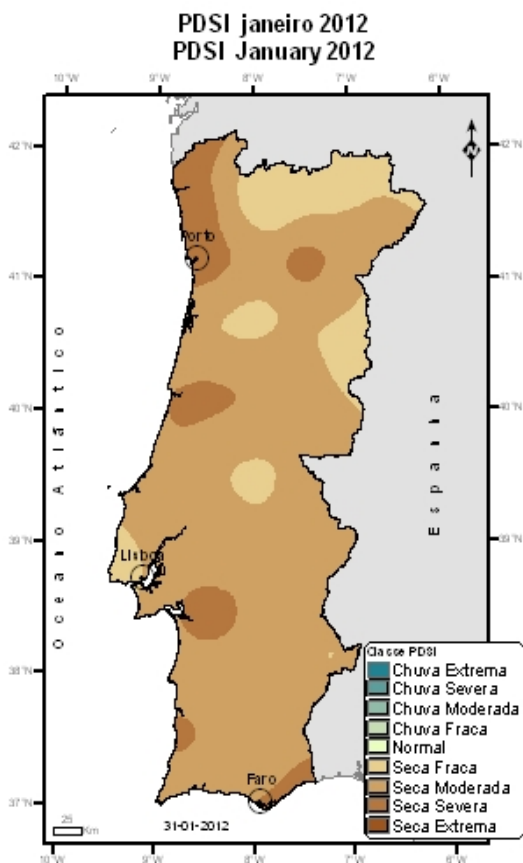


Quadro XVI.2- Anomalias da temperatura máxima do (Janeiro-Agosto 2012) em relação a 1971-2000.

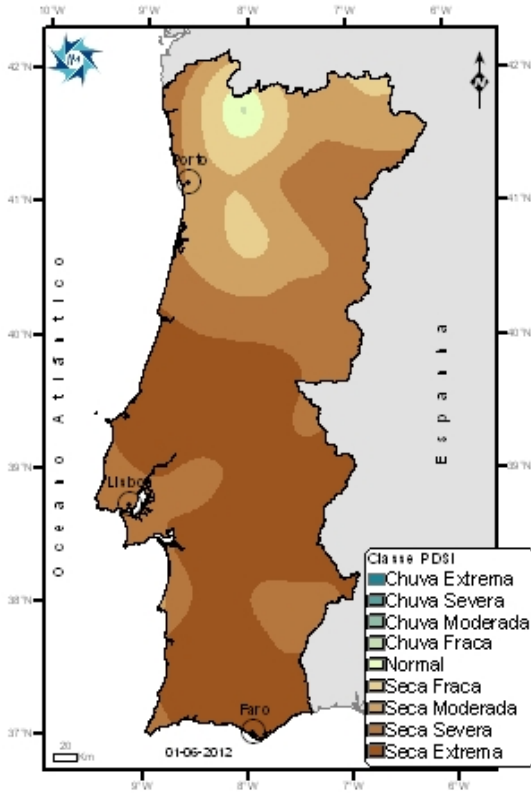




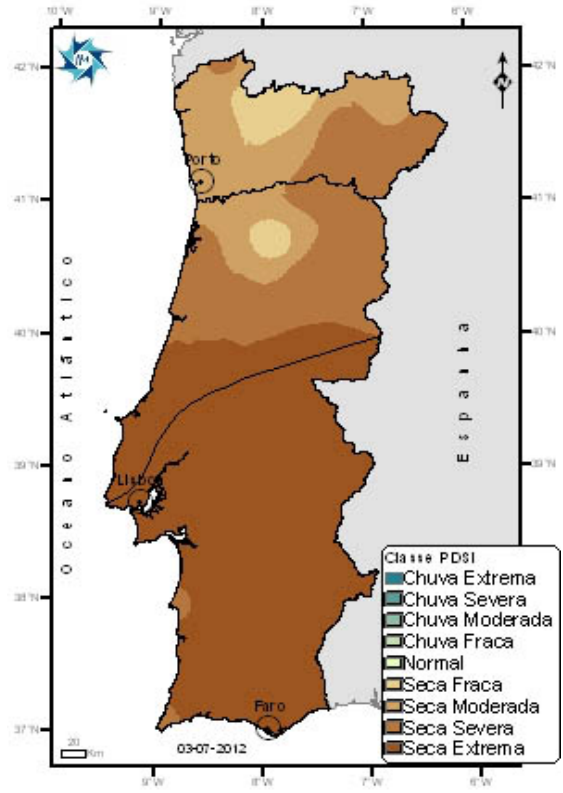
Quadro XVI.3- Distribuição espacial do índice de seca meteorológica (PDSI) para o período Janeiro-Agosto 2012.



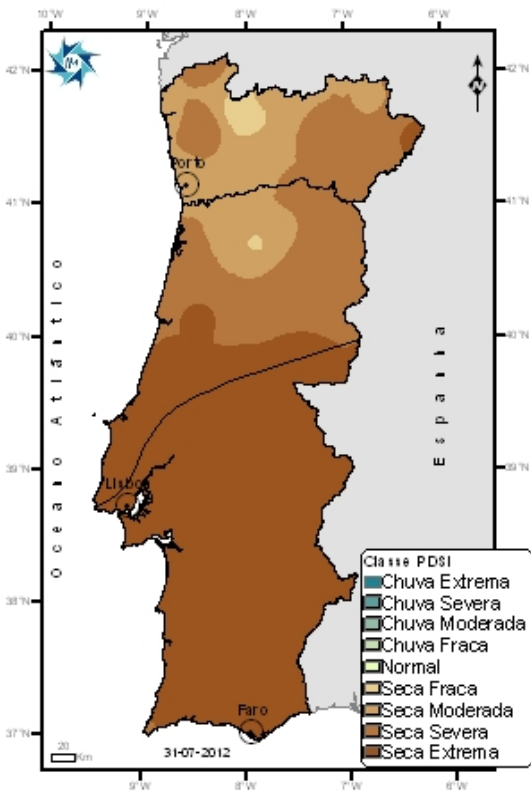
PDSI 31 maio 2012
PDSI 31 th may 2012



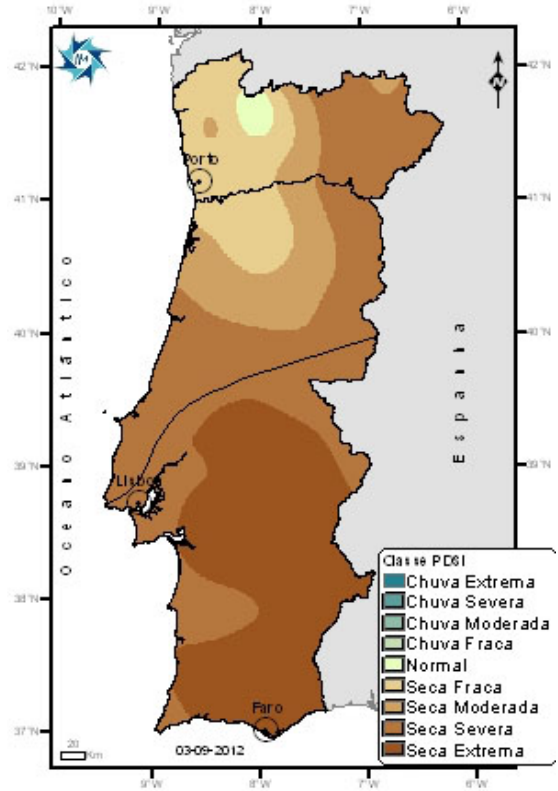
PDSI 30 junho 2012
PDSI 30 th June 2012



PDSI 31 Julho 2012
PDSI 31 July 2012




PDSI 31 agosto 2012
PDSI 31 th August 2012



Anexo XVI

Ficha de espécies

Espécie: <i>Castanea sativa</i>	
Nome Comum: Castanheiro	
Família: Fagáceas	
Características gerais e morfológicas: É uma árvore de grandes dimensões que atinge 20 a 30 metros de altura (por vezes mais) e de folha caduca. O porte é geralmente imponente com um tronco espesso e uma copa semiesférica, mais ou menos alongada. As folhas verdes brilhantes, lanceoladas (em forma do bico de uma lança) e dentadas (com a margem das folhas a apresentar pequenos dentes) e estão dispostas alternadamente sobre os ramos. O comprimento é variável mas é comum atingirem os 20 cm de comprimento e mais de 5 cm de largura. O desenvolvimento dos frutos dá-se no interior de um involúcro espinhoso - ouriço. Em cada ouriço desenvolvem-se normalmente três castanhas de forma cónica mais ou menos achatada. A partir do início de outubro os ouriços abrem e libertam as castanhas que caem no chão.	
Distribuição: O Castanheiro europeu ocorre por toda a Europa do Sul (de Portugal e Espanha à Grécia, podendo a Norte ser encontrado em Inglaterra e País de Gales ou Alemanha, para além de todo o norte de França.	

Espécie: <i>Quercus robur</i>	
Nome Comum: Carvalho-robele ou Carvalho-alvarinho	
Família: Fagáceas	
Características gerais e morfológicas: É uma árvore de folha caduca, com um porte majestoso e uma copa ampla, com uma altura que pode ultrapassar os 40 m. O tronco tem um porte reto e uma casca muito espessa. As folhas são grandes, simples e alternas, de cor verde intensa, com as nervuras bem salientes na página inferior. A sua forma é obovada e têm um pecíolo muito curto. As flores masculinas são amentilhos verde-amarelados, com 10 estames, cada um estando envolvidos por 5 a 7 sépalas. As flores femininas são de 1 a 5 e estão cobertas por uma camada escamosa de cor pardo-avermelhada. O fruto é uma glande ovoide, envolvida apenas na base por uma cúpula escamosa e apoiado num longo pedúnculo.	
Distribuição: O Carvalho-robele é comum em toda a Europa, Norte de África e Ásia Ocidental. Em Portugal é espontâneo, sobretudo no Norte litoral.	

Espécie: <i>Pinus pinaster</i>
Nome Comum: Pinheiro-bravo
Família: Pináceas



Características gerais e morfológicas:

É uma árvore de grande porte, podendo atingir os 30-40 m de altura. O tronco tem uma casca espessa, de cor castanha avermelhada, profundamente fissurada.

As folhas são persistentes, em forma de agulhas, emparelhadas, de cor verde-escura, com 10-25 cm, rígidas e grossas. Espécie monoica (isto é, o mesmo indivíduo tem flores masculinas e femininas). As flores masculinas localizam-se na base dos rebentos anuais. Os amentilhos femininos, rosados, localizam-se no topo dos rebentos anuais. As pinhas são cónicas ovoides, simétricas ou quase, castanhas claras e polidas, com 8-23 x 5-8 cm.

Distribuição:

Região Mediterrânica e costas atlânticas de Portugal, Espanha e França. Atualmente, devido à ação do homem está presente por todo o País, existindo abundantes extensões no Norte e Centro.

Espécie: <i>Cytisus striatus</i>
Nome Comum: Giesta, maia, etc.
Família: Fabaceae



Características gerais e morfológicas:

É uma planta arbustiva de 1 a 3 metros de altura, caducifolia, com ramos abundantes, estriados e flexíveis.

Folhas pubescentes constituídas por um a três folículos que aparecem na base dos ramos e caem rapidamente. Flores solitárias nas axilas das folhas, com cálice em forma de campânula, cinco pétalas, amarelas, de grande tamanho. O fruto é uma vagem completamente coberta de pêlos acinzentados e arredondada, com até 3,5 cm de comprimento.

Distribuição:

Oeste da Península Ibérica e Noroeste de Marrocos. Em Portugal tem a sua distribuição alargada a todo o território continental, o que se deve, em parte, à ação do homem. É comum em giestais e outros matagais presentes em terrenos incultos e encostas pedregosas; podendo igualmente ocorrer em clareiras de bosques e pinhais.

Espécie: <i>Adenocarpus lainzii</i>
Nome Comum: Codeço
Família: Fabaceae



Características gerais e morfológicas:
Tem um porte ereto, folhagem de cor verde escura, trifoliada e persistente e os caules muito ramificados e esbranquiçados. Pode atingir os 3m de altura.

Distribuição:
Norte, Noroeste e Oeste da Península Ibérica, em habitats de matagais muito comuns sobre terrenos de cultivo abandonados.