



Hinc patriam sustinet

Instituto Superior de Agronomia
Universidade Técnica de Lisboa

Influência da rega subsuperficial e gota-a-gota na utilização da água, qualidade e produção em pereira (*Pyrus communis* L.) ‘Rocha’. Estudo preliminar

Marta Filipa Dores Martins Gonçalves

Dissertação para a obtenção do grau de mestre em
Engenharia Agronómica

Orientador: Doutora Cristina Maria Moniz Simões Oliveira

Co- orientador: Doutor José Paulo Mourão de Melo e Abreu

Júri:

Presidente - Doutor Ernesto José de Melo Pestana Vasconcelos, Professor Catedrático do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa.

Vogais - Doutora Cristina Maria Moniz Simões Oliveira, Professora Associada do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa;

- Doutor José Paulo Mourão de Melo e Abreu, Professor Associado do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa;

- Doutora Mariana da Silva Gomes Mota, Investigadora Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade Técnica de Lisboa;

- Mestre João Filipe Santos de Azevedo, Coordenador do Departamento Técnico da Associação de Produtores Agrícolas da Sobrena, na qualidade de especialista.

Lisboa, 2010

Agradecimentos

Finalizada uma etapa particularmente importante da minha vida, não poderia deixar de expressar o mais profundo agradecimento a todos aqueles que me apoiaram e contribuíram para a realização deste trabalho.

À Professora Doutora Cristina Oliveira, minha orientadora, pela dedicação, incentivo, orientação e acompanhamento ao longo do tempo que demorou este trabalho. Agradeço também a paciência, a disponibilidade e as preciosas indicações e sugestões.

Ao Professor Doutor José Paulo de Melo e Abreu pela disponibilidade no esclarecimento de dúvidas, pelo acompanhamento do trabalho, pela importante ajuda na realização do modelo do balanço hídrico e pelo empréstimo dos tubos solarímetros.

À Sociedade Agrícola Terra da Eira pela cedência do pomar para a realização do estudo.

Ao Engenheiro João Abreu pela ajuda no trabalho realizado no pomar e pela disponibilidade constante.

À minha colega Sofia Comporta pela ajuda nas medições feitas no pomar e no laboratório e motivação transmitida ao longo da tese.

Agradeço também a todos os meus colegas e amigos que encontrei no ISA, que sempre me ajudaram e que ao longo destes anos foram um grande apoio. Não posso mencioná-los a todos... mas eles sabem quem são, no entanto queria deixar um agradecimento especial à Helena e ao David.

Finalmente quero agradecer aos meus pais e à minha irmã pelo apoio na minha decisão de seguir Engenharia Agronómica, por tudo o que me ensinaram e por tudo o que sempre fizeram por mim.

Agradeço a todos!

Resumo

Com o objectivo de comparar a resposta fisiológica e a qualidade dos frutos de um pomar de pereira 'Rocha' quando submetido a diferentes sistemas de rega localizada, foi monitorizado um pomar com 4 anos, regado com sistema gota-a-gota e subsuperficial. Acompanhou-se o pomar durante o ciclo 2009/2010 fazendo-se a avaliação do crescimento das copas, vingamento das flores, produtividade, qualidade dos frutos e uso da água. Para as duas modalidades não se verificaram diferenças significativas na diferenciação das flores no vingamento dos frutos, TSS, acidez e cor, no entanto obteve-se no sistema de rega gota-a-gota uma maior percentagem de frutos > 70 mm. O sistema subsuperficial apresentou menores evaporações de água do solo (124,8 mm e 148,4 mm para o sistema subsuperficial e gota a gota, respectivamente) e maior produtividade da água (3,82 Kg.m³ para a rega subsuperficial e 3,09 Kg.m³ para a rega gota-a-gota). A rega subsuperficial teve uma produção 23,3 % superior para a mesma quantidade de água fornecida, resultando também numa maior produção de matéria seca por água utilizada pela planta. O coeficiente cultural médio (Kc) para o pomar no período 8 de Abril a 31 de Agosto foi de 0,96.

Palavras chave: balanço hídrico, pereira 'Rocha', produtividade da água, rega gota-a-gota, rega subsuperficial

Abstract

With the aim of comparing the physiologic response, the quality of the fruits and water productivity of a pear orchard irrigated by two different irrigation systems, a field trial was conducted on a 4 year old 'Rocha' / Sydo pear orchard, irrigated by surface drip and subsurface drip irrigation, during the year 2009/2010. There are no differences in the flower bloom and fruit setting, sugar content and acidity of the fruits between the two irrigation systems, but the surface drip irrigation produced a larger percentage of fruits > 70 mm than subsurface drip irrigation. The subsurface system had lower soil water evaporation (124.8 mm and 148.4 mm for the subsurface system and surface drip, respectively) and increased water productivity (3.82 Kg.m³ for subsurface and 3.09 Kg.m³ for surface drip). For the same amount of water supplied, the subsurface irrigation had a 23.3% higher yield than surface drip, resulting also in a higher dry matter production by water used by the trees. The average cultural coefficient (Kc) of the orchard in the period 8 April to 31 August was 0.96.

Keywords: 'Rocha' pear, soil water balance, subsurface drip irrigation, surface drip irrigation, water productivity,

Title: Preliminary studies on the influence of surface and subsurface drip irrigation systems in 'Rocha' pear (*Pyrus communis* L.). Yield, fruit quality and water use

Extended Abstract

In Portugal, the agriculture is the main sector water consumer. With the increasing of water scarcity it became more important to make a better water use through the improvement of the irrigation methods. With the aim of comparing the physiologic response, the quality of the fruits and water productivity, a field trial was conducted on a 4 year old 'Rocha' / Sydo pear orchard trained as vertical axis, irrigated by surface drip and subsurface drip irrigation, during the year 2009/2010.

The orchard is located near Cadaval, in a clay loam soil (40% sand, 32% silt and 28% clay), with a field capacity (FC) of $0.26 \text{ m}^3/\text{m}^3$. The climate is temperate, with an average temperature varying from 10 to 20 °C, moderately wet (876 mm/year - 30 years average), with Atlantic influence and a hot and dry season. The trial was constituted by two plots of 3 blocks of 10 trees, each plot receiving a different treatment. Except for the irrigation, standard orchard management practices such as pest and disease management control and nutrition applications were conducted according to commercial standards.

The two irrigation systems did not produce significant differences in flower bloom, fruit set, acidity, sugar content and fruit firmness of the fruits, but the surface drip irrigation produced a larger percentage of fruits > 70 mm than subsurface drip irrigation (1.1 % and 0.3% for the surface drip and subsurface drip irrigation, respectively).

A soil water balance model was used to calculate the evapotranspiration in the two irrigation systems and the potential yield. The surface drip irrigation system had a higher evapotranspiration (460.6 mm) than the subsurface drip irrigation system (439.6 mm). The potential yield was $56.4 \text{ tone}\cdot\text{ha}^{-1}$ in the surface drip irrigation and $64.4 \text{ tones}\cdot\text{ha}^{-1}$ for the subsurface drip irrigation system. The real productions were lower than the potential predicted by the model, $51.1 \text{ tone}\cdot\text{ha}^{-1}$ for the surface drip irrigation system and $62.9 \text{ tone}\cdot\text{ha}^{-1}$ for the subsurface drip irrigation system.

The higher yield of the subsurface system resulted in a higher water productivity ($3.82 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-3}$ in subsurface drip irrigation and $3.09 \text{ Kg}\cdot\text{m}^{-3}$ in surface drip irrigation) and higher water efficiency (4.10 g of dry material/L in subsurface drip irrigation, 3.96 g of dry material/L in surface drip irrigation).

The cultural coefficients (Kc) were similar for the two irrigation systems; the average Kc calculated was 0.96 for the period from 8 April to 31 August. This parameter is close to the reference value for pear orchard soils with cover crops (Allen *et al.*, 1998).

This study was conducted in a young orchard, it is necessary to continue these assessments to see how far the differences between the two irrigation systems may or may not increase over the life of the orchard.

Índice

| | |
|---|------|
| Agradecimentos | I |
| Resumo | II |
| Abstract | III |
| Extended Abstract | IV |
| Índice de figuras..... | VIII |
| Índice de quadros | IX |
| Lista de abreviaturas..... | X |
| I. INTRODUÇÃO | 1 |
| II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 3 |
| Necessidades de água | 3 |
| Água na planta | 3 |
| Água no solo..... | 5 |
| Evapotranspiração..... | 6 |
| Modelação do balanço hídrico da cultura | 8 |
| Influência da rega no crescimento vegetativo das fruteiras..... | 8 |
| Sistemas de rega..... | 10 |
| III. MATERIAL E METODOS | 13 |
| Localização..... | 13 |
| Clima..... | 13 |
| Delineamento experimental | 17 |
| Medições efectuadas | 18 |
| Modelação para a previsão da floração | 20 |
| Modelação para o balanço hídrico do solo..... | 21 |
| Colheitas | 22 |
| Uso da água | 23 |
| Análise estatística..... | 24 |
| IV. RESULTADOS..... | 25 |
| Fenologia | 25 |
| Água no solo..... | 27 |
| Vingamento das flores e frutos..... | 29 |
| Análises qualitativas..... | 29 |
| Calibre dos frutos..... | 30 |

| | |
|--|----|
| Resultados obtidos através do modelo do balanço hídrico para a pereira 'Rocha' | 32 |
| Uso da água | 34 |
| Coeficientes culturais | 35 |
| V. DISCUSSÃO DE RESULTADOS..... | 36 |
| VI. CONCLUSÕES | 39 |
| VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 40 |
| ANEXOS | 43 |
| Anexo I- Relação entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração de referência para a rega gota-a-gota e subsuperficial. | 43 |
| Anexo I I- Fotografias das árvores regadas com sistemas subsuperficial e gota-a-gota. .. | 44 |
| Anexo III- Análises da água de rega. | 45 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Precipitação mensal (mm) e temperatura média mensal (°C) de Setembro de 2009 a Agosto de 2010, e valores médios de 30 anos da estação meteorológica de Rio Maior (Secção de Agricultura do ISA, 2010)..... | 14 |
| Figura 2. Temperaturas máximas e mínimas mensais de Setembro de 2009 a Agosto de 2010..... | 14 |
| Figura 3. Balanço hídrico do período de referência (1958 a 1988)..... | 15 |
| Figura 4. Radiação global diária de 8 de Abril a 31 de Agosto (MJ.dia ⁻¹). | 16 |
| Figura 5. Evapotranspiração de referência (mm) para o período de 8 de Abril a 31 de Agosto. | 16 |
| Figura 6. Transpiração potencial (mm) de 8 de Abril a 31 de Agosto..... | 17 |
| Figura 7. Esquema do ensaio..... | 18 |
| Figura 8. Solarímetro. | 20 |
| Figura 9. Calibração dos frutos na colheita..... | 22 |
| Figura 10. Monitorização da água no solo (mm), sob o sistema de rega subsuperficial e gota-a-gota, até à profundidade de 1 m..... | 27 |
| Figura 11. Distribuição da água no perfil do solo, medida 16h depois da rega, em mm de água por 10 cm de solo. | 28 |
| Figura 12. Distribuição da água no perfil do solo, medida 24h depois da rega, em mm de água por 10 cm de solo. | 28 |
| Figura 13. Distribuição dos calibres (%) por sistema de rega..... | 31 |
| Figura 14. Evaporação do solo em mm. dia ⁻¹ , de 8 de Abril a 31 de Agosto, para os dois sistemas de rega. | 32 |
| Figura 15. Transpiração real (mm), de 8 de Abril a 31 de Agosto, para os dois sistemas de rega..... | 33 |
| Figura 16. Evaporação do solo e evapotranspiração real (E _{tr}) no sistema subsuperficial e gota-a-gota. | 34 |
| Figura 17. Evolução dos coeficientes culturais (K _c) diários nos dois sistemas de rega de 8 de Abril a 31 de Agosto..... | 35 |

Índice de quadros

| | |
|---|----|
| Quadro 1. Fenologia | 25 |
| Quadro 2. Características do pomar e das árvores, nos dois sistemas de rega..... | 26 |
| Quadro 3. Altura máxima de copa (h), largura da copa perpendicular à linha (lpp), largura da copa paralela à linha (lpl) e rácio entre altura e largura média da copa..... | 26 |
| Quadro 4. Área seccional do ramo, número de corimbos por área seccional do ramo, número de frutos por área seccional do ramo e do tronco e massa de frutos por área seccional do ramo. | 29 |
| Quadro 5. Análises qualitativas dos frutos por sistema de rega..... | 29 |
| Quadro 6. Análise da cor dos frutos, por sistema de rega..... | 30 |
| Quadro 7. Calibre médio dos frutos para os dois sistemas de rega..... | 30 |
| Quadro 8. Distribuição das classes de calibre..... | 31 |
| Quadro 9. Índice de área foliar, produção, evaporação e transpiração..... | 33 |
| Quadro 10. Relação da água utilizada com a produção em cada um dos sistemas de rega. | 35 |
| Quadro 11. Coeficientes culturais (Kc). | 38 |

Lista de abreviaturas

Ψ - Potencial da água

Ψ_s – Potencial osmótico

Ψ_p – Potencial de pressão

Ψ_m – Potencial matricial

ET_c - Evapotranspiração cultural

K_c – Coeficiente cultural

E_{to} - evapotranspiração de referência

L_{pp} - largura da copa perpendicular à linha

l_p - largura da copa paralela à linha

h - altura da copa

a* - coordenada cromática (vermelho-verde)

b* - coordenada cromática (amarelo-azul)

L - luminosidade

TSS- Teor de sólidos solúveis

EPM- Erro padrão da média

ASR – Área seccional do ramo

AST – Área seccional do tronco

NaOH – hidróxido de sódio

E_{tr}- evapotranspiração real

WP- produtividade da água

W_{Pi} - produtividade da água de rega

EUA - eficiência do uso da água

PAR- radiação fotossinteticamente activa

NIR- radiação no infravermelho próximo

I. INTRODUÇÃO

A água é um recurso fundamental para a produção vegetal. É um recurso limitado e que tende a tornar-se cada vez mais escasso, para o que contribui o crescimento constante da população e o conseqüente aumento da procura de alimentos que, por sua vez, tem levado à expansão da agricultura regada.

Na União Europeia apenas 6,7% da área agrícola utilizável é regada, sendo os países do sul como a Grécia, Chipre ou a Itália os que apresentam maiores percentagens de área agrícola regada (Eurostat, 2009). Em Portugal o sector agrícola é o sector com maiores consumos de água. Segundo os dados do INE, a superfície regada em Portugal era de 421 521 ha no ano de 2007.

Nos dias de hoje e mais proximamente no futuro, a rega na agricultura será feita sob condições de escassez de água. A água é um factor cada vez mais limitante na agricultura moderna, no futuro prevê-se que as produções passem a ser contabilizadas não em quantidade produzida por área, mas sim em quantidade produzida por unidade de água utilizada (Fererres *et al.*, 2006).

A evolução das técnicas, equipamentos e dos procedimentos de utilização perspectivam que a longo prazo se possa otimizar os recursos, levando a uma poupança de água. Segundo Paço *et al.* (2004), a melhoria da produtividade da água no sector agrícola pode ser conseguida através do aumento da eficiência e da precisão na programação da rega, o que implica a aproximação das estimativas das necessidades hídricas das plantas às suas necessidades reais.

A pêra 'Rocha' é um dos principais produtos da agricultura nacional, e a exportação do produto tem vindo a aumentar nos últimos anos. Apresentando-se no estrangeiro como um produto de alta qualidade e por ser a principal produção agrícola da região Oeste é também um produto qualidade certificada (DOP).

Na região Oeste, onde este estudo foi conduzido, a rega é um factor limitante nos pomares de pereira, pois para além de se tratar de um bem escasso verifica-se que a água tem muitas vezes má qualidade (Parente, 2004). Nestas condições torna-se mais difícil obter produções elevadas e produtos de qualidade, sendo por isso de suma importância que a gestão de rega seja bem planeada e gerida ao longo do ciclo cultural.

No presente trabalho pretende-se avaliar a resposta fisiológica de um pomar de pereira 'Rocha', quando submetido a dois sistemas de rega localizada diferentes, um sistema de rega gota-a-gota e um sistema de rega subsuperficial. Trata-se de um pomar intensivo de pereira 'Rocha' (clone 2) enxertado em Sydo com compasso de 4 m x 1 m, plantado em 2006. Esta unidade de demonstração foi instalada no âmbito de um projecto AGRO, "A manutenção da especificidade e o aumento da rentabilidade da pêra 'Rocha' do Oeste (DOP) e Maçã de Alcobaça (IPG)", cujo objectivo é estudar os factores de intensificação e o aumento da produtividade.

O objectivo será avaliar a produtividade, resposta fisiológica da planta, no que respeita à produção, qualidade do fruto e a eficiência do uso da água. Para tal, avaliaram-se vários parâmetros, a floração, frutificação, área das copas, radiação, produtividade e características qualitativas dos frutos. Efectuou-se também uma estimativa, através de modelos, da evaporação do solo, transpiração da cultura e produção potencial. Após a recolha dos dados deverá ser possível saber quais as diferenças provocadas na fisiologia da planta por cada sistema ao longo do ciclo cultural bem como qual o sistema mais vantajoso em termos de uso da água.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Necessidades de água

A água é um dos factores mais importantes na produção das plantas na maioria dos ambientes terrestres. As necessidades de água para as plantas são estimadas através do balanço hídrico do solo cultivado. Para tal, considera-se que parte das necessidades de água são supridas através da precipitação, pela rega, pela reserva de água do solo e pela ascensão capilar e que as perdas de água correspondem à evapotranspiração da cultura, à percolação para além da zona radicular e ao eventual escoamento à superfície do solo (Pereira, 2004). Com excepção das perdas por percolação, as perdas de água podem ser estimadas pois dependem das diferenças de pressão de vapor entre o organismo e a atmosfera circundante e da condutividade ou resistência entre os tecidos da planta e as superfícies em contacto com a mesma (Melo-Abreu, 2010a).

Um dos desafios da agricultura regada actualmente é o aumento da produtividade da água, ou seja, o aumento da produção por unidade de água utilizada. A produtividade da água pode ser referida em relação à água total utilizada, tendo em conta a água de rega e precipitação ao longo do ciclo cultural, reserva de humidade do solo e ascensão capilar ou pode referir-se só à água fornecida através da rega, tendo-se neste caso a produtividade da água de rega.

Por a água ser um factor limitante na produção em muitos locais, é importante que se consiga aumentar as produções diminuindo a quantidade de água utilizada. Esta gestão da água irá depender não só das características das culturas e ambiente envolvente, mas também das operações culturais realizadas ao longo do tempo.

Água na planta

A grande maioria da água utilizada pela planta é retirada do solo pelas raízes e transportada no xilema em resposta à perda de água na transpiração. A água tem um papel muito importante nas fruteiras, pois é o meio onde ocorrem as reacções bioquímicas, sendo o reagente de processos bioquímicos, com a fotossíntese. É também o meio pelo qual os nutrientes passam do solo até aos diversos tecidos da planta (Rom, 1996).

Segundo Tromp *et al.* (2005) o movimento realizado pela água, quando passa do solo para o xilema, seguidamente para a folha e finalmente para a atmosfera, por transpiração, é considerado um processo em cadeia. Processo esse que funciona através

de uma coluna de água, cujo funcionamento depende da coesão entre as moléculas de água e as paredes celulares das plantas. O movimento da água nas plantas depende da sua capacidade de realizar trabalho, sendo essa capacidade expressa pelo potencial da água (Ψ). Em sistemas simples, a temperatura constante, pode expressar-se o potencial da água como a soma do potencial osmótico (Ψ_s) com o potencial de pressão (Ψ_p) e o potencial matricial (Ψ_m), de acordo com a equação (1).

Equação 1:

$$\Psi = \Psi_s + \Psi_p + \Psi_m$$

em que:

Ψ - Potencial da água

Ψ_s – Potencial osmótico

Ψ_p – Potencial de pressão

Ψ_m – Potencial matricial

O potencial osmótico (Ψ_s) é negativo (ou zero na água pura), pois as substâncias dissolvidas na água diminuem o seu potencial químico.

O potencial de pressão (Ψ_p) deriva da pressão exercida sobre as paredes celulares, pela água contida nas células. É igual a zero à pressão atmosférica, é positivo nas células túrgidas, passando a nulo quando estas perdem a turgidez e é negativo no xilema, estando as paredes celulares sob tensão.

O potencial matricial (Ψ_m), medido à pressão atmosférica, mede a tendência de uma matriz para absorver moléculas de água adicionais.

O fluxo de água do solo para a atmosfera é então efectuado por um gradiente de potencial de água. No solo, o potencial é de maneira geral mais elevado que na planta, no xilema o potencial de pressão e o potencial osmótico são negativos. Nas folhas o potencial osmótico é ainda mais negativo.

Mesmo quando não há transpiração existe um gradiente de potencial que permite a passagem da água do solo para as folhas. Em solos com pouca água o gradiente mantém-se, no entanto, o movimento é tão lento que as necessidades hídricas da planta não são satisfeitas (Varenes, 2003).

A perda da água para a atmosfera por transpiração, apesar de ser mais significativa nas folhas, também se dá através dos troncos, ramos e outras partes lenhosas da planta. Este processo físico depende do gradiente de concentração de vapor entre a atmosfera e a

superfície na qual se dá a transpiração, da resistência da difusão da superfície e da atmosfera e da energia para vaporizar a água. Esta vaporização da água para a atmosfera dá-se nos espaços intersticiais sendo a passagem da água para a atmosfera controlada pelos estomas.

Água no solo

O solo é um complexo sistema constituído por uma matriz sólida, composta por uma componente mineral bastante importante e uma componente orgânica normalmente reduzida, ocupada, nos seus intervalos, por ar e água.

A água que é fornecida ao solo pela precipitação ou através da água de rega, pode ter dois destinos, ou infiltra-se no solo ou é perdida por escoamento. A água ao infiltrar-se no solo é distribuída pelo mesmo de acordo com as forças mátricas ou gravitacionais. Essa água pode evaporar-se, ser utilizada pelas plantas ou percolada, quando abaixo do nível radicular. À medida que o teor de água diminui, a condutividade hidráulica também decresce, assim o movimento da água das camadas superiores para as camadas inferiores é menor (Melo-Abreu, 2010 a).

A água move-se no solo de um ponto de energia mais elevada para outro de menor energia, o que pode ser comparado ao escoamento numa tubagem quando a água se escoar de um ponto situado a pressão mais elevada para outro de pressão mais baixa. A infiltração da água num solo varia ao longo da rega, assim, no início da rega, a infiltração é normalmente rápida, mas à medida que o horizonte superficial vai ficando saturado, a taxa de infiltração vai sendo cada vez menor até atingir um ponto, a partir do qual é praticamente constante.

Enquanto que a pressão da água na tubagem é superior à pressão atmosférica, num solo não saturado a pressão é inferior, e como tal, a energia tem um valor negativo comparado com a pressão atmosférica, que se considera normalmente como nível zero (Oliveira, 1993).

Quando a água de rega é aplicada por um gotejador, o bolbo molhado é mais largo e menos profundo em solos de textura média a fina que de textura arenosa. Isto acontece porque nos solos de textura fina a água movimentar-se devido a forças capilares, enquanto em solos de textura arenosa esta movimentar-se por acção da gravidade (Pereira, 2004). Este movimento é bastante mais rápido nos solos arenosos que nos solos argilosos.

A evaporação da água do solo e as perdas por escoamento assumem um papel importante no estabelecimento das sementes, germinação e crescimento das plantas. A quantidade de matéria orgânica, gestão do enrelvamento e características do solo vão determinar a capacidade de retenção e capacidade de fornecer água às plantas; quando os solos secam demasiado rápido, a regulação osmótica torna-se mais difícil, podendo afectar o desenvolvimento vegetativo (Ali e Talukder, 2008).

Quando a quantidade de água, no solo, é óptima para o crescimento da planta, a água é retirada facilmente dos poros grande e médios, pelas raízes. A água é retirada primeiro dos poros maiores, seguidamente dos poros intermédios, contudo nos poros menores a água está retida mais próxima das partículas sólidas e por isso retida com mais força. Quando isto acontece, esta água não está disponível para a utilização pelas plantas (Brady, 1999). Segundo Ali e Talukder (2008), num solo com uma fertilização mais adequada, o sistema radicular tem um melhor desenvolvimento permitindo assim uma melhor extracção de água pelas plantas.

Evapotranspiração

Para uma boa gestão da água de rega a evapotranspiração é um dos parâmetros importantes a conhecer. Deste modo pode evitar-se perdas de água de rega e diminuir os custos. Segundo o Instituto da água (2001), o conhecimento da evapotranspiração permite em média uma poupança de 20% na água de rega.

A evapotranspiração das culturas é a soma da transpiração das plantas com a evaporação da água do solo. Em diversos estudos as perdas de água pelo sistema solo planta são contabilizadas apenas pela variável evapotranspiração. Em alguns casos esta variável será suficiente, mas noutros será importante que se separe esta variável em evaporação do solo e transpiração da planta. No balanço de água do solo, em estudos de rega, pode considerar-se, em grande parte dos casos, a variável evapotranspiração, como um todo (Stroosnijder, 1987).

A radiação transmitida ao solo num pomar irá influenciar o crescimento das infestantes na linha, a evapotranspiração e evaporação do solo. A radiação interceptada e absorvida pelas copas das árvores é um dos factores principais da transpiração e da fotossíntese. Isto acontece porque a radiação irá afectar a temperatura das folhas e radiação absorvida por estas, sendo, por consequência, um factor muito importante na produção, quantidade de fotoassimilados e qualidade dos frutos.

A evaporação da água do solo ocorre em duas fases, a primeira em que a evaporação depende da quantidade de energia disponível para fazer evaporar a água da camada mais superficial e a segunda fase em que a evaporação irá depender da quantidade de água na camada superficial e dos factores hidráulicos do solo, que determinam a ascensão da água à camada superficial do solo e posterior evaporação da mesma (Ritchie, 1972 cit. in Snyder, 2000)

A transpiração nas plantas consiste na vaporização da água líquida contida nos tecidos das plantas, a grande maioria da água retirada do solo pela planta é perdida por transpiração, e apenas uma pequena parte é utilizada pela planta (Allen, 1998). A transpiração é afectada pelo gradiente da pressão de vapor, radiação, vento, temperatura, humidade do ar, bem como a disponibilidade de água no solo e respectivo teor em sais. Deve também considerar-se o tipo e características da cultura.

No trabalho de Conceição (2007), para um pomar de pereiras 'Rocha' situado na zona das Caldas da Rainha, a transpiração média diária calculada variou entre $0,7 \text{ mm.dia}^{-1}$ e $1,3 \text{ mm.dia}^{-1}$, no período de Maio a Agosto.

A evapotranspiração de referência está definida pela equação de Penman-Monteith (Monteith, 1965 cit in Pereira, 2004), cujo objectivo é poder calcular as evapotranspirações para cada cultura através da multiplicação dos coeficientes culturais pela evapotranspiração para a cultura de referência (relva), de acordo com a equação (2).

Equação 2:

$$ET_c = K_c E_{T_o}$$

em que:

ET_c - Evapotranspiração cultural

K_c – Coeficiente cultural

E_{T_o} - Evapotranspiração de referência

Esta equação (2) permite que se possa calcular a evapotranspiração cultural para diversas culturas sob condições climáticas diferentes, uma vez que este valor é influenciado por parâmetro como a forma da folha, características dos estomas e o albedo.

Nagy *et al.* (2010) para um pomar de pereiras na Hungria utilizaram os dados climáticos para conseguir tirar melhor partido dos sistemas de rega, fazendo uma melhor gestão do uso da água no solo. Segundo este trabalho, a determinação da

evapotranspiração é um factor chave para uma boa gestão da rega. Foi usado então o modelo CROPWAT 8.0, com os dados climáticos e para coeficientes culturais estimados para a pereira.

Em Allen *et al.* (1998), os valores dos coeficientes culturais (K_c) tabelados para pomares de pêra, variam entre os 0,9 para pomares com solos descobertos e 1,2 para pomares com solos cobertos. No entanto há referências a outros valores quando determinados para casos particulares, como no trabalho de Conceição (2007), em que se registaram valores inferiores aos de referência. Neste trabalho, feito num pomar de pereira 'Rocha' em Caldas da Rainha, os valores de coeficientes culturais (K_c) médios foram de 0,6 para 2004 e 0,7 no ano de 2007.

Modelação do balanço hídrico da cultura

Os modelos para o cálculo do balanço hídrico surgem da dificuldade de haver uma medição dos parâmetros necessários para a sua determinação. Para tal é necessário que se conheçam as componentes a calcular e se faça uma avaliação das mesmas em separado. O balanço hídrico no solo tem por pressuposto a conservação da matéria, ou seja a quantidade de água no solo não aumenta sem que haja uma adição de água nem diminui sem que haja evaporação, infiltração para as camadas de solo mais profundas ou água transpirada pelas plantas quando há culturas. O modelo do balanço hídrico utiliza os dados meteorológicos (radiação total, temperatura do ar, velocidade do vento e precipitação), quantidades e momento de rega, características do solo, da cultura e a sua evolução ao longo do ciclo cultural. Para a cultura utilizam-se dados do índice de área foliar e distribuição das raízes. O objectivo do modelo é calcular a evaporação do solo e cultura. Para cada camada de solo o modelo determina as entradas de água e temperatura em determinados momentos, estes valores servem para se saber quais os fluxos de água e calor abaixo da superfície. Para a superfície do solo calculam-se o calor latente, o calor sensível, a radiação que chega ao solo. Para as copas determina-se o calor latente, o calor sensível e a radiação recebida, à semelhança da superfície do solo utiliza-se como referência uma só camada da copa para estes fluxos.

Influência da rega no crescimento vegetativo das fruteiras

A rega é um dos factores de produção a ter em conta nos pomares comerciais dos nossos dias. As quantidades de rega aplicadas e momento de aplicação irão reflectir-se nas produções e crescimento vegetativo. Uma rega insuficiente diminui o crescimento vegetativo e aumenta o tempo que demora a chegar à plena produção. Quando esta é aplicada em

excesso pode limitar o desenvolvimento radicular, no caso da fertirrega, há o risco de contaminação do lençol freático por lixiviação de nitrato e pesticidas (Syvertsen, 1986 cit. in Bryla, 2003).

O crescimento das raízes é normalmente favorecido pelo fornecimento de água, quando o fornecimento de água é abaixo da evapotranspiração, na primeira metade da época, o crescimento das raízes é reduzido fazendo aumentar a razão parte aérea-raiz. As árvores regadas têm tendência a aumentar a densidade de raízes nas camadas superiores e a diminuir nas camadas inferiores, quando há um período de stress hídrico a área de raízes tende a aumentar em detrimento da parte aérea.

No caso das pereiras a área seccional do tronco é reduzida quando há um período de stress hídrico. De acordo com Mills *et al.* (1996) cit. in Behboudian (1997) por o tronco ter um engrossamento constante ao longo do ciclo cultural, um défice hídrico em qualquer altura pode afectar o seu crescimento. No caso da parte aérea (ramos e folhas) esta é fortemente afectada pela falta de água. O menor crescimento dos ramos permite que haja uma maior entrada de radiação na copa, melhorando a cor dos frutos. O crescimento dos rebentos é resultado da divisão e expansão celular, processos esses que dependem em grande parte do estado da água na planta. Nos trabalhos de Caspari *et al.* (1997) cit. in Behboudian (1997), para um pomar de pereiras 'Hosui', o défice controlado de rega provoca uma diminuição do comprimento dos ramos bem como do peso da lenha de poda de Verão, no entanto os pesos das lenhas de poda de Inverno não são influenciados pela rega. Segundo Tromp (2005) a floração é favorecida quando antes desta ocorre um período seco, no entanto, isto pode também dever-se ao facto do desenvolvimento vegetativo ser mais reduzido.

O défice controlado de rega (RDI) é um sistema de controlo da água do solo que impõe determinados períodos, predefinidos ao longo do ciclo cultural, de stress hídrico à planta, mas que podem resultar em benefícios económicos (Behboudian, 1997). Foi desenvolvido para diminuir o vigor vegetativo em pomares de grande densidade, para aumentar a produção, calibre dos frutos e qualidade, é aplicado quando o crescimento dos frutos é menor e o crescimento vegetativo dos ramos maior.

De acordo com Goodwin *et al.* (2000), um stress hídrico moderado na altura de menor crescimento dos frutos, em pessegueiros, pereiras e macieiras, pode controlar o crescimento vegetativo e aumentar a produção.

Sistemas de rega

Os sistemas de rega compreendem o conjunto de equipamentos e técnicas que proporcionam essa aplicação seguindo um dado método. Os métodos de rega podem ser rega de superfície ou gravidade, rega por aspersão, rega subterrânea e rega localizada.

Os sistemas de rega localizada ou microrrega são sistemas de rega sob pressão, em que a água é aplicada nos locais onde se desenvolvem as raízes das plantas. Os sistemas de rega localizada podem ser classificados em quatro categorias, tendo cada um características diferentes. Podem ser rega por jorros, micro-aspersão, rega gota-a-gota e subsuperficial. Nesta breve revisão, abordar-se-ão apenas os dois últimos. Estes sistemas, no caso dos pomares, podem ser uma maneira de poupar água pois esta é aplicada apenas na zona das raízes.

Na rega gota-a-gota ou de gotejamento, a água é aplicada lentamente à superfície do solo através de pequenos orifícios emissores, denominados gotejadores, com caudais de 2 a 8 Lh⁻¹. Os sistemas de rega gota-a-gota são geralmente sistemas de cobertura total. As condutas e as rampas permanecem no terreno ao longo de todo o período vegetativo das culturas, ou são mesmo permanentes no caso de culturas arbóreas. Sob o mesmo caudal do gotejador e duração de aplicação, nos solos de textura fina a média, o bolbo molhado é maior e menos profundo que em solos arenosos. O bolbo molhado pelo gotejador está dividido em três partes. A que se encontra por debaixo do gotejador está próxima da saturação sendo por isso pouco arejada. Por baixo dessa área está a zona onde a maioria das raízes se desenvolve, em que a água se desloca sob efeito das forças capilares, nesta zona a água diminui com o aumento da distância do ponto de aplicação, aumentando o arejamento. A zona final do bolbo é uma zona de fronteira com teores de humidade semelhantes à primeira zona (Pereira, 2004). Segundo Nagy (2010), o sistema gota-a-gota é um sistema que se adequa bem a pomares de alta densidade, uma vez que permite a passagem de máquinas e pessoas na entrelinha e permite um alcance da fertirrega às raízes mesmo quando há uma elevada densidade destas no solo.

Na rega subsuperficial, a água é aplicada através de emissores integrados em rampas colocadas abaixo da superfície do solo, e geralmente, toda a rede é enterrada; em alternativa, a água pode ser aplicada por tubos porosos mas esta solução tem sido abandonada relativamente aos tubos com orifícios (Pereira, 2004). Este sistema de rega, de um modo geral, favorece menos o desenvolvimento de infestantes (Raposo, 1996), representa menor evaporação de água mas apresenta alguns problemas com a obstrução

das tubagens por partes das raízes (San Juan, 2000). As tubagens deste sistema podem estar colocadas a diversas profundidades e distâncias das plantas, isto irá depender do solo, clima, profundidade das raízes, necessidades de água e tipo de solo. Na revisão de vários trabalhos feita por Camp (1998), este verificou que na grande maioria dos casos estudados a produção das culturas com rega subsuperficial mantinha-se ou aumentava em relação a outros métodos de rega. Em algumas situações, quando a fertilização é aplicada através da rega, as aplicações de fósforo podem ser reduzidas se forem feitas abaixo do solo, pois este é aplicado directamente às raízes.

Numa medição realizada 10 h depois da rega efectuada por Oron *et al.* (2002), num pomar de pereiras instalado num solo areno-limoso, com um sistema gota-a-gota, e dois subsuperficiais com um tubo a 30 e 60 cm de profundidade, verificaram-se diferentes distribuições da água ao longo perfil do solo, consoante os sistemas e localização dos emissores. No sistema gota-a-gota a quantidade de água diminuía ao longo do perfil aproximadamente até à profundidade de 90 a 100 cm, profundidade em que a percentagem de humidade começava a aumentar ligeiramente até estabilizar a partir dos 140 cm de profundidade. No sistema subsuperficial com um tubo a 30 cm o volume de humidade no solo é mais uniforme ao longo do perfil relativamente ao tubo a 60 cm de profundidade em que a humidade diminui da sua localização para a superfície, e da sua localização até aos 100 cm, altura em que se dá um aumento da humidade até estabilizar aos 140 cm de profundidade. Para um pomar de pereira 'Rocha' num solo de textura franca (Pacheco, 2009), quando se realizou uma medição do teor de água ao longo de perfil do solo após regas com diferentes dotações com sistema gota-a-gota, verificou-se que o teor de água diminui ao longo do perfil, estabilizando depois a 70 cm de profundidade.

A gestão da água de rega dos pomares irá influenciar vários dos parâmetros qualitativos da pêra 'Rocha', tais como o °Brix, a dureza da polpa (Azevedo, 2006) e o calibre (Pacheco, 2009). É também uma consequência do estado hídrico do solo as produtividades dos pomares (Pacheco, 2009), sendo por isso a rega um dos factores importantes para uma boa gestão do mesmo. Segundo os trabalhos de Franco (2002), as peras de pomares regados apresentavam maior peso, no entanto, os frutos dos pomares não regados tinham teores mais elevados de ácidos, amidos, açúcares redutores e cálcio. Apesar destas diferenças, o poder de conservação dos frutos de uma e outra modalidade de rega não foi afectado.

Segundo Bryla *et al.* (2003), num estudo em que compararam diversos métodos de rega em pessegueiros, durante os três primeiros anos de plantação verificou-se que,

embora no primeiro ano não houvesse diferenças na área seccional do tronco independentemente do método de rega, nos anos seguintes as árvores regadas com sistema subsuperficial, apresentavam uma maior área com dois e três tubos laterais, tinham uma maior área seccional do tronco e maior peso da lenha de poda, quando comparado com o mesmo tipo de rega com apenas um tubo lateral. O número de frutos e calibre à colheita foram maiores nos sistemas gota-a-gota e subsuperficial, não havendo diferenças significativas com o número de tubos da rega, quando comparados com sistema de rega por microaspersão e sulcos. Num outro ensaio feito em pessegueiro três anos após a plantação (Bryla *et al.*, 2005), também não se obtiveram diferenças estatisticamente significativas de produção entre a rega subsuperficial e gota-a-gota. Embora as árvores sob estes sistemas de rega tenham produzido maior número de frutos com calibre superior a 75 mm e número de frutos com calibre superior a 57 mm, os parâmetros acidez e teores de sólidos solúveis não foram diferentes da microaspersão e rega por sulcos.

De acordo com os trabalhos realizados por Oron *et al.* (2002), para um pomar de pereiras 'Spadona', regado com sistema de rega localizada, as produções foram maiores quando regados através de rega subsuperficial com tubagem 30 cm abaixo do solo, relativamente à rega gota-a-gota e à rega subsuperficial localizada 60 cm abaixo do solo. Segundo este estudo, as árvores regadas com sistema de rega subsuperficial a 60 cm do solo foram as que tinham as menores produções. No entanto, as diferenças de produção entre os três sistemas não foram significativamente diferentes em todos os anos de ensaio. Quanto aos parâmetros qualitativos, como o °Brix, acidez e capacidade de conservação, as diferenças entre os métodos de rega já não se verificaram.

III. MATERIAL E METODOS

Localização

O presente ensaio foi efectuado num pomar de pereira 'Rocha' clone 2 enxertado em Sydo, na sociedade agrícola da Terra da Eira, na freguesia do Peral, concelho do Cadaval. O pomar foi plantado em 2006, tem compasso 4 m x 1m e está conduzido em eixo na zona em estudo. A rega gota-a-gota em superfície é fornecida por dois tubos, um em cada lado da árvore, com um débito de 2,3 L/h. A tubagem de rega está colocada a 45 cm da árvore, 50 cm de altura com orifício de metro a metro. No caso da rega subsuperficial, esta é feita com recurso a dois tubos, com orifícios de metro a metro, colocados a 45 cm de profundidade, a 50 cm da linha, com um débito de 2 L/h. As características da água de rega encontram-se no anexo III. As árvores de pereira 'Rocha' encontram-se intercaladas com árvores polinizadoras 'Vitória' e 'Carapineira'.

O solo do pomar é do tipo franco-argiloso (40% areia, 32% limo e 28% argila), a entrelinha tem enrelvamento semeado, com gramíneas e leguminosas, controlada através de cortes. A capacidade de campo deste solo é $0,26 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$.

Clima

O clima é, segundo a classificação climática de Köppen, do tipo Csb, temperado húmido, com a estação seca no Verão sendo este longo e fresco. Temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e pelo menos 4 meses com temperatura média superior a 10°C . Segundo Reis *et al.* (1981) o índice hídrico varia entre C1 (húmido e seco) e B1 (pouco húmido). Os dados meteorológicos foram retirados da estação meteorológica que está instalada perto do pomar, propriedade da sociedade agrícola Terra da Eira.

Os dados meteorológicos do período do de Setembro 2009 a Agosto de 2010 desta estação foram comparados com um período de referência de 30 anos, 1958 a 1988 (Figura 1). Os dados do período de referência foram retirados da estação de Rio Maior (Secção de Agricultura ISA, 2010). Verifica-se que este ano foi mais pluvioso que o período de referência de 30 anos, no entanto, as temperaturas médias mensais foram bastante semelhantes. Os meses mais frios foram os meses de Janeiro e Fevereiro (Figuras 1 e 2). Quanto à precipitação, os meses de Fevereiro, Novembro e Março foram os meses em que mais choveu, evidenciado a tendência atípica relativamente ao período referência em termos de precipitação.

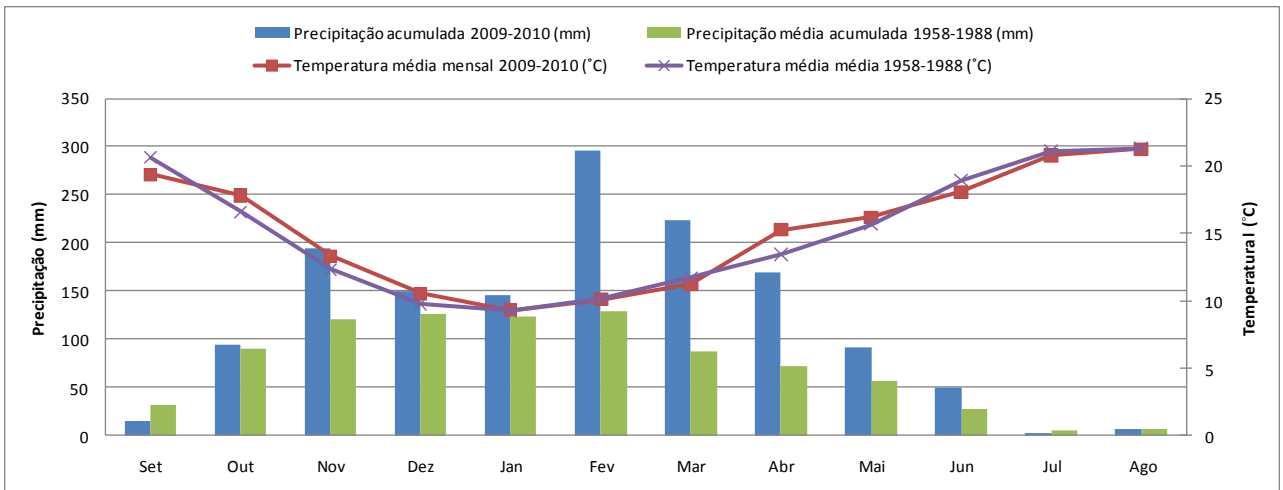


Figura 1. Precipitação mensal (mm) e temperatura média mensal (°C) de Setembro de 2009 a Agosto de 2010, e valores médios de 30 anos da estação meteorológica de Rio Maior (Secção de Agricultura do ISA, 2010).

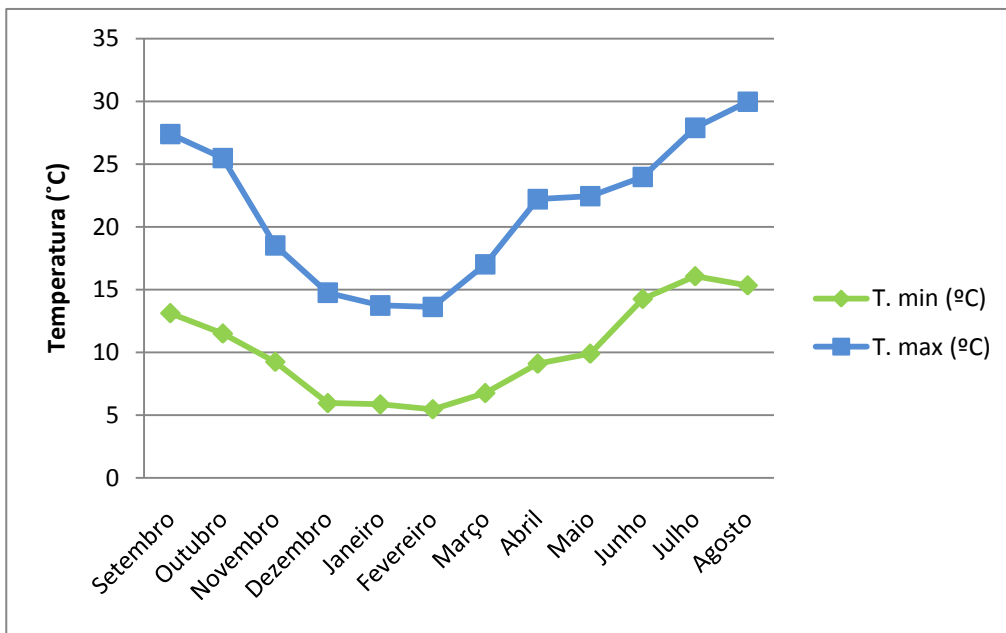


Figura 2. Temperaturas máximas e mínimas mensais de Setembro de 2009 a Agosto de 2010.

A Figura 3 representa o balanço hídrico, a partir deste, podemos ter uma percepção das disponibilidades hídricas do solo. É apenas uma indicação uma vez que se utilizaram os dados dos anos de 1958 a 1988 para a estação de Rio Maior (Secção de Agricultura do ISA, 2010).

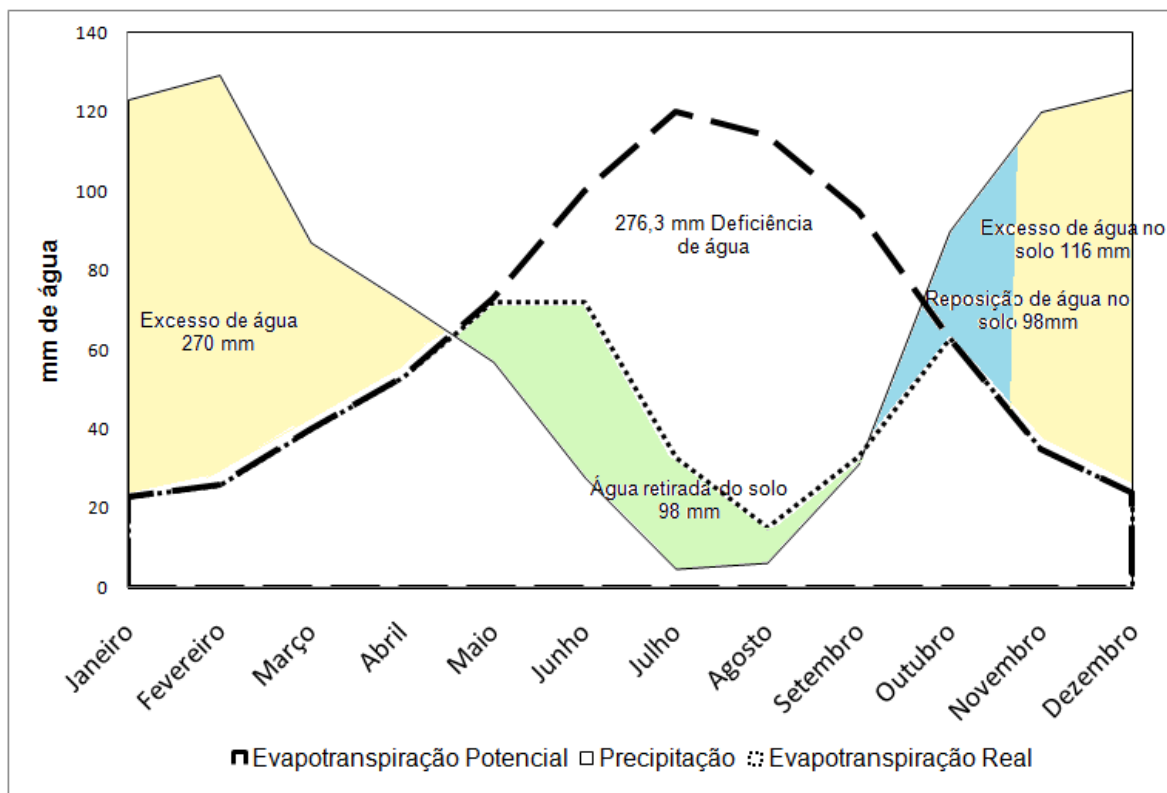


Figura 3. Balanço hídrico do período de referência (1958 a 1988).

Da análise das curvas do gráfico do balanço hídrico (Figura 3) conclui-se que quando a curva de precipitação média mensal está abaixo da curva da evapotranspiração potencial, há utilização da água do solo até se esgotarem os 100 mm de água disponível. Uma vez esgotados os 100 mm de água disponível, começa o período de deficiência de água que se prolonga até que a curva de precipitação volte a estar acima da evapotranspiração potencial. Estes valores são calculados para o período de referência de modo a que se possa ter uma ideia geral do clima e balanço hídrico na região.

A figura 4 mostra a evolução da radiação global diária recebida pelo pomar, em que cada ponto representa a radiação global diária em MJ, desde o aparecimento das primeiras folhas até à colheita.

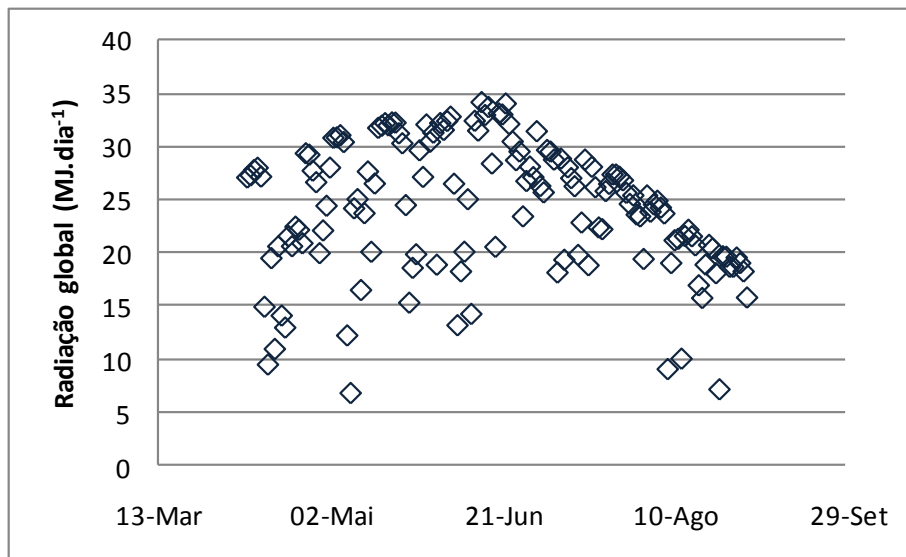


Figura 4. Radiação global diária de 8 de Abril a 31 de Agosto (MJ.dia⁻¹).

A evapotranspiração de referência (ET_o) dá-nos a evapotranspiração para a cultura de referência, com um valor, durante o período considerado, de 639 mm. Este indicador é um factor a ter em conta na rega, pois através do conhecimento deste pode conhecer-se os coeficientes culturais (K_c) e evapotranspiração da cultura (ET_c). A evolução do ET_o está representada na Figura 5 em que estão representados os valores totais diários.

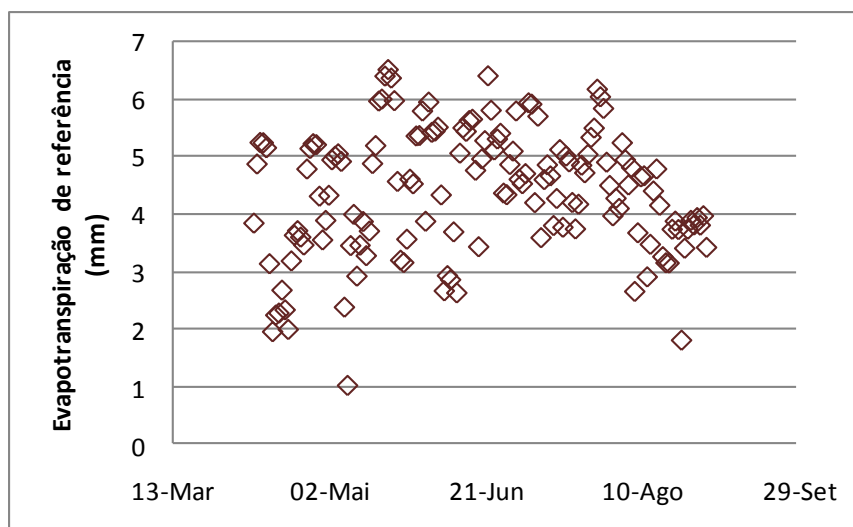


Figura 5. Evapotranspiração de referência (mm) para o período de 8 de Abril a 31 de Agosto.

A transpiração potencial da cultura representa a potencialidade que as plantas têm para perder água por transpiração com disponibilidade de água.

As árvores regadas subsuperficialmente (transpiração potencial de 323 mm) têm uma potencialidade para utilizar um pouco mais de água que as regadas por sistema gota-a-gota (transpiração potencial de 320 mm) na Figura 6 verifica-se essa tendência de uso da água através da previsão da transpiração potencial, que apesar de ser um pouco maior que a real é um bom indicador de uso da água.

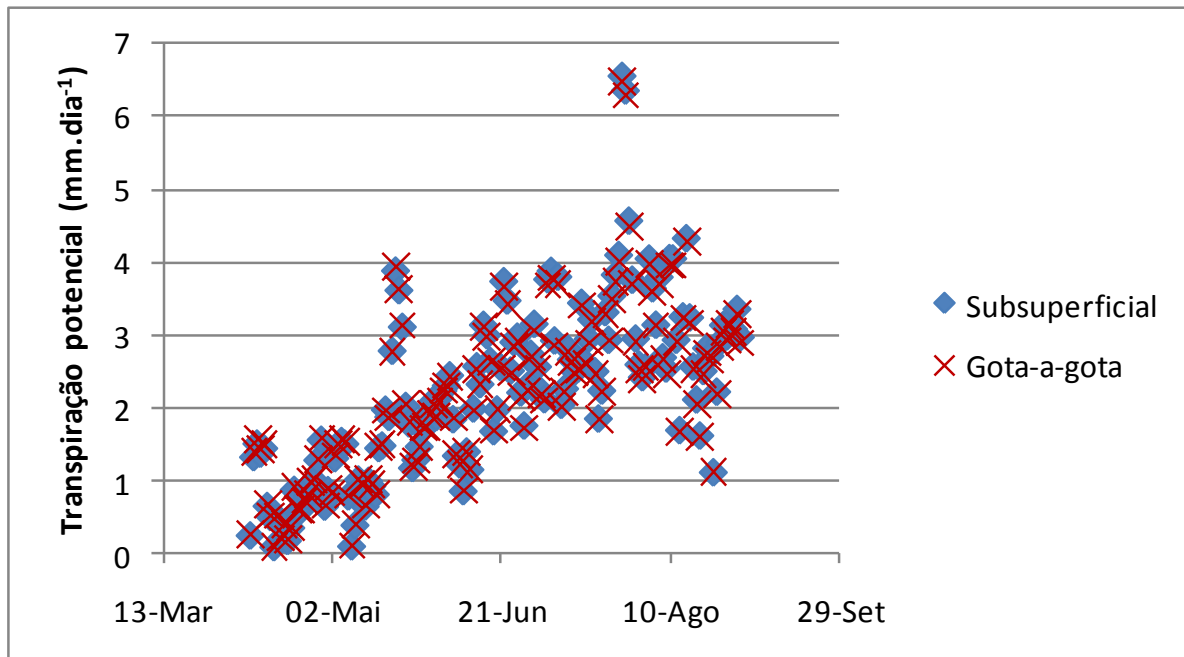


Figura 6. Transpiração potencial (mm) de 8 de Abril a 31 de Agosto

Delineamento experimental

Para o estudo de cada um dos sistemas de rega foram escolhidas 30 árvores, divididas em 3 blocos de 10 árvores cada. Para a escolha das árvores foram medidos os diâmetros de todas as árvores de cada um dos sistemas de rega e foram escolhidas as que tivessem um diâmetro mais homogêneo. Os dois sistemas de rega encontram-se em linhas paralelas entre si, como demonstra a Figura 7.

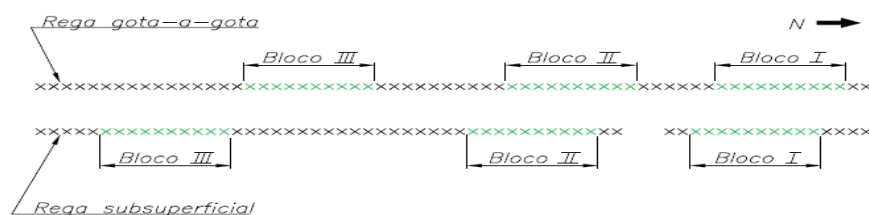


Figura 7. Esquema do ensaio.

Medições efectuadas

Escolha das árvores e ramos:

Para a escolha dos blocos do ensaio foram medidos os diâmetros dos troncos a 20 cm acima da enxertia. Foi utilizada uma craveira digital com unidade em mm, foi medido o diâmetro paralelo e perpendicular à linha. Com a média destes valores calculou-se posteriormente a área seccional do tronco (AST), por intermédio da equação (3).

Equação (3)

$$AST(cm^2) = \pi \left(\frac{\text{diâmetro do tronco (mm)}}{20} \right)^2$$

Posteriormente foram marcados dois ramos em cada árvore com fita plástica. Os dois ramos foram escolhidos por serem representativos da árvore, diametralmente opostos entre si e todos à mesma altura. No dia 19/03 foram medidos todos os diâmetros dos ramos, 5 cm acima da inserção. Estas medições foram depois utilizadas para o cálculo da área seccional do ramo (ASR), através da equação (4).

Equação (4)

$$ASR(cm^2) = \pi \left(\frac{\text{diâmetro do ramo (mm)}}{20} \right)^2$$

Medições feitas ao longo do ciclo cultural:

Ao longo do ciclo cultural foram feitas diversas medições, o peso da lenha de poda, número de gomos florais, número de frutos vingados e volume das copas.

- Lenha de poda

A poda foi efectuada no dia 10/03/2010, a lenha de poda de cada árvore foi pesada individualmente, com uma balança digital com unidades em gramas. Foi contabilizado o tempo de trabalho de poda para cada sistema.

- Contagem do número de gomos florais

O número de gomos florais, em cada ramo, foi contabilizado no estado de botão branco. Este estado fenológico foi atingido no dia 8/04/2010.

- Contagem dos frutos vingados

A contagem do número de frutos vingados foi feita quando estes tinham aproximadamente 1 cm de diâmetro, em 06/05/2010. As contagens foram feitas por número de frutos vingados em cada ramo marcado.

- Medição do volume de copa

Com o objectivo de saber a evolução das áreas de copa ao longo do ciclo cultural, realizaram-se três medições em alturas distintas. A primeira foi feita no dia 5/05/2010, a segunda a 18/06/2010 e a terceira a 20/07/2010. Foram medidas a distância da copa ao chão, altura da copa, largura e profundidade. Utilizou-se uma cana marcada com unidade de 5 em 5 cm. Com base nestas medições foi calculado o volume da copa, em m³, utilizando as medições da altura da copa (h), a largura da copa perpendicular à linha (lpp) e paralela à linha (lpl), com a equação (5), em que se aplica o modelo elíptico do cone (Wright *et al.*, 2006).

Equação 5:

$$\text{Volume da copa (m}^3\text{)} = \frac{1}{12} \times \pi \times \text{lpl} \times \text{lpp} \times \text{h}$$

Radiação solar:

Este parâmetro foi medido com recurso a dois solarímetros ligados a um data logger CR_10X. Os solarímetros foram colocados, um em cada sistema de rega diferente, a 1 m da linha durante uma semana em cada bloco. Este aparelho mede os valores de radiação em Volts, tendo sido programado para que houvesse um registo a cada período de 60 minutos.



Figura 8. Solarímetro.

Água no solo

A água no solo foi medida ao longo do ciclo cultural com recurso a uma sonda Diviner, que é introduzida em tubos, de PVC, instalados na linha com profundidade de 1 m. O sensor mede a percentagem de água em cada 10 cm de profundidade do solo até 1 m de profundidade. A sonda mede a dielétrica⁽¹⁾ do complexo solo-água-ar e conseqüentemente o seu teor de humidade.

Modelação para a previsão da floração

O modelo para previsão da floração (Melo-Abreu *et al.*, 2005) faz uma estimativa da data da floração e da quebra da dormência através dos valores das temperaturas mínimas e máximas diárias, a partir do dia 1 de Outubro, considerando que a temperatura base da forçagem é de 4,3°C.

⁽¹⁾ Medida de capacidade ou permitividade eléctrica, de um material não condutivo, de transmitir onda ou impulsos electromagnéticos de alta frequência.

Modelação para o balanço hídrico do solo

O modelo utilizado faz o balanço da radiação, do carbono e da água. É um modelo determinístico, dinâmico e com razoável descrição dos processos envolvidos (Melo-Abreu, 2010b).

A intercepção (e absorção) da radiação utiliza a extinção exponencial em elipsóides, cujas dimensões foram medidas no campo. Os cálculos das componentes do balanço da radiação são feitos na PAR (radiação fotossinteticamente activa), NIR (radiação no infravermelho proximo), e nos grandes comprimentos de onda, utilizando a raiz quadrada da absorvância das folhas na banda respectiva (Goudriaan, 1977) para corrigir o coeficiente de extinção. Este é calculado pelo modelo elipsoidal de distribuição dos ângulos foliares (Campbell, 1986). Através da PAR absorvida calcula-se a assimilação bruta, utilizando a eficiência fotossintética (Monteith, 1977). Entrando com a respiração de crescimento e de manutenção, calcula-se a assimilação líquida (De Wit, 1982). A partição dos assimilados é feita utilizando equações empíricas, sendo estes convertidos em matéria seca das partes vegetais através da utilização de coeficientes apropriados para cada parte.

Depois de se calcular a resistência estomática para a transferência de dióxido de carbono em condições potenciais, calcula-se a resistência estomática para a transferência de vapor de água. Seguidamente, calcula-se a extracção de água pelas raízes, a evaporação do solo e transpiração real. As entradas de água para o solo são feitas por precipitação e rega. A precipitação humedece toda a superfície do solo, mas a rega só humedece uma área que é entrada pelo utilizador. No modelo, a evaporação do solo entra com estes pressupostos, calculando-se a evaporação em quadrados de solo de dimensão escolhida pelo utilizador.

Antes de se utilizar o modelo para simular o balanço da água, o crescimento e produção, este foi utilizado para calcular a área foliar numa base de dados independente. Esta foi, portanto, a fase de calibração. A validação do modelo, embora incompleta, tem sido feita em estudo não relacionado com este.

Colheitas

As colheitas foram efectuadas no dia 31/08/2010. Apenas foram colhidas as peras dos ramos marcados que foram pesadas, com uma balança digital, por ramo e posteriormente calibradas, individualmente. Os frutos foram divididos pelas classes de calibres, <55 mm, 60, 65, 70 e > 70 mm (Figura 9). Efectuou-se a colheita de 35 árvores do sistema subsuperficial e de 43 árvores do sistema gota-a-gota (incluindo as árvores marcadas) tendo sido pesada a produção destas árvores e calculada a produção por hectare a partir deste valor.



Figura 9. Calibração dos frutos na colheita.

Análises qualitativas

Foi retirada uma amostra de 20 peras por cada bloco num total de 60 peras por sistema de rega.

Foram posteriormente avaliados os parâmetros peso (g), diâmetro (mm), cor (L, a^*, b^*), dureza ($\text{kg} \cdot 0,5\text{cm}^{-2}$), teor de sólidos solúveis (TSS) ($^{\circ}\text{Brix}$) e acidez titulável (g/L).

– Cor

O parâmetro cor foi medido com um colorímetro (Minolta CR-300), este aparelho apresenta os valores em L, a^* e b^* ; foi medida a cor de cada fruto em duas faces opostas. Este sistema estabelece coordenadas uniformes no espaço tridimensional de cor, L é a luminosidade e a^* e b^* contêm as informações de croma, onde “ a^* ” corresponde a um eixo que varia do vermelho ao verde e b^* é um eixo que varia do amarelo ao azul. Com base nestas, o parâmetro luminosidade é dado pela leitura directa do valor L dado pelo colorímetro, os parâmetros saturação e tonalidade são calculados a partir das equações (6) e (7) respectivamente, com os valores de a^* e b^* , dados pelo colorímetro.

Equação 6:

$$\text{Saturação} = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Equação 7:

$$\text{Tonalidade} = \text{atan}\left(\frac{b}{a}\right) \times \left(\frac{180}{\pi}\right) + 180$$

– Peso e diâmetro dos frutos

O peso dos frutos foi determinado com uma balança digital com precisão de $\pm 0,01\text{Kg}$, as peras foram pesadas individualmente. O peso dos frutos foi determinado em grama.

Para o diâmetro utilizou-se uma craveira com precisão de $\pm 0,01$ mm, com a qual se mediu o maior diâmetro equatorial.

– Dureza

A dureza foi determinada com um penetrômetro de bancada com ponteira de $0,5\text{ cm}^2$, em duas faces opostas de cada fruto.

– Acidez

A acidez foi determinada com recurso a uma titulação de 10 ml de sumo com 10 ml de água destilada, para a titulação utilizou-se uma solução 0,1 N de NaOH. O sumo foi obtido de um conjunto de 5 peras, num total de 4 sumos por bloco, A quantidade de gramas de ácido málico por litro de sumo é obtida pela equação (8).

Equação (8)

$$\text{Acidez (g/L)} = \text{ml NaOH gasto na titulação} \times 0,67$$

– Teor de sólidos solúveis

O teor de sólidos solúveis foi determinado, a partir do sumo, de um conjunto de 5 peras, num total de 4 sumos por bloco. A determinação foi feita com um refractômetro de bolso, com escala de 0 a 30° Brix.

Uso da água

Para os cálculos da relação da água calcularam-se a produtividade da água (WP), produtividade da água de rega (WPI) e eficiência do uso da água (EUA)

A produtividade da água (WP) define a quantidade produzida (Kg) por quantidade de água total utilizada (m³), que inclui a água de rega, a precipitação ao longo de todo o ciclo, reserva de humidade do solo e ascensão capilar (equação 9).

Equação 9:

$$WP = \frac{\textit{Produção total (kg)}}{\textit{Total de água fornecida (m}^3\textit{)}}$$

A produtividade da água de rega (WPI) por sua vez descreve a relação entre a quantidade produzida (Kg) por quantidade de água de rega fornecida (m³) (equação 10).

Equação 10:

$$WPI = \frac{\textit{Produção total (kg)}}{\textit{Total de água de rega fornecida (m}^3\textit{)}}$$

A eficiência do uso da água (EUA) corresponde à produção total de matéria seca (g) por total de água transpirada (L), ou seja utilizada pela planta (equação 11)

Equação 11:

$$EUA = \frac{\textit{Produção total de matéria seca(g)}}{\textit{Total de transpiração (L)}}$$

Análise estatística

A análise estatística foi feita com recurso ao software Statistics versão 9.0, através da análise de variância (ANOVA) a um factor (sistema de rega), com três blocos por sistema e 10 árvores em cada bloco. Para a análise das diferenças entre médias utilizou-se o teste de Tukey com $\alpha < 0,05$.

IV. RESULTADOS

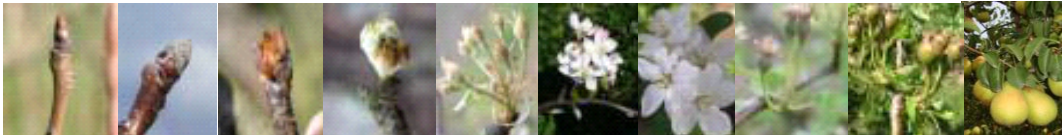
Fenologia

A evolução dos estados fenológicos foi idêntica para os dois sistemas de rega, o Quadro 1 mostra a evolução dos estados fenológicos por data em que estes tiveram início.

Segundo o modelo para a floração de Melo-Abreu *et al.* (2005), a data estimada em que se deu a quebra de dormência foi no dia 5 de Fevereiro e o modelo previu que a floração ocorresse a 11 de Abril. Este modelo baseia-se nas horas de frio acumuladas, utilizando as temperaturas mínimas e máximas diárias. Segundo os resultados do modelo do dia 1 de Outubro de 2009 a 5 de Fevereiro de 2010, acumularam-se 1013 unidades de frio para a quebra da dormência.

O abrolhamento ocorreu a 28 de Março e a colheita foi a 31 de Agosto. Da plena floração à colheita decorreram 128 dias.

Quadro 1. Fenologia

| | | | | | | | | | | |
|----------------|---|------------------|--------------|-------------|--------------|--------------------|----------------|------------|----------------------------|----------|
| |  | | | | | | | | | |
| | A | B | C3 | D | E | E3 | F2 | I | J | |
| | Repouso | Pré-abrolhamento | Abrolhamento | Botão verde | Botão branco | Início da floração | Plena floração | Vingamento | Desenvolvimento dos frutos | Colheita |
| Ensaio de rega | 10 Mar | 23 Mar | 28 Mar | 02 Abr | 08 Abr | 10 Abr | 14 Abr | 28Abr | 18Jun | 31 Ago |

Pode verificar-se um maior volume de copa no sistema de rega subsuperficial em todas as medições das copas, no entanto os volumes diferem significativamente nas duas primeiras medições, e na última medição isto não acontece (Quadro 2). Também nos valores de área seccional do tronco, obtêm-se valores mais elevados para o sistema de rega subsuperficial.

Quadro 2. Características do pomar e das árvores, nos dois sistemas de rega.

| Sistema de Rega | Compasso (m) | Área (m ²) | Nº. árvores hectare ⁻¹ | AST (cm ²) | Volume da copa (m ³) | | |
|-----------------------|--------------|------------------------|-----------------------------------|------------------------|----------------------------------|--------|-------|
| | | | | | 05/05 | 18/06 | 20/07 |
| Gota-gota | 4 x 1 | 948 | 2500 | 17,5 a | 1,85 a | 1,95 a | 1,97 |
| Subsuperficial | 4 x 1 | 640 | 2500 | 18,8 b | 2,17 b | 2,22 b | 2,22 |
| Média | - | - | - | 18,2 | 2,015 | 2,082 | 2,095 |
| EPM | - | - | - | 0,40 | 0,06 | 0,072 | 0,073 |
| Prob. Teste F | | | | 0,02 | <0,001 | 0,010 | 0,955 |

AST – Área seccional do tronco

EPM – Erro padrão da média

Letras diferentes em coluna correspondem a médias significativamente diferentes (teste de Tukey $\alpha=0,05$).

Na análise das medições das copas, utilizadas para calcular o volume das mesmas, verifica-se que as árvores regadas com sistema subsuperficial têm maior altura e maior largura da copa paralela à linha, relativamente às árvores sujeitas à rega gota-a-gota. Foi efectuado um cálculo para determinar o rácio entre a altura da copa e a média da largura da copa perpendicular à linha e largura da copa paralela à linha, este rácio não apresentou diferenças estatisticamente significativas entre sistemas (Quadro 3).

Quadro 3. Altura máxima de copa (h), largura da copa perpendicular à linha (lpp), largura da copa paralela à linha (lpl) e rácio entre altura e largura média da copa.

| Sistema de Rega | Lpp (m) | Lpl (m) | H (m) | Rácio h e média lpp e lpl |
|-----------------------|---------|---------|--------|---------------------------|
| Gota-gota | 1,60 | 1,40 a | 3,27 a | 2,20 |
| Subsuperficial | 1,63 | 1,46 b | 3,40 b | 2,21 |
| Média | 1,61 | 1,43 | 3,34 | 2,21 |
| EPM | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 |
| Prob. Teste F | 0,26 | 0,005 | 0,003 | 0,66 |

EPM – Erro padrão da média

Letras diferentes em coluna correspondem a médias significativamente diferentes (teste de Tukey $\alpha=0,05$).

Água no solo

Através das medições da água no solo verificaram-se maiores quantidades de água de rega no sistema subsuperficial ao longo do tempo desde 5 de Maio até 11 de Agosto, no total de todas as camadas de solo até 1 m de profundidade (Figura 10). A modalidade subsuperficial apresenta ao longo do ciclo maiores quantidades de água totais no primeiro metro de solo.

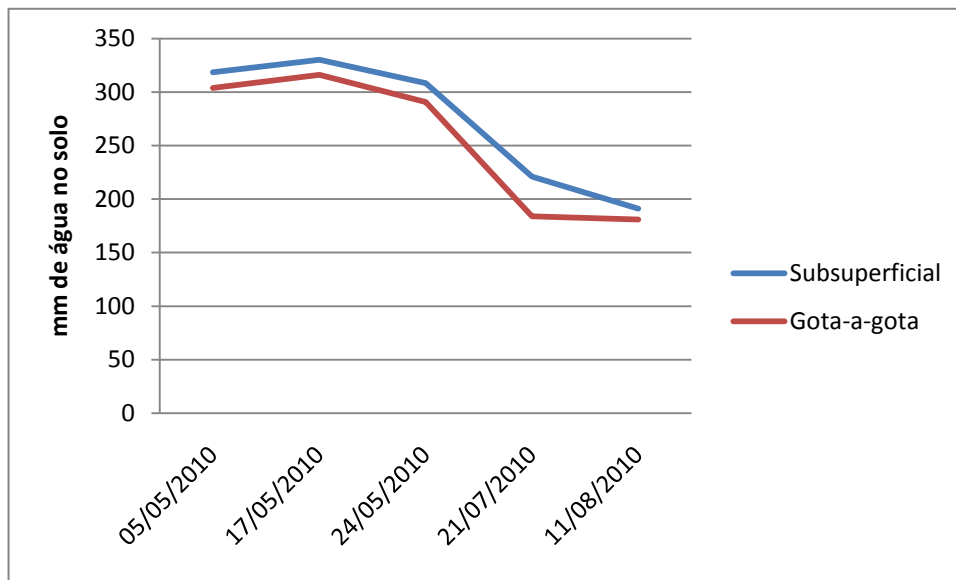


Figura 10. Monitorização da água no solo (mm), sob o sistema de rega subsuperficial e gota-a-gota, até à profundidade de 1 m.

As medições da água no solo mostram que, na rega gota-a-gota, a quantidade de água no solo é bastante constante ao longo de perfil, mostrando um ligeiro aumento dos 20 aos 50 cm, depois dessa profundidade o teor de água baixa. No entanto os teores de água dos 10 para os 80 cm pouco se alteram, havendo após esta profundidade uma diminuição de água no perfil. No caso da rega subsuperficial verifica-se que o aumento da água no perfil ocorre a partir dos 50 cm, profundidade a que está instalado o tubo. A água dos 50 cm de profundidade até à superfície vai sendo sucessivamente menor indicando uma ascensão por capilaridade. A distribuição da água nas diferentes camadas está expressa nas Figuras 11 e 12.



Figura 11. Distribuição da água no perfil do solo, medida 16h depois da rega, em mm de água por 10 cm de solo.

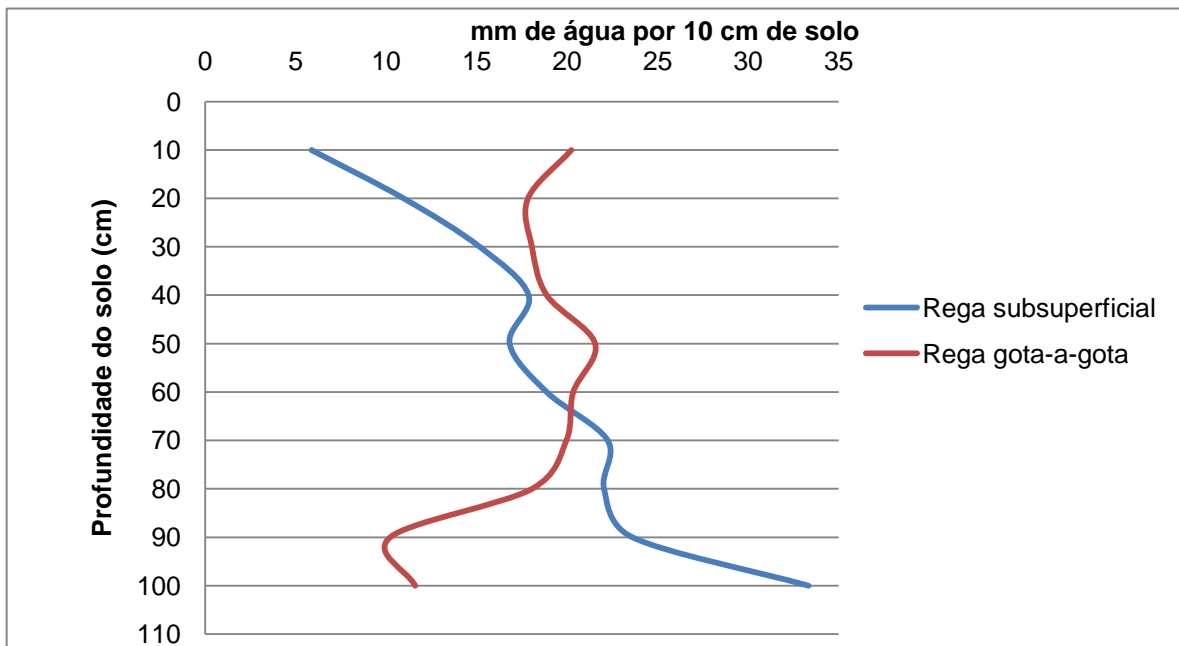


Figura 12. Distribuição da água no perfil do solo, medida 24h depois da rega, em mm de água por 10 cm de solo.

Vingamento das flores e frutos

O vingamento das flores e frutos foi determinado com base nas observações efectuadas nos ramos marcados, pela contagem de corimbos ao botão branco e frutos quando estes tinham 1 cm de diâmetro.

O número de corimbos e vingamento de frutos e massa dos frutos por área seccional do tronco não foram estatisticamente diferentes nos dois sistemas (Quadro 4) o que indica que o sistema de rega não influenciou o potencial produtivo.

Quadro 4. Área seccional do ramo, número de corimbos por área seccional do ramo, número de frutos por área seccional do ramo e do tronco e massa de frutos por área seccional do ramo.

| Sistema de Rega | ASR (cm ²) | Corimbos/ASR cm ² | Num.Frutos/ASR cm ² | Num.Frutos/AST cm ² | Massa (Kg)/ASR (cm ²) |
|-----------------------|------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|
| Gota-a-gota | 2,6 | 2,8 | 2,9 | 0,90 | 0,66 |
| Subsuperficial | 2,6 | 2,5 | 2,7 | 0,80 | 0,64 |
| | | | | 0,85 | |
| Média | 2,6 | 2,7 | 2,8 | | 0,65 |
| EPM | 0,033 | 0,17 | 0,3 | 0,139 | 0,066 |
| Prob. Teste F | 0,8105 | 0,217 | 0,646 | 0,592 | 0,832 |

ASR – Área seccional do ramo
EPM – Erro padrão da média

Análises qualitativas

Os valores qualitativos, teores de sólidos solúveis (TSS), acidez e dureza não mostraram diferenças significativas entre os dois sistemas. Os valores de TSS tiveram média de 11,8 %, a acidez de 1,4g/L e a dureza de 5,5 Kg/0,5cm². Também a massa e o diâmetro médio dos frutos não mostraram diferenças significativas.

Quadro 5. Análises qualitativas dos frutos por sistema de rega.

| Sistema | Diâmetro | TSS (%) | Acidez (g/L) | Dureza (Kg/0,5cm ²) | Massa (g) |
|-----------------------|----------|---------|--------------|---------------------------------|-----------|
| Gota-a-gota | 60,0 | 11,8 | 1,4 | 5,4 | 141,7 |
| Subsuperficial | 59,4 | 11,9 | 1,4 | 5,5 | 138,0 |
| Média | 59,7 | 11,8 | 1,4 | 5,5 | 139,8 |
| EPM | 0,62 | 0,09 | 0,02 | 0,06 | 3,96 |
| Prob. Teste F | 0,535 | 0,403 | 0,775 | 0,067 | 0,513 |

TSS - teores de sólidos solúveis
EPM – Erro padrão da média

O quadro 6 mostra os parâmetros saturação, tonalidade e luminosidade referentes à cor dos frutos.

Verifica-se pelo quadro 6 que as diferenças entre os parâmetros de saturação, tonalidade e luminosidade não são estatisticamente significativas apesar de haver valores ligeiramente diferentes.

Quadro 6. Análise da cor dos frutos, por sistema de rega.

| Sistema | Saturação | Tonalidade | Luminosidade |
|-----------------------|------------------|-------------------|---------------------|
| Gota-a-gota | 38,53 | 111,60 | 67,23 |
| Subsuperficial | 38,74 | 109,15 | 67,66 |
| Média | 38,63 | 110,38 | 67,45 |
| EPM | 0,25 | 1,91 | 0,32 |
| Prob. Teste F | 0,551 | 0,366 | 0,340 |

EPM – Erro padrão da média

Calibre dos frutos

A calibração foi feita a partir de todos os frutos dos ramos marcados, 433 frutos para a rega gota-a-gota e 399 frutos no sistema subsuperficial. Após a análise dos dados obtidos verifica-se que os frutos do sistema de rega gota-a-gota apresentam maiores calibres (Quadro 7). No Quadro 8 estão representadas as percentagens de frutos de cada classe de calibre, por este quadro pode ver-se que o sistema gota-a-gota apresenta uma percentagem maior de frutos com calibre superior a 70 mm, sendo esta a classe a de calibre mais valorizada economicamente.

Quadro 7. Calibre médio dos frutos para os dois sistemas de rega.

| Sistema | Calibre (mm) |
|-----------------------|---------------------|
| Gota-a-gota | 58,65 a |
| Subsuperficial | 57,81 b |
| Média | 58,23 |
| EPM | 0,29 |
| Prob. Teste F | 0,045 |

EPM – Erro padrão da média

Letras diferentes em coluna correspondem a médias significativamente diferentes (teste de Tukey $\alpha=0,05$).

Quadro 8. Distribuição das classes de calibre.

| Calibres (mm) | Gota-a-gota | | Subsuperficial | |
|---------------|-------------|-------------|----------------|-------------|
| | Frequência | Porcentagem | Frequência | Porcentagem |
| <55 | 77 | 17,8 | 68 | 17,1 |
| 55 | 112 | 25,9 | 143 | 35,8 |
| 60 | 127 | 29,3 | 113 | 28,3 |
| 65 | 82 | 18,9 | 58 | 14,5 |
| 70 | 30 | 6,9 | 16 | 4,0 |
| >70 | 5 | 1,1 | 1 | 0,3 |

A figura 13 ilustra a distribuição da porcentagem dos calibres em ambos os sistemas de rega; a grande maioria dos frutos estão entre os calibres 55 e 60 mm. Os frutos mais valorizados comercialmente são os de calibre 70 mm e maiores que 70 mm, enquanto os calibres menores que 60 são os menos valorizados.

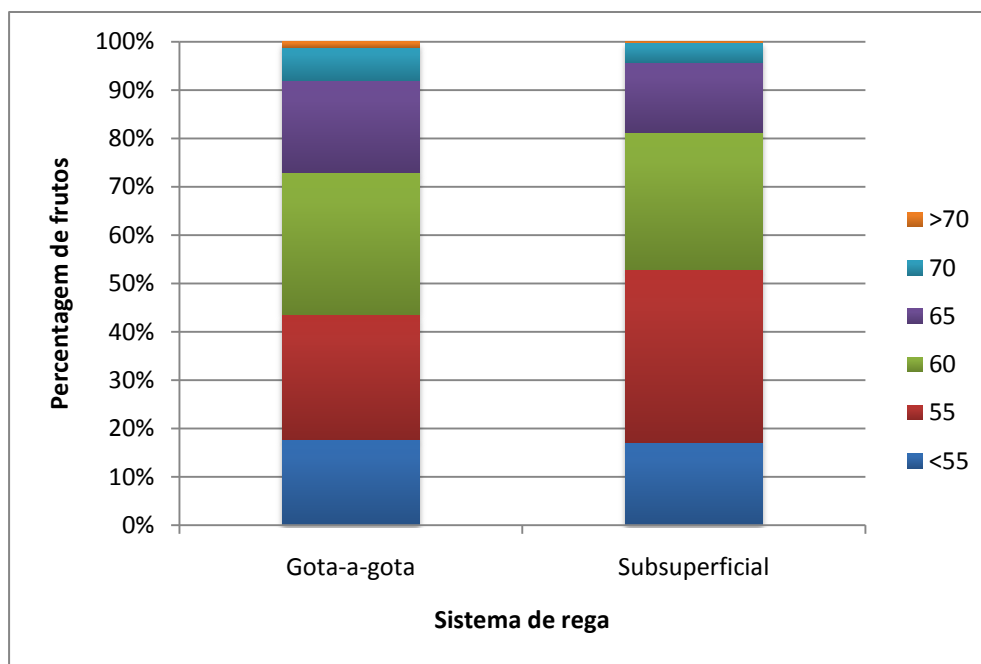


Figura 13. Distribuição dos calibres (%) por sistema de rega.

Resultados obtidos através do modelo do balanço hídrico para a pereira 'Rocha'

Através do modelo para o balanço hídrico para a cultura da pereira 'Rocha' (Melo-Abreu, 2010b), fez-se o cálculo da evaporação real do solo e transpiração real da cultura. Estes valores foram calculados para o pomar em estudo de 8 de Abril a 31 de Agosto.

– Evaporação do solo

Os valores de evaporação do solo revelam que o sistema gota-a-gota tem valores totais de evaporação do solo maiores que o sistema subsuperficial (Quadro 9). No entanto, pelo que se pode ver pela Figura 14, os valores totais diários de evaporação da rega gota-a-gota apenas são superiores aos da rega subsuperficial a partir do início da rega (16 de Junho).

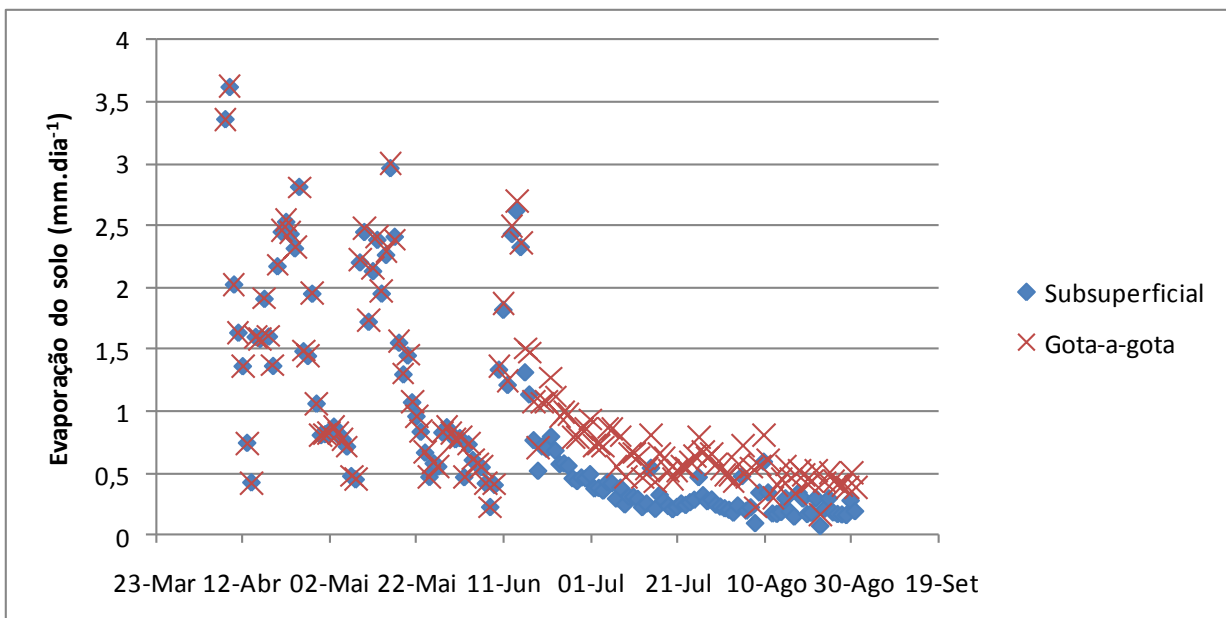


Figura 14. Evaporação do solo em mm. dia⁻¹, de 8 de Abril a 31 de Agosto, para os dois sistemas de rega.

– Transpiração

A transpiração da cultura também foi diferente para as árvores dos dois sistemas de rega, apesar de os valores diários totais não serem muito diferentes num sistema e noutro (Figura 15). O valor total de transpiração, para o período considerado, é maior na rega subsuperficial, 314,8 mm, que na rega gota-a-gota, 312,2 mm. Estes valores indicam que, para o sistema subsuperficial (Quadro 9), as árvores tiveram necessidade de utilizar mais

água, talvez porque as árvores apresentaram um maior índice de área foliar e produção potencial.

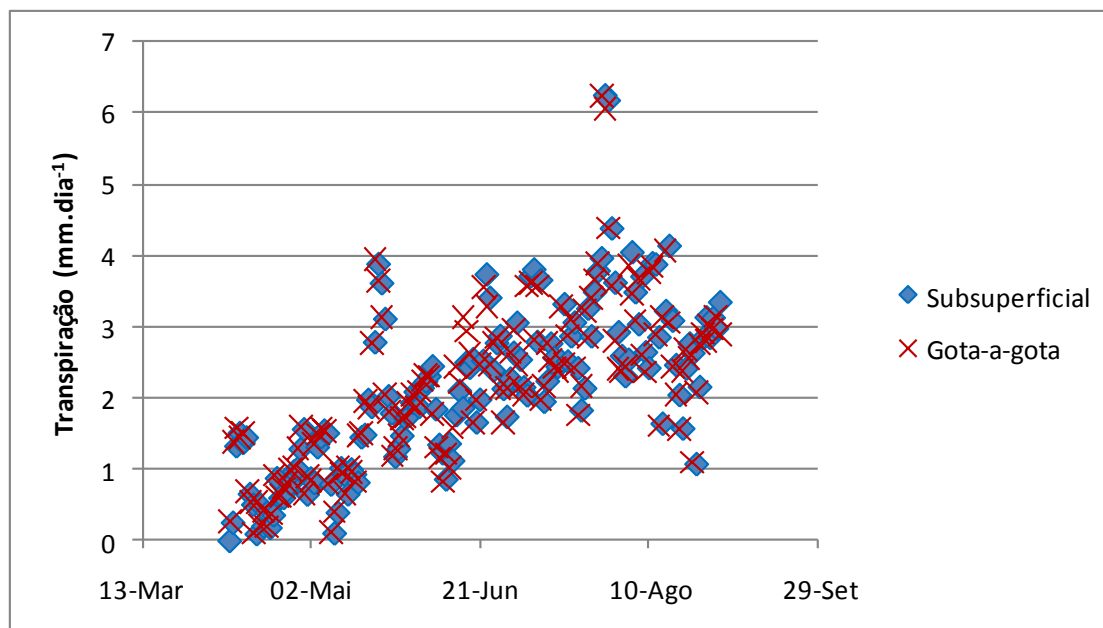


Figura 15. Transpiração real (mm), de 8 de Abril a 31 de Agosto, para os dois sistemas de rega.

O Quadro 9 resume as médias do índice de área foliar (LAI), produção total calculada através do modelo do balanço hídrico, evaporação total do solo e transpiração total de 8 de Abril e 31 de Agosto. A produção prevista pelo modelo tem apenas em conta o balanço hídrico do solo sendo por isso um pouco maior que as reais, que foram 62915,26 Kg ha^{-1} para a rega subsuperficial e 50991,22 Kg ha^{-1} para a rega gota-a-gota. Considera-se, para a produção total calculada pelo modelo, que o teor de água médio dos frutos é de 87% uma vez que o modelo calcula a matéria seca produzida.

Quadro 9. Índice de área foliar, produção, evaporação e transpiração.

| Sistema de rega | LAI (m ² .m ⁻²) | Produção ⁽²⁾ (Kg ha^{-1}) | Evaporação real do solo (mm) | Transpiração (mm) |
|-----------------|--|---|------------------------------|-------------------|
| Subsuperficial | 3,10 | 64411,6 | 124,8 | 314,8 |
| Gota-a-gota | 2,98 | 56384,41 | 148,4 | 312,2 |

⁽²⁾ A 13% de matéria seca

LAI – índice de área foliar

A Figura 16 indica o valor de água total utilizada no sistema solo planta nos dois sistemas de rega, os valores do gráfico indicam para cada dia, do período de 8 de Abril a 31 de Agosto, a evapotranspiração total e evaporação do solo. O sistema de rega subsuperficial apresentou uma evapotranspiração real de 4396,5 m³.ha⁻¹ enquanto no sistema gota-a-gota esta foi de 4605,7 m³.ha⁻¹.

Apesar de haver também outras perdas, estes valores dão indicação se as quantidades de rega aplicadas foram suficientes ou se as plantas estiveram em stress hídrico. A totalidade da rega no período em estudo foi de 2271 m³.ha⁻¹, no entanto somando a precipitação com a água total de rega da cultura, o valor é de 5287 m³.ha⁻¹. Verifica-se que este valor está bastante acima da evapotranspiração real da cultura no período referido, pelo que se pode afirmar que as necessidades hídricas do pomar em estudo foram satisfeitas, não havendo períodos de stress hídrico.

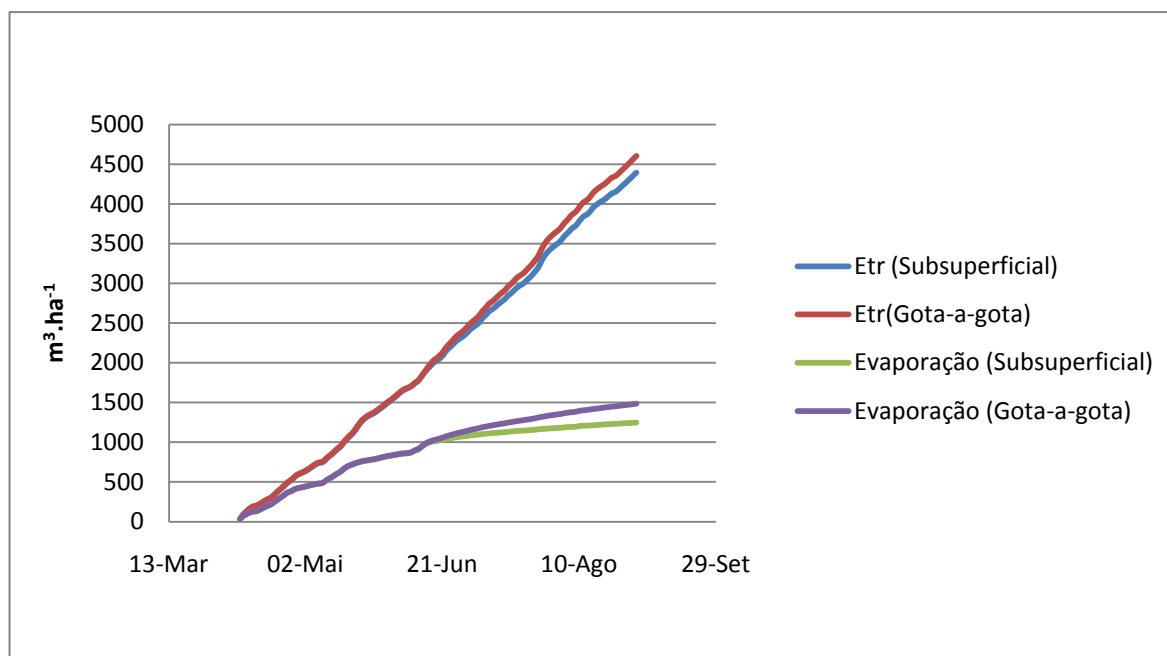


Figura 16. Evaporação do solo e evapotranspiração real (Etr) no sistema subsuperficial e gota-a-gota.

Uso da água

No Quadro 10 estão relacionadas as produções com as quantidades de água fornecidas e utilizadas pela planta. Verifica-se que o sistema subsuperficial consegue obter valores mais elevados de produtividade da água (WP), de produtividade de água de rega (WPI) e de eficiência de uso da água (EUA), relativamente ao sistema gota-a-gota, indicando que este tem maiores produções por m³ de água fornecida e maiores produções de matéria seca por litro de água transpirada.

Quadro 10. Relação da água utilizada com a produção em cada um dos sistemas de rega.

| Sistema | WP (Kg.m ⁻³) | WPI (Kg.m ⁻³) | EUA (g matéria seca/L) |
|----------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|
| Gota-a-gota | 3,09 | 22,45 | 3,96 |
| Subsuperficial | 3,82 | 27,70 | 4,10 |

WP – Produtividade da água

WPI – Produtividade da água de rega

EUA – Eficiência do uso da água

Coeficientes culturais

Os coeficientes culturais (K_c) foram calculados para os dois sistemas através da evapotranspiração cultural e da evapotranspiração de referência ($ET_c = K_c \times E_{to}$). No período de 8 de Abril a 31 de Agosto os dois sistemas de rega apresentaram valores médios de 0,96 com máximo de 1,3 e valor mínimo de 0,7. A evolução diária dos K_c para os dois sistemas é ilustrada na Figura 17, nesta pode verificar-se que os K_c seguem a mesma tendência nos dois sistemas de rega.

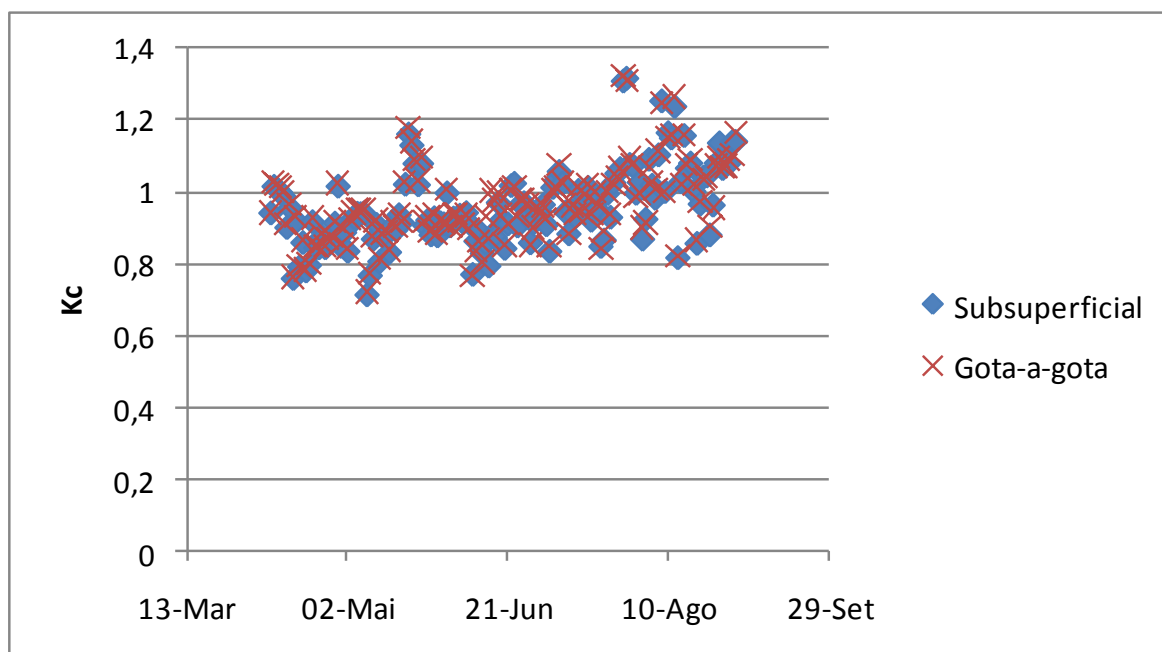


Figura 17. Evolução dos coeficientes culturais (K_c) diários nos dois sistemas de rega de 8 de Abril a 31 de Agosto.

V. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Pelo acompanhamento do ciclo cultural do pomar foi possível registrar que a evolução dos estados fenológicos foi igual para os dois sistemas. Segundo o modelo de floração da pereira 'Rocha' (Melo-Abreu *et al.*, 2005), o pomar alcançou as unidades de frio necessárias à quebra da dormência, isto é o somatório das horas de frio, no dia 5 de Fevereiro, verificando-se o que está definido, que isto deve ocorrer antes do dia 15 de Fevereiro, segundo Soares *et al.* (2001) para a cultura da pereira 'Rocha' na região Oeste. A pereira 'Rocha' precisa de 500 a 550 horas de frio, com temperaturas entre os 0 e os 7,2°C para quebrar a dormência. A plena floração deu-se dia 14 de Abril, 3 dias após o que foi previsto para o modelo de floração da pereira 'Rocha' (Melo-Abreu *et al.*, 2005). Este modelo pode então ser uma boa maneira de prever a floração, podendo ser um bom indicador da colheita e outras operações culturais, como a rega.

Soares *et al.* (2001), consideram que a colheita deve ser feita 133 a 138 dias após a floração, neste caso decorreram 139 dias entre as duas datas.

A área seccional do tronco é mais pequena nas árvores regadas com sistema gota-a-gota; pela medição dos volumes das copas verificou-se nas primeiras duas medições que os volumes de copa eram, no sistema de rega gota-a-gota, significativamente menores que na rega subsuperficial, indicando que a copa das árvores sob o sistema gota-a-gota teve um maior crescimento entre a segunda e a terceira medição, aproximando-se do volume de copa da árvore do sistema subsuperficial.

O vingamento das flores e a massa dos frutos por área seccional do ramo não foram significativamente diferentes entre um e outro sistema de rega indicando as plantas não sofreram stress hídrico, durante o ciclo estudado. A análise estatística referida no Quadro 4, foi feita a partir dos dois ramos marcados, no entanto as produtividades totais para 1 hectare foram de 62,9 tonelada para a rega subsuperficial e 50,1 tonelada para a rega gota-a-gota. Estes valores foram um pouco menores que os estimados pelo modelo do balanço hídrico (64,4 tonelada por hectare para a modalidade subsuperficial e 56,4 tonelada por hectare para a modalidade gota-a-gota). Esta diferença entre os valores estimados pelo modelo e a realidade deveu-se à existência de outros factores para além do balanço hídrico que podem influenciar a produção final, no entanto são bons indicadores da potencialidade de produção.

Também nas análises de teores de sólidos solúveis, acidez e dureza as amostras não tiveram características significativamente diferentes. Os valores médios de teores de sólidos solúveis de 11,9 ° Brix são bastante próximos dos valores considerados para uma pêra DOP

de qualidade (12 ° Brix). O mesmo se pode considerar para os parâmetros de acidez (média de 1,4g/L) e a dureza, que apresentou média de 5,5 Kg/0,5 cm².

Na distribuição de classes de calibre verifica-se que a maioria dos frutos amostrados encontra-se nas classes de calibre 55 e 60 mm; no entanto a rega gota-a-gota apresenta uma maior percentagem de frutos com calibres maiores que 70 mm, sendo estes os calibres mais valorizados comercialmente.

No primeiro metro de profundidade do solo a rega subsuperficial teve ao longo ao ciclo cultural mais água do que o sistema gota-a-gota. Este sistema por estar abaixo da superfície do solo pode para além de apresentar menores perdas por evaporação, ter menos perdas por escorrimento.

Na distribuição da água ao longo do perfil do solo verificou-se que no sistema de rega gota-a-gota a quantidade de água 24 h após a rega se mantinha com valores semelhantes nas camadas superficiais até aos 80 cm. No entanto, se as observações fossem efectuadas imediatamente após a rega, como referido em Pacheco (2009), a camada superficial (20 cm) tem mais água que as camadas mais profundas. Em consequência pode deduzir-se que a evaporação da água de rega nas camadas mais à superfície ocorre nas primeiras horas após a rega.

A análise dos resultados do modelo para o balanço hídrico (Melo-Abreu, 2010b) indicamos o uso e perdas de água no pomar para as duas modalidades de rega. A utilização de um modelo permite facilitar o conhecimento de certos parâmetros, como a evaporação do solo e transpiração da cultura, uma vez que são parâmetros de difícil medição directa. Verifica-se que a transpiração da cultura foi maior na modalidade subsuperficial, consequência do seu maior volume de copa. Na rega subsuperficial a transpiração foi de 2,16 mm.dia⁻¹ e na rega gota-a-gota 2,14 mm.dia⁻¹.

Os valores de evaporação do solo são mais elevados na rega gota-a-gota após o início da rega, o que se deve a um maior contacto da água com a superfície do solo.

Sendo a evapotranspiração total, de 8 de Abril a 31 de Agosto, de 460,57 mm na rega gota-a-gota e de 439,65 mm na rega subsuperficial e a totalidade de água fornecida (rega mais precipitação) de 528,3 mm, verifica-se que a rega foi efectuada de modo a que a cultura não sofresse stress hídrico.

A produtividade da água revela que a rega subsuperficial permitiu maiores produções por m³ de água fornecida, e também teve maiores produções de matéria seca de frutos por mm de água transpirada, ou seja, utilizada pela planta.

Os valores de Kc apresentam valores semelhantes para os dois sistemas de rega (Quadro 11) para o período referido (8 de Abril a 31 de Agosto). As diferenças entre os dois sistemas são bastante pequenas indicando que estes valores não são influenciados pela forma de fornecimento da água, mas pela cultura e clima podendo haver algumas diferenças entre locais e cultivares. Estes valores são próximos dos valores de referência para pereiras (Allen *et al.* 1998) para solos cobertos 0,85 para o Kc inicial, 1,20 para o Kc médio e 0,90 para Kc final. A diferença entre os valores calculados e os de referência indicam que em certos casos poderá ser necessário um ajuste nos valores consoante os locais e espécie fruteira. Os valores de Kc calculados referem-se à cultura sem stress, no Anexo I faz-se a razão entre a evapotranspiração real da cultura e da evapotranspiração de referência; estes valores, por terem em conta a evapotranspiração real, apresentam valores mais baixos do que os dos Kc.

Quadro 11. Coeficientes culturais (Kc).

| Kc | Gota-a-gota | Subsuperficial |
|-----------|--------------------|-----------------------|
| Máximo | 1,3 | 1,3 |
| Mínimo | 0,7 | 0,7 |
| Médio | 0,96 | 0,96 |

VI. CONCLUSÕES

Sendo a água um recurso cada vez mais escasso, é importante que se optimize cada vez mais o seu uso de modo a aumentar a produtividade da água, aumentando as produções, diminuindo os custos e gastos de água.

Verifica-se que apesar de os dois sistemas terem características um pouco diferentes, podem ser boas soluções para a produção de pêra 'Rocha'. Neste caso específico o sistema de rega não afectou a produção ou desenvolvimento da planta, no entanto, as árvores com sistema gota-a-gota tiveram frutos com maior calibre. Os dois sistemas apresentam também distribuições de água no solo e evaporações do solo diferentes.

Como já indicado, o ano de estudo foi um ano com maior pluviosidade que o padrão, podendo por isso minimizar a influência da rega nos aspectos fisiológicos do pomar.

Foi possível neste estudo fazer uma sucinta descrição do balanço hídrico do sistema solo – planta nos dois sistemas, uma análise deste tipo pode ajudar a definir qual o melhor sistema para um determinado local e cultura, bem como as quantidades de rega a aplicar.

Neste caso específico o sistema subsuperficial teve uma melhor produtividade de água quando se considerou a produção estimada por hectare.

Tendo o pomar 4 anos ainda não se verificaram diferenças significativas entre as árvores e frutos para os dois sistemas, no entanto, com o passar dos anos as diferenças poderão acentuar-se.

Este estudo é uma análise preliminar, para conclusões mais definitivas necessitamos de mais resultados, bem como de um acompanhamento mais pormenorizado durante um maior número de anos.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

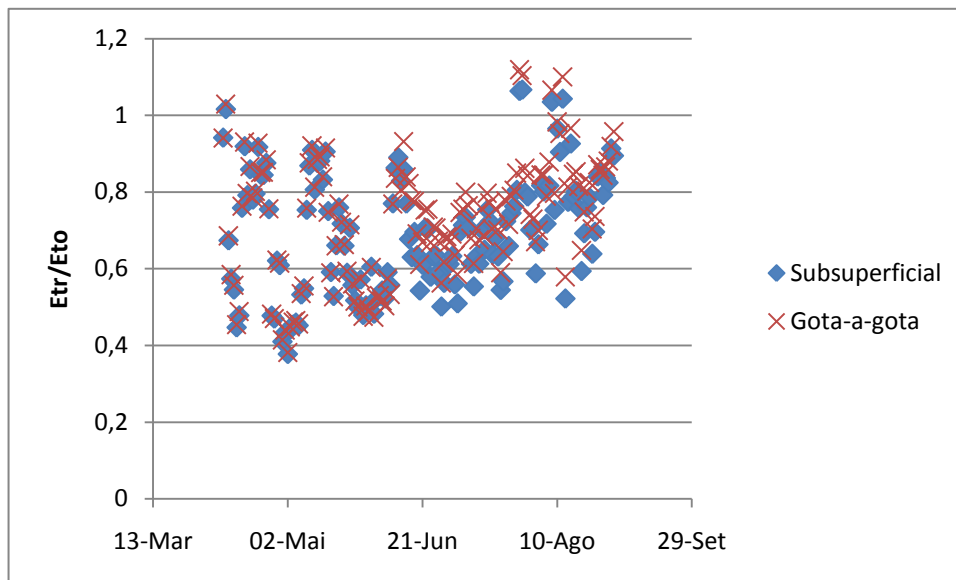
- Allen, R. G., Smith, M., Pereira, L. S., 1998. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome. 300pp.
- Ali, M.H., Talukder, M.S.U., 2008. Increasing water productivity in crop production-A synthesis. *Agricultural water management*, 95 : 1201-1213.
- Azevedo, J.F.S., 2006. Optimização da gestão de rega localizada em pereira 'Rocha' (*Pyrus communis* L.) com recurso a indicadores de teor de água no solo e a parâmetros fisiológicos. Tese de mestrado. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. 84pp.
- Behboudian, M.H., Mills, T.M., 1997. Deficit irrigation in deciduous orchards. *Horticultural Reviews*, 21:105-131.
- Brady, N. C., Weil, R.R., 1999. *The Nature and Properties of Soil (12th edition)*. Prentice Hall, New Jersey. 881pp.
- Bryla D.R., Trout T.J., Ayars J.E., Johnson R.S., 2003. Growth and production of young peach trees irrigated by furrow, microjet, surface drip, or subsurface drip systems. *HortScience*, 38:1112-1116.
- Bryla, D.R., Dickson, E., Shenk, R., Johnson, R.S., Crisosto, C.H., Trout, T.J., 2005. Influence of irrigation method and scheduling on patterns of soil and tree water status and its relation to yield and fruit quality in peach. *HortScience*, 40: 2118-2124.
- Camp, C.R. 1998. Subsurface drip irrigation - A review, *Transactions of ASAE*. 41:1351-1367.
- Campbell, G. S., 1986. Extinction coefficients for radiation in plant canopies calculated using an ellipsoidal inclination angle distribution. *Agricultural and Forest Meteorology*, 36:317-321.
- Conceição, N. M. S., 2007. Balanço energético e coeficientes culturais em *Pyrus communis* L. cv.'Rocha'. Tese de mestrado. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. 64pp.
- de Wit, C. T., 1982. *Simulation of living systems*. In: Simulation of Plant Growth and Crop Production. Penning de Vries, F. W. T. & van Laar, H. H. (eds.), Simulation Monographs. Pudoc, Wageningen. 3-8.
- Eurostat, 2009. *Agricultural statistics 2009 edition Main results — 2007–08*. Eurostat, Luxembourg. 108-110.
- Franco, J., 2002. Influência da rega e da data de colheita na qualidade e na conservação da pêra rocha. In *Ilha do conhecimento - COTHN*. COTHN, Lisboa.
- Fereres, E., Soriano, M.A., 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use, *Journal of Experimental Botany*. Vol. 58: 147–159.
- Goodwin, I., Boland, A.M., 2000. *Scheduling deficit irrigation of fruit trees for optimizing water use efficiency In Deficit irrigation practices*. FAO, Rome. 67-78.

- Goudriaan, J. 1977. Crop Micrometeorology: a Simulation Study. *Simulation Monographs*, Pudoc, Wageningen. 249 p.
- Instituto nacional de estatística (INE), 2009. *Utilização da água em Indicadores Agro-Ambientais 1989-2007*. INE, Lisboa. 30-35pp.
- Melo-Abreu, J.P.M., Barba, N.G., Silva, P. 2005. Flowering data prediction in 'Rocha' pear, *Acta Horticulturae*, 671: 177-182.
- Melo-Abreu, J.P.M.M., 2010a. Modeling the Soil Environment: The Water Balance, (Comunicação pessoal).
- Melo-Abreu, J.P.M., 2010b. Modelo para o balanço hídrico da pereira 'Rocha', (Comunicação pessoal).
- Monteith, J. L., 1977. *Climate and the efficiency of crop production in Britain*. Philos. Trans. R. Soc. London. B. 281:277-94.
- Nagy, A., Tamás, J., Fórián, T., Nyéki, J., Soltész, M., Szabó, Z., 2010. Irrigation modeling in a pear orchard. *International Journal of Horticultural Science*. 16: 75–79.
- Oliveira, I., 1993, *Técnicas de regadio–Tomo I*, Instituto das estruturas agrárias e desenvolvimento rural, Lisboa. 617pp.
- Oron G., DeMalach Y., Gillerman L., David I., Lurie S., 2002. Effect of Water Salinity and Irrigation Technology on Yield and Quality of Pears. *Biosystems Engineering*, 81:237-247.
- Pacheco, A.J.D., 2009. . Análise económica e optimização da gestão de rega localizada em pereira (*Pyrus communis* L.) cv Rocha Potencial hídrico foliar e crescimento dos frutos como indicadores para a gestão de rega. Tese de mestrado. Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa. 62pp.
- Paço, T.A., Ferreira, M.I.F.R., 2004. Medição da evapotranspiração em cobertos descontínuos Necessidades de rega em pomar de pessegueiro, 7º congresso da água, 7: 1-13.
- Parente, F. 2004. *A qualidade da água de rega nos pomares na região Oeste*. COTHN- Centro Operativo e Tecnológico Hortofrutícola Nacional, Alcobaça. 57pp.
- Pereira, L. S., 2004. *Necessidades de água e métodos de rega*. Publicações Europa América, Mem-Martins. 312pp.
- Raposo, J.R., 1996. *A rega: dos primitivos regadios às modernas técnicas de rega*. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa. 485 pp.
- Reis, R.M.M. e Gonçalves, M.Z. 1981. O Clima de Portugal. Caracterização climática da região agrícola do Ribatejo e Oeste. 32, INMG, Lisboa.
- Rom, C., 1996. Environmental factors regulating growth: light, temperature, water, nutrition. In *Tree fruit physiology: growth & development*. Washington: Good Fruit Grower, Washington. p 11-30.
- San Juan, J.A.M., 2000. *Riego por goteo*. Ediciones Mundi-Prensa, Espanha. 302 pp.

- Soares, J., Silva, A., Alexandre, J.,2001. *O livro da pêra Rocha*- Volume primeiro. ANP, Cadaval. 184pp.
- Snyder, R., K.Bali, Ventura, F., Gomez-MacPherson, H., 2000. Estimating evaporation from bare or nearly bare soil. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 32: 399-403.
- Stroosnijder, L.,1987. Soil evaporation: test of a practical approach under semiarid conditions. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 35: 417-426.
- Tromp, J., 2005. Water relations, In *Fundamentals of temperate zone tree fruit production*. (Tromp,J., Webster, A.D., Wertheim, S.J. ed.) Backhuys Publishers, Leiden. 27-38 pp.
- Varenes, A., 2003. A água e as plantas. In *Produtividade dos Solos e Ambiente*. Escolar Editora, Lisboa. p 148-149.
- Wright, H., Nichols, D. and Embree, C., 2006. Evaluating the accountability of trunk size and canopy volume models for determining apple tree production potential across diverse management regimes. *Acta Hort.* 707: 237-243.

ANEXOS

Anexo I- Relação entre a evapotranspiração real e a evapotranspiração de referência para a rega gota-a-gota e subsuperficial.

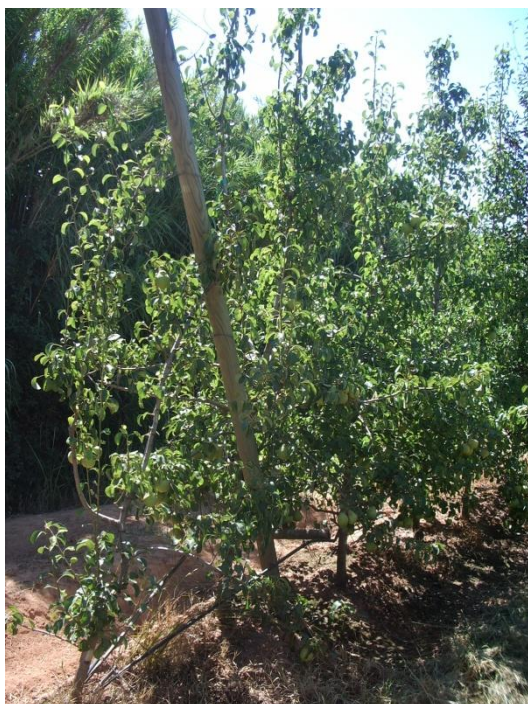


Anexo I I- Fotografias das árvores regadas com sistemas subsuperficial e gota-a-gota.

Rega Subsuperficial



Rega Gota-a-gota



Anexo III- Análises da água de rega.

| | |
|---|--------|
| pH | 8,12 |
| Condutividade eléctrica (mS.cm⁻¹) (25°) | 0,694 |
| Aniões (g.L⁻¹) | |
| Cloreto | 0,091 |
| Sulfato | 0,043 |
| Bicarbonato | 0,168 |
| Nitrato | <0,001 |
| Catiões (g.L⁻¹) | |
| Cálcio | 0,039 |
| Magnésio | 0,021 |
| Sódio | 0,050 |
| Potássio | 0,004 |
