

Fábio Alexandre Pereira Sousa

Sistema integrado para a monitorização de rega no cultivo  
de *Rosmarinus officinalis*, no âmbito da agricultura de  
precisão.



UNIVERSIDADE DO ALGARVE  
Faculdade de Ciências e Tecnologia

2019

Fábio Alexandre Pereira Sousa

Sistema integrado para a monitorização de rega no cultivo  
de *Rosmarinus officinalis*, no âmbito da agricultura de  
precisão.

Mestrado em Hortofruticultura

Trabalho efetuado sob a orientação de:

Professor Doutor Mário Reis



UNIVERSIDADE DO ALGARVE  
Faculdade de Ciências e Tecnologia

2019

## **Sistema integrado para a monitorização de rega no cultivo de *Rosmarinus officinalis*, no âmbito da agricultura de precisão**

### **Declaração de autoria de trabalho**

Declaro ser o autor deste trabalho, que é original e inédito. Autores e trabalhos consultados estão devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluída.

---

**Fábio Alexandre Pereira Sousa**

Copyright - Fábio Alexandre Pereira Sousa – A universidade do Algarve reserva para si o direito, em conformidade com o disposto no Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos, de arquivar, reproduzir e publicar a obra, independentemente do meio utilizado, bem como de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição para fins meramente educacionais ou de investigação e não comerciais, conquanto seja dado o devido crédito ao autor e editor respetivos.

## **Agradecimentos**

Este estudo não seria possível sem o grande apoio de:

- Viveiros Monterosa, Lda
- Professor Doutor Mário Reis
- Sigrow AGTECH SL
- A minha família
- Ana Palma
- Os meus amigos

A todos eles, muito obrigado!

## Resumo

Diversos estudos abordam o tema da importância do aumento da eficiência de rega perante um cenário de progressiva escassez de água e uma competição cada vez maior por este recurso, entre a agricultura e o consumo urbano. Baseado no conhecimento atual, foi desenvolvido um sistema integrado de monitorização de rega de plantas em vaso ao ar livre, que utiliza a informação de sensores de humidade do substrato e os dados do clima obtidos numa estação meteorológica, para a determinação da evapotranspiração de *Rosmarinus officinalis*. Com estes dados, determinou-se uma variável designada por  $Kch$  que permite estimar a evapotranspiração das plantas, e consequentemente a necessidade de rega, a partir da evapotranspiração de referência ( $Eto$ ). Através dos dados obtidos ao longo do ensaio, foi possível perceber qual a percentagem de humidade do substrato que mais beneficiou a absorção de água por parte das plantas.

**Palavras chave:** Evapotranspiração; *Rosmarinus officinalis*; sensores de humidade do substrato; coeficiente cultural ( $Kc$ ); monitorização de rega; agricultura de precisão; eficiência de rega.

## **Abstract**

Several studies address the issue of the importance of increasing irrigation efficiency in a scenario of progressive water scarcity, and increasing competition for this resource, between agriculture and urban consumption.

Based on current knowledge, an integrated system for monitoring watering potted plants outdoors has been developed, which uses information from substrate moisture sensors and climate data obtained from weather station to determine the evapotranspiration of *Rosmarinus officinalis*. With these data, it was determined a variable called  $Kch$  that allows estimating the evapotranspiration of the plants, and consequently the need for irrigation, from the reference evapotranspiration ( $Eto$ ).

Through the data obtained throughout the test, it was possible to understand which percentage of moisture in the substrate that most benefited the water absorption by the plants.

**Keywords:** Evapotranspiration; *Rosmarinus officinalis*; substrate moisture sensors; crop coefficient ( $Kc$ ); irrigation monitoring system; precision agriculture; irrigation efficiency.

## Índice Geral

1	Introdução .....	1
2	Revisão bibliográfica .....	3
2.1	<b>A rega nos viveiros de plantas ornamentais em vaso .....</b>	<b>5</b>
2.2	<b>O alecrim, uma planta mediterrânica .....</b>	<b>7</b>
2.3	<b>Evapotranspiração .....</b>	<b>7</b>
2.4	<b>Sensores de humidade do substrato.....</b>	<b>9</b>
3	Materiais e métodos .....	11
3.1	<b>Localização.....</b>	<b>11</b>
3.2	<b>Material vegetal e substrato .....</b>	<b>11</b>
3.3	<b>Sistema de rega.....</b>	<b>12</b>
3.4	<b>Equipamentos de monitorização .....</b>	<b>12</b>
3.4.1	<b>Sensores de humidade do substrato.....</b>	<b>12</b>
3.4.2	<b>Validação das leituras dos sensores de humidade do substrato .....</b>	<b>13</b>
3.4.3	<b>Estação meteorológica.....</b>	<b>14</b>
3.5	<b>Delineamento experimental do ensaio .....</b>	<b>14</b>
3.5.1	<b>Obtenção de valores do coeficiente <i>Kch</i> .....</b>	<b>14</b>
3.5.2	<b>Implementação do sistema integrado de monitorização da humidade do substrato.....</b>	<b>16</b>
3.5.3	<b>A taxa da evapotranspiração como possível indicador de stresse hídrico....</b>	<b>17</b>
4	Resultados .....	18
4.1.1	<b>Validação das leituras dos sensores de humidade do substrato .....</b>	<b>18</b>
4.1.2	<b>Obtenção dos valores do coeficiente <i>Kch</i>.....</b>	<b>19</b>
4.1.3	<b>Implementação do sistema integrado de monitorização da humidade do substrato.....</b>	<b>21</b>
4.1.4	<b>Taxa da evapotranspiração como possível indicador de stresse hídrico .....</b>	<b>24</b>
5	Discussão de resultados .....	28
5.1.1	<b>Validação da leitura dos sensores de humidade do substrato .....</b>	<b>28</b>
5.1.2	<b>Obtenção dos valores do coeficiente <i>Kch</i>.....</b>	<b>29</b>
5.1.3	<b>Implementação do sistema integrado de monitorização da humidade do substrato.....</b>	<b>29</b>
5.1.4	<b>Taxa da evapotranspiração como possível indicador de stresse hídrico .....</b>	<b>30</b>
6	Conclusões.....	31
	Referências bibliográficas .....	33

## Índice de Figuras

Figura 3.1 - Gráfico da validação das leituras, fornecido pelo fabricante.....	13
Figura 3.2 - Local do ensaio.....	14
Figura 4.1 - Gráfico da correlação entre a humidade no substrato determinada por gravimetria e a indicada pelos sensores.....	18
Figura 4.2 - Gráfico da média semanal das médias móveis do Kch (S – semana do ano).....	19
Figura 4.3 - Evolução da evapotranspiração de referência (Eto), evapotranspiração calculada pelos sensores de humidade do substrato (AETsh) e da radiação fotossinteticamente ativa (PAR), ao longo do dia (30/07/2019).....	20
Figura 4.4 - Evolução da evapotranspiração de referência (Eto), evapotranspiração calculada pelos sensores de humidade do substrato (AETsh), coeficiente cultural (Kch) e média móvel calculada para Kch, ao longo do dia (30/07/2019).....	21
Figura 4.5- Comparação da evapotranspiração obtida através dos dois métodos de cálculo (leituras dos sensores (AETs) e dados climáticos (AETc)) (30/07/2019).....	22
Figura 4.6 - Correlação entre os valores da evapotranspiração ocorrida entre regas, para os diferentes métodos de cálculo (Sensores de humidade do substrato e dados climáticos), ao longo de todo o ensaio.....	23
Figura 4.7 - Correlação entre a percentagem de humidade no substrato no início de cada hora e a evapotranspiração ocorrida ao longo de cada hora (30/07/2019).....	24
Figura 4.8 - Correlação entre a percentagem de humidade no substrato no início de cada hora e a evapotranspiração ocorrida ao longo de cada hora (12/08/2019).....	25
Figura 4.9 - Correlação entre a percentagem de humidade no substrato no início de cada hora e a razão entre a perda de água e a radiação acumulada ao longo de cada hora (30/07/2019). ....	26
Figura 4.10- Correlação entre a percentagem de humidade no substrato no início de cada hora e a razão entre a perda de água e a radiação acumulada ao longo de cada hora (12/08/2019). ....	27
Figura 4.11 - Comparação da evolução da perda de água no substrato entre um vaso com uma planta saudável e um vaso com uma planta cortada (27/09/2019).....	28

## Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Resultado da análise da curva de retenção de água do substrato. ....	12
Tabela 4.1 - Correlação entre leituras da percentagem da Humidade do substrato (% H.S) obtidas pelos sensores Sigrow e o teste de gravimetria e secagem realizado na UALG.....	18
Tabela 4.2 - Valores da média semanal das médias móveis de Kch ao longo das 4 semanas de recolha de dados. ....	19
Tabela 4.3 - Coeficiente de correlação (R) entre os valores da evapotranspiração determinada pelos dados do clima (ET Clima) e pelos sensores de humidade do substrato (ET sensores) ao longo do ensaio. ....	22
Tabela 4.4 - Valores da evapotranspiração ocorrida entre cada rega, para os diferentes métodos de cálculo (Sensores de humidade do substrato e dados climáticos), ao longo de todo o ensaio. ....	23
Tabela 4.5 - Coeficiente de correlação entre a percentagem de humidade no substrato no início de cada hora e a evapotranspiração ocorrida ao longo de cada hora (30/07/2019). ....	25
Tabela 4.6 - Coeficiente de correlação entre a percentagem de humidade no substrato no início de cada hora e a evapotranspiração ocorrida ao longo de cada hora (12/08/2019). ....	26
Tabela 4.7 - Coeficiente de correlação (R) entre a percentagem de humidade no substrato no início de cada hora e a razão entre a perda de água e a radiação acumulada ao longo de cada hora (30/07/2019). ....	26
Tabela 4.8 - Coeficiente de correlação (R) entre a percentagem de humidade no substrato no início de cada hora e a razão entre a perda de água e a radiação acumulada ao longo de cada hora (12/08/2019). ....	27
Tabela 4.9 - Tabela dos valores relativos à perda de água ocorrida a cada hora, para os dois ensaios, e da radiação fotossinteticamente ativa (PAR). ....	28

# 1 Introdução

Diversos estudos abordam o tema da importância do aumento da eficiência da rega, por parte da agricultura em geral, perante um cenário de progressiva escassez de água que se faz sentir principalmente em regiões de clima seco.

Na produção de plantas ornamentais envasadas, a aplicação de um método de controlo da rega baseado no clima está dificultada devido ao facto de praticamente não existirem valores do coeficiente cultural ( $K_c$ ) específicos para este tipo de cultivo e para a enorme diversidade de espécies cultivadas e respetivos estádios de desenvolvimento.

É possível controlar a rega de plantas envasadas através de sensores de humidade do substrato, tendo sido provado que este método permite melhorar significativamente a eficiência da rega e o desenvolvimento dos cultivos. No entanto a implementação deste método pode enfrentar diversos problemas técnicos tais como a colocação dos sensores, os elevados custos de implementação e a necessidade de um controlo constante dos equipamentos. Por isso existem autores que recomendam a utilização de um sistema de monitorização que integre os dados climáticos e os dados do volume de água no substrato fornecidas por sensores de humidade.

Um sistema combinado – dados climáticos e dados do substrato - permitirá uma verificação da coerência entre a informação obtida através dos dados climáticos e pelos sensores de humidade do substrato, garantindo uma maior fiabilidade e segurança do controlo da rega. Este método poderá garantir também o funcionamento do sistema durante um período significativo, em caso de avarias dos sensores de humidade do substrato (Bacci, Battista, & Rapi, 2008).

Neste sentido, a realização deste estudo foi motivada pelo interesse, como técnico de produção de plantas ornamentais envasadas na região do Algarve, em melhorar a eficiência da rega de diferentes espécies, especialmente de *Rosmarinus officinalis*, que para além de ser um produto em expansão, é um cultivo que quando sujeito a um plano deficiente de rega, apresenta frequentemente sintomas de *Phytophthora* spp, reduzindo o seu valor comercial e elevando o custo de produção.

Para o desenvolvimento deste estudo e partindo da necessidade de melhorar o controlo de rega deste cultivo, foram delineados objetivos de investigação e de melhoramento da técnica de controlo de rega.

Como objetivos de investigação pretendeu-se:

- Obter valores de uma variável designada  $Kc$ /hora ( $Kch$ ) que permitam estimar com precisão a evapotranspiração atual para o cultivo de *Rosmarinus officinalis*;
- Definir o intervalo do conteúdo volumétrico de água retida no substrato que mais beneficia o desenvolvimento da planta, através da relação entre a humidade presente no substrato e a taxa de perda de água por evapotranspiração.

Em relação aos objetivos de melhoramento da técnica de controlo de rega pretendeu-se:

- Construir um sistema de monitorização da humidade do substrato usando o programa Excel, que integrasse as leituras de sensores de humidade e os valores da evapotranspiração de referência obtidos a partir dos dados climáticos de uma estação meteorológica, de forma a conseguir um controlo rigoroso da rega no cultivo de *Rosmarinus officinalis*;
- Tornar possível monitorizar a rega de lotes diferentes de *Rosmarinus officinalis*;
- Melhorar a qualidade final das plantas, reduzir o impacto ambiental da produção (em particular no consumo de água) e aumentar a rentabilidade da produção.

Para tal, foi adaptada parte da metodologia descrita por Bacci et al., (2008), de modo a obter um coeficiente cultural horário ( $Kch$ ) que pudesse ser utilizado para estimar a evapotranspiração atual ( $AET$ ).

Todos os procedimentos e equações foram aplicados aos valores de volume de água no substrato obtidos por sensores de humidade do tipo FDR (Sigrow, Soil Pro, Netherlands) e aos valores da evapotranspiração de referência obtidos através da plataforma informática da estação meteorológica “Weather link” (Davis Instruments, Weatherlink, EUA). Os dados experimentais foram recolhidos durante um ciclo de cultivo de *Rosmarinus officinalis* produzido em vaso 10,5 nas condições normais de cultivo seguidas nos Viveiros Monterosa, durante o período compreendido entre a semana 25 e a semana 33 do ano 2019.

## 2 Revisão bibliográfica

A produção de plantas ornamentais tem mostrado um crescimento significativo nos últimos anos (Zarbà et al., 2012). Este é um setor da horticultura importante em diversos países, como os Estados Unidos e os países da Europa (Incrocci et al., 2014). Na União Europeia é um dos setores da agricultura com mais importância económica, com umas das maiores densidades de produção de plantas ornamentais por hectare, representando 10% da superfície total mundial, e 44% da produção de flores de corte e de plantas ornamentais envasadas. Entre 2001 e 2011 o valor total da produção da União Europeia aumentou de 17,8 para 19,8 biliões de euros, com um crescimento líquido médio de 11% nos 27 estados membros (Zarbà et al., 2012).

Na Europa, um dos maiores centros de produção de plantas ornamentais está localizado em redor de Pistóia, Itália, onde cerca de 1500 viveiros produzem em aproximadamente em 5200 ha, e a área coberta por culturas envasadas ronda 1000 ha (Incrocci et al., 2014).

Em 2012, existiam em Portugal 101 empresas a produzir flores, folhagens de corte e plantas ornamentais, numa área de 1365 ha, sendo um terço desta área em estufas. A produção de plantas ornamentais ocupava um total de 617 ha e tinha maior expressão nas regiões do Centro (30%) e do Algarve (20%). Entre 2002 e 2012 o aumento da produção de ornamentais envasadas destacou-se dos outros tipos de produção florícola tendo a sua área aumentado em 240 ha (INE, 2012).

Apesar de os viveiros de plantas ornamentais representarem uma pequena área comparativamente com a área total de culturas hortícolas, o consumo de água é bastante elevado (Grant et al., 2012). Por exemplo, o consumo anual de toda a indústria viveirista na região de Pistóia é estimado em cerca de 12 milhões m<sup>3</sup>, valor próximo do consumo urbano de água (Incrocci et al., 2014).

Os países do sul da Europa possuem 74% da área total regada da Europa e este valor continua a aumentar devido ao desenvolvimento progressivo da produção intensiva ao longo da costa Mediterrânea (Bacci et al., 2008). O setor agrícola é responsável por aproximadamente dois terços da água doce consumida pelos humanos (Costa et al., 2007). Com a crescente escassez de água em algumas regiões, o crescimento populacional e a competição cada vez maior entre a agricultura e outros setores por este recurso precioso (e.g: turismo), os agricultores sentem-se cada vez mais preocupados, principalmente os

que produzem em regiões mediterrânicas, com baixos níveis de precipitação e elevadas taxas de evaporação (Grant et al., 2009; Nicolás et al., 2008).

A escassez de água na região mediterrânica juntamente com as perturbações antrópicas, têm tornado a desertificação um problema grave, resultando num decréscimo da cobertura vegetal natural, levando ao aumento rápido da erosão. O número e extensão destas áreas degradadas tem aumentado nas últimas décadas, sendo o paisagismo e a jardinagem, vistos cada vez mais como uma solução para inverter este problema. O uso de espécies selvagens de *Rosmarinus officinalis* podem ser uma solução interessante, devido à sua elevada resistência às condições ambientais adversas, nomeadamente de escassez de água (Sánchez-Blanco et al., 2004).

Tanto os consumidores como os governos estão interessados numa agricultura sustentável e valorizam cada vez mais os produtos agrícolas uniformes, de alta qualidade e com um baixo impacto ambiental. Há por isso uma preocupação generalizada não só pelo elevado consumo de água, mas pela poluição que é gerada pela horticultura, como a que é originada pela lixiviação de adubos provenientes da drenagens das empresas hortícolas (Burnett et al., 2008; Miralles-Crespo & Iersel, 2011).

O interesse em reduzir o impacto da agricultura no consumo de água-doce traduz-se, por exemplo, na criação de leis que limitam a quantidade de água ao dispor das empresas, tal como acontece na Flórida (Grant et al., 2009). Em Pistóia, a escassez de água é atualmente um dos principais motivos que limita o cultivo de plantas envasadas em muitos viveiros, forçando muitos produtores afastar a sua empresa da cidade (Incrocci et al., 2014). É por isso necessário que os produtores procurem novas estratégias para reduzir o consumo de água, o que passa por aumentar a eficiência da rega (Miralles-Crespo & Iersel, 2011).

Sabe-se que fornecer a água na quantidade exata que as plantas precisam pode otimizar o seu crescimento e qualidade, aumentar a eficiência de rega e aumentar o rendimento das empresas. Contudo, apesar das necessidades de rega das culturas hortícolas destinadas à alimentação estarem relativamente bem quantificadas na literatura, o mesmo não acontece para as plantas ornamentais. Além disso, as decisões relativas à rega são normalmente afetadas por outros fatores para além das necessidades das plantas, tais como o custo da mão-de-obra, o sistema de rega utilizado e a forma como este é automatizado (Burnett & Iersel, 2008).

O uso eficiente da água na agricultura tem melhorado lentamente nos últimos anos, devido ao aumento do interesse por plantas melhor adaptadas a climas

mediterrânicos e principalmente devido a novas práticas culturais e avanços da tecnologia de rega (Costa et al., 2007; Sánchez-Blanco et al., 2004; Iersel et al., 2011).

## **2.1 A rega nos viveiros de plantas ornamentais em vaso**

Um bom planeamento de rega é crucial para qualquer produtor, não só para reduzir gastos económicos e impactos ambientais, mas também porque más estratégias de rega podem fazer com que se regue com demasiada frequência, o que torna as plantas mais suscetíveis a doenças radiculares como *Phytophthora* e *Pythium*, a principal causa da redução da qualidade das plantas e até mesmo da sua morte (Zhen & Burnett, 2014). Por outro lado, um défice moderado de rega aumenta a qualidade comercial de algumas culturas ornamentais (Costa et al., 2007). É até possível em algumas espécies utilizar o stress hídrico moderado como alternativa aos reguladores de crescimento sintéticos, para a obtenção de plantas mais compactas (Burnett et al., 2014).

Apesar de a rega gota-a-gota ser uma opção que otimiza o consumo de água de em vasos de grande dimensão, quando as plantas são produzidas em vasos pequenos este sistema não é pratico e por isso os produtores optam pela rega por aspersão ou micro-aspersão. Os aspersores são conhecidos pela sua baixa eficiência na utilização da água, sendo normalmente desperdiçada entre 60 a 80% da água aplicada (Grant et al., 2009), além de exigirem uma adequada distribuição no terreno e a sua pluviometria ser bastante afetada pelo vento.

É possível reaproveitar a água da drenagem da rega dos vasos em sistemas de cultivo fechados ou semi-fechados, mas apesar de se ter comprovado a possibilidade de produzir plantas como *Rosmarinus officinalis*, com qualidade comercial utilizando águas recicladas, estes sistemas implicam um grande investimento inicial na recolha, filtragem e desinfeção da drenagem, caso contrário aumenta o risco de aparecimento de doenças de solo durante o cultivo (García-Caparrós et al., 2018).

Para melhorar a prática da rega, é necessário entender a dinâmica espacial e temporal da água na zona radicular (Iersel et al., 2011), mas ao contrário do que seria de esperar, a frequência e a dotação de rega aplicada pela maior parte dos produtores é baseada na experiência pessoal, ou cada vez mais na utilização de relógios temporizadores (Burnett & Iersel, 2008). Para além disto, para maximizar o crescimento das plantas, os viveiros comerciais mantêm geralmente a capacidade de água disponível no substrato ao seu nível máximo (Grant et al., 2009), por se saber que a elevada humidade do substrato

umenta a produtividade de um grande número de espécies de plantas ornamentais (Beeson, 2006). Na realidade, os produtores mantêm estas práticas de rega principalmente porque o custo da água ainda é relativamente baixo no custo total das plantas, e a necessidade hídrica da maior parte das plantas herbáceas perenes empregues como ornamentais continuam desconhecidas (Burnett et al., 2014). Acresce, ser comum juntar diferentes espécies de plantas ornamentais num único sector de rega, dado que estas empresas trabalham com dezenas ou centenas de espécies diferentes (Incrocci et al., 2014).

Ainda assim, sabe-se que o consumo de água tende a aumentar ao longo do ciclo de produção com o aumento de tamanho da planta, e com as oscilações diárias da radiação recebida. Ou seja, quanto mais radiação, maior será o consumo de água. Se a rega não for ajustada de acordo com estas condições (estádio de desenvolvimento e radiação), será de esperar um descontrolo no conteúdo de água no substrato. Existem no entanto outros fatores que podem influenciar o consumo de água, tais como a temperatura, humidade relativa do ar e o vento (Iersel et al., 2011).

Em vários setores da agricultura, a “rega de precisão”, ou seja, aplicar apenas a água necessária e de forma localizada, tem-se tornado uma expressão cada vez mais familiar (Beeson, 2005). Os métodos disponíveis atualmente para o controlo da rega são baseados sobretudo no clima ou nas condições do substrato. Nos métodos baseados no clima, o consumo de água pela planta é normalmente processado por computadores que através de algoritmos estimam a evapotranspiração, a partir da informação recebida de estações meteorológicas (Bacci et al., 2008). A rega baseada nas condições do substrato tem em consideração as leituras obtidas por sensores de humidade do substrato e tem sido um método cada vez mais adotado (Burnett et al., 2014; Iersel et al., 2011; Sánchez-Blanco et al., 2004).

Em empresas comerciais com produção bastante diversificada foi comprovado que tanto o uso de sensores de humidade como modelos baseados na evapotranspiração permitiram reduzir o consumo de água (-21% a -40%) e a lixiviação de nutrientes (-39% a -74%) sem redução significativa no crescimento e na qualidade de várias plantas ornamentais (Incrocci et al., 2014). Apesar de existirem estas diversas técnicas mais avançadas, a gravimetria é a única forma direta de determinar a quantidade de água presente no solo (Grant, n.d.), no entanto, a rotina de pesagem é uma atividade que consome demasiado tempo, o que torna a sua implementação impraticável num ambiente

de produção comercial, especialmente em viveiros que trabalham com uma enorme variedade de culturas (Grant et al., 2012).

## **2.2 O alecrim, uma planta mediterrânica**

O alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) é uma espécie de planta lenhosa perene originária da região mediterrânica, que atualmente pode ser encontrada e cultivada em todos os continentes como planta ornamental e aromática. Forma um arbusto que pode alcançar 2 metros de altura e as suas folhas e flores possuem uma forte fragrância que se deve aos compostos voláteis acumulados. O alecrim é conhecido pela sua resistência à seca e também pela relativa tolerância ao stresse por salinidade (García-Caparrós et al., 2018).

O alecrim, para além de poder ser utilizado em jardins como planta ornamental, pode ser cultivado para a extração de óleos utilizados como anticéuticos, em aromaterapia, na indústria dos cosméticos e perfumaria e para fins culinários e religiosos (Amálio, 2007).

Os viveiros “Monterosa” produzem anualmente milhares de plantas de *Rosmarinus officinalis* em diferentes tamanhos e este continua a ser um produto com cada vez mais procura. A produção é destinada ao comércio nacional e também para exportação.

No viveiro, o alecrim produzido em vaso 10,5 pode demorar entre 27 (no inverno) e 14 semanas (no verão) desde o momento em que as estacas são colocadas a enraizar e o momento em que a planta atinge o tamanho ideal para venda.

É uma planta pouco exigente em fertilização, mas com uma elevada sensibilidade ao excesso de água e muito suscetível ao aparecimento de sintomas de *Phytophthora* spp. Por isso, no viveiro procura-se deixar o substrato secar o máximo possível, sem deixar que a planta entre em stresse. Ao regar, procura-se restabelecer a humidade do substrato até perto da sua capacidade máxima de retenção de água, de forma a molhar as plantas o menor número de vezes possível (reduzir o número de regas).

## **2.3 Evapotranspiração**

A evapotranspiração das plantas envasadas é afetada por diversos fatores ambientais, tais como a temperatura, radiação, humidade do ar e a velocidade do vento.

Fatores relacionados com o tamanho e a fisiologia da planta e com as características do substrato e do vaso, irão influenciar a evapotranspiração (Bacci et al., 2008).

Para minimizar a perda de água por drenagem, a dotação aplicada em cada rega deverá corresponder ao volume de água perdido por evapotranspiração durante o período que precedeu a última rega, tendo em consideração a necessidade de aplicar um coeficiente de correção (e.g: 1,2), que compense a eventual falta de uniformidade dos aspersores e a quantidade de água extra necessária para evitar a acumulação de sais (Incrocci et al., 2014).

Para determinar a evapotranspiração em plantas envasadas, é crucial fazer uma avaliação em intervalos máximos de uma hora, tendo em conta a elevada biomassa das plantas e a relativamente baixa quantidade de água disponível no substrato (Bacci et al., 2008).

Podem ser utilizados diversos equipamentos para a quantificação da evapotranspiração. Existem lisímetros de drenagem, que monitorizam o excesso de água removido pela drenagem e subtraem o volume de água aplicado à superfície do substrato para obter o valor da evapotranspiração, ou lisímetros de pesagem, que permitem uma medição direta da evapotranspiração através da alteração da massa total (Grant, n.d.). Existem também evaposensores, que são aparelhos que consistem em duas sondas planas semelhantes à forma das folhas da planta, uma que é mantida húmida através de uma mecha e que fazendo certas suposições, a diferença da temperatura entre elas é aproximadamente proporcional à taxa de evapotranspiração da folha húmida (Grant et al., 2012).

A evapotranspiração atual pode ser calculada através da seguinte equação:

$$AET = Eto \times Kc \quad \text{Eq. 1}$$

Onde *AET* representa evapotranspiração atual de uma determinada área, que no caso de plantas envasadas será a da projeção horizontal do vaso e toda a planta. *Eto* é a evapotranspiração de uma cultura de referência. *Kc* é o coeficiente cultural que relaciona a *Eto* com a *AET*. As unidades da evapotranspiração são normalmente apresentadas em milímetros (mm) (Beeson, 2005).

*Eto* pode ser calculada através de diversos dados climáticos utilizando a equação de Penman-Monteith ou através de uma modificação desta equação, como é o caso da

equação CIMIS (California Irrigation Management Information System, 2009) (Incrocci et al., 2014).

Muitas estações meteorológicas calculam a *Eto* automaticamente, sendo este valor utilizado para controlar o consumo de água em diversas culturas hortícolas no solo. No entanto, os valores de *Eto* calculados por estas estações não costumam ser utilizados para o controlo da rega em plantas ornamentais envasadas, pois este valor não é preciso o suficiente para refletir a perda real do volume de água por evaporação e transpiração, que é influenciado por fatores como o limitado volume de substrato e consequentemente, a limitada água disponível (Grant, n.d.).

É possível calcular a evapotranspiração atual (*AET*) de uma cultura específica, através da multiplicação da evapotranspiração de referência (*Eto*) pelo coeficiente específico da cultura (*Kc*). No entanto estes coeficientes (*Kc*) não são conhecidos para uma grande parte das plantas ornamentais, sendo este um dos principais fatores que condiciona a sua utilização (Grant et al., 2009).

## **2.4 Sensores de humidade do substrato**

O conteúdo de água no substrato pode ser expresso através do seu potencial hídrico ou através do volume que ocupa no substrato. A primeira hipótese permite apenas saber se a água presente no substrato está ou não facilmente disponível para as raízes das plantas. Os sensores baseados neste conceito de medição são os tensiómetros. Estes têm sido utilizados há muito tempo para a medição do potencial hídrico do substrato em culturas sem solo, mas apesar de terem provado ser boas ferramentas de pesquisa, num ambiente de produção em viveiro onde os vasos são normalmente de pequena dimensão e os substratos apresentam alta porosidade, estes sensores acabam por se tornar difíceis de utilizar. Os tensiómetros precisam de ter os poros da sua ponta de cerâmica completamente envolvidos no substrato para que funcionem corretamente. Se o substrato se contrair, por exemplo por secagem, ou se o tensiómetro se mover acidentalmente, este contacto pode perder-se, impossibilitando o seu correto funcionamento (Iersel et al., 2011).

A medição das propriedades dielétricas do solo, de forma a estimar o seu conteúdo volumétrico de água, tornou-se bastante comum após Topp et al. (1980) introduzirem a técnica “*time domain reflectometry*” (TDR) para este fim (Noborio, 2017). Foram

surgindo posteriormente diversos sensores eletromagnéticos baseados neste método (Bogena et al., 2017).

A constante dielétrica ou a permitividade relativa do solo é função de diversos fatores tais como o conteúdo de água, a textura, salinidade, temperatura e a frequência eletromagnética aplicada. A constante dielétrica da água é de aproximadamente 81 à temperatura de 20°C, valor bastante superior à da constante dielétrica das partículas do solo (3 a 5) e que as do ar ( $\approx 1$ ) (Walthert & Schleppei, 2018).

Sendo a permitividade da água bastante superior à dos outros componentes do substrato, a água será o principal meio de propagação da onda eletromagnética emitida pela sonda (Bogena et al., 2017). Quando o conteúdo de água no solo altera, a constante dielétrica do volume total também se altera devido à variação da proporção de água/ar. (Noborio, 2017)

Existem diferentes sensores baseados em diferentes técnicas de medição, tais como sensores TDR (*time domain reflectometry*), TDT (*time domain transmission*), FDR (*frequency domain reflectometry*) também conhecidos por sensores de capacitância (Bogena et al., 2017). Todas estas técnicas são baseadas na leitura da constante dielétrica, ou seja, na permitividade relativa do solo como referência do volume de água do substrato (Kargas & Soulis, 2019).

Sensores TDR e TDT medem a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas, enquanto que sensores FDR determinam normalmente o volume de água no substrato medindo o tempo de carga de um condensador a uma certa voltagem (Bogena et al., 2017).

Normalmente os sensores baseados na capacitância funcionam com uma frequência entre os 50 e os 150 MHz, enquanto que sensores TDR e TDT operam a frequências maiores. É expectável que frequências maiores resultem em leituras do volume de água mais precisas e menos influenciadas pela condutividade elétrica e pela permitividade dielétrica do solo. (Bogena et al., 2017)

Alguns destes sensores, para além de medirem o volume de água retida no solo, conseguem medir também a condutividade elétrica aparente e a temperatura (Kargas & Soulis, 2019). Podem ser utilizados de forma manual e portátil para medições localizadas ao longo da estufa, mas também podem permanecer enterrados no solo ou num substrato

para medições de longo termo. Podem ser ligados a um computador ou estação central de controlo, permitindo o controlo dos sistemas de rega de forma automática, baseados em limites estabelecidos pelo utilizador (Iersel et al., 2011).

Apesar das semelhanças entre os vários sensores eletromagnéticos, vários estudos mostraram que as diferentes tecnologias de medição, o formato do sensor, o modo de instalação, os ajustes e as calibrações de fábrica podem resultar em leituras do volume de água completamente dispares entre estes sensores. É por isso necessário estar consciente da necessidade de encontrar um sensor indicado para cada situação e calibrá-lo devidamente (Singh et al., 2018).

Os sensores dielétricos precisam geralmente de calibrações específicas para diferentes propriedades dielétricas dos diferentes tipos de substratos, que afetam a performance dos sensores (Iersel et al., 2011). A calibração compreende duas etapas. A primeira consiste na conversão do campo eletromagnético emitido pelo sensor em permitividade dielétrica (Gasch et al., 2017). Na segunda etapa, a permitividade dielétrica aparente é convertida em volume de água através de modelos empíricos ou semi-empíricos (Bogena et al., 2017). Normalmente a calibração dos sensores incide nesta segunda etapa por ser a principal fonte de erro de medição. A conversão da permitividade dielétrica aparente da água retida pode ser ajustada ao tipo de substrato utilizado (Gasch et al., 2017).

### **3 Materiais e métodos**

#### **3.1 Localização**

O estudo foi realizado nos viveiros Monterosa em Moncarapacho, Algarve, na zona de produção ao ar livre, designada por “Quinta da Oliveiras”.

#### **3.2 Material vegetal e substrato**

Utilizou-se um lote de 3700 plantas de *Rosmarinus officinalis*, enraizadas na estufa de reprodução do viveiro e posteriormente envasadas em vasos com 10,5 centímetros de diâmetro (460 mL).

As estacas foram colocadas a enraizar na semana 15 de 2019, num ambiente com humidade e temperatura controlada, mediante um sistema de nebulização acionado por temporizador, e sistema de aquecimento por água quente, aquecida por uma caldeira a

gasóleo. Após a fase de enraizamento, as plantas foram transplantadas para vaso de 460 mL, colocando-se duas estacas enraizadas por cada vaso.

O substrato utilizado foi uma mistura de fibra de coco com turfa loira (“Special Blond”, Pindstrup, Dinamarca) enriquecida com o fertilizante de libertação controlada “Basacote” (Compo Expert, Brasil) na proporção de 3 g L<sup>-1</sup>. Este substrato foi analisado fisicamente na Universidade do Algarve (Laboratório do Horto da Faculdade de Ciências e Tecnologia) de forma a determinar a sua curva de retenção de água para conhecer a sua capacidade de retenção de água e de arejamento, o que permitiu estabelecer a dotação de rega e o limite de secagem.

*Tabela 3.1 - Resultado da análise da curva de retenção de água do substrato.*

Capacidade de arejamento (CA)	28,43%
Água facilmente absorvida (AFA)	27%
Água de reserva (AR)	15,85%
Água dificilmente absorvida (ADA)	20,76%

O lote de 3700 vasos com alecrim foi colocado num sector com rega por aspersão, distribuídos com densidade de 90 vasos m<sup>2</sup>.

### **3.3 Sistema de rega**

O sistema foi composto por três linhas de aspersão com 10 m de comprimento e abrangendo uma largura total de 7 m. Cada linha é composta por 4 aspersores (HADAR 7110) que à pressão de 2 bar debitam 199 L h<sup>-1</sup>, colocados em linha reta com um espaçamento 2,5 m entre aspersores e desfasados da linha ao lado (distribuição em pé-de-galo). Esta disposição destina-se a maximizar a uniformidade da pluviometria obtida, para homogeneizar o crescimento das plantas.

### **3.4 Equipamentos de monitorização**

#### **3.4.1 Sensores de humidade do substrato**

Foram previamente testados na empresa diversos tipos de sensores de humidade do substrato, disponíveis comercialmente, de forma a identificar o que mais se adequava ao cultivo em vasos de pequenas dimensões.

Optou-se por utilizar sensores FDR (*frequency domain reflectometry*), os quais obtêm a permissividade dielétrica do meio através da medição da sua capacitância, sendo

conhecidas por isso por sondas de capacitância. Utilizaram-se sensores de capacitância (SIGROW, Soil Pro, Netherlands), os quais para além do teor volumétrico de água no solo (% v/v), medem a radiação fotossinteticamente ativa ( $\mu\text{mol fotões}/\text{m}^2/\text{s}$ ), a temperatura e humidade relativa do ar (%) e a temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) e condutividade elétrica do substrato ( $\text{mS}/\text{m}$ ). Trabalham a uma frequência de 100 MHz. Foram utilizados 3 sensores deste modelo.

O facto de serem sensores resistentes, fáceis de manusear, adaptados a vasos de pequena dimensão, capazes de ler um vasto leque de fatores e com leituras de humidade de substrato próximas dos valores obtidos com os equipamentos utilizados normalmente no viveiro, fizeram deste equipamento o ideal para o ensaio.

### 3.4.2 Validação das leituras dos sensores de humidade do substrato

Os sensores foram previamente calibrados pelo fabricante para funcionarem em substratos orgânicos, mais concretamente, em turfa e substrato de coco.

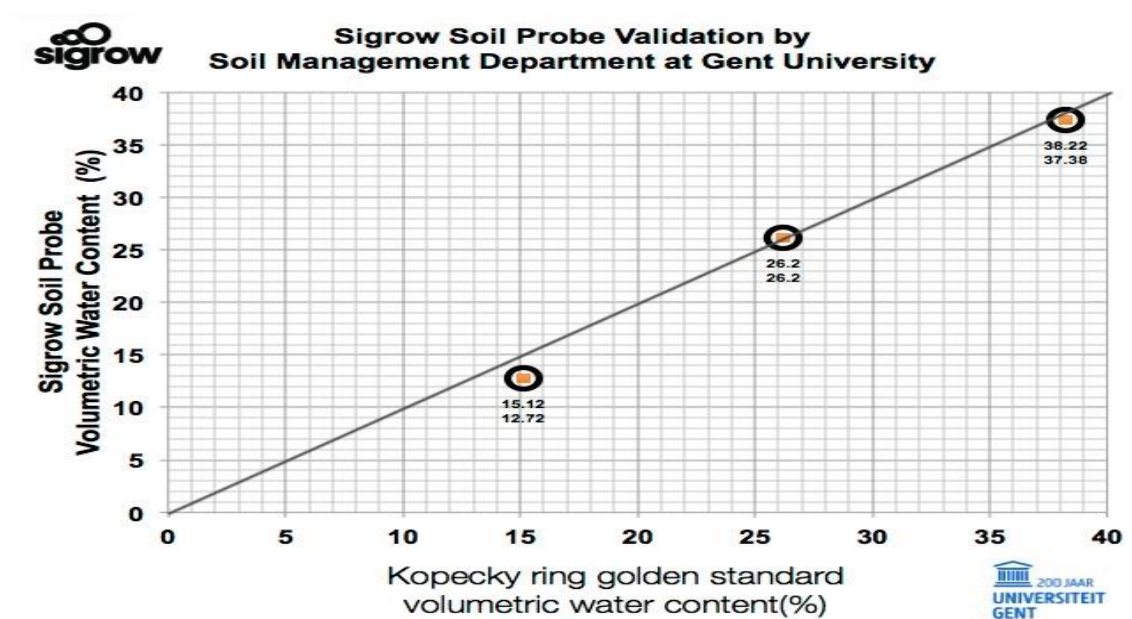


Figura 3.1 - Gráfico da validação das leituras, fornecido pelo fabricante.

Antes do início do ensaio foi realizado um teste de verificação de precisão dos sensores, comparando as leituras registadas em 8 amostras de substrato, com os valores obtidos por gravimetria, através da pesagem de amostras de substrato húmido (com o mesmo volume de água que tinha no momento da leitura da sonda) e do peso seco a  $105^{\circ}\text{C}$ . A secagem e pesagem foram realizadas no Laboratório de Análises de Solos da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade do Algarve.

### 3.4.3 Estação meteorológica

A estação meteorológica utilizada foi a “*Wireless Vantage Pro 2*” (Davis Instruments, Weatherlink, EUA). Este equipamento calcula a evapotranspiração de referência (*E<sub>to</sub>*) para cada hora, através equação de Penman modificada, incluindo o cálculo da radiação acumulada, segundo a fórmula implementada pelo CIMIS (*California Irrigation Management information System*). Para o cálculo, a estação utiliza os valores médios da temperatura (°C), velocidade do vento (m/s) e radiação solar (W/m<sup>2</sup>), ao longo de uma hora. Em vez de utilizar o valor médio da humidade relativa do ar para cada hora, cada vez que a estação faz uma leitura da temperatura, o valor do défice de pressão de vapor é calculado através do valor atual da temperatura e da humidade relativa do ar. Será utilizada para o cálculo da *E<sub>to</sub>*, a média dos valores do défice de pressão de vapor (kPa).

## 3.5 Delineamento experimental do ensaio

### 3.5.1 Obtenção de valores do coeficiente *K<sub>ch</sub>*

Após o envasamento em vaso de 460 mL na semana 25, as plantas foram colocadas no campo de aspersão da “Quinta das Oliveiras” nos viveiros Monterosa.

Entre a semana 25 e a semana 28, foram testados o sistema de rega e o comportamento dos sensores. Os sensores foram colocados em zonas representativas da humidade do substrato de todo o lote, sendo trocados de vaso após cada rega, de forma a diminuir a influencia da localização. Durante estas 4 semanas as plantas foram regadas e cuidadas de acordo com os procedimentos normais do viveiro (Figura 3.2).

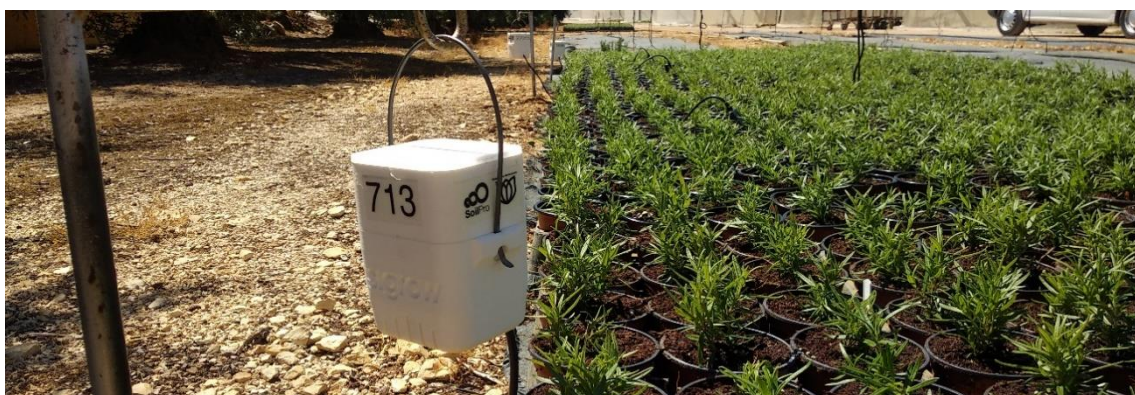


Figura 3.2 - Local do ensaio.

Na semana 29 iniciou-se o ensaio e a recolha dos dados. Durante esta semana a rega foi baseada apenas nos valores obtidos nos sensores. Para começar o estudo, regou-se até que o substrato atingisse a capacidade máxima de retenção de água, que de acordo com a análise realizada na Universidade do Algarve, era de 63,6% (v/v).

Neste tipo de culturas, após uma rega, deverá deixar-se baixar o teor de água no substrato, de forma a manter as raízes arejadas e desfavorecendo o desenvolvimento de *Phytophthora*. Por isso, decidiu-se que a rega só seria acionada quando a humidade do substrato atingisse a percentagem de água correspondente à capacidade de água dificilmente utilizável, determinada em laboratório (20,76%). Assim, durante a primeira semana (semana de “aprendizagem”), a rega foi ativada novamente sempre que a média do conteúdo volumétrico de água dos 3 sensores atingia aproximadamente 20% e terminava quando a média do valor dos 3 sensores atingia o valor máximo da capacidade de retenção de água do substrato.

Ao longo das 5 semanas posteriores de recolha de dados, os valores da humidade do substrato foram recolhidos automaticamente a cada 5 minutos pela plataforma da “Sigrow”, mas para o estudo utilizaram-se apenas os valores com intervalo de 1 h de cada sensor.

Ao longo da primeira semana foi calculada a evapotranspiração atual para cada hora do dia ( $AET_{sh}$ ) através da formula (Equação 2) adotada na metodologia descrita por Bacci et al., (2008):

$$AET_{sh} = [WCh - WCh_{-1}] \times V_{pot} \times T^{-1} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

$AET_{sh}$  = Evapotranspiração atual sensores de humidade ( $g \text{ vaso}^{-1} h^{-1}$ ),

$WCh$  = Conteúdo de água no substrato à hora h-1 ( $g \text{ cm}^{-3}$ ),

$WCh_{-1}$  = Conteúdo de água no substrato à hora h ( $g \text{ cm}^{-3}$ ),

$V_{pot}$  = volume do vaso ( $cm^{-3}$ )

$T$  = tempo entre duas medições consecutivas (1 h).

Em vez de converter o potencial hídrico obtido através de tensiómetros, como na metodologia descrita por Bacci et al., (2008), os valores do conteúdo de água no substrato ( $WCh$ ) foram obtidos através da percentagem volumétrica do conteúdo de água no substrato medida pelos sensores FDR.

Tendo em conta que os vasos tinham 460 mL de volume, a percentagem indicada pelo sensor corresponde à percentagem de água presente em 460 mL. A percentagem de água retida no substrato foi convertida em volume e posteriormente em massa da água, através da multiplicação do volume pela densidade da água ( $997 \text{ Kg/ m}^3$ ) à temperatura média a que é aplicada na rega, cerca de  $25^\circ\text{C}$  (nesta altura do ano). Assim, um vaso à capacidade máxima de retenção de água (63,64%) conterà aproximadamente 291,87 g de água ou seja  $0,63 \text{ g cm}^{-3}$ . Após a obtenção da diferença entre duas medições de  $WCh$ , pode aplicar-se a Equação 2 para se obter o valor de  $AETsh$ . Os valores de  $AETsh$  obtidos foram convertidos em  $\text{mm h}^{-1}$  considerando a densidade de plantação de 90 vasos  $\text{m}^2$ .

A estação meteorológica calculou e registou na sua plataforma informática (*Weather link*) a evapotranspiração de referência ( $ET_o/\text{m}^2$ ) para cada hora ( $ET_{oh}$ ). Os valores de  $ET_{oh}$  e os de  $AETsh$  foram registados numa tabela de Excel.

Os valores do coeficiente cultural para cada hora ( $Kch$ ) que são desconhecidos para a maioria das plantas ornamentais, foram calculados através da Equação 3:

$$Kch = \frac{AETsh}{ET_{oh}} \quad \text{Eq.3}$$

A elevada variabilidade de  $Kch$  ao longo do dia (Figura 4.4), devida a fatores meteorológicos e fatores relacionados com a fisiologia da planta, levam a que seja necessário calcular uma média deste valor para os 7 dias da semana, de forma a melhorar a sua precisão (Bacci et al., 2008). Para o cálculo da média de  $Kch$  foram excluídos os valores de  $Kch$  obtidos durante a rega, por não serem representativos.

Os valores de  $Kch$  médios obtidos na semana inicial (S29) foram utilizados para calcular a evapotranspiração atual de cada hora ( $AETch$ ) no primeiro dia da semana 30, através da Equação 1. A partir deste dia, a média do  $Kch$  foi recalculada diariamente, de forma a criar uma média móvel dos últimos 7 dias.

### **3.5.2 Implementação do sistema integrado de monitorização da humidade do substrato.**

A partir do início da semana 30 a decisão de rega passou a ser baseada não só nas leituras dos sensores, mas também pela comparação entre o somatório dos valores da evapotranspiração calculada pelos valores dos dados climáticos ( $\sum AETch$ ) e o somatório da evapotranspiração calculada através dos valores das leituras dos sensores de humidade

do substrato ( $\sum AETsh$ ). De cada vez que os sensores indicavam uma média de 20% de humidade do substrato, foi confirmado se  $\sum AETch$  apresentava um valor igual a  $\sum AETsh$  e só depois da comparação entre as duas referências de controlo da evapotranspiração, foi tomada a decisão de rega.

O ensaio terminou na semana 33 de 2019 após 18 semanas de cultivo e após 5 semanas de recolha de dados, tendo o sistema integrado sido utilizado apenas nas 4 semanas finais.

### **3.5.3 A taxa da evapotranspiração como possível indicador de stresse hídrico**

Após a recolha e o tratamento dos dados, foi sugerido pelo fabricante dos sensores, que para definir o intervalo do conteúdo volumétrico de água retida no substrato que mais beneficia o desenvolvimento da planta, se deveria perceber a influencia da percentagem de humidade do substrato, a uma determinada hora, na capacidade de a planta absorver água. Para tal, foi avaliada a evapotranspiração de dois dias distintos (30/07/19 e 12/08/2019). Para ambos os dias foram realizadas duas correlações diferentes. A primeira foi a correlação entre a percentagem de humidade no substrato no início de cada hora, e a percentagem de humidade perdida ao longo dessa hora. A segunda, foi a correlação entre a percentagem de humidade no substrato no início de cada hora, e a razão entre a água perdida e a radiação acumulada ( $\text{mol/m}^2$ ) durante esse período (quanto maior o valor desta razão, maior o consumo de água para a mesma quantidade de radiação acumulada). Os cálculos foram baseados num período de 10 horas no dia 30/07/19 e num período de 8 horas no dia 12/08/2019.

De forma a se poder associar a taxa de perda de humidade do substrato a possíveis stresses hídricos induzidos à planta, era preciso perceber se a transpiração tinha de facto um peso significativo no total da evapotranspiração, por isso foi feito um ensaio complementar no dia 27 de setembro, que consistiu em monitorizar a evolução da perda de água ao longo de um dia, num vaso com uma planta (*Rosmarinus officinalis*) saudável e num outro vaso com uma planta cortada, mas em que a parte aérea permaneceu na sua posição natural, de forma a manter o sombreamento normal causado sobre o substrato.

## 4 Resultados

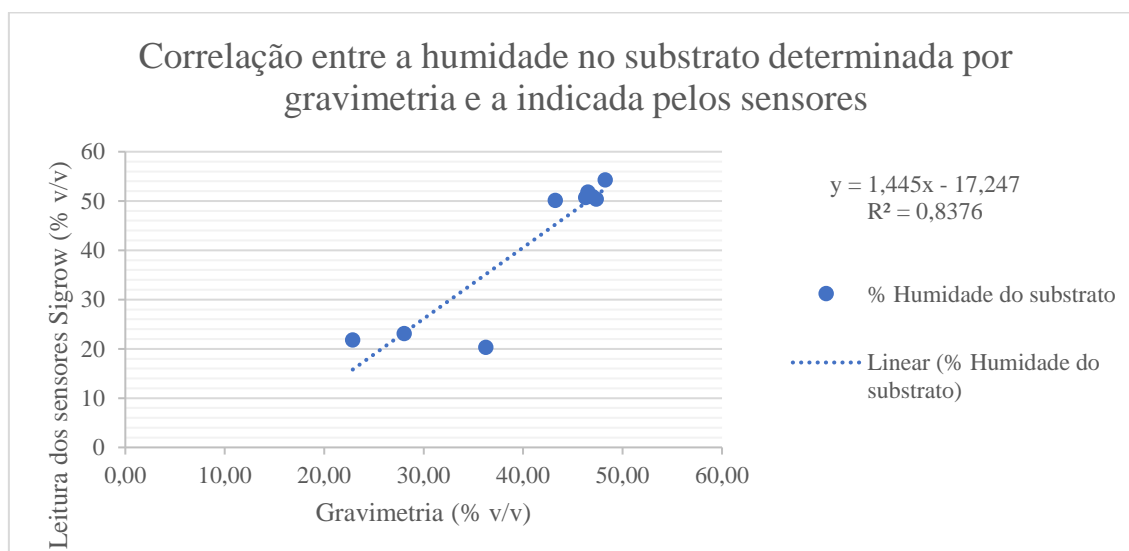
### 4.1.1 Validação das leituras dos sensores de humidade do substrato

De acordo com dispersão de dados representada no gráfico da Figura 4.1, é possível verificar que existe uma correlação forte e positiva entre os valores do conteúdo volumétrico de água retida no substrato obtidos pelos sensores e pelo ensaio de gravimetria realizado na Universidade do Algarve. O coeficiente de correlação obtido foi de 0,915 (Tabela 4.1), que por ser muito próximo de 1, revela uma correlação muito forte (Devore, 2006).

*Tabela 4.1 - Correlação entre leituras da percentagem da Humidade do substrato (% H.S) obtidas pelos sensores Sigrow e o teste de gravimetria e secagem realizado na UALG.*

	% H.S (gravimetria)	% H.S (Sensores)
% H.S (gravimetria)	1	
% H.S (Sensores)	0,915	1

De acordo com o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) representado na Figura 4.1, é possível afirmar que os resultados obtidos pelo ensaio de gravimetria explicam em 84% os valores obtidos pelos sensores de humidade do substrato.



*Figura 4.1 - Gráfico da correlação entre a humidade no substrato determinada por gravimetria e a indicada pelos sensores.*

#### 4.1.2 Obtenção dos valores do coeficiente *Kch*

Na Figura 4.2 é possível observar a flutuação da média dos valores de *Kch* utilizados para cada hora de cada semana. Os valores médios de *Kch* oscilaram entre 0,12 e 9,35. Ao longo das 4 semanas de recolha de dados, as médias apresentaram uma variação diária semelhante. Entre as 00:00 e as 19:00 horas os valores de *Kch* sobem ligeiramente, sofrendo pequenas variações e nunca atingindo valores superiores a 4. Os valores para 20:00 e as 21:00 horas aumentam bastante atingindo valores próximos de 9.

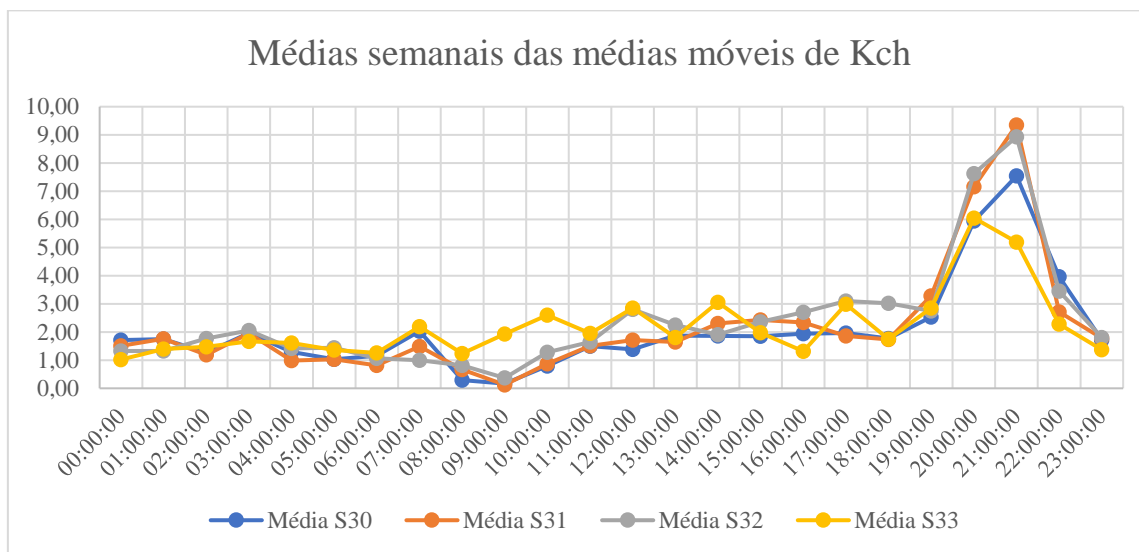


Figura 4.2 - Gráfico da média semanal das médias móveis do *Kch* (S – semana do ano).

Na Tabela 4.2 é possível observar a elevada variabilidade que existe entre as médias dos valores de *Kch* obtidos para cada hora, ao longo das 4 semanas de recolha de dados.

Tabela 4.2 - Valores da média semanal das médias móveis de *Kch* ao longo das 4 semanas de recolha de dados.

	Média S30	Média S31	Média S32	Média S33
00:00:00	1,71	1,51	1,32	1,02
01:00:00	1,75	1,76	1,32	1,39
02:00:00	1,27	1,19	1,77	1,47
03:00:00	1,96	1,95	2,05	1,66
04:00:00	1,29	0,98	1,42	1,61
05:00:00	1,03	1,03	1,44	1,36
06:00:00	1,15	0,81	1,06	1,26
07:00:00	2,03	1,49	1,00	2,19
08:00:00	0,29	0,66	0,81	1,23
09:00:00	0,17	0,12	0,37	1,93
10:00:00	0,79	0,87	1,28	2,60

11:00:00	1,50	1,51	1,64	1,96
12:00:00	1,39	1,71	2,81	2,85
13:00:00	1,87	1,65	2,25	1,81
14:00:00	1,86	2,31	1,90	3,06
15:00:00	1,84	2,43	2,37	1,97
16:00:00	1,94	2,34	2,70	1,32
17:00:00	1,96	1,86	3,10	2,98
18:00:00	1,77	1,73	3,02	1,74
19:00:00	2,53	3,28	2,75	2,84
20:00:00	5,94	7,16	7,63	6,05
21:00:00	7,54	9,35	8,93	5,19
22:00:00	3,96	2,72	3,45	2,28
23:00:00	1,71	1,78	1,81	1,37

Na Figura 4.3 observa-se o decréscimo acentuado da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) entre as 17:00 e as 18:00 horas.

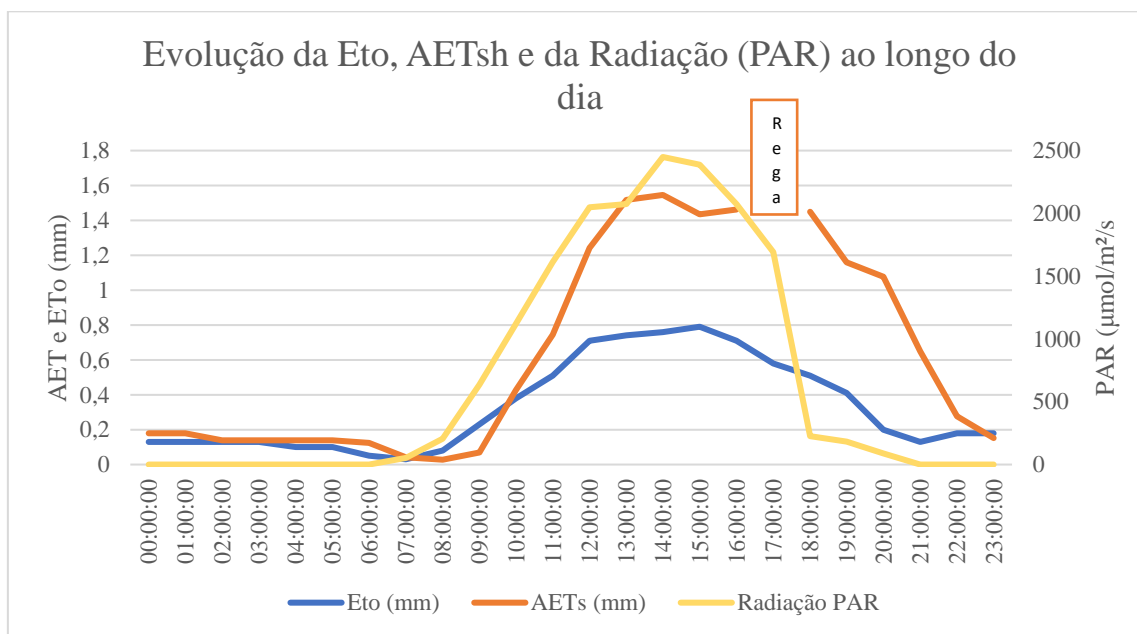


Figura 4.3 - Evolução da evapotranspiração de referência (Eto), evapotranspiração calculada pelos sensores de humidade do substrato (AETsh) e da radiação fotossinteticamente ativa (PAR), ao longo do dia (30/07/2019).

No entanto a evapotranspiração de referência (Eto) assim como evapotranspiração obtida pelos sensores de humidade de substrato tem um decréscimo menos acentuado, que se prolonga no tempo.

O valor da evapotranspiração de referência obtido pela estação meteorológica ( $E_{to}$ ) é próximo das leituras dos sensores de humidade do substrato ( $AET_{sh}$ ) ao longo da noite e no início da manhã (Figura 4.4).

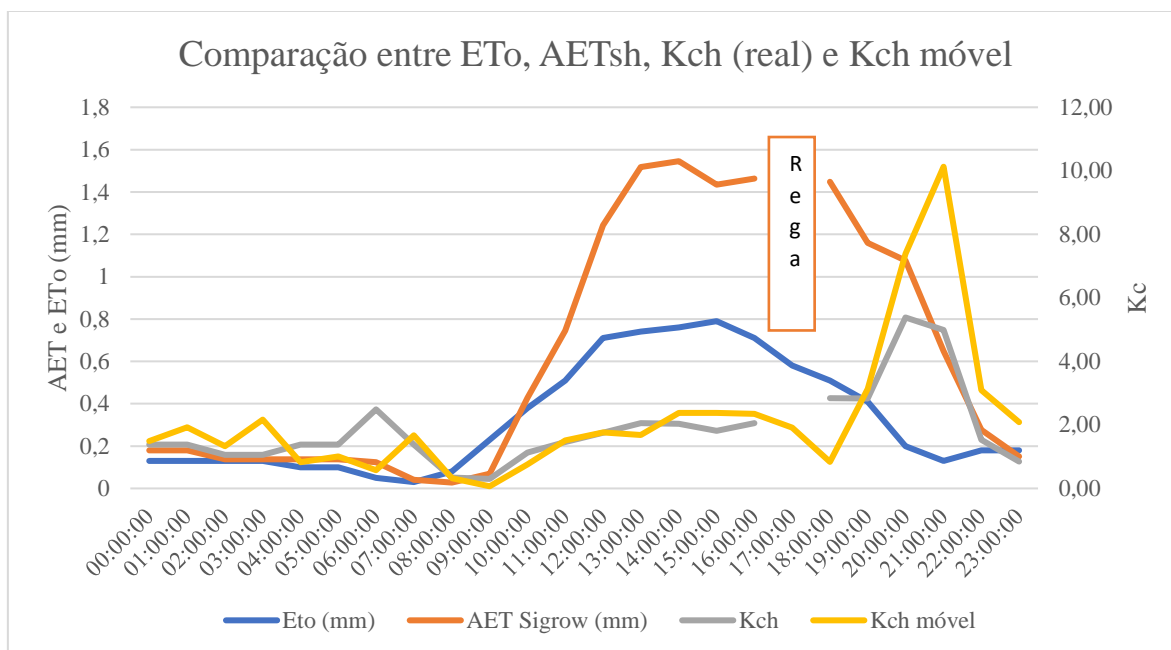


Figura 4.4 - Evolução da evapotranspiração de referência ( $E_{to}$ ), evapotranspiração calculada pelos sensores de humidade do substrato ( $AET_{sh}$ ), coeficiente cultural ( $K_{ch}$ ) e média móvel calculada para  $K_{ch}$ , ao longo do dia (30/07/2019).

Com o aumento da radiação a partir das 9:00 horas, a  $AET_{sh}$  regista valores muito superiores aos de  $E_{to}$  resultanto em valores do coeficiente cultural ( $K_{ch}$ ) progressivamente maiores.

A partir das 16:00 a  $E_{to}$  decresceu progressivamente e entre as 20:00 e as 21:00 horas, essa diferença acentuou-se originando valores de  $K_{ch}$  mais elevados. No entanto o valor de  $K_{ch}$  real do dia, para esse periodo, é bastante inferior ao do  $K_{ch}$  resultante da média móvel.

#### 4.1.3 Implementação do sistema integrado de monitorização da humidade do substrato.

De acordo com a Figura 4.5 é possível verificar que a evolução da evapotranspiração calculada pelo sistema integrado ( $AET_{ch}$ ) acompanha aproximadamente a evapotranspiração diária registada pelos sensores de humidade do substrato ( $AET_{sh}$ ).

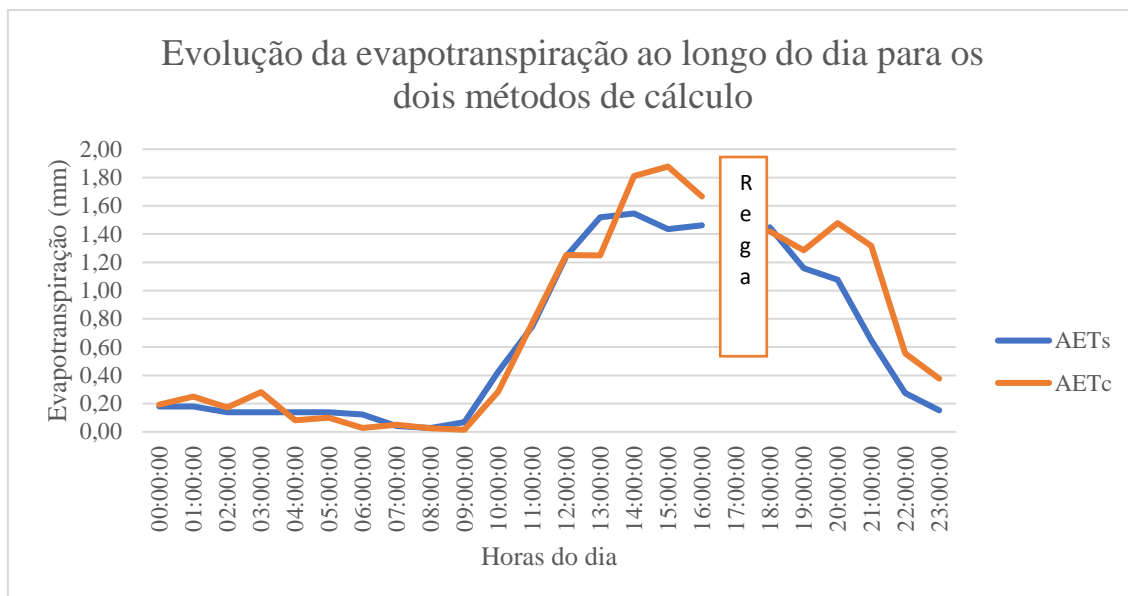


Figura 4.5- Comparação da evapotranspiração obtida através dos dois métodos de cálculo (leituras dos sensores (AETs) e dados climáticos (AETc)) (30/07/2019).

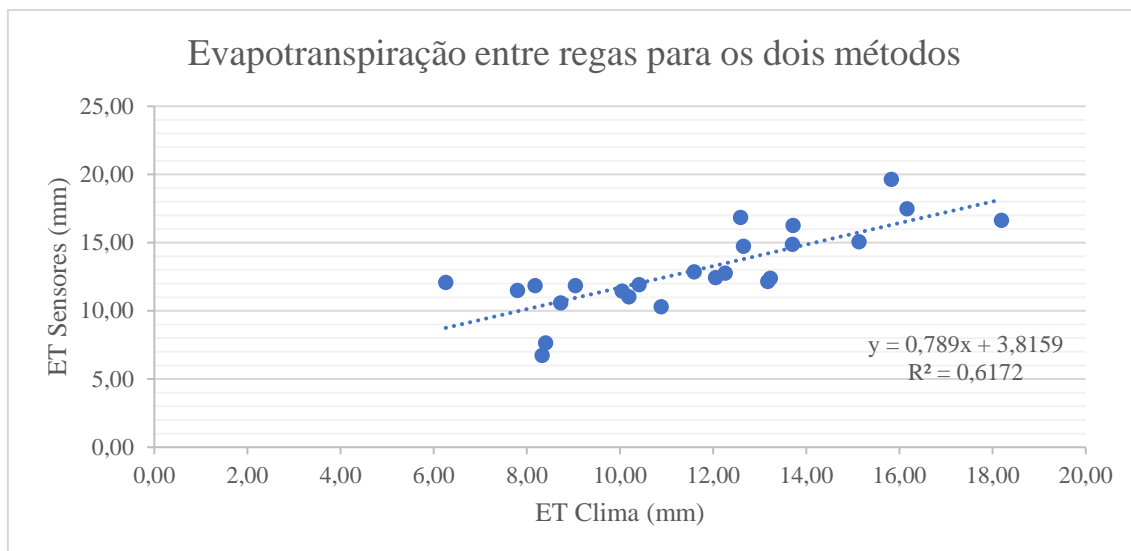
Neste dia, a  $AET_{ch}$  acumulada entre as 00:00 e as 23:00 horas foi de 16,54 mm, sobrestimando o valor da evapotranspiração real, tendo em conta o valor de 14,31 mm obtido pelos sensores ( $AET_{sh}$ ). A diferença foi observada sobretudo às 15:00 e às 21:00 horas, sendo a última devida ao elevado valor da média móvel de  $K_{ch}$  para aquela hora.

O coeficiente de correlação ( $R$ ) obtido (0,786) entre os valores da evapotranspiração entre regas para os dois métodos de controlo (ET sensores e ET clima), ao longo das 4 semanas de recolha de dados (Tabela 4.3), demonstra que existe uma correlação forte entre estes dois métodos.

Tabela 4.3 - Coeficiente de correlação ( $R$ ) entre os valores da evapotranspiração determinada pelos dados do clima (ET Clima) e pelos sensores de humidade do substrato (ET sensores) ao longo do ensaio.

	ET Clima (mm)	ET Sensores (mm)
ET Clima (mm)	1	
ET Sensores (mm)	0,786	1

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) indicado na Figura 4.6 permite afirmar que a evapotranspiração obtida pelo método integrado (ET Clima) apresenta uma concordância de 62% de acordo com a obtida pelos sensores (ET sensores).



*Figura 4.6 - Correlação entre os valores da evapotranspiração ocorrida entre regas, para os diferentes métodos de cálculo (Sensores de humidade do substrato e dados climáticos), ao longo de todo o ensaio.*

Na Tabela 4.4 estão representados os valores da evapotranspiração acumulada entre cada rega, obtidos ao longo do ensaio, através dos dois métodos.

*Tabela 4.4 - Valores da evapotranspiração ocorrida entre cada rega, para os diferentes métodos de cálculo (Sensores de humidade do substrato e dados climáticos), ao longo de todo o ensaio.*

	ET Sensores (mm)	ET clima (mm)
23/07/2019	15,08	15,14
25/07/2019	17,50	16,17
27/07/2019	19,67	15,83
28/07/2019	14,75	12,65
29/07/2019	12,86	11,59
30/07/2019	12,39	13,23
31/07/2019	6,73	8,33
04/08/2019	12,17	13,18
05/08/2019	16,86	12,59
06/08/2019	10,58	8,73
06/08/2019	12,09	6,26
07/08/2019	11,51	7,80
08/08/2019	12,45	12,06
09/08/2019	10,31	10,89
10/08/2019	11,85	9,04
11/08/2019	11,04	10,19
12/08/2019	14,88	13,70
13/08/2019	16,66	18,19
13/08/2019	11,92	10,41

14/08/2019	12,78	12,26
15/08/2019	11,87	8,18
16/08/2019	11,47	10,04
17/08/2019	16,28	13,72
18/08/2019	7,65	8,41

#### 4.1.4 Taxa da evapotranspiração como possível indicador de stresse hídrico

Na Figura 4.7 é possível observar a correlação negativa que existe entre as percentagens da humidade do substrato no início de cada hora e ao longo de 9 horas do mesmo dia, e a perda da humidade presente no substrato no início de cada hora.

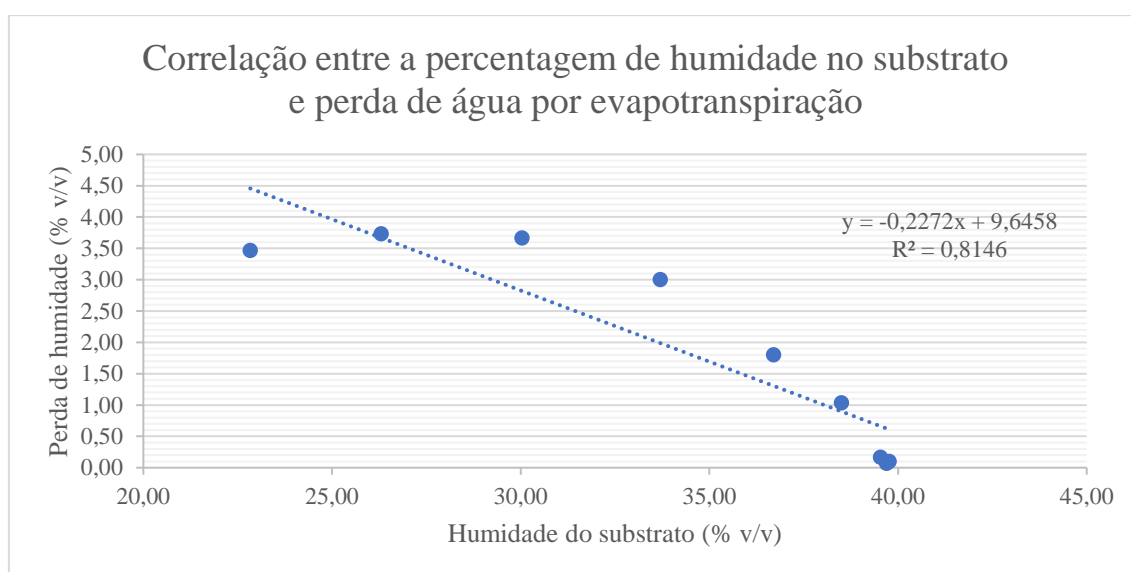


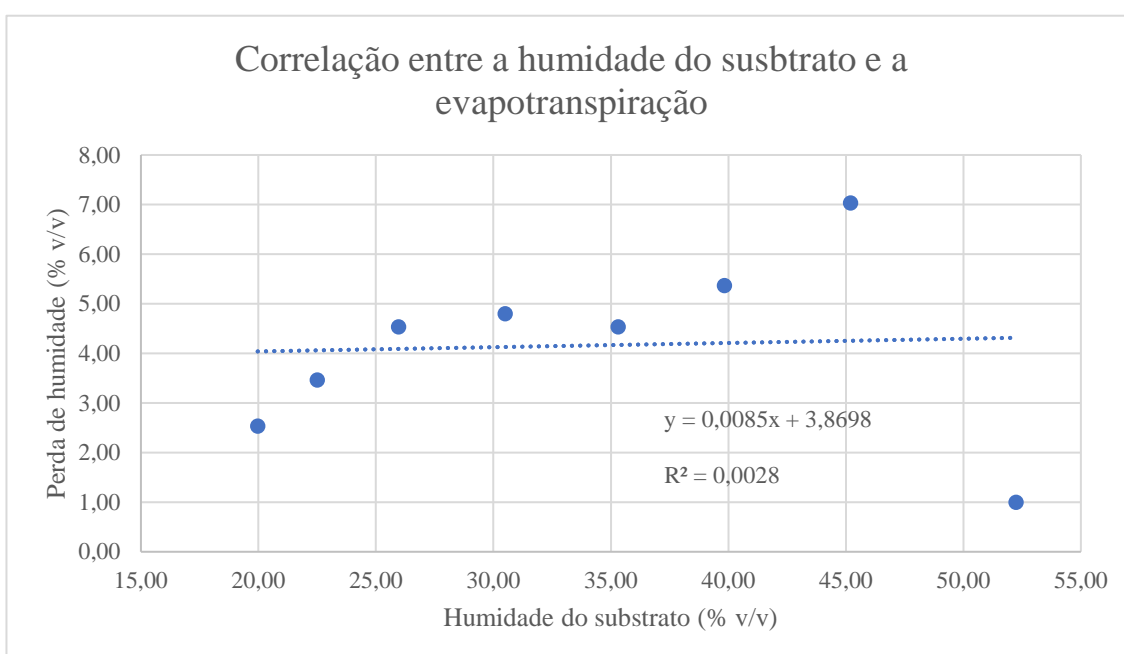
Figura 4.7 - Correlação entre a percentagem de humidade no substrato no início de cada hora e a evapotranspiração ocorrida ao longo de cada hora (30/07/2019).

O coeficiente de correlação obtido (Tabela 4.5), demonstra uma correlação negativa muito forte entre a percentagem da humidade do substrato a uma determinada hora do dia, e a humidade relativa presente no substrato no início desse período. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) na Figura 4.7 indica que a água perdida pode ser justificada em 81% pelo valor da humidade presente no substrato. O gráfico obtido sugere que a evapotranspiração foi máxima quando a humidade do substrato era de aproximadamente 26%, sendo o intervalo ótimo entre 25% e 30% aproximadamente, tendo sido obtidos valores semelhantes em outros dias ao longo do ensaio. Quando a humidade do substrato se encontrava perto dos 40%, a evapotranspiração calculada através das leituras dos sensores de humidade de substrato reduziu-se significativamente.

Estes valores correspondem ao dia 30 de julho de 2019, no entanto esta relação variou ao longo do ensaio.

*Tabela 4.5 - Coeficiente de correlação entre a percentagem de humidade no substrato no início de cada hora e a evapotranspiração ocorrida ao longo de cada hora (30/07/2019).*

	Humidade do substrato (%)	Perda de humidade (%)
Humidade do substrato (%)	1	
Perda de humidade (%)	-0,903	1



*Figura 4.8 - Correlação entre a percentagem de humidade no substrato no início de cada hora e a evapotranspiração ocorrida ao longo de cada hora (12/08/2019).*

Na Figura 4.8 é possível observar que no dia 12 de agosto, a evapotranspiração apresentou um comportamento semelhante ao observado no dia 30 de julho, para o intervalo entre 20 e 35% de humidade do substrato. No entanto, desta vez, a evapotranspiração acentuou-se para entre 40 e 45%, reduzindo apenas quando a humidade do substrato ultrapassou 50%. Contudo, o valor do coeficiente de correlação (R) para este grupo de dados (Tabela 4.6) revelou uma fraca correlação.

*Tabela 4.6 - Coeficiente de correlação entre a percentagem de humidade no substrato no início de cada hora e a evapotranspiração ocorrida ao longo de cada hora (12/08/2019).*

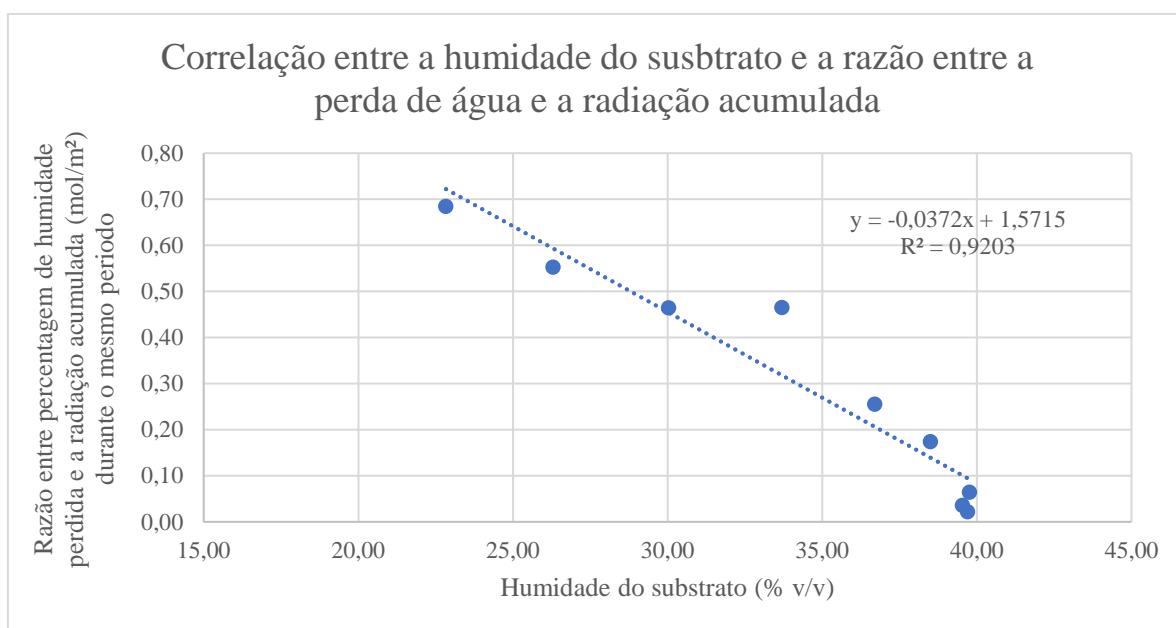
	Humidade do substrato (%)	Perda de humidade %
Humidade do substrato (%)	1	
Perda de humidade %	0,053	1

Para o dia 30 de agosto, ao correlacionar a humidade do substrato, com a razão entre a percentagem de humidade perdida pelo substrato e a radiação acumulada, obteve-se um coeficiente de correlação (R) negativo muito forte (Tabela 4.7).

*Tabela 4.7 - Coeficiente de correlação (R) entre a percentagem de humidade no substrato no início de cada hora e a razão entre a perda de água e a radiação acumulada ao longo de cada hora (30/07/2019).*

	Humidade do substrato (%)	Razão
Humidade do substrato (%)	1	
Razão	-0,959	1

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) indica que os valores da razão entre a percentagem de humidade perdida pelo substrato e a radiação acumulada, podem ser explicados em 92% pelos valores da humidade do substrato (Figura 4.9).

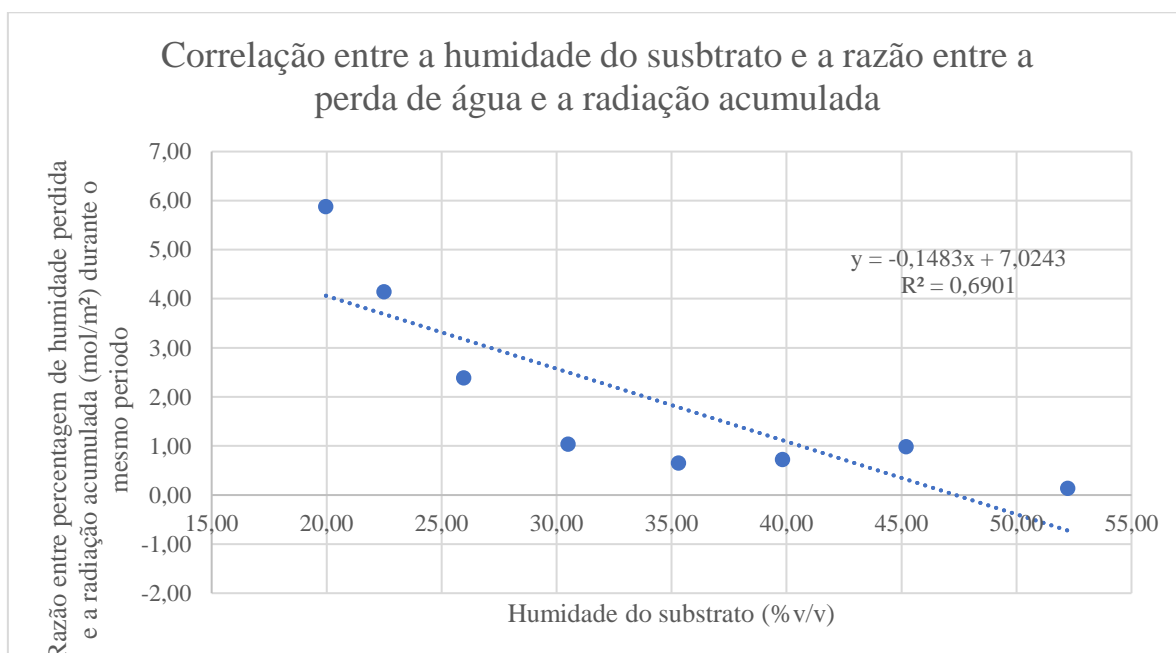


*Figura 4.9 - Correlação entre a percentagem de humidade no substrato no início de cada hora e a razão entre a perda de água e a radiação acumulada ao longo de cada hora (30/07/2019).*

Para o dia 12/08/2019, obteve-se um coeficiente de correlação igualmente negativo e forte (Tabela 4.8), podendo os valores da razão entre a percentagem de humidade perdida pelo substrato e a radiação acumulada ser explicados em 69% ( $R^2$ ), pelos valores da humidade do substrato (Figura 4.10).

*Tabela 4.8 - Coeficiente de correlação (R) entre a percentagem de humidade no substrato no início de cada hora e a razão entre a perda de água e a radiação acumulada ao longo de cada hora (12/08/2019).*

	Humidade do substrato (%)	Razão
Humidade do substrato (%)	1	
Razão	-0,830749353	1



*Figura 4.10- Correlação entre a percentagem de humidade no substrato no início de cada hora e a razão entre a perda de água e a radiação acumulada ao longo de cada hora (12/08/2019).*

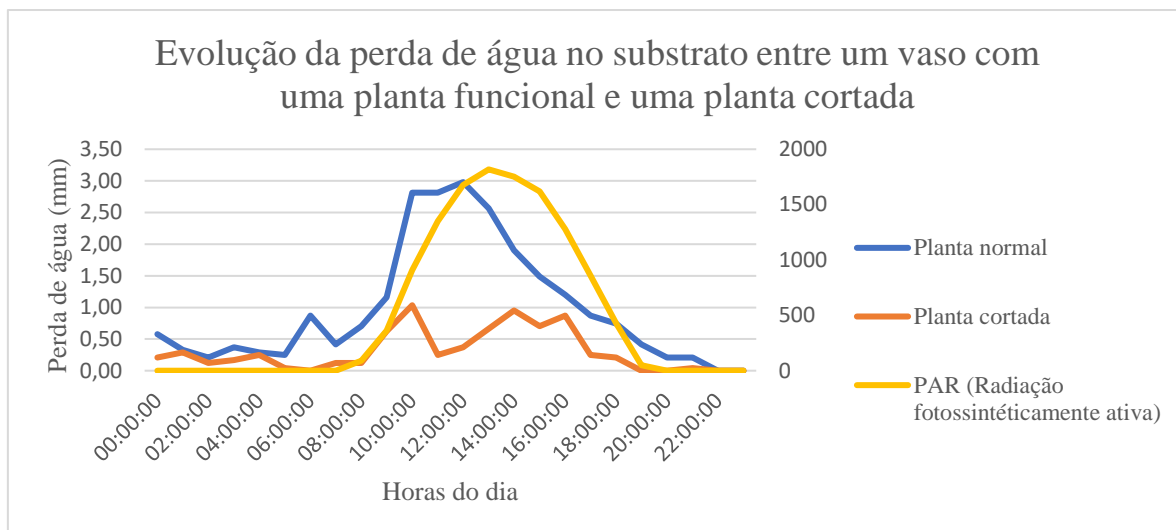


Figura 4.11 - Comparação da evolução da perda de água no substrato entre um vaso com uma planta saudável e um vaso com uma planta cortada (27/09/2019).

Na Figura 4.11 é possível observar a influência da transpiração da planta, no total da evapotranspiração diária de *Rosmarinus officinalis* para estas condições de cultivo.

Nas horas do dia em que o valor da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) é mais elevado, é evidente a significância da transpiração no total da água perdida. A perda de água foi aproximadamente três vezes superior no vaso com a planta normal (Tabela 4.9).

Tabela 4.9 - Tabela dos valores relativos à perda de água ocorrida a cada hora, para os dois ensaios, e da radiação fotossinteticamente ativa (PAR).

Hora	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	Total (mm)
Planta normal	0,58	0,33	0,21	0,37	0,29	0,25	0,87	0,41	0,70	1,16	2,82	2,82	2,98	2,57	1,90	1,49	1,20	0,87	0,75	22,56
Planta cortada	0,21	0,29	0,12	0,17	0,25	0,04	0,00	0,12	0,12	0,62	1,04	0,25	0,37	0,66	0,95	0,70	0,87	0,25	0,21	7,25
PAR (μmol/m²/s)	0	0	0	0	0	0	0	0	90	362	909	1351	1678	1818	1752	1619	1279	8599	428	

## 5 Discussão de resultados

### 5.1.1 Validação da leitura dos sensores de humidade do substrato

A correlação forte entre os valores das leituras dos sensores de humidade do substrato e os valores obtidos por gravimetria (Figura 4.1), demonstram que os sensores

são um bom indicador do volume de água retido neste substrato, podendo afirmar-se que os valores da evapotranspiração atual calculada pelo método de sensores de humidade do substrato (*AET<sub>sh</sub>*) obtidos ao longo do ensaio correspondem aproximadamente à evapotranspiração real do cultivo.

À semelhança do reportado pelo fabricante (Figura 3.1), as leituras dos sensores de humidade têm uma precisão menor para valores mais baixos de humidade do substrato (Figura 4.1). Neste caso em concreto, as amostras de substrato com menor teor de humidade, pertenciam a plantas de um lote de *Rosmarinus officinalis* em produção no viveiro, e por isso tinham raízes instaladas quando os sensores mediram o teor de humidade. As raízes foram retiradas antes da determinação pelo método por gravimetria, mas a dificuldade em as separar do substrato, pode ter contribuído para a imperfeição da amostra, e conseqüentemente para os diferentes resultados obtidos na medição por gravimetria. Por isso para as restantes amostras, utilizou-se substrato hidratado, isento de qualquer outro tipo de material vegetal, facilitando a recolha e resultando em valores do conteúdo de água em maior concordância, para ambos os métodos de medição.

### **5.1.2 Obtenção dos valores do coeficiente *K<sub>ch</sub>***

Os valores de *K<sub>ch</sub>*, variaram entre  $<1$  e  $> 9$ , sendo o valor máximo bem mais elevado que os reportados por Bacci et al., 2008, mas é possível observar na Figura 4.2 e Tabela 4.2 que, à exceção dos valores médios para as 20:00 e 21:00, todos os valores de *K<sub>ch</sub>* médios foram inferiores a 4, sendo valores normais para culturas envasadas (Burger et al., cited in Bacci et al., 2008).

Neste estudo, os valores *K<sub>ch</sub>* mostram uma elevada variabilidade entre dias consecutivos, tal como tinha sido reportado em estudos anteriores (Bacci et al., 2008).

Os picos do valor *K<sub>ch</sub>* registados constantemente às 20:00 e 21:00 ao longo do período de recolha de dados, deveram-se ao facto de a estação meteorológica ter calculado para estas horas, valores de *E<sub>to</sub>* muito inferiores aos valores de *AET<sub>sh</sub>*.

### **5.1.3 Implementação do sistema integrado de monitorização da humidade do substrato**

A correlação moderada entre os valores da evapotranspiração obtidos ao longo do ensaio, para os dois métodos de cálculo que formam o sistema integrado estabelecido,

demonstra que a utilização de um sistema integrado como este, permite basear a tomada de decisão de rega, não apenas nas leituras dos sensores de humidade de substrato, mas também através do valor da evapotranspiração calculada através da Equação 1.

Verificou-se que apesar de ambos os métodos apresentarem valores aproximados para a evapotranspiração total entre regas, o método baseado no clima subestimou em vários dias, a evapotranspiração real, chegando a acontecer uma diferença superior a 4 mm, o que representa aproximadamente 10% de humidade em cada vaso (46 ml), o que num vaso com esta pequena dimensão poderia representar um risco considerável para a planta, mas que para uma planta com elevada tolerância à desidratação do substrato, como é o caso de *Rosmarinus officinalis*, acaba por ser pouco preocupante.

#### **5.1.4 Taxa da evapotranspiração como possível indicador de stresse hídrico**

Os valores indicados na Figura 4.7 sugerem que o intervalo ótimo de humidade retida no substrato está entre os 25% e os 30%. No entanto, este intervalo de valores não foi ótimo em todos os dias ao longo do ensaio. No dia 12/08/2019, a correlação entre a quantidade de água presente no substrato e a quantidade de água perdida por evapotranspiração demonstram um cenário completamente diferente, onde a perda de água foi máxima quando o substrato estava hidratado a 45%. Esta correlação feita em ambos os dias deixa de parte todos os outros fatores que podem afetar a evapotranspiração, como por exemplo a radiação acumulada durante esse período (que pode alterar-se em momentos que o céu esteja coberto por nuvens, ou se as leituras forem realizadas de madrugada). Por isso, em vez de se correlacionar a humidade do substrato, apenas com a quantidade de água perdida a cada hora, correlacionou-se a humidade do substrato com o valor da razão entre a água perdida e a radiação acumulada durante esse período (quanto maior o valor desta razão, maior o consumo de água para a mesma quantidade de radiação acumulada). Ao correlacionar o valor desta razão, com a percentagem de água no substrato entre as 12:00 e as 18:00 do dia 12/08/2019, verificou-se que foi quando o substrato estava hidratado a apenas 20%, que ocorreu um ritmo de desidratação maior face à quantidade de radiação acumulada (Figura 4.1).

De acordo com os resultados, poderá afirmar-se que a absorção de água por parte da planta foi gradualmente desfavorecida para valores de humidade do substrato superiores a 20% (v/v).

## 6 Conclusões

Os sensores de humidade do substrato utilizados revelaram ser uma ferramenta que por si só, permitem um ótimo acompanhamento da perda de humidade do substrato nos vasos, foram muito precisos em comparação com a técnica de determinação do teor de humidade por gravimetria. Por isso, usando as leituras dos sensores de humidade foi possível ao longo do ensaio estimar a evapotranspiração real do lote de plantas usadas.

Determinaram-se os valores de um coeficiente  $Kch$  que torna possível o cálculo da evapotranspiração atual do cultivo de *Rosmarinus officinalis* para as condições existentes ao longo do ensaio, através da conhecida fórmula da evapotranspiração ( $AET = Eto \times Kc$ ).

Após a primeira semana de recolha de dados, foi possível passar a comparar os valores da evapotranspiração estimada pelos dados meteorológicos, com a obtida através dos sensores de humidade do substrato, através da fórmula da evapotranspiração (Equação 1).

Apesar de requerer um acompanhamento e uma atualização constante dos valores das variáveis necessárias, o sistema de monitorização integrado construído em formato Excel, permitiu integrar com sucesso os valores das leituras dos sensores de humidade do substrato com os valores da evapotranspiração de referência obtidos pelos dados do clima registados pela estação meteorológica. O sistema integrado permitiu calcular a evapotranspiração aproximada do lote, através dos dados climáticos, assim como muito provavelmente permitiria determinar as necessidades hídricas aproximadas de outros lotes da mesma espécie mantidos em condições de cultivo semelhantes, mesmo com os horários de rega diferentes, utilizando como guia o somatório dos valores de  $AETch$  entre regas.

Em caso de avaria dos sensores de humidade do substrato, o método de cálculo da evapotranspiração através dos dados climáticos possibilita estimar as necessidades hídricas do cultivo ao longo de uma semana. A elevada variabilidade dos valores da média móvel do coeficiente  $Kch$  tornaria inviável estimar a evapotranspiração para mais do que 7 dias consecutivos, sem a atualização da média móvel.

Verificou-se que o intervalo ótimo para a humidade de substrato, inicialmente estabelecido, poderá não ter sido o que mais beneficia o desenvolvimento da planta. Para esclarecer esta teoria, teria sido importante determinar a capacidade de absorção de água pela planta de cada vez que a humidade no substrato fosse inferior a 20%, para perceber

qual o limite mínimo de humidade suportado pela planta. No entanto, foi possível verificar que a evapotranspiração foi menor sempre que a humidade do substrato era superior ao limite mínimo estabelecido (20%).

Regar o substrato até à sua capacidade máxima de retenção de água pode ter diminuído o número de regas necessárias ao longo do cultivo, mas prejudicou certamente o crescimento da planta. No futuro será importante, comparar a qualidade das plantas deste lote com as de outro lote regado com um regime de rega mais frequente e com regas de curta duração.

## Referências bibliográficas

- Amálio, Cláudia R. (2007). Utilização de diferentes substratos para a produção de “Plantas mediterrânicas” em vaso (Relatório do trabalho de fim de curso de Engenharia Agronómica, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa).
- Bacci, L., Battista, P., & Rapi, B. (2008). An integrated method for irrigation scheduling of potted plants, *116*, 89–97. doi: 10.1016/j.scienta.2007.11.005
- Beeson, Richard C. (2006). Relationship of Plant Growth and Actual Evapotranspiration to Irrigation Frequency Based on Management Allowed Deficits for Container Nursery Stock, *131*(1), 140–148.
- Beeson, Richard C. (2005). Modeling irrigation requirements for landscape ornamentals. *HortTechnology*, *15*(1), 18–22.
- Bogena, H. R., Huisman, J. A., Schilling, B., Weuthen, A., & Vereecken, H. (2017). Effective calibration of low-cost soil water content sensors. *Sensors*, *17*, 12. doi.org/10.3390/s17010208
- Burnett, S. E., Hall, D., & Iersel, M. W. Van. (2008). Morphology and Irrigation Efficiency of *Gaura lindheimeri* Grown with Capacitance Sensor-controlled Irrigation, *43*(5), 1555–1560.
- Burnett, S. E., & Van Iersel, M. W. (2008). Morphology and irrigation efficiency of *Gaura lindheimeri* grown with capacitance sensor-controlled irrigation. *HortScience*, *43*(5), 1555–1560.
- Burnett, S. Z. & S. E. (2014). Effects of Substrate Water Content on Morphology and Physiology of Rosemary, Canadian Columbine, and Cheddar Pink.
- Chaves, M. M., Costa, J. M., & Ortu, M. F. (2007). Deficit Irrigation as a Strategy to Save Water : Physiology and Potential Application to Horticulture, *49*(10), 1421–1434. doi.org/10.1111/j.1672-9072.2007.00556.x
- Costa, J. M., Ortuño, M. F., & Chaves, M. M. (2007). Deficit irrigation as a strategy to save water: Physiology and potential application to horticulture. *Journal of Integrative Plant Biology*, *49*(10), 1421–1434. doi.org/10.1111/j.1672-9072.2007.00556.x
- Devore, J. L. (2006.). Probability and statistics for engineering and the sciences. ISBN: 0-534-39933-9
- Ferra, T., & Jose, J. (2004). Effects of irrigation and air humidity preconditioning on water relations , growth and survival of *Rosmarinus officinalis* plants during and after transplanting, *161*, 1133–1142. doi.org/10.1016/j.jplph.2004.01.011
- García-Caparrós, P., Llanderal, A., Rodríguez, J. C., Maksimovic, I., Urrestarazu, M., & Lao, M. T. (2018). Rosemary growth and nutrient balance: Leachate fertigation with leachates versus conventional fertigation. *Scientia Horticulturae*, *242*(June 2017), 62–68. doi.org/10.1016/j.scienta.2018.07.024
- Gasch, C. K., Brown, D. J., Brooks, E. S., Yourek, M., Poggio, M., Cobos, D. R., & Campbell, C. S. (2017). A pragmatic , automated approach for retroactive calibration of soil moisture sensors using a two-step , soil-specific correction. *Computers and Electronics in Agriculture*, *137*, 29–40. doi.org/10.1016/j.compag.2017.03.018

- Grant, O. M. (n.d.). Measuring evapotranspiration of hardy ornamental nursery stock : a hurdle for irrigation management.
- Grant, O. M., Davies, & M. J., Longbottom, H., & Atkinson, Æ. C. J. (2009). Irrigation scheduling and irrigation systems : optimising irrigation efficiency for container ornamental shrubs, 139–153. doi.org/10.1007/s00271-008-0128-x
- Grant, O. M., Davies, M. J., & Harrison-murray, H. L. R. (2012). Evapotranspiration of container ornamental shrubs : modelling crop-specific factors for a diverse range of crops, 1–12. doi.org/10.1007/s00271-010-0258-9
- Grant, O. M., Davies, M. J., Longbottom, H., & Atkinson, C. J. (2009). Irrigation scheduling and irrigation systems: Optimising irrigation efficiency for container ornamental shrubs. *Irrigation Science*, 27(2), 139–153. doi.org/10.1007/s00271-008-0128-x
- Incrocci, L., Incrocci, G., Marzioletti, P., Ieri, A., Biondi, M., Landi, S., & Castellano, A. (2014). A new irrigation controller to improve water use in the hard ornamental nursery stock industry in.
- Incrocci, Luca, Marzioletti, P., Incrocci, G., Di, A., Balendonck, J., Bibbiani, C., ... Pardossi, A. (2014). Substrate water status and evapotranspiration irrigation scheduling in heterogenous container nursery crops. *Agricultural Water Management*, 131, 30–40. doi.org/10.1016/j.agwat.2013.09.004
- INE. (2012). Inquérito à Floricultura e Plantas Ornamentais Floricultura e plantas ornamentais : uma atividade em expansão, 1–4.
- Kargas, G., & Soulis, K. X. (2019). Performance evaluation of a recently developed soil water content , dielectric permittivity , and bulk electrical conductivity electromagnetic sensor. *Agricultural Water Management*, 213(October 2018), 568–579. doi.org/10.1016/j.agwat.2018.11.002
- Miralles-Crespo, J., & van Iersel, M. W. (2011). A calibrated time domain transmissometry soil moisture sensor can be used for precise automated irrigation of container-grown plants. *HortScience*, 46(6), 889–894.
- Nicolás, E., Ferrandez, T., Rubio, J. S., Alarcón, J. J., & Jesús Sánchez-Blanco, M. (2008). Annual water status, development, and flowering patterns for *Rosmarinus officinalis* plants under different irrigation conditions. *HortScience*, 43(5), 1580–1585.
- Noborio, K. (2017). Evaluating a dual-frequency-phase-shift soil moisture and electrical conductivity sensor, 573–579. doi.org/10.1007/s10333-016-0574-7
- Sánchez-Blanco, M. J., Ferrández, T., Navarro, A., Bañon, S., & Alarcón, J. J. (2004). Effects of irrigation and air humidity preconditioning on water relations, growth and survival of *Rosmarinus officinalis* plants during and after transplanting. *Journal of Plant Physiology*, 161(10), 1133–1142. doi.org/10.1016/j.jplph.2004.01.011
- Singh, J., Lo, T., Rudnick, D. R., Dorr, T. J., Burr, C. A., Werle, R., ... Mu, F. (2018). Performance assessment of factory and field calibrations for electromagnetic sensors in a loam soil, 196, 87–98. doi.org/10.1016/j.agwat.2017.10.020
- Van Iersel, M. W., Dove, S., & Burnett, S. E. (2011). The use of soil moisture probes for improved uniformity and irrigation control in greenhouses. *Acta Horticulturae*, 893, 1049–1056.

- Walthert, L., & Schleppe, P. (2018). Equations to compensate for the temperature effect on readings from dielectric Decagon MPS-2 and MPS-6 water potential sensors in soils, 1–11. <https://doi.org/10.1002/jpln.201700620>
- Zarbà, A. S., & Allegra, V. (2012). Strategy development for mediterranean pot plants : a stakeholder analysis, 52–59.