

Francel

**Novo Sistema Hidropónico  
Aplicado à Produção do Tomate Cereja**  
(*Lycopersicon esculentum* Mill. var. Moscatel RZ)

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Igor José Afonso Fernandes**  
MESTRADO EM BIOQUÍMICA APLICADA



UNIVERSIDADE da MADEIRA

*A Nossa Universidade*

[www.uma.pt](http://www.uma.pt)

setembro | 2015

M  
R Nov  
D-R

T/14  
574  
FER NOV  
+ED-19

UNIVERSIDADE DA MADEIRA  
BIBLIOTECA

**Novo Sistema Hidropónico**  
**Aplicado à Produção do Tomate Cereja**  
*(Lycopersicum esculentum Mill. var. Moscatel RZ)*

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Igor José Afonso Fernandes**  
MESTRADO EM BIOQUÍMICA APLICADA

ORIENTADOR  
Nereida Maria Abano Cordeiro

## AGRADECIMENTOS

Quero começar por fazer um agradecimento especial à minha orientadora, Professora Doutora Nereida Maria Abano Cordeiro, pela oportunidade de trabalhar sob a sua orientação e com isso enriquecer a minha formação pessoal e profissional. Também expressar o meu agradecimento pelo conhecimento adquirido ao longo destes últimos anos e pelo apoio constante prestado no decorrer do meu trabalho.

Quero agradecer à minha família e em especial à minha mãe, Maria Celestina Fernandes, pelo apoio e carinho prestado no decorrer da minha formação profissional. Ainda gostava de agradecer ao meu tio, Leonardo Spínola por todo o apoio logístico e fornecimento de material para a construção do sistema.

Um obrigado muito especial à Tomásia Fernandes, pelo amor partilhado comigo. A sua compreensão, apoio e todos os momentos passados juntos foram fundamentais para o desenvolvimento do trabalho e para o meu crescimento a nível pessoal.

Outro agradecimento difícil de expressar por palavras é direccionado aos meus amigos mais próximos: Nuno Nunes, Rubina Nunes, Rogério Correia, Micael Leça, Emanuel Gouveia, Pedro Silva, Paulo Jardim, Hugo Spínola, Vanessa Spínola, Moisés Castro, Luís Sousa, Melissa Fernandes, Manuela Rodrigues, Énio Ramos e Sandro Cardoso. Queria fazer um agradecimento especial por todo o apoio e disponibilidade prestado pelo Roberto Aguiar. Também um obrigado especial à Marisa Faria e Dina Maciel por todo o apoio prestado ao longo do mestrado e na realização da tese.

Por outro lado, quero agradecer às pessoas que participaram na realização do teste hedónico, a sua opinião e participação foram importantes no enriquecer do meu trabalho.

Quero agradecer à senhora Maria José e ao seu Marido pela cedência do espaço, apoio técnico oferecido e disponibilidade constante ao longo do cultivo das plantas.

À Universidade da Madeira, a todos os meus colegas e pessoas envolvidas na formação dada ao longo do 1º Ciclo em Bioquímica e do 2º Ciclo em Bioquímica Aplicada.

Finalmente, agradeço ao Professor Doutor José Carlos Marques pelas análises efectuadas às minhas amostras e pela disponibilidade prestada para o desenvolvimento do trabalho.



## RESUMO

A hidroponia é uma técnica poderosa na utilização eficiente dos recursos agrícolas, pois permite um ganho quer na produtividade, quer na qualidade do fruto. Atualmente os sistemas hidropónicos utilizados em plantas de médio porte não são os mais adequados, sendo esta uma área a explorar. Neste trabalho criou-se um novo sistema hidropónico (*Deep Large Flow Technique*- DLFT) para aplicação a plantas de médio porte e avaliou-se o seu impacto no crescimento, produtividade, biomassa e qualidade do tomate cereja (*Solanum lycopersicum* var. Moscatel RZ). O sistema de cultivo tradicional (solo) e semi-hidropónico (suporte com fibra de coco) serviram como base de comparação. Observou-se que após 31 dias as plantas cultivadas no novo sistema hidropónico obtiveram um crescimento acentuado, apresentando 3x mais frutos. Em termos de produtividade, os sistemas hidropónicos foram iguais, sendo o sistema tradicional 4x inferior. O total de biomassa foi significativamente maior no novo sistema hidropónico, com mais 20% e 88% que o sistema semi-hidropónico e tradicional, respetivamente. As plantas produzidas no sistema DLFT apresentaram frutos com qualidade superior, com um rácio de monossacarídeos/acidez de 6,6 mg/g. O conteúdo total de ácidos gordos nos frutos cultivados com este sistema foi 39% e 44% superior aos do semi-hidropónico e do tradicional. Contrariamente, o conteúdo de flavonóides foi inferior nos frutos cultivados com o novo sistema hidropónico, tendo os frutos do sistema tradicional e do sistema semi-hidropónico 40% e 10% maior teor desta família de compostos. Os resultados obtidos neste estudo demonstram que a utilização do novo sistema hidropónico na produção de plantas de médio porte, aumenta o crescimento, a acumulação de biomassa e a qualidade do fruto. Assim, permite ao produtor reduzir os custos, rentabilizar a produção (menor tempo de produção), valorizar a biomassa da planta e aumentar a qualidade do produto. Também, através dos teores de carotenóides, ácidos gordos e polifenóis poderá inferir-se que ocorreu um menor impacto dos stressses abióticos subjacentes aos sistemas nas plantas produzidas pelo sistema DLFT.

**Palavras-chave:** Hidroponia, DLFT, tomate cereja, propriedades organolépticas, crescimento, produtividade



## ABSTRACT

Hydroponics is a technique that efficiently uses the agricultural resources, allowing an increased productivity and fruit quality. Nowadays the hydroponic systems used in mid-sized plants aren't suited, being an area to further explore. In this work it was developed a new hydroponic system (Deep Large Flow Technique- DLFT) applied to mid-sized plants and it was evaluated its influence in the growth, productivity, biomass and quality of cherry tomato (*Solanum lycopersicum* var. Moscatel RZ). The traditional (soil) and semi-hydroponic (coconut fibre support) were used as a basis for comparison. It were observed that after 31 days the cultivated plants in the new hydroponic systems obtained a higher growth, obtaining 3x more fruits. Regarding the productivity, the hydroponic systems were equal, being the traditional systems 4x lower. The total of biomass was significantly higher in the new hydroponic systems, with 20% and 88% more than the semi-hydroponic and traditional systems, respectively. The fruits cultivated in this system showed a higher quality, with a monosaccharides/acidity ratio of 6.6 mg/g. The total of fatty acids in the fruits in this system was 39% and 44% higher than the fruits in semi-hydroponic and traditional systems. On the other hand, the flavonoid content in the fruits was lower in the new hydroponic system, having the traditional and semi-hydroponic systems 40% and 10% higher content in the fruits. The results obtained in this study indicate that the use of the new hydroponic system in the production of mid-sized plants increases the growth, the biomass accumulation and fruit quality. Thus, it allows the producer to reduce the costs, monetize the production (lower production time), appraise the biomass and increase the product quality. Also, the carotenoid, fatty acids and polyphenol contents in the fruits from DLFT system points to lower abiotic stresses subjacent in growing systems.

**Keywords:** Hidroponic, DLFT, cherry tomato, organoleptic properties, growth, productivity



# ÍNDICE

## PARTE I – INTRODUÇÃO GERAL

<b>1. OBJECTIVOS</b> .....	4
<b>2. HIDROPONIA</b> .....	6
2.1. TIPOS DE SISTEMAS HIDROPÓNICOS .....	9
2.1.1. SISTEMAS DE HIDROPONIA “PURA” .....	12
2.1.2. SISTEMAS SEMI-HIDROPÓNICOS .....	14
2.2. SOLUÇÃO NUTRITIVA.....	18
2.2.1. CONCENTRAÇÃO DAS SOLUÇÕES NUTRITIVAS .....	19
2.2.2. CARACTERÍSTICAS E FUNÇÕES DOS MACRONUTRIENTES E MICRONUTRIENTES .....	20
2.2.3. INFLUÊNCIA DAS CONCENTRAÇÕES DE AZOTO NOS TECIDOS VEGETAIS .....	22
2.2.4. INFLUÊNCIA DAS CONCENTRAÇÕES DE POTÁSSIO E FÓSFORO NA QUALIDADE DO FRUTO.....	24
2.2.5. PH .....	25
2.2.6. CONDUTIVIDADE ELÉTRICA .....	25
2.2.7. OXIGENAÇÃO .....	26
2.2.8. QUALIDADE DA ÁGUA.....	27
<b>3. TOMATE</b> .....	30
3.1. CLASSIFICAÇÃO CIENTÍFICA.....	33
3.2. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS E FISIOLÓGICAS DA PLANTA.....	34
3.3. QUALIDADE DO FRUTO.....	37

## PARTE II – AVALIAÇÃO DO NOVO SISTEMA HIDROPÓNICO NA PRODUÇÃO DO TOMATE CEREJA

<b>4. AVALIAÇÃO BIOMÉTRICA DO CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E ACUMULAÇÃO DE BIOMASSA</b> .....	42
4.1. INTRODUÇÃO.....	43
4.2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	44
4.2.1. DESIGN DO NOVO SISTEMA HIDROPÓNICO.....	44
4.2.2. CONDIÇÕES DE CULTIVO DO TOMATE E DESIGN DA EXPERIÊNCIA .....	45
4.2.3. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO .....	46
4.2.4. DETERMINAÇÃO DA PRODUTIVIDADE.....	47
4.2.5. DETERMINAÇÃO DA ACUMULAÇÃO DE BIOMASSA E MEDIÇÕES FINAIS .....	48
4.2.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	48

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	48
4.3.1. EVOLUÇÃO DO CRESCIMENTO .....	49
4.3.2. PRODUTIVIDADE E ACUMULAÇÃO DE BIOMASSA.....	53
4.4. CONCLUSÃO.....	56
<b>5. IMPACTO DO NOVO SISTEMA HIDROPÓNICO NAS PROPRIEDADES NUTRICIONAIS.....</b>	<b>58</b>
5.1. INTRODUÇÃO.....	59
5.2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	61
5.2.1. AMOSTRAS.....	61
5.2.2. REAGENTES.....	61
5.2.3. ANÁLISES NUTRICIONAIS.....	62
5.2.4. DETERMINAÇÃO DO TEOR LIPÍDICO .....	63
5.2.5. DETERMINAÇÃO DO PERFIL DE ÁCIDOS GORDOS .....	63
5.2.6. DETERMINAÇÃO DOS AÇUCARES NEUTROS .....	64
5.2.7. DETERMINAÇÃO DO LICOPENO E B-CAROTENO .....	65
5.2.8. DETERMINAÇÃO DOS POLIFENÓIS .....	65
5.2.9. TESTE HEDÓNICO .....	67
5.2.10. ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	68
5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	68
5.3.1. AVALIAÇÃO NUTRICIONAL .....	68
5.3.2. ÁCIDOS GORDOS .....	72
5.3.3. CAROTENÓIDES .....	75
5.3.4. POLIFENÓIS.....	76
5.4. CONCLUSÃO.....	81
<b>6. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS.....</b>	<b>82</b>
<b>7. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>84</b>

## TABELAS

Tabela 1- Comparação do cultivo hidropônico com o cultivo em solo <sup>(2, 7)</sup> .	7
Tabela 2- Estimativa da utilização em percentagem dos vários sistemas na indústria hidropônica <sup>(11)</sup> .	11
Tabela 3- Principais características das diferentes técnicas hidropônicas <sup>(9)</sup> .	12
Tabela 4- Características dos substratos inorgânicos nos sistema semi-hidropônicos <sup>(13, 15)</sup> .	15
Tabela 5- Características dos substratos orgânicos nos sistema semi-hidropônicos <sup>(13, 16)</sup> .	16
Tabela 6- Função dos macronutrientes e micronutrientes num organismo vegetal <sup>(25)</sup> .	21
Tabela 7- Solubilidade do oxigénio em água pura a várias temperaturas, à pressão atmosférica <sup>(20)</sup> .	27
Tabela 8- Ranking dos países com maior consumo e produção de tomate <sup>(35)</sup> .	31
Tabela 9- Influência do comprimento de onda da luz na fisiologia da planta <sup>(49)</sup> .	35
Tabela 10- Atribuição do sabor ao tomate de acordo com a combinação da acidez e teor de açúcares <sup>(51)</sup> .	38
Tabela 11- Concentração (ppm) de macronutrientes utilizados nas soluções nutritivas.	46
Tabela 12- Evolução biométrica em três secções distintas da planta, após o transplante.	50
Tabela 13- Produtividade por planta nos três sistemas de cultivo em estudo.	53
Tabela 14- Acumulação de biomassa em cada parte da planta e medições finais do caule e influorescências.	54
Tabela 15- Análise nutricional do tomate cereja cultivado nos três diferentes sistemas de cultivo em estudo.	69
Tabela 16- Perfil em ácidos gordos (mg/g peso seco) do tomate cereja produzido nos três sistemas de cultivo em estudo.	74
Tabela 17- Perfil dos pofifénois simples no tomate cereja produzidos nos três diferentes sistemas de cultivo em estudo (mg/100g peso seco).	79



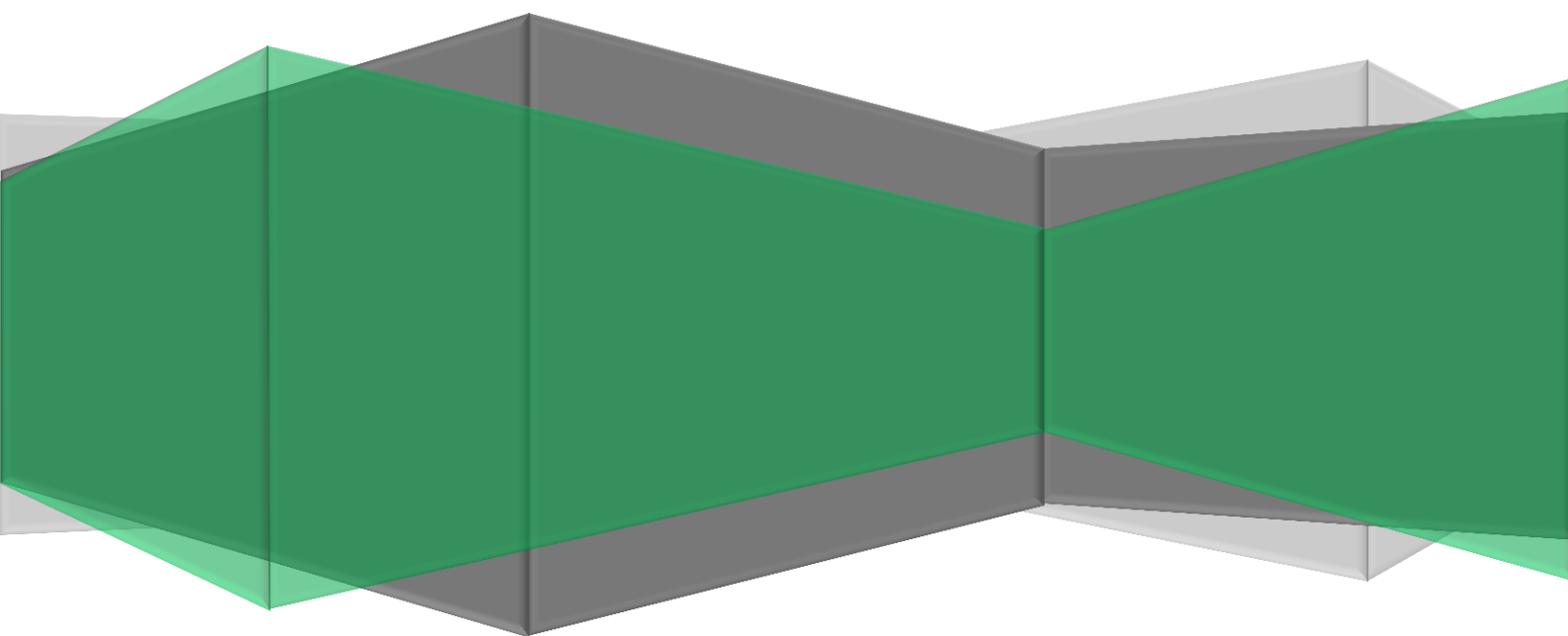
## FIGURAS

Figura 1- Produção de várias culturas (por hectare), no solo e em hidroponia <sup>(2)</sup> .	7
Figura 2-Representação esquemática dos sistemas hidropónicos e semi-hidropónicos com maior utilização a nível mundial: semi-hidropónico (A), NFT (B), DFT (C) e Aeroponia (D).	10
Figura 3- Esquema simplificado da fixação do CO <sub>2</sub> na RuBP pela enzima Rubisco <sup>(29)</sup> .	23
Figura 4- Principais produtores mundiais de tomate no ano 2011 <sup>(35)</sup> .	31
Figura 5- Estrutura molecular do licopeno e $\beta$ -caroteno.	32
Figura 6- Estrutura molecular dos ácidos orgânicos maioritariamente encontrados no tomate	39
Figura 7- Representação esquemática do sistema DLFT desenvolvido neste estudo.	45
Figura 8- Representação gráfica das várias partes da planta de tomate cereja em estudo	47
Figura 9- Processo evolutivo da formação do fruto na planta produzida em cada sistema de cultivo, após 31 dias.	51
Figura 10- Processo evolutivo da formação do fruto na planta produzida em cada sistema de cultivo, após 61 dias.	52
Figura 11- Acumulação de biomassa de três secções distinta da planta, versus a produtividade.	54
Figura 12- Produtividade comercializável (%) e lucro (7€/Kg) de cada sistema de cultivo, por planta. O preço aplicado por Kg baseou-se no preço de venda ao consumidor aplicado por grandes cadeias de supermercados nacionais (2014).	56
Figura 13- Teor de açúcares redutores (mg/g peso fresco), acidez titulável (mg/g peso fresco) e relação de ambos nos três sistemas de cultivo em estudo.	70
Figura 14- Resultados do teste hedónico efectuado a uma população de 54 pessoas, para aferir algumas propriedades organoléticas do fruto produzido nos três sistemas de cultivo em estudo.	71
Figura 15- Ácidos gordos saturados (SFA), ácidos gordos monoinsaturados (MUFA), ácidos gordos polinsaturados (PUFA), e dos ácidos linoleico (18:2 $\omega$ 6) e linolénico (18:3 $\omega$ 3), do total de AG dos três sistemas de cultivo em estudo.	73
Figura 16- Parte aérea da planta do sistema DLFT (A), semi-hidropónico (B) e tradicional (C).	75

Figura 17- Compostos fenólicos marioritários e suas classes no tomate cereja produzido nos três diferentes sistemas de cultivo em estudo (%/ peso seco). 77

Figura 18- Estrutura molecular dos ácidos fenólicos e flavonóides com maior prevalência no tomate cereja produzidos nos três diferentes sistemas de cultivo. 78

# PARTE I – INTRODUÇÃO GERAL





## 1. OBJECTIVOS

Atualmente a hidroponia encontra-se em forte expansão, quer na área agrícola, quer na área da investigação científica, pois a utilização eficiente dos recursos agrícolas, nomeadamente o espaço, a água e os nutrientes requeridos pelas plantas torna-a muito vantajosa. O método de cultivo influencia a disponibilidade de água e nutrientes para a planta. Atualmente, os métodos de cultivo hidropónicos para o tomateiro apresentam de modo geral altas produtividades (comparativamente ao cultivo tradicional), no entanto as propriedades organoléticas do fruto, o crescimento e a produção de biomassa ainda são parâmetros passíveis de serem melhorados. A aplicação de sistemas de hidroponia pura em plantas de médio porte contém várias lacunas, sendo a principal o facto de apresentar produtividades inferiores aos sistemas semi-hidropónicos. Em plantas de pequeno porte a sua utilização é grande, pois apresenta produtividades, crescimentos e biomassas superiores aos sistemas semi-hidropónicos. O seu potencial para o cultivo de plantas com médio porte é grande, surgindo então a necessidade da elaboração de um novo sistema hidropónico, em que o espaço disponível para as raízes se desenvolverem e a massa de água circundante à raiz fosse consideravelmente superior, adequando-se ao tamanho da planta.

Um dos objetivos deste trabalho consistiu em avaliar o impacto do novo sistema hidropónico, *Deep Large Flow Technique* (DLFT), na produção do tomate cereja, planta de médio porte e com um valor económico acrescentado. Para tal utilizou-se os resultados biométricos do crescimento, acumulação de biomassa na planta, e produtividade do tomate cereja no sistema DLFT, comparativamente com o semi-hidropónico e tradicional. Foi também avaliado o impacto deste sistema nas propriedades organoléticas do fruto. Os teores de carotenóides, ácidos gordos e polifenóis no fruto foram utilizados para inferir se os stresses abióticos subjacentes aos sistemas iriam diminuir com a utilização do novo sistema.



## 2. HIDROPONIA

A hidroponia como área de conhecimento teve o seu início no ano 1600 pelo belga Jan van Helmont, que realizou experiências com o objetivo de determinar a composição elementar das plantas, quais os elementos que levavam ao seu desenvolvimento, bem como comprovar a capacidade de absorção de nutrientes a partir da água<sup>(1, 2)</sup>. Porém, registros históricos revelam que muitos anos antes de Cristo já se praticava a atual hidroponia, sendo exemplos disso os jardins suspensos da Babilônia e os jardins flutuantes dos astecas no México<sup>(1)</sup>. Baseado nestes conhecimentos, o próximo desenvolvimento desta área consistiu em eliminar o suporte inerte e produzir algumas plantas apenas em água, contendo uma solução de minerais padronizada para cada espécie<sup>(2, 3)</sup>. Este novo método permitiu estudar a parte nutritiva da planta, com ênfase nas raízes, que ao longo do tempo foi melhorada para alcançar resultados mais fiáveis, bem como obter as condições ideais de crescimento<sup>(3)</sup>. Foi em 1936 que o cientista Gericke aplicou a palavra hidroponia para descrever o método de cultivo de duas plantas comestíveis e ornamentais numa solução de água com nutrientes dissolvidos<sup>(1)</sup>. Este baseou-se nas palavras gregas “hydro” (água) e “ponos” (trabalho), para atribuir o nome a um método economicamente viável para fins comerciais, visto até à data ser uma ferramenta apenas usada laboratorialmente no estudo da nutrição das plantas<sup>(1-3)</sup>.

Atualmente a hidroponia como área científica encontra-se em forte expansão, quer na área agrícola, quer na área da investigação científica. A hidroponia consiste na produção de plantas em soluções de nutrientes (minerais dissolvidos em água) com ou sem o uso de um material inerte como suporte<sup>(2-5)</sup>. No caso da produção ser feita apenas em solução nutritiva denomina-se hidroponia “pura”, todavia se o cultivo for efetuado com auxílio de um suporte sólido inerte com irrigação de uma solução nutritiva, denomina-se semi-hidroponia ou sistema de agregados<sup>(2, 4, 5)</sup>. Importa referir que nesta área as variáveis preponderantes para o bom desenvolvimento da planta baseiam-se no uso adequado da solução de nutrientes e na manutenção de uma boa qualidade das raízes<sup>(3, 5, 6)</sup>.

Hoje em dia um dos problemas que se coloca na área industrial centra-se na preservação do meio ambiente, sendo cada vez mais importante adotar práticas amigas do ambiente. A redução considerável do consumo de água, a não erosão do solo, bem como a não

poluição de aquíferos subterrâneos por libertação de fertilizantes e agrotóxicos são enormes vantagens da hidroponia na preservação do meio ambiente<sup>(2, 6, 7)</sup>. Por outro lado, a nível fisiológico o controlo exato das necessidades nutricionais da planta permite diminuir o seu ciclo reprodutivo e aumentar consideravelmente o seu crescimento<sup>(2, 6, 7)</sup>. Estes aspetos traduzem-se quer num aumento da produção (Figura 1), quer na obtenção de produtos com alta qualidade e de grande uniformidade<sup>(7)</sup>. Vários estudos comprovam estes aspetos, sendo de destacar o enorme potencial para o crescimento de plantas com pequeno porte<sup>(8)</sup>. Outra das vantagens é tornar o espaço disponível o mais rentável possível, sem necessidade de utilizar solos férteis ou grandes áreas de cultivo, sendo esta uma característica importante na Região Autónoma da Madeira<sup>(2, 7)</sup>. Estas não são as únicas vantagens apresentadas por este método de cultivo, encontrando-se as restantes resumidas na Tabela 1.

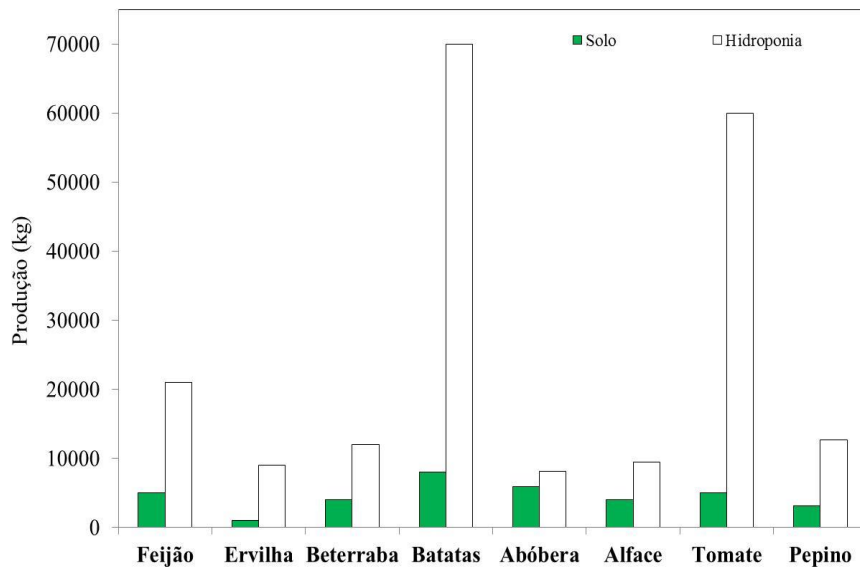


Figura 1- Produção de várias culturas (por hectare), no solo e em hidroponia<sup>(2)</sup>.

Tabela 1- Comparação do cultivo hidropónico com o cultivo em solo<sup>(2, 7)</sup>.

	Solo	Hidroponia
<b>Esterilização</b>	Necessária mão de obra intensiva para aplicação de químicos; Tempo mínimo de aplicação entre 2 a 3 semanas;	É usado simplesmente HCl; Tempo de aplicação entre 1 a 2 dias;
<b>Nutrição</b>	Dependente das condições do solo, pH, e nutrientes disponíveis;	Nutrientes nas concentrações ideais, sendo o controlo feito por pH e condutividade elétrica;

<b>Espaço entre plantas</b>	Limitado pela composição do solo e luz disponível;	Limitado apenas pela luz disponível; Uso mais eficiente do espaço; Maior rendimento por planta;
<b>Mão de obra</b>	Necessidade regular de fazer limpeza das ervas daninhas; Necessidade de cultivar o solo;	Não crescem ervas daninhas; Não é necessário o manuseamento de solo;
<b>Doenças e solo inabitável</b>	Presença de muitas doenças transmitidas através do solo (nemátodes, insetos, animais); Muito condicionado pelas condições edáficas (compactação, porosidade, capacidade de reter água); Necessidade de fazer rotação de culturas para que o solo não se torne infértil;	Sem doenças, insetos e animais que habitam o solo, assim a parte radicular mantém-se sã; Independente das condições edáficas; Não à necessidade de trocar de suporte ou estar em pousio (pode durar vários anos);
<b>Água</b>	Usualmente sujeitas ao stress hídrico (baixa capacidade de retenção de água); As águas salinas não podem ser aplicadas. O uso da água é ineficiente, visto que grande parte da água difunde-se através do solo ou então sofre evaporação a partir da superfície do solo;	Não ocorre stress hídrico (automação quase completa através do uso de sensores); Podem ser usadas águas salinas; O uso da água é eficiente, apenas ocorre perda de água por evaporação;
<b>A nível frutífero</b>	Normalmente o fruto aparenta ser delicado ou por vezes inchado, sendo que é dependente das deficiências de cálcio e de potássio; Pouco tempo de conservação;	Normalmente o fruto é firme; Tempo de conservação longo, permitindo enviá-lo para distâncias relativamente longas; A fase de amadurecimento pode ser mais curta, desde que as condições de luminosidade sejam razoáveis;
<b>Fertilizantes</b>	São adicionadas grandes quantidades nos solos, que podem provocar lixiviação na zona de raiz quando regado, tornando o seu uso ineficiente;	Uso de pequenas quantidades distribuídas uniformemente, tornando o seu uso eficiente;
<b>Saneamento</b>	A presença de resíduos de pesticidas ou fertilizantes nas partes comestíveis da planta poderá provocar doenças; Necessário proceder a uma lavagem eficaz das partes comestíveis;	Ausência de fertilizantes nas partes comestíveis; Pouco ou nenhum uso de pesticidas nas plantas;
<b>Transplante</b>	Necessidade de preparar o solo; As condições do solo, bem como os organismos presentes nestes podem retardar ou até matar as plantas;	Não é necessário preparar o suporte; Não há organismos presentes; O risco de a planta morrer é diminuto, apenas depende da temperatura da água;

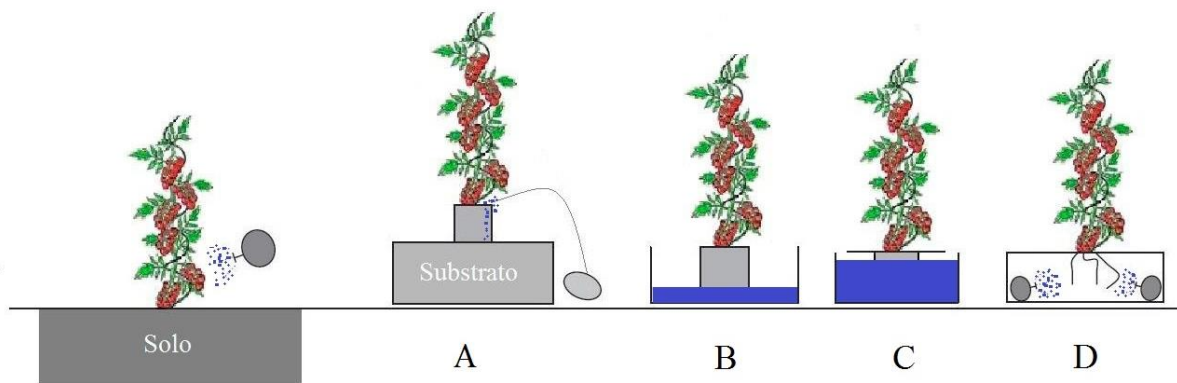
Porém esta tecnologia não apresenta só vantagens, também acarreta problemas de difícil resolução. Um desses problemas consiste no grande conhecimento científico necessário

para obter rácios de produtividade altos<sup>(5, 7)</sup>, pois é essencial controlar inúmeras variáveis a nível metabólico e ambiental, que condicionam o crescimento da planta (pH, condutividade elétrica, temperatura do ar e água, humidade, concentração da solução nutritiva, oxigénio dissolvido na água, dióxido de carbono atmosférico e radiação)<sup>(2, 5)</sup>. No caso de ser hidroponia pura estas variáveis tornam-se mais importantes, sendo que para além disso são necessários conhecimentos na área da engenharia. Na hidroponia pura, a anóxia da solução nutritiva é um aspeto essencial para que não ocorra a morte celular do sistema radicular, pois a falta de oxigénio inibe a absorção de iões<sup>(5, 7)</sup>. Uma das vantagens desta técnica consiste no controlo mais eficaz de pragas, como fungos e bactérias, porém se estas se desenvolverem a sua propagação é muito mais rápida, tornando-se essencial um grande conhecimento na área agroquímica, bem como um acompanhamento permanente da cultura<sup>(2, 5)</sup>. Na hidroponia pura a reação à solução de nutrientes é extremamente rápida, daí requerer uma observação atenta e constante às plantas<sup>(5)</sup>.

## **2.1. Tipos de sistemas hidropónicos**

A hidroponia, como já foi referido anteriormente, é um termo amplamente usado para designar todas as técnicas de cultivo de plantas que utilizam apenas uma solução nutritiva para se desenvolverem, com ou sem o auxílio de um substrato inerte<sup>(9)</sup>. Estas diferenciam-se em diferentes aspetos, tais como: o tipo de substrato, o recipiente utilizado, a forma como a solução nutritiva é distribuída à planta, bem como, o seu destino e a forma como esta é drenada<sup>(9)</sup>. Importa salientar um aspeto, que consiste na distribuição da solução nutritiva ao longo do sistema, podendo ser efectuada através de irrigação por gotejamento, sub-irrigação, névoa, camada fina em circulação até uma solução estagnada em constante oxigenação<sup>(9)</sup>. Estas características irão influenciar de uma forma decisiva o desenvolvimento da raiz, pois é essencial manter um elevado nível de troca de oxigénio, a solução nutritiva intacta, e prevenir a desidratação em caso de falta de energia ou falha da bomba<sup>(10)</sup>. As características fundamentais que um sistema hidropónico e semi-hidropónico devem conter são: ter um design simples, baixo custo, manutenção diária reduzida, ser totalmente automatizado, produzir todo o tipo de plantas, reduzir ao mínimo o desperdício de água e nutrientes, e fornecer às plantas exatamente a mesma proporção de ar e água<sup>(10)</sup>.

Os sistemas hidropônicos dividem-se em duas categorias, sistema de hidroponia pura ou sistemas semi-hidropônicos. Relativamente aos primeiros, existem quatro muito utilizados: a técnica com um pequeno filme de nutrientes (*Nutriente Film Technique- NFT*), a cultura em água, a técnica de fluxo com cascalho (*Gravel Flow Technique- GFT*) e a aeroponia (Figura 2)<sup>(9, 11)</sup>. Importa referir, que todos estes sistemas são inerentemente fechados e que a nível comercial o NFT é o mais utilizado, sendo este adequado apenas a plantas de pequeno porte e de ciclos curtos<sup>(11, 12)</sup>. Os sistemas de hidroponia “pura” representam apenas cerca de 9% da produção mundial (Tabela 2), principalmente devido aos riscos elevados de propagação de doenças e ao grande conhecimento científico que é imprescindível ter<sup>(11)</sup>.



**Figura 2-Representação esquemática dos sistemas hidropônicos e semi-hidropônicos com maior utilização a nível mundial: semi-hidropônico (A), NFT (B), DFT (C) e Aeroponia (D).**

Quanto aos sistemas semi-hidropônicos, estes variam no suporte inerte e no reaproveitamento ou não da solução nutritiva. No que se refere ao suporte inerte, este pode ser de dois tipos, orgânico e inorgânico, porém o cultivo hidropônico em lã de rocha representa mais de metade da produção mundial<sup>(11)</sup>. O resumo das principais diferenças entre a hidroponia pura e a semi-hidroponia encontram-se descritas na Tabela 3.

A semi-hidroponia representa cerca de 90% da produção (Tabela 2), sendo que as principais razões para a sua vasta aplicação consistem na fácil manutenção do suporte e nutrientes, bem como no risco diminuto de propagação de doenças<sup>(11)</sup>. Usualmente esta técnica aplica-se a todo o tipo de plantas, tais como hortícolas e flores, baseando-se em duas formas de entrega dos nutrientes: a irrigação por gotejamento e a sub-irrigação (inundação e drenagem)<sup>(9, 12)</sup>.

Além dos sistemas hidropônicos referidos anteriormente existem outros criados recentemente, baseando-se em adaptações destes, tais como: Ein Gedi Sistema, AutoPot, Jardins Verticais, entre outros<sup>(10)</sup>.

**Tabela 2- Estimativa da utilização em percentagem dos vários sistemas na indústria hidropônica<sup>(11)</sup>.**

<b>Tipo de sistema</b>	<b>Sistema</b>	<b>Utilização na indústria</b>
<b>Hidroponia pura</b>	Técnica com um pequeno filme de nutrientes (NFT)	5%
	Cultura em água	3%
	Técnica de fluxo com cascalho (GFT)	1%
	Aeroponia	0,2%
<b>Semi-hidroponia</b>	Lã de rocha (suporte inorgânico)	57%
	Outros suportes inorgânicos	22%
	Suporte orgânico	12%

A solução nutritiva é uma das características essenciais de um sistema hidropônico, porém o seu aproveitamento numa fase final apenas ocorre em alguns destes. Esta característica permite definir se um sistema é aberto, ou pelo contrário, fechado. Quanto ao primeiro, o excedente de solução nutritiva não é novamente enviado para o sistema, daí surge o desperdício de água e nutrientes<sup>(9, 11)</sup>. Nos sistemas semi-hidropônicos, a ação de capilaridade e de absorção dos suportes são elementos fundamentais para que os desperdícios sejam reduzidos ao mínimo<sup>(10)</sup>. No caso de ser um sistema fechado, a solução nutritiva que está no fim do sistema é reaproveitada, sendo novamente remetida para o tanque principal para aplicação em regas posteriores<sup>(11)</sup>. Neste tipo de sistemas a monitorização diária do pH e da condutividade elétrica da solução nutritiva constitui um passo essencial para que não ocorram desregulações nas plantas<sup>(9)</sup>. Pois, o consumo de determinados minerais origina a acumulação de outros, alterando as características da solução nutritiva e consequentemente, reduzindo a absorção de nutrientes pelas raízes, provocando stress nas plantas<sup>(11)</sup>. De forma a prevenir esta questão, torna-se preponderante a análise química regular à água, para posterior ajuste das

concentrações de cada elemento<sup>(11)</sup>. Também a desinfecção ou prevenção das doenças radiculares transmitidas pela água é outro fator a tomar em consideração, pois pode provocar a morte de todas as plantas do sistema<sup>(9)</sup>.

**Tabela 3- Principais características das diferentes técnicas hidropónicas<sup>(9)</sup>.**

	<b>NFT</b>	<b>Cultura em água</b>	<b>Aeroponia</b>	<b>Suporte e irrigação por gotejamento</b>	<b>Suporte e sub-irrigação</b>
<b>Aplicações Comerciais</b>	Escasso	Em expansão	Raro	Amplio	Amplio
<b>Tipo de planta</b>	Vegetais folhosos	Vegetais folhosos Flores com bolbo	Vegetais	Vegetais com fruto Morangos Flores de corte	Todo o tipo de plantas (saco)
<b>Suporte</b>	Não	Não	Não	Sim	Sim
<b>Recirculação</b>	Sim	Estagnado ou razoavelmente estático	Sim	Sim/Não	Sim
<b>Custos de investimento</b>	Altos	Baixos	Muito altos	Moderados/altos	Altos
<b>Custos de manutenção</b>	Moderados	Baixos	Altos	Moderados/altos	Moderados/altos
<b>Riscos no crescimento</b>	Altos	Moderados	Muito altos	Moderados	Moderados

### 2.1.1. Sistemas hidropónicos

#### **Técnica com um pequeno filme de nutrientes (NFT)**

Na década de 1970 ocorreu um desenvolvimento substancial na ciência hidropónica com a criação do método NFT, sendo este a primeira grande mudança nesta área<sup>(12, 13)</sup>. Esta técnica baseia-se na recirculação de uma película fina de água com nutrientes através da parte radicular das plantas (Figura 2(B)), de forma intermitente ou contínua, proporcionando um determinado rácio de água, nutrientes e oxigénio<sup>(11, 14, 15)</sup>. A solução nutritiva passa no fundo

de um pequeno canal fechado, com uma inclinação entre 1-3%, não permitindo a entrada de luz, e com oxigénio na fase intermédia<sup>(13, 14)</sup>. Quanto às vantagens que este oferece podemos enumerar várias, tais como: baixo custo de manutenção, fácil elaboração, grande fiabilidade, controlo absoluto do ambiente radicular, uso eficiente do espaço, racionalização de água e reduzido desperdício de nutrientes<sup>(12-14)</sup>. No entanto, colocam-se vários problemas, sendo de destacar o aumento da densidade radicular no interior do canal ao longo do crescimento da planta<sup>(12, 13)</sup>. Este problema agrava-se para plantas de médio porte, pois a massa radicular no interior do canal aumenta consideravelmente, preenchendo-o por completo, o que reduz drasticamente quer o oxigénio disponível, quer a área de contacto da solução nutritiva com a raíz<sup>(13)</sup>. As consequências são enormes, pois além de ocorrer a acumulação de sais, uma parte da raíz irá morrer, afetando o desenvolvimento da planta<sup>(11-13)</sup>.

O conceito associado a esta técnica apenas funciona de forma eficaz em plantas de pequeno porte e com curto prazo de crescimento<sup>(12)</sup>. Os custos de manutenção deste tipo de sistema é relativamente elevado, pois as instalações de NFT têm equipamentos altamente tecnológicos para o controlo automático de todos os parâmetros (ex: pH, condutividade elétrica)<sup>(14, 15)</sup>.

Recentemente foi concebida uma forma modificada de NFT conhecida como a técnica de fluxo profundo (*Deep Flow Technique- DFT*), onde apenas se varia o volume de solução nutritiva circundante às raízes, ocupando cerca de 90% do canal (Figura 2(C)). A grande vantagem baseia-se no aumento do contacto da solução nutritiva com as raízes, aumentando consideravelmente a absorção de nutrientes, mas diminuindo o oxigénio disponível.

### **Cultura em água**

A cultura em água foi desenvolvida em meados do ano 1800, sendo considerada a técnica mais antiga existente em hidroponia<sup>(11, 13)</sup>. Neste sistema as plantas encontram-se suspensas num tanque contendo uma solução nutritiva, tendo uma placa de pouca densidade a separá-las (usualmente placas de poliestireno), e desta forma permite que apenas as raízes estejam em contato com a água<sup>(10, 11)</sup>. Todavia esta técnica apresenta um grande problema, que consiste na estagnação da solução de nutrientes ao longo do tempo, provocando a redução drástica de oxigénio e a acumulação de sais<sup>(10, 11)</sup>. Com o intuito de resolver ou reduzir o risco associado é comum introduzir-se oxigénio diretamente no tanque, porém a água não circula o

suficiente para uniformizar os níveis de oxigénio e de sais no seu interior<sup>(10)</sup>. Além disso, este sistema não é adequado à aplicação comercial, visto apresentar um elevado custo de manutenção em produtos químicos, devido à substituição frequente da solução nutritiva, assim como pela introdução de reagentes que mantenham o pH e condutividade elétrica equilibrados<sup>(13)</sup>. Ainda assim, para obter resultados à escala laboratorial torna-se preponderante controlar as doenças provenientes da parte radicular e ter uma temperatura adequada<sup>(13)</sup>.

### **Aeroponia**

A aeroponia é a tecnologia desenvolvida mais recentemente na hidroponia, sendo a mais inovadora na área agrícola, porém ainda apresenta uma grande margem de expansão<sup>(10)</sup>. Este sistema baseia-se na pulverização das raízes por uma névoa de solução contendo nutrientes, podendo esta ser contínua ou intermitente (Figura 2(D))<sup>(10-13)</sup>. A parte radicular encontra-se suspensa num suporte, estando este contido dentro de um cilindro vertical sem luz com a capacidade de alocar inúmeras plantas<sup>(10, 11)</sup>. A grande vantagem deste sistema consiste na enorme capacidade de oxigenação das raízes, permitindo que o fluxo de oxigénio disponível seja muito elevado<sup>(10, 13)</sup>. Outras vantagens, como o uso eficiente de nutrientes e água (solução em recirculação), bem como os rácios muito altos de produtividade, fazem com que este sistema tenha um grande potencial futuro<sup>(10, 13)</sup>. Todavia, a nível comercial esta técnica necessita ainda de muito desenvolvimento, pois para um produtor acarreta custos muito elevados<sup>(12, 13)</sup>.

#### **2.1.2. Sistemas semi-hidropónicos**

##### **Suportes inertes**

Nos sistemas semi-hidropónicos o suporte inerte é um dos aspetos fundamentais no desenvolvimento da planta. Assim, a escolha do suporte tem que ter em conta três fases essenciais: a fase sólida para a ancoragem da planta, a fase para a retenção da solução nutritiva (assegurar o fornecimento de água e nutrientes) e a fase de troca de gases ( $O_2$  e  $CO_2$ ) com o meio envolvente<sup>(9)</sup>. Para que estes processos ocorram de uma forma eficaz é necessário que o

suporte presente: baixa densidade (facilitar a instalação do sistema), alta porosidade (50-85%), pH entre 5,0 e 6,5, excelente rácio de ar e água, baixo teor de sais solúveis, facilidade em desidratar e hidratar, inércia química, baixos custos, que se mantenha intacto durante um período longo, e com a capacidade de ser reutilizável ou biodegradável (preservar o meio ambiente)<sup>(9, 16)</sup>. Todavia, nenhum suporte engloba estas características na sua totalidade, nem um suporte inorgânico, nem um suporte orgânico. Atualmente a forma mais usual para ultrapassar estas limitações consiste na interligação de dois ou mais materiais para formar um único suporte<sup>(11)</sup>. Nas Tabelas 4 e 5 são apresentados os vários suportes e as suas principais características.

**Tabela 4- Características dos substratos inorgânicos nos sistema semi-hidropônicos<sup>(13, 15)</sup>.**

<b>Suporte</b>	<b>Características</b>
Lã de vidro	Limpo, atóxico, estéril, leve (seco), reutilizável, alta capacidade de absorção de água (80%), boa aeração, capacidade de tamponamento, difícil eliminação.
Vermiculite	Poroso, esponjoso, estéril, leve, alta capacidade de absorção de água (5x próprio peso), capacidade de tamponamento, não é totalmente inerte (pequenas quantidades de potássio e magnésio).
Perlite	Siliciosos, estéril, esponjoso, muito leve, capacidade de tamponamento, baixa capacidade de retenção de água, alta capacidade de aeração.
Brita fina	Tamanho das partículas entre 5 a 15 mm de diâmetro, baixa capacidade de retenção de água, peso elevado.
Areia	Grãos de dimensão pequena (granulometria ideal: 0,6-2,5 mm de diâmetro), a argila deve ser eliminada antes do seu uso, baixa capacidade de retenção de água, peso elevado.
Argila expandida	Estéril, inerte, reutilizável, dimensão entre 1 a 18 mm de diâmetro, boa capacidade de retenção de água, acumulação de sais.
Pedra Pomes	Siliciosos de origem vulcânica, inerte, maior capacidade de retenção de água quando comparado com a areia, grande capacidade de aeração.
Escórias	Poroso, origem vulcânica, mais leve e com maior poder de retenção de água do que a areia.
Placas de crescimento de poliuretano	Material novo, alta capacidade de aeração (75 a 80%), baixa capacidade de retenção de água (15%).

Há vários anos a perlite era o **suporte inorgânico** mais comum, no entanto a lã de vidro ocupa atualmente grande parte da produção agrícola em hidroponia<sup>(12, 13)</sup>. Este material permite que a planta tenha acesso a um elevado teor de oxigênio, fornecendo boas condições para a absorção de água e nutrientes pelo sistema radicular<sup>(13, 16)</sup>. No entanto, associa-se a um enorme problema ambiental, pois a sua não biodegradabilidade provoca graves danos, daí a sua utilização ter diminuído<sup>(12, 15, 16)</sup>.

Os **substratos orgânicos** possuem propriedades físicas e químicas distintas dos meios inorgânicos, sendo de destacar o poder de absorção e adsorção consideravelmente superior<sup>(13)</sup>. Outro fator importante é a sua grande capacidade de funcionar como tampão, permitindo armazenar nutrientes essenciais ao crescimento e assim assemelhar-se às características do solo<sup>(13)</sup>. A grande vantagem destes substratos consiste no baixo custo de aquisição e na enorme facilidade na sua utilização<sup>(13)</sup>. Por ser um material com muito uso atualmente, importa destacar a fibra de coco, que combina o alto poder de absorção de água com a elevada aeração, além de ser barato e de fácil eliminação ambiental<sup>(16)</sup>.

**Tabela 5- Características dos substratos orgânicos nos sistema semi-hidropônicos<sup>(13, 16)</sup>.**

Substrato	Características
Fibra de coco	Alta capacidade de retenção de água e nutrientes, alta aeração, fácil eliminação, poderá ser misturado com a perlite para formar um suporte com as características desejáveis para algumas plantas.
Turfa	Muito usado como substrato de sementeiras, grande capacidade de retenção de água, grande aeração, de média degradação, normalmente misturado com outros materiais para obter as propriedades físicas e químicas desejáveis.
Casca tratada	Usado como um substituto da turfa, disponível em partículas com vários tamanhos, deverá ser compostado de forma a reduzir os compostos tóxicos da casca (usualmente casca de pinheiro)
Serradura	Usado para períodos curtos, capacidade razoável de retenção de água e aeração, de fácil decomposição.
Casca de arroz	Substrato menos conhecido e utilizado, com propriedades semelhantes à perlite, baixa capacidade de retenção de água, poderá conter resíduos tóxicos, necessária esterilização.
Musgo <i>Sphagnum</i>	Substrato muito comum em semi-hidroponia orgânica, a sua origem influencia consideravelmente as propriedades físicas e químicas, excelente meio para germinação, alta capacidade de retenção de água.

### **Irrigação por gotejamento**

Atualmente, o método de irrigação com gotejadores é o mais usual para cultivar plantas em hidroponia, baseando-se na adição de uma solução num suporte inerte através de gotejadores<sup>(10, 12, 13)</sup>. A sua grande aplicação a nível comercial deve-se principalmente aos custos reduzidos, à baixa manutenção, ao pouco conhecimento necessário, e ao facto de permitir desenvolver todo o tipo de culturas<sup>(10)</sup>. Por outro lado, os resultados obtidos apresentam reprodutibilidade e produtividade médio-alta<sup>(10)</sup>. Não obstante, existem diversos fatores que necessitam ser controlados, tais como: a humidade atmosférica, a temperatura e a acumulação de sais no suporte<sup>(13)</sup>. Em virtude disto, torna-se necessário fazer pequenos ajustes no caudal de solução nutritiva adicionado diariamente. A grande desvantagem deste sistema centra-se no facto de apresentar problemas ambientais de alguma gravidade, devido às características do suporte (não degradável) e ao não aproveitamento da solução nutritiva<sup>(15)</sup>.

### **Sub-irrigação ou Inundação e Drenagem**

O método de sub-irrigação foi amplamente utilizado no final dos 1930 até os anos 1950, sendo que atualmente a sua aplicação comercial decaiu imenso<sup>(12, 13)</sup>. A técnica baseia-se na inundação com uma solução nutritiva de um suporte inerte, por um período entre 5 a 10 minutos, sendo posteriormente drenada para um reservatório<sup>(12, 13)</sup>. Um dos riscos desta técnica centra-se na transmissão de doenças via solução nutritiva, sendo também a acumulação de sais no suporte um fator preponderante<sup>(12)</sup>. Assim, a precipitação de sais, essencialmente fosfatos, cálcio e sulfatos poderão provocar desequilíbrios nutritivos, afetando significativamente as plantas<sup>(12)</sup>. Neste tipo de sistemas a solução tem de ser renovada periodicamente, tornando o uso de água e nutrientes ineficiente, induzindo a um aumento dos custos de manutenção<sup>(12)</sup>. Este sistema de cariz fechado permite o cultivo de todos os géneros de plantas<sup>(13, 15)</sup>.

## 2.2. Solução nutritiva

A hidroponia apresenta uma enorme margem de progressão, pois permite obter enormes rendimentos nas culturas e eliminar os problemas associados ao solo<sup>(6, 17, 18)</sup>. Quanto ao nível fisiológico, os organismos vegetais cultivados através de sistemas hidropônicos têm características análogas aos cultivados de forma tradicional<sup>(8, 19)</sup>. Contudo, os processos inerentes à absorção de minerais funcionam de maneiras diferentes<sup>(8, 19)</sup>. No caso do cultivo tradicional, a absorção de minerais ocorre a partir de colóides que se formam no solo, sendo dependente das suas propriedades químicas e físicas, assim como das condições ambientais<sup>(8, 19)</sup>. Pelo contrário, no cultivo hidropônico a absorção de nutrientes apenas depende exclusivamente das propriedades da solução nutritiva (pH, condutividade elétrica, entre outros)<sup>(8)</sup>. A introdução de determinados sais em água com as concentrações desejáveis, leva ao desenvolvimento adequado da planta<sup>(17, 20)</sup>. Esta é uma das enormes vantagens da solução nutritiva, quando comparada com as condições edáficas. Assim, a componente fundamental em hidroponia é a solução nutritiva, sendo esta uma solução aquosa, constituída por elementos inorgânicos (macronutrientes e micronutrientes) essenciais à manutenção e crescimento da planta<sup>(8, 20)</sup>.

Relativamente à introdução da solução nutritiva num sistema hidropônico há que ter em conta vários fatores, pois as concentrações de nutrientes requeridas pela planta modificam-se de acordo com estes. As condições ambientais (temperatura, humidade, intensidade da luz), a espécie e variedade vegetal, bem como, o seu estágio de desenvolvimento e as características da solução nutritiva, são fatores preponderantes na sua elaboração<sup>(19, 21, 22)</sup>.

Outra das peças chave da solução nutritiva consiste na sua gestão, pois através desta são retiradas várias informações, quer a nível das necessidades nutricionais reais da planta, quer da influência de cada fator na absorção radicular<sup>(19)</sup>. Saliente-se, que para a obtenção destes parâmetros existem duas vias, a análise da solução de drenagem, ou a análise da parte aérea da planta (seiva, folhas, frutos, entre outros)<sup>(19, 22, 23)</sup>. Quanto ao primeiro, é importante frisar que ao longo de uma cultura a absorção de nutrientes muda constantemente, originando uma necessidade de adequar a composição da solução nutritiva<sup>(19, 21, 22)</sup>. Também, a existência de diferentes mecanismos de absorção para os nutrientes, tem como resultado variações na sua eficiência<sup>(22)</sup>. Com o objetivo de minimizar o impacto destas alterações nos organismos vegetais, existem várias formas de monitorizar, tais como: observar alguma alteração

fisiológica na planta e correlacionar com os nutrientes (método simples), assim como medir diariamente o pH, a condutividade elétrica, a temperatura e a concentração de oxigênio da solução de recirculação<sup>(17, 18, 20, 23)</sup>. Caso estas variáveis sejam todas controladas, e o operador tenha conhecimento suficiente para relacioná-las, permite retirar inúmeros dados acerca do crescimento e a absorção de nutrientes pela planta. Além disso, permite que se efetue uma reposição de água e nutrientes a curto prazo, reduzindo consideravelmente os custos e a poluição ambiental, bem como proporcionar um aumento da produtividade e qualidade<sup>(18, 21-23)</sup>.

### 2.2.1. Concentração das soluções nutritivas

Em hidroponia, usualmente a preparação dos nutrientes é constituída por duas soluções separadas de concentração elevada, evitando-se desta forma reações químicas que poderão originar reações de precipitação<sup>(17)</sup>. A primeira solução normalmente contém apenas três macronutrientes, Ca, K e N<sup>(17)</sup>. A outra solução é constituída pelos restantes macronutrientes, juntamente com todos os micronutrientes necessários para a planta<sup>(17)</sup>.

Uma das características a ter em conta na solução nutritiva é a solubilidade de cada sal em água, pois estes devem dissociar-se com facilidade, permitindo ao sistema radicular uma fácil assimilação. Veja-se o exemplo do cálcio, poderá ser introduzido na solução nutritiva em nitrato de cálcio ou sulfato de cálcio, embora este último seja de baixo custo, apresenta uma solubilidade em água muito baixa<sup>(19)</sup>. Importa frisar, que alguns compostos colocados na solução nutritiva não se dissociam, como a ureia, o ácido bórico e complexos quelatos, tendo a raíz capacidade para absorvê-los na íntegra<sup>(24)</sup>.

Atualmente já existem várias empresas especializadas na venda de soluções nutritivas para hidroponia, sendo que estas para além de incluírem os macronutrientes e micronutrientes, ainda adicionam bioestimulantes (algas marinhas, aminoácidos, hidratos de carbono simples, ácidos orgânicos, vitaminas C, B e E)<sup>(17, 24)</sup>. Outro dos elementos que está a ser colocado presentemente em pequena quantidade é o silício, pois permite um reforço das paredes celulares, combatendo ativamente pragas e doenças que possam vir a surgir na planta<sup>(17)</sup>.

Para os apologistas da agricultura biológica, a hidroponia está a dar passos no sentido de desenvolver esse domínio, através da substituição dos fertilizantes sintéticos. Como tal, os sais tendo por base compostos orgânicos de origem natural, tais como: extrato de algas marinhas, farinha de penas, extrato de alfafa, extrato de melação, restos de peixes após putrefação (cabeça, espinhas, miúdezas), entre outros, estão a ser utilizados na nutrição de plantas. Estes combinados entre si e com a adição de um conjunto de micronutrientes permitem satisfazer as necessidades básicas das plantas<sup>(17)</sup>.

### 2.2.2. Características e funções dos macronutrientes e micronutrientes

Em termos nutritivos, as plantas necessitam de 13 nutrientes essenciais para se desenvolverem. Para ser denominado nutriente “essencial” tem que estar implícita alguma das seguintes características: a primeira centra-se na interrupção do ciclo vegetativo devido à ausência do elemento, por outro lado tem que ser um constituinte ou metabolito essencial da planta, ou pelo menos ter uma ação preponderante no funcionamento de determinadas enzimas, e por último a ação deste tem de ser específica no organismo<sup>(17, 25)</sup>. Importa referir que três destes nutrientes, carbono, hidrogénio e oxigénio, são obtidos a partir da água e da atmosfera, no entanto, os restantes elementos têm que ser fornecidos através da solução nutritiva, no caso da hidroponia, ou estarem presentes no solo, no caso do cultivo tradicional.

Os nutrientes essenciais são classificados em dois grupos, os necessários em quantidades relativamente grandes, macronutrientes, e os que são necessários em quantidades muito pequenas, micronutrientes. Dentro dos macronutrientes incluem-se, o azoto, o fósforo, o potássio, o cálcio, o magnésio e o enxofre. Nos micronutrientes incluem-se o ferro, o manganês, o cobre, o boro, o zinco, o molibdénio e o cloro. As características edáficas do planeta variam significativamente, podendo-se encontrar nos solos outros elementos, tais como: o níquel, o sódio, o silício, o vanádio, o selénio, o cobalto, o alumínio e o iodo. Estes muitas vezes originam benefícios para as plantas, como a estimulação do crescimento e a compensação dos efeitos tóxicos de outros elementos, podendo ser incorporados na solução nutritiva<sup>(20)</sup>.

Em todos os organismos, os processos metabólicos são a peça chave de todo o seu desenvolvimento. Muitos dos nutrientes fazem parte da constituição de enzimas e coenzimas que regulam as reações bioquímicas<sup>(25)</sup>. Outros, têm um papel importante no transporte de energia, no armazenamento de metabolitos, assim como uma intervenção ativa na pressão osmótica e no processo fotossintético<sup>(24, 25)</sup>. Em forma de resumo a Tabela 6 apresenta as funções mais relevantes dos macronutrientes e micronutrientes nos organismos vegetais.

**Tabela 6- Função dos macronutrientes e micronutrientes num organismo vegetal<sup>(25)</sup>.**

<b>Elemento</b>	<b>Função</b>
<b>Oxigénio</b>	Constituinte de inúmeros compostos orgânicos Envolvido na troca aniónica entre as raízes e o exterior
<b>Carbono</b>	Constituinte de todos os compostos orgânicos encontrados na planta
<b>Hidrogénio</b>	Constituinte de todos os compostos orgânicos contendo carbono Elemento importante na troca catiónica entre as raízes e o exterior
<b>Macronutrientes</b>	
<b>Azoto</b>	Constituinte estrutural de aminoácidos, proteínas, co-enzimas, ácidos nucleicos e clorofila, entre outros
<b>Fósforo</b>	Constituinte estrutural de açúcares fosfatados, ATP, ácidos nucleicos, fosfolípidos, certas coenzimas, entre outros
<b>Potássio</b>	Atua como co-enzima ou ativador em muitas enzimas (ex: Piruvato cinase) A síntese de proteínas requer níveis elevados de potássio
<b>Enxofre</b>	Parte estrutural de vários compostos, incluindo aminoácidos e proteínas (ex: Coenzima A, vitamina B1 e biotina)
<b>Magnésio</b>	Parte essencial na molécula de clorofila Utilizado na ativação de muitas enzimas, incluindo em etapas que envolvem a quebra da ligação de ATP Componente essencial para manter a estrutura do ribossoma
<b>Cálcio</b>	Presente nas paredes celulares em pectato de cálcio Necessária para manter a integridade da membrana, sendo parte da enzima $\alpha$ -amilase Poderá interferir na capacidade do magnésio em ativar enzimas

<b>Micronutrientes</b>	
<b>Ferro</b>	Elemento necessário para a síntese da clorofila
	Elemento estruturante dos citocromos (processo de respiração)
	Elemento essencial da ferredoxina
	Tem a capacidade de ativar determinadas enzimas
<b>Cloro</b>	Necessário no processo de fotossíntese, atuando como um ativador enzimático
<b>Manganês</b>	Ativa uma ou mais enzimas na síntese dos ácidos gordos
	Ativa as enzimas responsáveis pela formação do DNA e RNA
	Ativa a enzima isocitrato desidrogenase, presente no ciclo de Krebs
	Atua diretamente no processo de produção de oxigénio
<b>Boro</b>	Poderá atuar na formação da clorofila
<b>Boro</b>	Poderá intervir no transporte de glúcidos através do floema
<b>Zinco</b>	Intervém na formação da hormona de crescimento (ácido indolacético)
	Ativador de várias enzimas desidrogenases, tais como: a desidrogenase láctica e desidrogenase glutamato, entre outras
	Ativador da enzima carboxipeptidase
<b>Cobre</b>	Atua no transporte de eletrões
	Elemento estruturante de certas enzimas
	Elemento presente na estrutura da plastocianina (processo fotossintético)
	Presente nas enzimas polifenoloxidase e nitrato redutase
<b>Molibdénio</b>	Poderá ser um elemento importante na fixação de N <sub>2</sub>
	Atua na conversão do nitrato de amónio, como transportador de eletrões
<b>Molibdénio</b>	Essencial para a fixação de N <sub>2</sub>

### 2.2.3. Influência das concentrações de azoto nos tecidos vegetais

O azoto é um elemento mineral presente nos tecidos celulares, sendo parte integrante de muitos metabolitos essenciais ao desenvolvimento de um organismo, tais como: aminoácidos, enzimas, proteínas, entre outros<sup>(23, 25)</sup>. No processo fotossintético, a utilização do dióxido de carbono está interdependente da atividade da enzima Rubisco (Figura 3), do NADPH, e da regeneração do ATP, tendo estes processos como fator limitante a molécula de azoto<sup>(23)</sup>. A capacidade de diminuir ou aumentar o crescimento da planta e a sua produtividade

estará dependente desta molécula. As formas iônicas mais comuns são a amônia ( $\text{NH}_4^+$ ) e o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), sendo que cada ião irá influenciar de forma distinta o metabolismo do organismo vegetal, tornando-se vital uma boa gestão das suas concentrações numa solução nutritiva<sup>(26, 27)</sup>. As plantas absorvem estes iões através do sistema radicular, no entanto a sua disponibilidade imediata dentro das células é consideravelmente diferente, onde o estado de oxidação é o fator decisivo<sup>(25, 28)</sup>. O nitrato tem maior dificuldade em se tornar disponível para uso metabólico, pois tem que sofrer uma redução nas células durante o processo de assimilação<sup>(25)</sup>. A amónia uma vez absorvida encontra-se imediatamente disponível para ser utilizada quer na síntese de diversos compostos, quer como intermediário em muitas reações metabólicas<sup>(28)</sup>. A sua principal vantagem é a pouca energia necessária na assimilação, tornando-se uma fonte instantânea de azoto, em caso de défice na planta<sup>(25, 27)</sup>. Porém, apresenta uma alta toxicidade nas células, suprimindo vários metabolismos, e até provocando a morte celular em plantas mais sensíveis<sup>(26-28)</sup>.

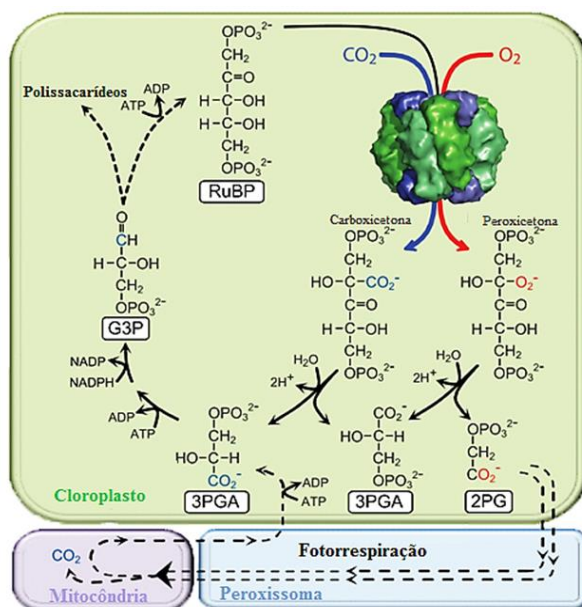


Figura 3- Esquema simplificado da fixação do  $\text{CO}_2$  na RuBP pela enzima Rubisco<sup>(29)</sup>.

A grande absorção de azoto nas raízes na forma catiónica suprime a entrada da sua forma aniónica, ocorrendo um equilíbrio através da libertação de protões ( $\text{H}^+$ ) para a solução. Desta forma, o pH do meio que rodeia o sistema radicular desce consideravelmente, atingindo níveis prejudiciais para a maioria dos organismos vegetais<sup>(26)</sup>. A nutrição da planta também é muito afetada, pois ocorre a diminuição da acumulação de K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn e Cu<sup>(27)</sup>. Em

suma, na preparação de uma solução nutritiva, há que ter em conta a espécie a ser cultivada, e só em caso de ajuste do pH é que se deve utilizar a amónia, de outra forma devem ser utilizados os iões em forma de nitrato<sup>(25)</sup>.

#### 2.2.4. Influência das concentrações de potássio e fósforo na qualidade do fruto

A qualidade do fruto obtido em sistemas hidropónicos é um tema um pouco complexo, pois inúmeros fatores influenciam decisivamente este parâmetro. De entre estes saliente-se o potássio, que tem um papel decisivo na fase de frutificação, e como tal nestes últimos anos têm sido desenvolvidos vários estudos com o objetivo de avaliar o seu impacto nas várias fases de desenvolvimento<sup>(25, 30)</sup>. O potássio numa solução nutritiva em que o pH oscile entre 2 e 9, encontra-se como um ião livre ( $K^+$ ), facilitando desta forma a sua absorção nos tecidos radiculares<sup>(20)</sup>. Todavia, este macronutriente apresenta um inconveniente, pois o aumento da sua concentração na solução nutritiva aumenta consideravelmente o nível da condutividade elétrica, e como tal é necessário ter isso em conta na elaboração das soluções<sup>(30)</sup>. A pressão osmótica é um fator importante na nutrição hidropónica, daí o rácio K/Ca ou K/Mg terem que ser consideradas<sup>(30)</sup>. No caso do rácio K/Ca, o aumento do potássio e conseqüente diminuição do cálcio, proporciona uma melhor qualidade de conservação, diminuição da acidez, e ainda o aumento do teor de açúcares<sup>(30)</sup>. Tendo em conta que estes são parâmetros que atestam a qualidade do fruto, pode-se estabelecer uma relação direta entre o aumento da concentração de potássio e o ganho de qualidade.

Quanto ao fósforo, a sua concentração também irá influenciar a qualidade do fruto, no entanto não tanto como o potássio<sup>(6, 25)</sup>. Em caso de défice deste elemento, ocorre uma inibição do metabolismo dos hidratos de carbono, assim como uma diminuição da taxa fotossintética, o que resulta numa perda de biomassa<sup>(6)</sup>. No entanto, se a qualidade do fruto for o objetivo, deverá ser feita uma redução na concentração de azoto, e uma manutenção ou aumento ligeiro dos níveis de fósforo<sup>(25)</sup>.

### 2.2.5. pH

O pH é um parâmetro que permite avaliar a acidez ou alcalinidade de uma solução, dando uma relação entre a concentração de iões livres  $H^+$  e iões  $OH^-$ , presentes numa solução. As características dos elementos presentes numa solução (iões livres, complexos solúveis, quelatos) irão influenciar este parâmetro<sup>(20)</sup>. A temperatura e a solubilidade dos elementos em solução poderão provocar a precipitação dos sais<sup>(17, 24)</sup>. Assim, no ambiente radicular de uma planta, as características da solução nutritiva e consequentemente o valor de pH, irão ter um grande impacto na assimilação de elementos, influenciando o crescimento e a qualidade dos frutos. Em geral, a gama de pH utilizada na preparação de soluções nutritivas para organismos vegetais varia entre 5.8 e 6.5<sup>(17, 19, 24)</sup>.

No cultivo hidropónico é preponderante monitorizar o pH diariamente, pois a solução nutritiva está em constante mudança devido à absorção de nutrientes. Em caso de alterações deste valor existem várias formas de ajustá-lo, através da acidificação ou alcalinização. A adição de ácido sulfúrico, ácido clorídico, ácido nítrico, ou ácido fosfórico poderão ser usadas na acidificação<sup>(17, 19, 20, 24)</sup>. No caso da alcalinização do pH poderá adicionar-se hidróxido de potássio, hidróxido de sódio, ou bicarbonato de sódio<sup>(17, 19, 24)</sup>. Outro meio de minimizar a desregulação consiste na utilização de formas quelatadas dos micronutrientes<sup>(24)</sup>.

Saliente-se que a não monitorização deste parâmetro poderá provocar graves consequências nas plantas, uma vez que um pH superior a 7 provoca a precipitação do  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $PO_4^{3-}$  e  $Mg^{2+}$ <sup>(19)</sup>.

### 2.2.6. Condutividade elétrica

A condutividade elétrica baseia-se na capacidade de determinados iões conduzirem energia elétrica através de uma solução, estando diretamente relacionada com a concentração total de sais dissolvidos. No entanto, não se pode estabelecer uma relação direta entre a grande concentração de sais e consequente aumento da condutividade elétrica, pois cada ião conduz a energia elétrica de forma diferente. Assim a utilização de sais com diferentes características, irá proporcionar condutividades elétricas distintas<sup>(17)</sup>.

Nos sistemas hidropônicos a monitorização deste parâmetro é fundamental para estimar a concentração total de iões de uma solução nutritiva no sistema radicular. Pois, através da condutividade elétrica torna-se possível determinar a pressão osmótica de uma forma indireta, que irá ser exercida nas raízes e assim prever o coeficiente de absorção<sup>(20)</sup>. A solução nutritiva de cada planta apresenta uma condutividade elétrica específica, de acordo com a espécie e com as condições ambientais, situando-se entre 1,5-2,5 mS/cm<sup>(17, 20, 24)</sup>. Se a condutividade elétrica for superior irá ocorrer um aumento da pressão osmótica, dificultando a absorção e afetando o crescimento, desenvolvimento e a produtividade<sup>(19, 20)</sup>. Se for inferior, a integridade da planta e a sua produtividade poderão estar comprometidas, levando em casos extremos à morte<sup>(19, 20)</sup>.

Este parâmetro é fundamental na monitorização das razões de nutrientes em sistemas hidropônicos<sup>(17, 22)</sup>. Numa primeira fase, há que ter em conta os menores índices de condutividade dos vários sais na preparação da solução de nutrientes, evitando-se o efeito salino<sup>(24)</sup>. Nos sistemas hidropônicos fechados, a razão principal para uma elevada condutividade elétrica baseia-se na menor absorção de água pelo sistema radicular, quando comparado com a absorção de nutrientes<sup>(21, 24)</sup>. Elevadas condutividades elétricas podem ser controladas através da adição de água à solução nutritiva, com o intuito de manter a mesma razão de água e nutrientes da solução de drenagem<sup>(21)</sup>. Quanto aos sistemas hidropônicos abertos, é importante referir que o único problema suscetível de aparecer baseia-se na acumulação de sais no suporte (condutividade elétrica elevada), sendo de fácil resolução, através da aplicação de várias irrigações contendo somente água<sup>(22, 24)</sup>.

### 2.2.7. Oxigenação

A oxigenação da solução nutritiva é uma característica essencial para a manutenção de um bom ambiente radicular, pois este influenciará todos os parâmetros inerentes à planta, quer no crescimento das raízes, quer na funcionalidade das células, quer na absorção de iões<sup>(24)</sup>. A falta de oxigénio de uma solução nutritiva ou a pouca aeração de um suporte, irá provocar hipóxia nas raízes das plantas<sup>(31)</sup>. O fator principal para o desenvolvimento do processo de hipóxia nas raízes é a temperatura, sendo este um fator a minimizar na solução nutritiva (Tabela 7)<sup>(20, 24)</sup>. No caso dos sistemas NFT este é um dos fatores principais a monitorizar.

Pois, neste tipo de sistemas o teor de oxigénio é baixo, quer pelo diâmetro e comprimento da calha, quer pela ocupação quase total da calha pelas raízes, ou ainda pela quantidade mínima de solução que irá banhar as raízes<sup>(24)</sup>.

**Tabela 7- Solubilidade do oxigénio em água pura a várias temperaturas, à pressão atmosférica<sup>(20)</sup>.**

Temperatura (°C)	Solubilidade do oxigénio, mg/l
10	11,29
15	10,08
20	9,09
25	8,26
30	7,56
35	6,95
40	6,41
45	5,93

Quanto ao controlo deste parâmetro, apenas existe uma forma passível de ser utilizada, que se baseia na oxigenação artificial da solução ou suporte, embora acarrete custos elevados. As formas mais comuns baseiam-se na injeção periódica de oxigénio puro, a partir de uma garrafa, ou então com o uso constante de uma bomba de ar comprimido<sup>(20, 31)</sup>.

### 2.2.8. Qualidade da água

A qualidade da água é um dos fatores essenciais no cultivo de plantas em sistemas hidropónicos, em particular nos sistemas de recirculação. Como tal, a concentração de determinados iões e elementos fitotóxicos que intervêm na nutrição da planta, assim como a presença de organismos/substâncias que possam vir a entupir as tubagens, filtros e gotejadores dos sistemas, são características a tomar em consideração. Dentro destes, há que destacar os microorganismos patogénicos e as algas, pois a presença de cianobactérias ou algas tóxicas diminuem significativamente o crescimento das plantas. Tudo isto, devido à libertação de

substâncias tóxicas ou reguladores de crescimento na água, que posteriormente terá um grande impacto no sistema radicular. Geralmente, a água proveniente da chuva é considerada a fonte de água com maior qualidade, pois usualmente contêm baixas concentrações de substâncias orgânicas e inorgânicas<sup>(20, 24, 32)</sup>.

Na produção hidropônica, os produtores utilizam diversas fontes de água, tais como: águas superficiais (lagos, lagoas naturais ou artificiais), águas subterrâneas (poços) e água para consumo humano<sup>(32)</sup>. Independentemente da origem a água tem que sofrer um processo de pré-tratamento, de forma a assegurar a sua viabilidade para uso futuro. Para tal, são usados vários métodos, tais como: o tratamento por calor, radiação UV, ou a filtração através de uma membrana (osmose inversa)<sup>(20, 24)</sup>.



### 3. TOMATE

Os tomates selvagens são nativos da América do Sul, em especial do Peru e das ilhas Galápagos, sendo introduzidos mais tarde como planta doméstica na região da América Central, mais precisamente no México<sup>(33, 34)</sup>. No século XVI foram transportadas sementes para a Europa pelos colonizadores espanhóis e portugueses, sendo cultivados inicialmente na península ibérica como uma planta ornamental, essencialmente pela beleza do seu fruto<sup>(34)</sup>. A sua primeira classificação taxonómica foi feita em 1753, por Linnaeus, atribuindo o nome de *Solanum lycopersicum*, porém durante vários anos surgiram algumas dúvidas quanto à sua inclusão no género *Solanum*<sup>(35)</sup>. Inicialmente o tomate era considerado um alimento tóxico, contudo em Espanha e Itália o seu consumo ocorria, pois acreditava-se que era um produto com grande potencial na culinária<sup>(34)</sup>. Mais tarde, no século XX, o fruto da planta do tomateiro era considerado um dos principais alimentos na dieta<sup>(34)</sup>. Atualmente, o seu consumo per capita continua a aumentar, variando de acordo com a divulgação dos benefícios que este traz para a saúde<sup>(34)</sup>.

O tomate (*S. lycopersicum*) é uma das hortaliças mais cultivadas e consumidas por todo o mundo, representando um produto com enorme valor económico em diversos países ocidentais. A produção global tem aumentado significativamente ao longo dos últimos anos, sendo que em 2011 a produção total estimada foi de 160 milhões de toneladas<sup>(33, 36, 37)</sup>. Em virtude disso a área de cultivo duplicou durante os últimos 20 anos, tendo a Índia, a China e os EUA como líderes de produção (Figura 4)<sup>(35, 38)</sup>. A utilização do tomate pode variar entre o consumo em fresco (saladas, sanduíches, entre outros) ou processado para posterior utilização (65% do volume total)<sup>(33, 38, 39)</sup>. Neste último, o enorme avanço da indústria transformadora permitiu a criação de novos produtos, tais como: pastas, conservas, sopas, bebidas, molhos, entre outros<sup>(35, 37)</sup>.

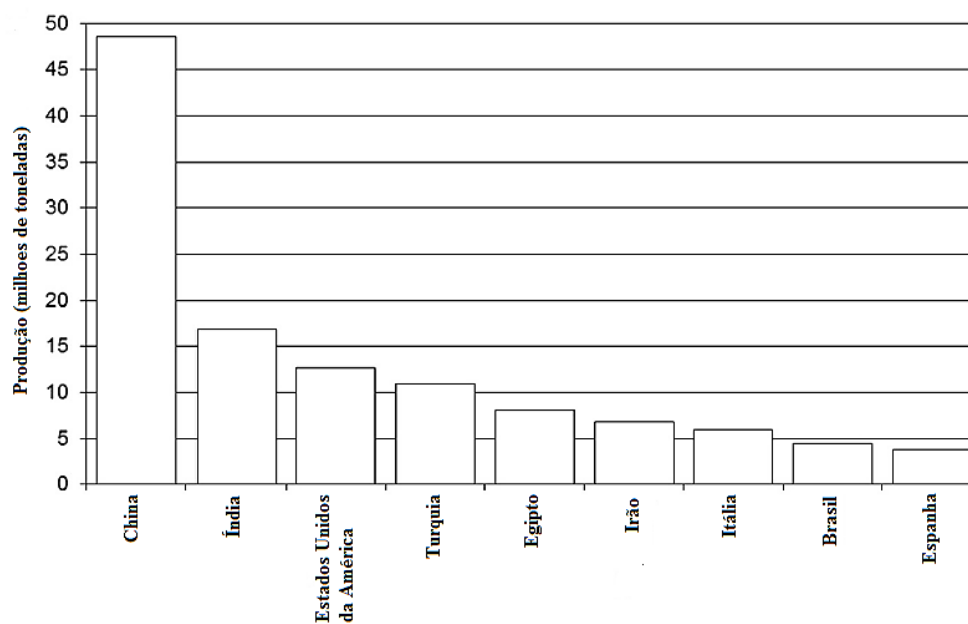
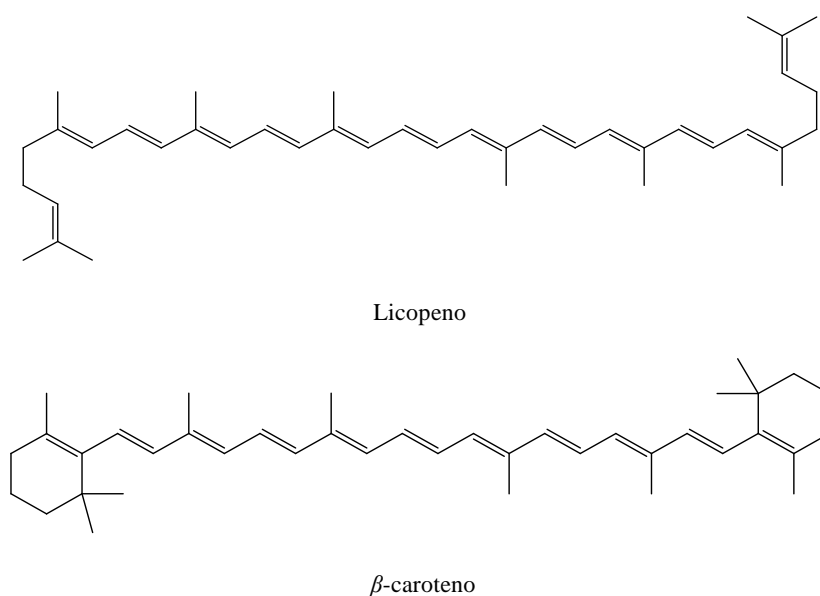


Figura 4- Principais produtores mundiais de tomate no ano 2011<sup>(35)</sup>.

Tabela 8- Ranking dos países com maior consumo e produção de tomate<sup>(35)</sup>.

País	Quantidade de tomate consumido (Kg/per capita/ano)	Ranking de Produção
Líbia	150,3	54
Egito	115,9	5
Grécia	105,3	18
Tunísia	94,9	101
Turquia	90,5	13
Arménia	87,3	50
Líbano	75,4	45
Uzbequistão	74,4	106
Irão	71,6	6
Itália	60,5	7
Espanha	58,9	133
Cuba	58,7	33
Emirados Árabes Unidos	57,8	3
Portugal	57,7	16

Em termos de saúde, o tomate é um alimento de especial importância, pois constitui uma fonte rica de minerais, vitaminas e antioxidantes<sup>(40, 41)</sup>. Vários estudos epidemiológicos corroboram a importância destes compostos bioativos, como é o caso dos antioxidantes, metabólitos secundários e com enorme importância na prevenção de doenças<sup>(37, 42)</sup>. No tomate resumem-se essencialmente a carotenóides e compostos fenólicos, sendo que ambos desempenham um papel fundamental na inibição de espécies reativas<sup>(42, 43)</sup>. Como tal, a sua quantificação no tomate torna-se preponderante na determinação da capacidade antioxidante, (inibe os radicais de oxigénio, diminui a peroxidação lipídica e a formação de radicais hidróxilo)<sup>(44)</sup>. Entre estes, o licopeno (Figura 5), carotenóide que confere a cor vermelha ao tomate, destaca-se devido à sua elevada concentração neste<sup>(43, 45)</sup>. Também, o  $\beta$ -caroteno (Figura 5) é outro dos carotenóides que se encontra no tomate em consideráveis concentrações, destacando-se por ser um precursor da vitamina A<sup>(42)</sup>. Ambos têm um papel importante, quer na prevenção de doenças cardiovasculares, quer na redução do risco de determinados tipos de cancro (próstata, pulmão, estômago), assim como na neutralização dos efeitos provocados pela radiação ultravioleta<sup>(37, 44-46)</sup>.



**Figura 5- Estrutura molecular do licopeno e  $\beta$ -caroteno.**

Os compostos fenólicos são outra classe de antioxidantes com grande interesse científico, destacando-se no tomate os flavonóides como o grupo maioritário<sup>(42, 47)</sup>. De entre estes, a rutina é o flavonóide predominante em grande parte das variedades<sup>(47)</sup>. Recentemente verificou-se que a chalconaringenina é o flavonóide predominante na variedade de tomate cereja, tendo como uma das suas funções essenciais a inibição do processo de libertação da histamina, atuando na redução de reações alérgicas<sup>(47)</sup>. Outra das ações dos compostos fenólicos baseia-se na fotoproteção do fruto, isto é, ao estarem presentes na epiderme irão proteger o seu interior da oxidação induzida pela radiação UV-B<sup>(47)</sup>.

O tomate na sua fase madura, além de ser uma fonte rica de compostos fenólicos e carotenóides, também contém outros compostos importantes para a saúde, nomeadamente minerais, fibra, vitaminas e ácidos carboxílicos. De entre estes, as vitaminas C e A pelos seus benefícios para a saúde e pela sua concentração destacam-se neste fruto<sup>(35, 38)</sup>. Outras vitaminas e ácidos carboxílicos não menos importantes fazem parte da sua constituição, tais como: vitamina B1, B2, B3, B6, B9, E, niacina, biotina, ácido cítrico, málico, fumárico e oxálico<sup>(37, 45)</sup>. Outra das vantagens do consumo de tomate baseia-se na sua pobre composição em lípidos, além de não conter vestígios de colesterol<sup>(37)</sup>.

Hoje em dia, os tomates cereja são considerados por muitos produtores como um alimento de excelência, pois embora pequenos, apresentam um elevado sabor, aroma e um valor económico elevado. Para tal, moléculas como o licopeno e os açúcares apresentam concentrações superiores às restantes variedades de tomate<sup>(47)</sup>. Ainda, o teor de flavonóis em algumas variedades apresentam concentrações muito elevadas, e tendo em conta os seus potenciais benefícios na saúde, é um fruto que desperta interesse científico<sup>(47)</sup>.

### **3.1. Classificação científica**

O tomate do ponto de vista botânico é considerado um fruto, sendo comparável a pepinos, ervilhas e feijões<sup>(35)</sup>. Pertencendo à família Solanaceae (>3000 espécies) e ao género *Solanum*, onde se incluem 1250 a 1700 espécies, têm características notáveis, pois apresentam uma enorme diversidade morfológica e ecológica<sup>(34, 35)</sup>. Este género é o mais amplo da família Solanaceae, encontrando-se presente em climas temperados e tropicais<sup>(33, 35)</sup>. Por outro lado,

representa um gênero com enorme importância econômica, contendo espécies que produzem compostos tóxicos ou com grande valor na área medicinal<sup>(35)</sup>. A classificação completa do tomate é<sup>(34)</sup>:

Reino: Plantae

Subreino: Tracheobionia

Divisão: Magnoliophyta

Classe: Magnoliopsida

Subclasse: Asteridae

Ordem: Solanales

Família: Solanaceae

Gênero: *Solanum*

Espécie: *Solanum lycopersicum*

### **3.2. Características morfológicas e fisiológicas da planta**

A planta do tomate caracteriza-se por ser uma herbácea perene, com folhas pecioladas, com número ímpar de folíolos, além de apresentar um caule flexível e de grande abundância em brotações laterais<sup>(48, 49)</sup>. Embora seja uma planta perene, em muitos países o seu cultivo dura apenas um ano, pois as condições ambientais são muito adversas ao crescimento da planta e desenvolvimento do fruto. Importa salientar que a nível geral, a duração do cultivo situa-se entre 100 e 145 dias, de acordo com o início da germinação até ao amadurecimento do fruto<sup>(49)</sup>. A nível fisiológico, a planta apresenta um metabolismo fotossintético do tipo C3, tendo esta designação pelo monossacarídeo de três carbonos formado neste processo<sup>(49)</sup>.

Atualmente os produtores de tomate têm um maior conhecimento acerca das condições necessárias para que a planta se desenvolva na sua plenitude, dada a facilidade no acesso à informação científica, assim como pela experiência desenvolvida por outros durante vários anos<sup>(49)</sup>. A criação de plantas híbridas veio permitir em simultâneo um aumento quer na qualidade do fruto, quer na produtividade<sup>(49)</sup>. Também, o estudo de variáveis na produção, como a temperatura e humidade do ar, a luminosidade, os microrganismos, os requisitos nutricionais, as necessidades hídricas, a qualidade do fruto, entre outros, melhorou substancialmente o conhecimento acerca desta espécie<sup>(41, 49)</sup>.

Os fatores bióticos e abióticos incidentes na planta do tomate tem um papel decisivo no crescimento celular, na produtividade e na qualidade do fruto. Destes importa salientar a luminosidade, a temperatura, a humidade do ar e a disponibilidade de nutrientes<sup>(33, 48)</sup>. A nível qualitativo, a cor do tomate é um fator relevante para os consumidores e indústria transformadora, sendo este determinado maioritariamente pelo teor de licopeno<sup>(44)</sup>. Caso a concentração deste composto seja elevada e haja um equilíbrio entre o nível de acidez e a composição de açúcares, surge um produto de grande qualidade<sup>(45)</sup>.

## Radiação

Hoje em dia, sabe-se que a radiação é um dos fatores preponderantes no crescimento de um organismo vegetal e desenvolvimento de um fruto. Características como a intensidade da luz, a sua qualidade e o fotoperíodo irão promover ou inibir determinadas vias metabólicas, variando assim a concentração de compostos bioativos no produto final<sup>(44, 45, 49)</sup>. Quanto à intensidade da luz, sabe-se que a região espectral entre 400 e 700 nm é a ideal para o bom desenvolvimento de uma planta (Tabela 9), desempenhando um papel importante na formação das clorofilas e carotenóides, no processo de morfogénese, bem como na abertura de estomas<sup>(33, 49)</sup>. A duração da luz (fotoperíodo) também desempenha um papel relevante no crescimento da planta, sendo entre as 14 e as 17 horas de luz ao dia o período ideal<sup>(33)</sup>.

**Tabela 9- Influência do comprimento de onda da luz na fisiologia da planta<sup>(49)</sup>.**

<b>Gama de comprimento de onda (nm)</b>	<b>Resposta da planta</b>
280 a 315	Os processos fisiológicos e morfogenéticos são influenciados
315 a 400	O fotoperíodo é influenciado, retraindo o alongamento celular
400 a 520	Grande absorção de luz pelos carotenóides
520 a 610	Baixa absorção dos pigmentos
610 a 720	Alta absorção da clorofila (influência positiva na fotossíntese e fotoperíodo)
720 a 1000	Baixa absorção global, o alongamento da célula é estimulado
>1000	A energia absorvida é convertida em calor

No tomate em particular, o tipo de radiação incidente influencia a síntese de determinados fitoquímicos, nomeadamente o licopeno, hidratos de carbono, vitamina C, entre outros<sup>(37, 40, 45)</sup>. Note-se que, o fitocromo, responsável pela regulação na síntese de licopeno é favorecido por uma radiação mais energética, sintetizando um maior número de moléculas de licopeno, contudo em excesso ocorre a sua inibição<sup>(45)</sup>. Este também atua favoravelmente no aumento do teor de açúcares e vitamina C, daí que nos meses de Verão a qualidade do fruto aumente significativamente<sup>(37, 40)</sup>. Por outro lado, o fotoperíodo influenciará no crescimento da planta e na produção de compostos, que em caso de excesso (superior a 20 horas diárias) provocará clorose<sup>(33, 44)</sup>. Em países nórdicos nos meses de Outono e Inverno, a baixa intensidade de luz e pequeno fotoperíodo são tão prejudiciais para o crescimento da planta, como o seu contrário<sup>(49)</sup>. Em suma, a radiação desempenha um papel decisivo do desenvolvimento da planta, assim como na qualidade do fruto.

### Temperatura e humidade relativa do ar

O metabolismo das plantas e o seu crescimento vegetativo está interdependente da temperatura do ar e da temperatura circundante ao sistema radicular<sup>(33)</sup>. Em virtude disto, a distribuição das moléculas obtidas através da fotoassimilação para os frutos e parte vegetativa será influenciada, e conseqüentemente a taxa de crescimento irá alterar-se<sup>(33)</sup>. O efeito da temperatura do ar nas plantas é alvo de estudo já há alguns anos, originando vários trabalhos científicos nesta área, sendo considerada a gama de temperatura ideal 18,5-26,5°C<sup>(48, 49)</sup>. Caso, este fator ultrapasse quer o limite inferior, quer o limite superior, ocorrerá uma diminuição expressiva na taxa de crescimento, desenvolvimento e produção<sup>(33, 48)</sup>. No tomateiro, as conseqüências mais visíveis são o encurtamento entre nós, a diminuição significativa do porte da planta, assim como a inibição da formação de frutos, retardando a colheita<sup>(48)</sup>. A nível metabólico, os efeitos mais comuns são a inibição da síntese de licopeno e a redução do teor de vitamina C, originando um fruto de menor qualidade<sup>(40, 44)</sup>.

As características do sistema radicular da planta são determinadas por diversos fatores, nomeadamente, o código genético, a estrutura e textura do suporte, assim como o pH, a condutividade elétrica, as condições aeróbias ou anaeróbias e finalmente a temperatura circundante. Destaque-se esta última, que embora menos importante que a temperatura do ar, não deixa de ter um papel significativo na taxa de crescimento, na produtividade e qualidade

do fruto. Como tal, a manutenção da temperatura entre os 20°C e 30°C é considerada por vários autores a ideal para o sistema radicular. A utilização de uma gama diferente de temperaturas poderá diminuir drasticamente a absorção de água, afetando significativamente a fisiologia da planta<sup>(49)</sup>.

Um dos fatores que influencia decisivamente a polinização centra-se na temperatura atmosférica, pois propriedades como a produção de pólen, as suas características e evolução até ao estigma poderão ser comprometidas<sup>(33, 48)</sup>. Vários autores referem que a gama de temperatura ideal para o processo decorrer varia entre os 13°C e 30°C, sendo assim importante a manutenção da temperatura ambiental dentro desta gama<sup>(33, 49)</sup>.

A humidade relativa do ar é outro dos fatores preponderantes para o crescimento das plantas, para o não aparecimento de doenças fúngicas, bem como para a obtenção de uma boa qualidade dos frutos<sup>(33, 48)</sup>. A taxa de humidade relativa do ar ideal para as plantas encontra-se em torno dos 60-70%, onde a capacidade de obter altas taxas de absorção de água e nutrientes é maior<sup>(33, 48)</sup>. Caso ocorram flutuações deste parâmetro, aliadas a variações bruscas de temperatura ou desequilíbrios nutricionais, poderão ocorrer vários distúrbios fisiológicos, variando desde a morte celular até à perda de qualidade do fruto, entre outros<sup>(48)</sup>.

### **3.3. Qualidade do fruto**

Atualmente, na compra de um produto os consumidores têm particular atenção à relação preço/qualidade. A qualidade do tomate é determinada por várias propriedades sensoriais e físicas, variando desde o tamanho, cor, forma, textura, elasticidade, uso ou não de inseticidas e fungicidas, sabor (propriedades organolépticas), aroma e conteúdo nutricional. No entanto, estas propriedades são influenciadas por diversos fatores, tais como: a variedade, as condições ambientais, o método de cultivo (solo, semi-hidropônico, hidropônico), bem como se a maturação ocorre na planta ou fora desta<sup>(37, 45, 50, 51)</sup>. Ao longo destes últimos anos diversas variedades foram selecionadas e cruzadas, com o objetivo de se obter as melhores características, nomeadamente: resistência a stresses bióticos e abióticos, uniformidade, aparência, firmeza e prolongar do período de vida útil<sup>(38)</sup>. A fase de amadurecimento é fundamental para a obtenção de um produto de qualidade. Nesta fase encontra-se envolvidos

vários processos bioquímicos, tais como: degradação do amido e consequente produção de glicose e frutose, degradação da clorofila e síntese de carotenóides ( $\beta$ -caroteno e licopeno), amolecimento e degradação da parede celular (aumentando as pectinas solúveis), síntese de compostos organoléticos e aromáticos, aumento dos teores de ácido cítrico, ácido málico e ácido glutâmico<sup>(51)</sup>.

Nas propriedades organoléticas do tomate, as moléculas com maior influência são os açúcares redutores e ácidos orgânicos, conferindo ao fruto um sabor agridoce, que depende da combinação entre eles (Tabela 10)<sup>(40, 45, 51)</sup>. Os açúcares redutores (frutose e glicose) devem estar com uma concentração entre 1,66 e 4,65% de matéria fresca<sup>(37, 40)</sup>. Os ácidos orgânicos marioritários, o ácido málico e o ácido cítrico (grande influência na acidez) (Figura 6), devem encontrar-se entre 0,50 e 4,6g por 100g de ácido cítrico<sup>(37, 40, 51)</sup>. O ácido isocítrico, o ácido succínico e o ácido quínico contribuem também para a acidez do tomate, embora numa escala mais diminuta<sup>(38)</sup>. O pH será influenciado por estes compostos, devendo variar no tomate entre 4,0 e 4,5<sup>(51)</sup>.

**Tabela 10- Atribuição do sabor ao tomate de acordo com a combinação da acidez e teor de açúcares<sup>(51)</sup>.**

Acidez	Teor de açúcares	Sabor
Elevada	Alta	Bom
Elevada	Baixa	Azedo
Baixa	Alta	Suave
Baixa	Baixa	Sem sabor

A análise ao teor de aminoácidos e pectinas são testes de qualidade passíveis de serem feitos, embora não sejam comuns, nem tão relevantes como os anteriores<sup>(39)</sup>. Os polifenóis e os minerais são outros componentes que aferem a qualidade, essencialmente pelos benefícios que apresentam para a saúde<sup>(38)</sup>.



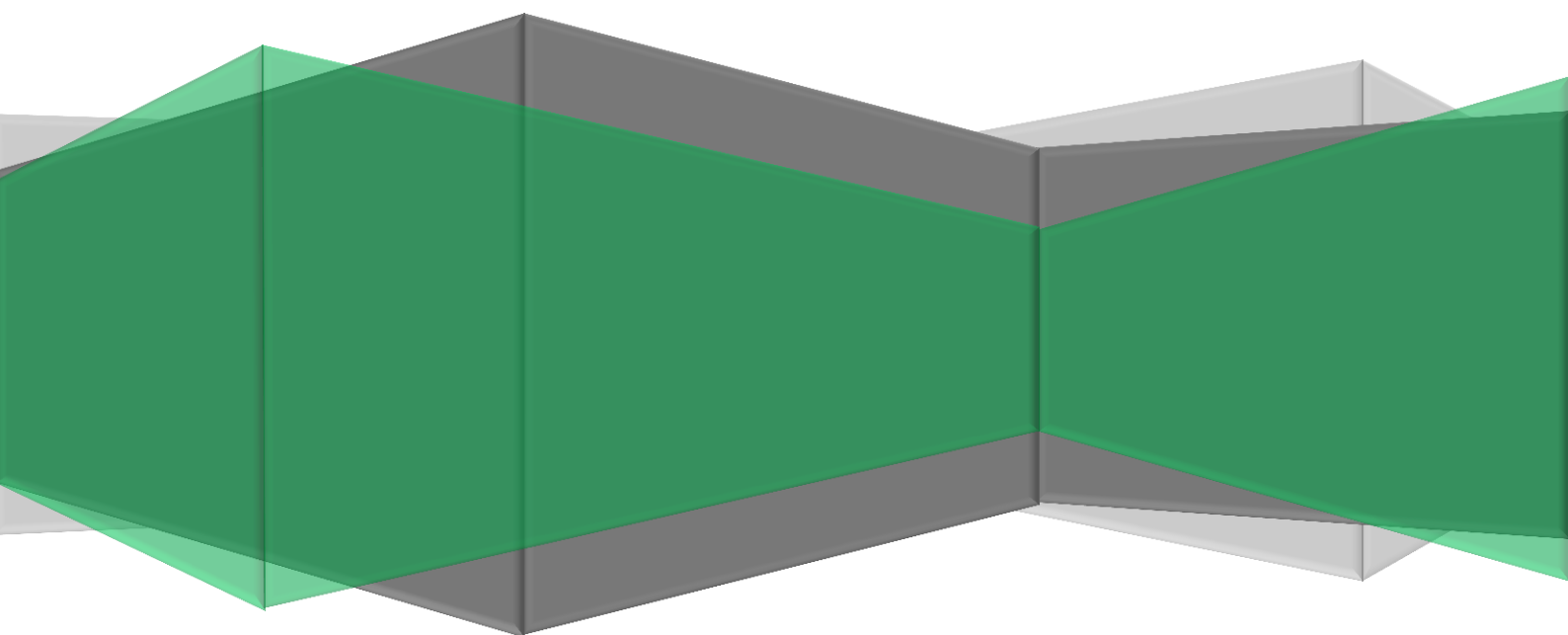
**Figura 6- Estrutura molecular dos ácidos orgânicos maioritariamente encontrados no tomate**

A textura é um elemento importante na qualidade, conferindo a firmeza ao fruto. Um dos fatores nutritivos que mais influencia a textura é a razão azoto/potássio, sendo que um elevado teor de potássio confere uma maior firmeza<sup>(51)</sup>. Como tal é essencial usar o método de cultivo adequado, e adicionar as concentrações de nutrientes corretas, para que ocorra uma absorção que vá de encontro à qualidade exigida.

Quanto ao tamanho e peso do fruto, sabe-se que existe uma correlação com a disponibilidade de água no sistema radicular, daí o sistema de cultivo ter um grande impacto nestas características<sup>(51)</sup>.

A nível de metabolitos secundários, como os carotenóides e compostos fenólicos, existem diversos parâmetros com influência direta na qualidade, tais como: a parte genética, a taxa de crescimento, o método de cultivo (disponibilidade de água e nutrientes) e as condições ambientais (temperatura e luz)<sup>(37, 44, 46)</sup>. Por exemplo, a concentração de licopeno tem tendência a aumentar com a maturação, variando entre 3,5 e 6,9 mg por 100g peso fresco<sup>(37)</sup>.

# **PARTE II – AVALIAÇÃO DO NOVO SISTEMA HIDROPÓNICO NA PRODUÇÃO DO TOMATE**





#### **4. AVALIAÇÃO BIOMÉTRICA DO CRESCIMENTO, PRODUTIVIDADE E ACUMULAÇÃO DE BIOMASSA DO TOMATE CEREJA**

##### **Resumo:**

A hidroponia é uma técnica poderosa na utilização eficiente dos recursos agrícolas, assim como no aumento da produtividade agrícola. Atualmente os sistemas hidropónicos utilizados em plantas de médio porte não são eficientes, tornando-se necessário desenvolver novas soluções. Neste trabalho desenvolveu-se um novo sistema hidropónico (*Deep Large Flow Technique*- DLFT) e avaliou-se o seu impacto no crescimento, produtividade do fruto e acumulação de biomassa na planta de tomate cereja (*Solanum lycopersicum* var. Moscatel RZ). Os resultados obtidos foram comparados com o cultivo tradicional (solo) e semi-hidropónico (com suporte em fibra de coco). Verificou-se que o desenvolvimento das plantas no novo sistema hidropónico foi mais acentuado, principalmente nos primeiros 31 dias, com 3x mais frutos formados. A produção dos frutos manteve-se igual nos cultivos hidropónicos (1,55 kg/por planta), mas no cultivo tradicional foi 4x inferior. O total de biomassa foi significativamente maior no novo sistema hidropónico, destacando-se a maior acumulação de biomassa nas raízes, com acréscimos de 63% e 92% em relação ao sistema semi-hidropónico e tradicional, podendo tornar as plantas mais capazes de captar água e nutrientes. Os resultados obtidos neste estudo demonstram que a utilização do sistema DLFT no cultivo de plantas de médio porte permite ao produtor reduzir os custos, rentabilizar a produção (menor tempo de produção), valorizar a biomassa da planta, mantendo uma produtividade do fruto elevada.

**Palavras chave:** DLFT, tomate cereja, crescimento, produtividade, biomassa

## 4.1. Introdução

Atualmente, o tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.) é um produto de grande valor económico, constituindo uma fonte rica de minerais, vitaminas e antioxidantes, encontrando-se presente na dieta diária de vários países<sup>(40, 41, 45)</sup>. A produção global tem aumentado significativamente ao longo dos últimos anos, sendo em 2011 a produção total estimada de 160 milhões de toneladas<sup>(33, 36, 37)</sup>. O seu consumo global é apenas superado pela batata, destacando-se países como a Líbia, Egipto e Grécia com um volume de 100 Kg/per capita/ano<sup>(35, 50)</sup>. A produção de tomate em modo de cultivo hidropónico é muito comum e antiga<sup>(45)</sup>. O seu cultivo está dependente de diversos fatores bióticos e abióticos que desempenham um papel decisivo no crescimento celular, produtividade e produção de biomassa. Destes salientam-se a luminosidade, a temperatura, a humidade do ar, e a disponibilidade de nutrientes<sup>(33, 48)</sup>. Neste último, fatores como a estrutura e textura do suporte/solo, pH, condutividade elétrica e disponibilidade de oxigénio influenciam a produção e distribuição das moléculas obtidas pelo processo de fotoassimilação<sup>(33, 52)</sup>.

A hidroponia é uma técnica poderosa na utilização eficiente dos recursos agrícolas, nomeadamente o espaço, a água e a nutrição das plantas<sup>(53)</sup>. No entanto, ainda apresenta lacunas no conhecimento, em especial o sistema que utiliza um pequeno filme de nutrientes (*Nutrient Film Technique*- NFT), que pelas suas características apresenta um grande potencial económico. Uma das suas grandes vantagens consiste em depender somente da solução nutritiva, não sofrendo qualquer influência das propriedades químicas e físicas de um substrato ou solo<sup>(8)</sup>. A sua maior desvantagem baseia-se no pouco espaço disponível para o crescimento das raízes, o que influencia a absorção de água e nutrientes, bem como a oxigenação (podendo provocar anoxia), não sendo adequado a plantas de médio porte. A restrição da área da raiz reduz significativamente a área foliar, a altura da planta e a produção de biomassa, como constado por Xu (54), Zekki (55) e Shi (53). Estes autores demonstraram que a produção de biomassa e o índice de produtividade do tomateiro eram menores no sistema NFT com circulação, quando comparado com sistemas semi-hidropónicos<sup>(54, 55)</sup>.

A arquitetura da raiz é um parâmetro essencial para a produtividade e acumulação de biomassa nas culturas<sup>(56)</sup>. A disponibilidade e acessibilidade a água e nutrientes para a parte superior da planta estão diretamente ligados às características do sistema radicular. Assim, surgiu a necessidade de desenvolver um novo sistema de cultivo para plantas de médio porte

com maior espaço disponível para as raízes se desenvolverem e com maior massa de água circundante à raíz que a existente no sistema NFT e no sistema de fluxo profundo (*Deep Flow Technique*- DFT). O aumento significativo do espaço no novo sistema hidropónico, o aumento do volume de solução nutritiva, com o preenchimento com 14% de oxigénio do espaço, são alterações que poderão influenciar decisivamente a morfologia da raíz e conseqüentemente a parte aérea.

O objetivo deste trabalho consistiu em avaliar o impacto do novo sistema hidropónico criado, *Deep Large Flow Technique* (DLFT), no crescimento, na produtividade e na acumulação de biomassa do tomateiro. Para tal utilizou-se os resultados biométricos do crescimento, acumulação de biomassa na planta, e produção de fruto no sistema DLFT, por comparação com o semi-hidropónico e tradicional.

## **4.2. Materiais e métodos**

### **4.2.1. Design do novo sistema hidropónico**

A criação do sistema DLFT baseou-se em duas características fundamentais, o aumento do espaço para as raízes se desenvolverem, e em um aumento do volume de solução nutritiva que circunda as raízes. Para tal, foi construído um suporte exterior em madeira, com o interior preenchido com placas de policarbonato transparentes, e as juntas isoladas com silicone resistente à água (Figura 7). O tanque rectangular (1,50 m de comprimento, 0,30 m de largura, 0,40 m de altura) continha 180 litros de capacidade, sendo este dividido com uma rede fina (malha de 20 mesh) em 5 compartimentos (0,30 m de comprimento, 0,30 m de largura, 0,40 m de altura) com 36 litros de capacidade. No tanque criaram-se dois oríficos, um na parte superior para a entrada da solução nutritiva, e outro na parte inferior do tanque para a saída da solução nutritiva. Também, a parte superior foi coberta com placas de esferovite para isolar a solução nutritiva do interior do tanque com o exterior. Em cada compartimento foram feitos oríficos em placas de esferovite, onde se colocou uma rede de polietileno muito porosa que serviu de suporte para a raíz da planta após o transplante. A parte envolvente ao tanque foi isolada da radiação com folhas de polietileno opaco.

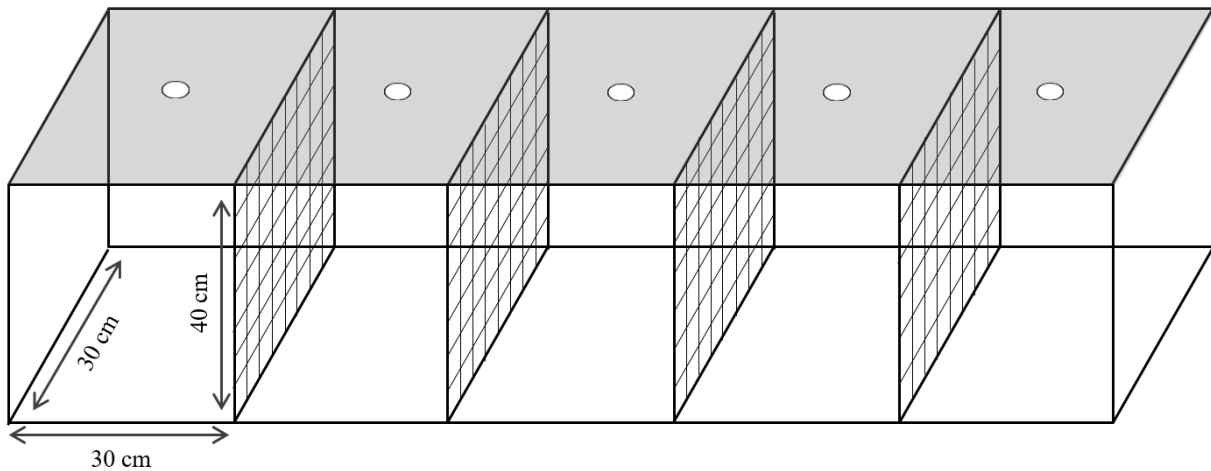


Figura 7- Representação esquemática do sistema DLFT desenvolvido neste estudo.

#### 4.2.2. Condições de cultivo do tomate e design da experiência

A experiência foi conduzida numa estufa retangular (largura 2,54 m, comprimento 4,63 m, altura 2,41 m), localizada em Santo António, no concelho do Funchal, Portugal (latitude 32° 40'N, longitude 16° 55'O, altitude 291 m). O cultivo do tomate nos 3 sistemas decorreu em simultâneo, entre fevereiro de 2014 e julho de 2014. As sementes de tomate cereja (*Solanum lycopersicum* var. Moscatel RZ) foram compradas e plantadas a 16 de fevereiro de 2014, sendo transplantadas no total 15 plantas com crescimento e dimensão uniforme para os três sistemas de cultivo (5 plantas x 3 sistemas) no dia 28 de março de 2014.

As sementes de tomate cereja foram semeadas em cubos contendo terra de turfa (4 x 4 x 4 cm) permanecendo 40 dias em uma estufa de germinação. Após o transplante, as plantas permaneceram nos sistemas durante 120 dias, terminando a experiência (última colheita) a 25 de julho de 2014. A densidade das plantas por m<sup>2</sup> foi de 3,3, sendo uniforme para todos os sistemas durante o período em estudo. A temperatura do ar situou-se nos 26±5 °C no período diurno, e 21±5 °C no período noturno, sendo o oxigénio dissolvido da solução nutritiva entre 9-8 mg/l (Tabela 7). A humidade relativa do ar situou-se entre os 60-75% e com uma intensidade médio-alta de radiação UV. Os brotos laterais da planta foram removidos diariamente e o controlo das pragas incidentes foram efectuados apenas de forma biológica. O sistema de irrigação por gotejamento foi utilizado no sistema semi-hidropónico e tradicional,

sendo que neste último apenas se utilizou água, com uma periodicidade de irrigação 3x por dia em ambos os casos. Foram usados sacos de polietileno com capacidade de 10 litros, tendo sido adicionada terra aos do sistema tradicional, e fibra de coco aos do sistema semi-hidropônico.

Nas plantas do sistema DLFT e semi-hidropônico utilizou-se uma solução nutritiva padrão, sendo esta aplicada nas mesmas condições em cada sistema e, o pH e condutividade elétrica medidos semanalmente. Inicialmente utilizou-se a solução nutritiva de Furlani, e após o aparecimento da primeira fluorescência utilizou-se a solução nutritiva elaborada por Howard Resh (Tabela 11). A solução nutritiva aplicada foi renovada a cada três dias, sendo o pH  $6,40 \pm 0,30$  e a condutividade elétrica de  $2,0 \pm 0,2$  mS/cm. Assim, a renovação da solução no novo sistema hidropônico e semi-hidropônico enquadra estes sistemas, nos “sistemas abertos”.

**Tabela 11- Concentração (ppm) de macronutrientes utilizados nas soluções nutritivas.**

<b>Solução nutritiva</b>	<b>Ca</b>	<b>N</b>	<b>K</b>	<b>P</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>
<b>Furlani</b>	183	216	193	40	40	52
<b>Howard Resh</b>	180	140	352	50	50	168

#### 4.2.3. Determinação dos parâmetros de crescimento

A determinação da evolução biométrica do crescimento foi realizada em 5 plantas dos três diferentes sistemas (total de 15 plantas), tendo sido feito duas determinações, nos primeiros 31 dias e 61 dias após o transplante. Após os 61 dias não foram feitas mais determinações do crescimento, pois a planta tinha atingido o limite máximo de desenvolvimento definido para a experiência (8ª floração), sucendo-se a fase de desenvolvimento das inflorescências e maturação do fruto. Os parâmetros utilizados para avaliar o caule foram: o comprimento, largura máxima e mínima; na parte foliar avaliou-se: o número de folhas e o número máximo de folíolos por folha, comprimento e largura máxima dos folíolos por folha; nas inflorescências foi avaliado: o total destas na planta, assim como, o número de frutos, flores abertas e fechadas (Figura 8).

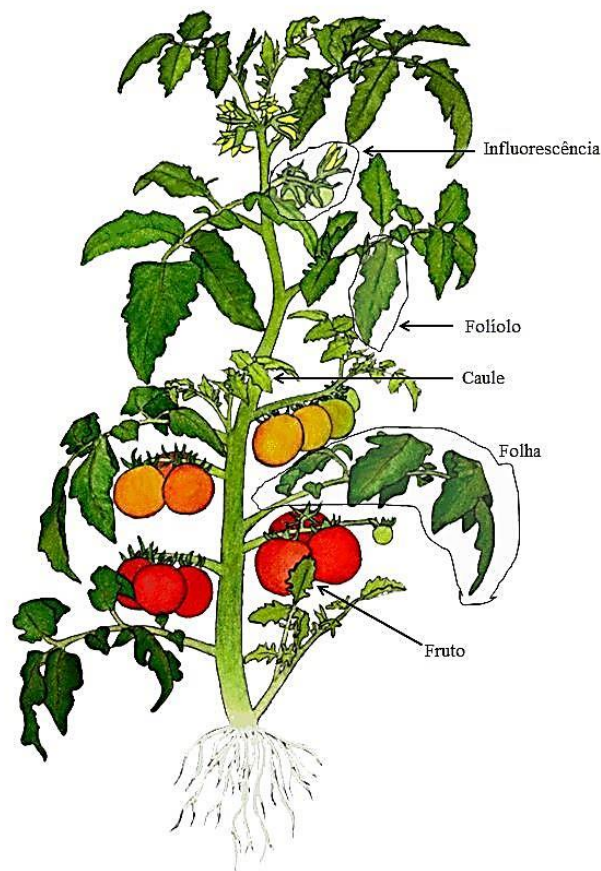


Figura 8- Representação gráfica das várias partes da planta de tomate cereja em estudo

#### 4.2.4. Determinação da produtividade

A colheita do tomate fresco dos vários sistemas foi realizada entre os 107 e 160 dias após a sementeira (2 de junho e 25 de julho de 2014), sempre que atingido o estado de maturação V (laranja-vermelho), de acordo com a escala de maturação descrita por Simestad (57). Após cada colheita, os frutos foram pesados numa balança eletrônica (Sartorius, CP 2202 S,  $\pm 0,01g$ ), sendo retirados na mesma altura os dados relativos ao diâmetro vertical e horizontal, para posterior determinação da produtividade comercializável (diâmetro vertical  $\geq 2,5cm$ , e horizontal  $\geq 3cm$ ), não comercializável (inferior aos diâmetros do comercial) e total (todos os diâmetros) através do seu peso. A determinação da produtividade teve em conta o limite máximo da experiência de 8 florações por planta, sendo também contabilizado o número de frutos por planta em cada sistema e o seu peso médio. Os dados relativos ao peso

foram expressos em gramas por planta. A produtividade foi calculada através do somatório do peso de todos os frutos colhidos numa planta.

#### 4.2.5. Determinação da acumulação de biomassa e medições finais

A experiência foi conduzida durante 160 dias, sendo contabilizado apenas a biomassa produzida pela planta até ao limite máximo de crescimento da experiência, 8ª floração. Após os 160 dias foi medido o comprimento, a largura do caule, e o comprimento das inflorescências para as medições finais. Os vários órgãos da planta (raízes, folhas e caule) foram colhidos e as folhas que secaram durante o cultivo foram integradas na biomassa das folhas. No sistema semi-hidropônico e tradicional, as raízes foram separadas da fibra de coco e da terra, respetivamente, com o auxílio de um peneiro automático. Para a determinação da biomassa em cada sistema colocou-se as várias partes da planta a secar no forno durante 48h a 72°C, como descrito por Roosta (58). Após a sua pesagem determinou-se o peso seco das raízes, do caule, das folhas e o total de biomassa em cada planta, sendo o peso expresso em gramas.

#### 4.2.6. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) e as diferenças entre as médias foram comparadas através do teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) com o programa IBM SPSS Statistics 23. Os valores obtidos para cada um dos parâmetros correspondem à média de 5 réplicas para o crescimento, produtividade e acumulação de biomassa.

### **4.3. Resultados e discussão**

#### **4.3.1. Evolução do crescimento**

A Tabela 12 resume os resultados obtidos na evolução biométrica das plantas após 31 e 61 dias após o transplante. O crescimento dos tomateiros nos vários sistemas demonstraram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre estes, quer no caule, quer na parte foliar. Verificou-se que as plantas cultivadas no sistema DLFT obtiveram um maior crescimento global, com um comprimento do caule 15 e 30% superior às plantas do sistema semi-hidropónio e tradicional, respetivamente. Na parte foliar evidenciou-se um número idêntico de folhas nos sistemas hidropónicos, sendo cerca de 30% inferior no sistema com solo. Para ambos os parâmetros, comprimento e largura máxima dos folíolos, observou-se um acréscimo de 20% nas plantas do sistema DLFT em relação às plantas do sistema semi-hidropónico, e de 57% comparativamente às plantas do sistema tradicional.

**Tabela 12- Evolução biométrica em três secções distintas da planta, após o transplante.**

	DLFT		Semi-hidropônico		Tradicional	
	31 dias	61 dias	31 dias	61 dias	31 dias	61 dias
<i>Caule</i>						
<b>Comprimento (cm)</b>	118 ± 4,0 <sup>a</sup>	218 ± 6,9 <sup>a</sup>	100 ± 3,2 <sup>b</sup>	187 ± 5,8 <sup>b</sup>	80,0 ± 5,6 <sup>c</sup>	158 ± 7,4 <sup>c</sup>
<b>Largura mínima (cm)</b>	0,68 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,50 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,68 ± 0,1 <sup>a</sup>	0,40 ± 0,0 <sup>b</sup>	0,26 ± 0,1 <sup>b</sup>	0,28 ± 0,0 <sup>c</sup>
<b>Largura máxima (cm)</b>	2,24 ± 0,5 <sup>a</sup>	2,80 ± 0,2 <sup>a</sup>	1,80 ± 0,1 <sup>a</sup>	2,60 ± 0,2 <sup>a</sup>	0,70 ± 0,2 <sup>b</sup>	1,14 ± 0,2 <sup>b</sup>
<i>Parte foliar</i>						
<b>Nº de folhas</b>	14,8 ± 0,8 <sup>a</sup>	29,4 ± 0,3 <sup>a</sup>	12,5 ± 0,6 <sup>b</sup>	27,8 ± 0,5 <sup>a</sup>	10,0 ± 1,1 <sup>c</sup>	21,2 ± 1,1 <sup>b</sup>
<b>Nº de folíolos máximo (por folha)</b>	18,6 ± 0,7 <sup>a</sup>	18,8 ± 0,8 <sup>a</sup>	15,3 ± 1,4 <sup>b</sup>	16,3 ± 1,0 <sup>b</sup>	9,80 ± 1,2 <sup>c</sup>	12,4 ± 0,9 <sup>c</sup>
<b>Comprimento máximo folíolos (cm)</b>	15,3 ± 1,0 <sup>a</sup>	20,3 ± 1,1 <sup>a</sup>	15,6 ± 0,5 <sup>a</sup>	16,0 ± 1,4 <sup>b</sup>	6,50 ± 1,3 <sup>b</sup>	9,00 ± 0,6 <sup>c</sup>
<b>Largura máxima folíolos (cm)</b>	8,70 ± 0,7 <sup>a</sup>	12,8 ± 0,3 <sup>a</sup>	9,88 ± 0,9 <sup>a</sup>	10,4 ± 1,1 <sup>b</sup>	4,10 ± 0,9 <sup>b</sup>	5,60 ± 0,4 <sup>c</sup>
<i>Inflorescências</i>						
<b>Nº de inflorescências</b>	5,00 ± 0,0 <sup>a</sup>	9,80 ± 0,4 <sup>a</sup>	4,80 ± 0,4 <sup>a</sup>	8,80 ± 0,5 <sup>a</sup>	3,20 ± 0,4 <sup>b</sup>	6,40 ± 0,5 <sup>b</sup>
<b>Nº de flores fechadas</b>	46,0 ± 2,7 <sup>a</sup>	47,7 ± 12,0 <sup>a</sup>	48,3 ± 2,9 <sup>a</sup>	58,7 ± 4,5 <sup>a</sup>	13,7 ± 1,5 <sup>b</sup>	28,7 ± 2,1 <sup>b</sup>
<b>Nº de flores abertas</b>	18,3 ± 1,2 <sup>a</sup>	36,7 ± 7,6 <sup>a</sup>	12,3 ± 2,1 <sup>b</sup>	21,3 ± 5,8 <sup>b</sup>	11,0 ± 1,0 <sup>b</sup>	14,7 ± 1,5 <sup>b</sup>
<b>Nº de frutos</b>	13,7 ± 1,2 <sup>a</sup>	109 ± 0,6 <sup>a</sup>	6,33 ± 0,6 <sup>b</sup>	90,7 ± 10,1 <sup>b</sup>	5,10 ± 1,0 <sup>b</sup>	38,3 ± 3,2 <sup>c</sup>
<b>Total</b>	78,0 ± 2,7 <sup>a</sup>	194 ± 10,0 <sup>a</sup>	67,0 ± 1,7 <sup>b</sup>	171 ± 3,1 <sup>b</sup>	29,7 ± 1,5 <sup>c</sup>	81,7 ± 5,7 <sup>c</sup>

Os valores representam a média de cinco réplicas ± desvio padrão;

A média seguida por diferentes letras na mesma linha e nos mesmos dias representa que são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ )

Na Figura 9 encontra-se representado o processo evolutivo do fruto aos 31 dias, onde é possível observar que as plantas no sistema DLFT formaram aproximadamente o triplo dos frutos, quando comparados com as plantas dos sistemas semi-hidropônico e tradicional. Também, o número de flores abertas foi maior nas plantas do sistema DLFT, porém o número de flores fechadas foi ligeiramente inferior às obtidas nas plantas do sistema semi-hidropônico. Aos 61 dias de desenvolvimento (Figura 10) os resultados indicam a mesma tendência dos primeiros 31 dias nos vários sistemas, acentuando-se as diferenças apenas na parte inicial do desenvolvimento frutícola. Neste período as plantas do sistema DLFT apresentaram igual número de flores abertas e fechadas, enquanto que as plantas dos restantes sistemas apresentaram 2x mais flores fechadas. Este comportamento demonstra um avanço no desenvolvimento do fruto cultivado através do novo sistema hidropônico.

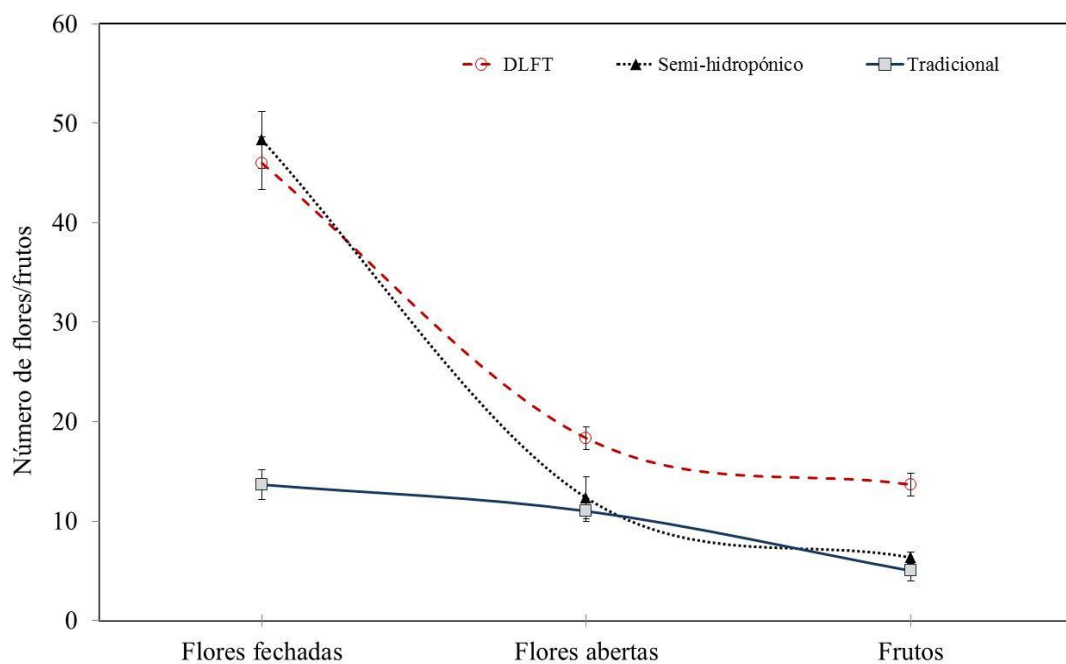
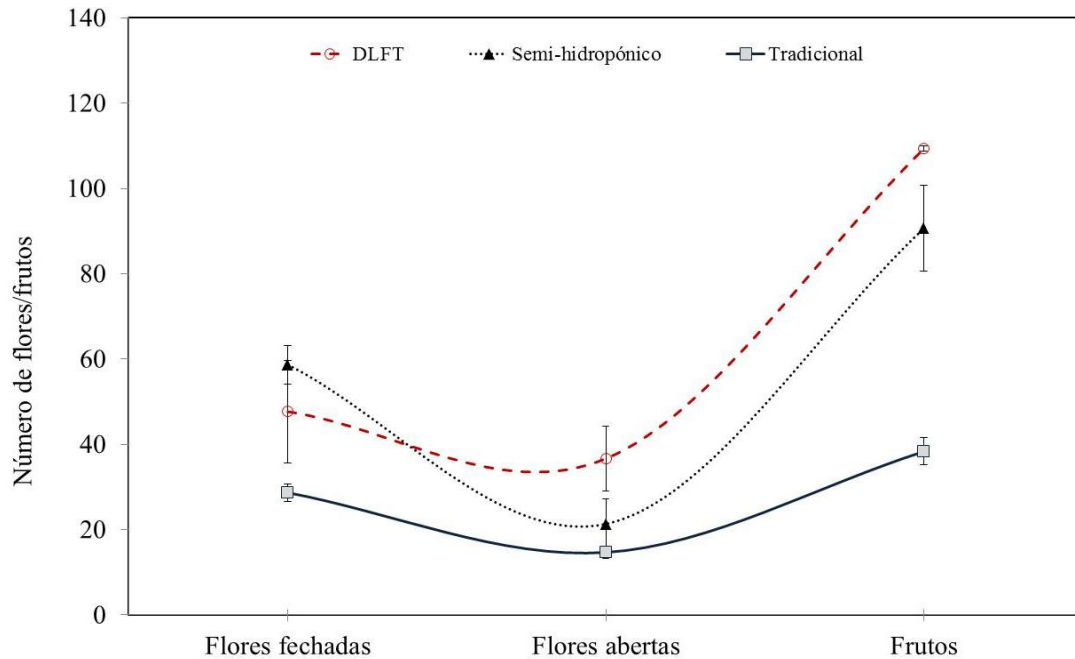


Figura 9- Processo evolutivo da formação do fruto na planta produzida em cada sistema de cultivo, após 31 dias.



**Figura 10-** Processo evolutivo da formação do fruto na planta produzida em cada sistema de cultivo, após 61 dias.

Os resultados obtidos para o crescimento da planta e desenvolvimento do tomate cereja demonstram que o sistema DLFT proporcionou um crescimento significativamente maior para as plantas e frutos, tendo a diferença tendência a aumentar com o tempo. Isto poderá advir da maior absorção de nutrientes e água por parte das plantas cultivadas no novo sistema de hidroponia pura. Ao nível económico, estes são dados relevantes para a diminuição de custos e aumento da rentabilidade de um empresário agrícola.

De acordo com os resultados obtidos nas plantas do sistema semi-hidropónico verificou-se que o suporte influencia negativamente o desenvolvimento da planta e do fruto. A menor área de contacto da raiz com a solução, a acumulação de sais e a não total retenção da água poderão ser as razões para tais resultados. As plantas que se desenvolveram no sistema com solo apresentaram valores mais baixos para o crescimento, com um desenvolvimento muito lento quer do caule, quer da parte foliar, quer do fruto. Isto poderá explicar-se através das propriedades físicas (textura e compactação) e químicas do solo, uma vez que condicionam a absorção de nutrientes e água a partir do solo<sup>(25, 52, 63)</sup>.

### 4.3.2. Produtividade e acumulação de biomassa

A Tabela 13 resume os resultados obtidos neste estudo em termos de produtividade. Observa-se que a produtividade, o número de frutos por planta e o peso médio do fruto são iguais em ambos os sistemas hidropónicos, sendo estatisticamente diferentes ( $p < 0,05$ ) para o sistema tradicional. Este apresenta um número de frutos por planta 2,5 vezes inferior, que aliado ao baixo peso do fruto origina uma produtividade 4 vezes inferior, como se pode observar na Figura 11. Sangtarashani (59) e Krauss (60) constataram que o aumento da salinidade reduz a produtividade do tomateiro. Também, Sibomana (61) verificou que este fator um impacto negativo na produtividade. Assim, esta poderá ser uma das razões que explica a baixa produtividade das plantas cultivadas no sistema tradicional.

**Tabela 13- Produtividade por planta nos três sistemas de cultivo em estudo.**

	<b>DLFT</b>	<b>Semi-hidropónico</b>	<b>Tradicional</b>
<b>Nº de frutos</b>	157 ± 38 <sup>a</sup>	167 ± 23 <sup>a</sup>	63 ± 12 <sup>b</sup>
<b>Peso médio do fruto (g)</b>	13,8 ± 1,8 <sup>a</sup>	13,4 ± 2,3 <sup>a</sup>	9,1 ± 2,3 <sup>b</sup>
<i>Produtividade</i>			
<b>Comercializável (g)</b>	1527 ± 282 <sup>a</sup>	1577 ± 569 <sup>a</sup>	292,7 ± 232 <sup>b</sup>
<b>Não Comercializável (g)</b>	607 ± 169 <sup>a</sup>	663 ± 44 <sup>a</sup>	294 ± 68 <sup>b</sup>
<b>Total (g)</b>	2135 ± 363 <sup>a</sup>	2240 ± 559 <sup>a</sup>	587 ± 250 <sup>b</sup>

Os valores representam a média de cinco réplicas ± desvio padrão;

A média seguida por diferentes letras na mesma linha representa que são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

A acumulação de biomassa foi superior nas plantas do sistema DLFT, quando comparado com a biomassa registada nos sistemas semi-hidropónico (20% inferior) e tradicional (87% inferior) (Tabela 14). No sistema semi-hidropónico a grande diferença ocorreu na biomassa obtida a partir das raízes (63% inferior), indicando que a dimensão e capacidade de absorção do sistema radicular das plantas deste sistema são inferiores às do sistema DLFT. No sistema tradicional verificou-se que a acumulação de biomassa nas folhas, caule e raízes foi muito inferior, tendo menos 88%, 83% e 92% que as plantas do sistema DLFT. Nahar (62) e Lovelli (63) demonstraram que o aumento do stress hídrico e salino provoca uma menor acumulação de biomassa na planta, podendo ser esta uma explicação

possível para os resultados. A carência de azoto e a menor absorção de magnésio poderão ser outras possíveis razões, pois Bot (64) e Hao (65) verificaram o seu impacto negativo na produção de biomassa.

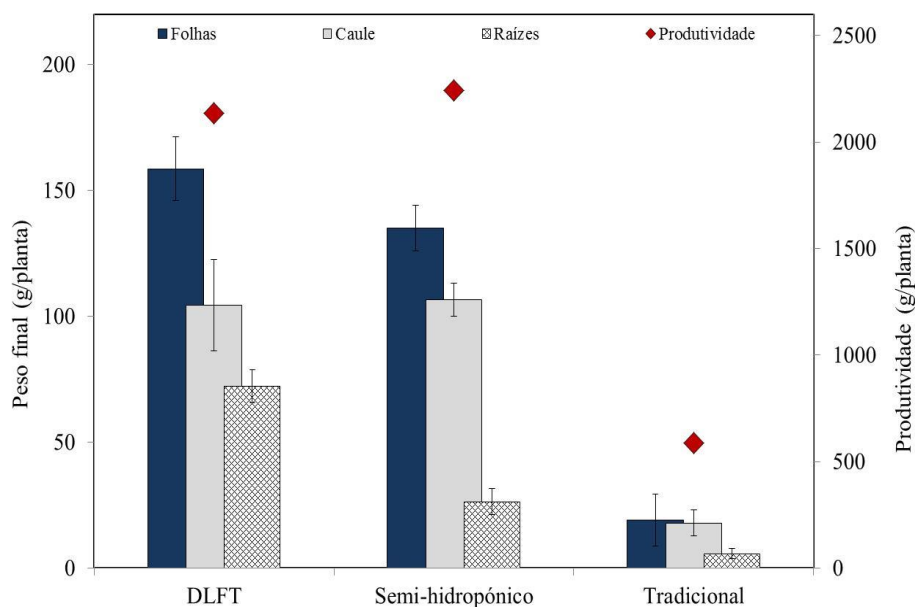


Figura 11- Acumulação de biomassa de três secções distinta da planta, versus a produtividade.

Tabela 14- Acumulação de biomassa em cada parte da planta e medições finais do caule e inflorescências.

	DLFT	Semi-hidropônico	Tradicional
<i>Peso final</i>			
<b>Folhas (g)</b>	159 ± 13 <sup>a</sup>	135 ± 9,1 <sup>b</sup>	19,2 ± 10 <sup>c</sup>
<b>Caule (g)</b>	104 ± 18 <sup>a</sup>	107 ± 6,6 <sup>a</sup>	17,8 ± 5,2 <sup>b</sup>
<b>Raízes (g)</b>	72,1 ± 6,6 <sup>a</sup>	26,4 ± 5,2 <sup>b</sup>	5,77 ± 2,1 <sup>c</sup>
<b>Total (g)</b>	335 ± 30 <sup>a</sup>	268 ± 23 <sup>b</sup>	42,8 ± 13 <sup>c</sup>
<i>Medições finais</i>			
<b>Largura caule (cm)</b>	3,02 ± 0,1 <sup>a</sup>	2,74 ± 0,2 <sup>b</sup>	1,29 ± 0,1 <sup>c</sup>
<b>Comprimento caule (cm)</b>	224 ± 37 <sup>a</sup>	194 ± 13 <sup>a</sup>	191 ± 16 <sup>a</sup>
<b>Comprimento inflorescências (cm)</b>	49,5 ± 9,3 <sup>a</sup>	43,5 ± 6,5 <sup>a</sup>	16,7 ± 3,8 <sup>b</sup>

Os valores representam a média de cinco réplicas ± desvio padrão;

A média seguida por diferentes letras na mesma linha representa que são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

A menor acumulação de biomassa nas plantas do sistema semi-hidropónico e a igual produtividade ao sistema DLFT (Figura 11) foi um dos resultados com maior relevância neste trabalho. Isto poderá indicar que nas condições aplicadas o produto principal da fotossíntese (hidratos de carbono) foi direcionado maioritariamente para o fruto no sistema semi-hidropónico, ao invés do sistema DLFT, onde a maior acumulação de biomassa parece evidenciar um excesso de produção de hidratos de carbono. Assim, a produtividade no sistema DLFT mantém-se equivalente ao sistema semi-hidropónico, no entanto a biomassa produzida pelo novo sistema será superior.

Ao nível comercial, o diâmetro e a aparência do fruto são fatores preponderantes para o consumidor, tendo grande influência no lucro do produtor. Através dos resultados apresentados na Tabela 13, observa-se que cerca de 70% do produto dos sistemas hidropónicos é comercializável, e apenas 50% da produção do sistema tradicional poderá ter esse destino (Figura 12). Tendo em conta que a produtividade também é menor, verifica-se que o lucro por colheita em cada planta seria 5 vezes inferior no sistema tradicional. Assim, um produtor que utilize este sistema tem que tomar uma especial atenção às características físicas e químicas do solo, sendo que mesmo utilizando terrenos férteis, a produtividade será igual ou inferior à obtida nos sistemas hidropónicos. Pelo contrário, atendendo a que os sistemas hidropónicos podem utilizar qualquer tipo de terreno, o valor gasto neste seria bem inferior, não acarretando custos de manutenção do solo<sup>(2)</sup>.

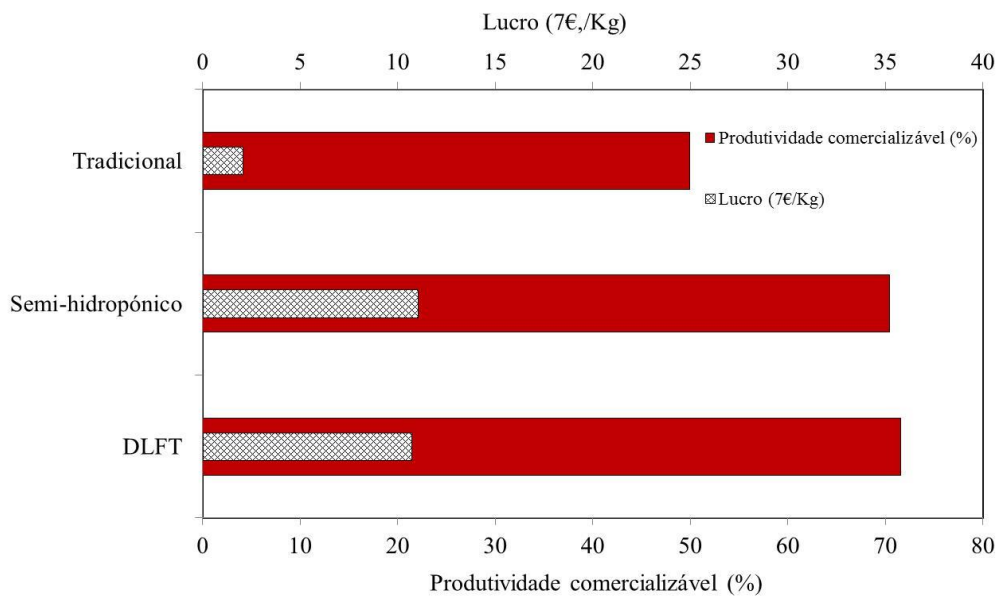


Figura 12- Produtividade comercializável (%) e lucro (7€/Kg) de cada sistema de cultivo, por planta. O preço aplicado por Kg baseou-se no preço de venda ao consumidor aplicado por grandes cadeias de supermercados nacionais em 2014.

#### 4.4. Conclusão

O presente estudo demonstrou que a utilização do novo sistema hidropónico aumenta o crescimento da planta e desenvolvimento do fruto, permitindo ao produtor reduzir os custos e rentabilizar a produção (menor tempo de produção). Também, o aumento significativo na produção de biomassa das plantas cultivadas com o sistema DLFT, mantendo uma elevada produtividade do fruto é outra vantagem deste sistema. Assim, o novo sistema hidropónico apresenta-se como uma ferramenta interessante para o cultivo de plantas de médio porte, em particular plantas onde a composição bioquímica da biomassa apresenta um valor comercial elevado.



## 5. IMPACTO DO NOVO SISTEMA HIDROPÓNICO NAS PROPRIEDADES ORGANOLÉTICAS DO TOMATE CEREJA

### Resumo:

A hidroponia é uma técnica eficiente na utilização dos recursos agrícolas, permitindo aumentar quer a produtividade, quer a qualidade do fruto. Os sistemas hidropónicos utilizados atualmente em plantas de médio porte não são os mais eficientes na obtenção de um fruto de qualidade, sendo este um parâmetro a explorar. Neste trabalho estudou-se o impacto de um novo sistema hidropónico (*Deep Large Flow Technique*- DLFT) nas propriedades organoléticas do tomate cereja (*Solanum lycopersicum* var. Moscatel RZ), comparando-o com os sistemas semi-hidropónico (suporte com fibra de coco) tradicional (solo). Também, foi inferido o impacto dos fatores abióticos subjacentes aos sistemas, utilizando os teores de carotenóides, polifenóis e ácidos gordos para tal. A qualidade do tomate revelou-se melhor para o sistema DLFT, com uma razão de monossacarídeos/acidez de 6,6 mg/g. O total de polifenóis e o teor de licopeno no sistema tradicional foram superiores aos das culturas hidropónicas, enquanto que o teor total de ácidos gordos do novo sistema foi cerca de 40% superior aos outros sistemas. No perfil de polifenóis destacam-se os flavonóides, onde os frutos cultivados com o sistema DLFT apresentaram teores inferiores em 40% e 10% ao sistema tradicional e semi-hidropónico, respetivamente. Através dos resultados obtidos verificou-se que o uso do sistema DLFT para a produção de plantas com médio porte aumenta a qualidade do fruto, sendo consequência das alterações feitas aos sistemas de cultivo atuais. Também, os teores de carotenóides, ácidos gordos e polifenóis poderão indicar que as plantas do sistema DLFT estiveram menos sujeitas a stresses abióticos (hídrico, salino, radiação).

**Palavras-chave:** DLFT, tomate cereja, análise nutricional, polifenóis, ácidos gordos, stress abiótico

## 5.1. Introdução

Atualmente o consumo mundial de tomate (*Solanum lycopersicum*) é apenas superado pela batata, destacando-se países como a Líbia, Egito e Grécia, com um volume de consumo na ordem dos 100 Kg/ per capita/ ano<sup>(35, 50)</sup>. Vários trabalhos têm mostrado que a introdução de tomate fresco na dieta humana previne o aparecimento de várias doenças, nomeadamente alguns tipos de cancro, pois o elevado teor de antioxidantes atua eficazmente na inibição ou estimulação de diversas vias metabólicas e metabolitos<sup>(66, 67)</sup>. Vários efeitos têm sido descritos, como a estimulação da resposta imune no organismo humano, a indução da supressão de genes, o bloqueio da degradação oxidativa do DNA, a desintoxicação de substâncias cancerígenas, inibição da proliferação celular, iniciação de vias sinalizadoras e redução da lesão na válvula aórtica<sup>(66, 67)</sup>. No tomate cereja estes efeitos ainda são mais evidentes, pois são caracterizados pelos seus elevados níveis de antioxidantes, tais como a vitamina C, tocoferóis, polifenóis e carotenóides<sup>(66)</sup>.

Os carotenóides são uma componente essencial na dieta, desempenhando várias funções biológicas devido às suas propriedades antioxidantes<sup>(68)</sup>. No tomate, o licopeno é o carotenóide mais abundante (80 a 90%) na fase madura, no entanto o  $\beta$ -caroteno (2 a 10%), o  $\alpha$ -caroteno, fitoeno e fitoflueno (7 a 10%) são outros carotenóides com relevância<sup>(66, 69-71)</sup>. Nas plantas, são precursores de várias fitohormonas conhecidas (ácido abscísico e estrigolactonas), encontrando-se também na origem de vários compostos aromáticos voláteis nas plantas, bem como, agindo na fotoproteção dos tecidos vegetais<sup>(57, 68)</sup>.

O tomate também tem sido referido por vários autores como uma importante fonte de compostos fenólicos para o organismo humano, por conter ácidos fenólicos, flavonóides, entre outros, que promovem a saúde humana devido às enormes propriedades biológicas inerentes (antioxidantes, anti-tumorais, anti-inflamatórias, anti-microbianas, entre outras)<sup>(66, 72-74)</sup>. Saliente-se que, a via do ácido chiquímico encontra-se na base da formação da maioria dos compostos fenólicos naturais, tendo como precursores fundamentais dois aminoácidos, a fenilalanina e a tirosina<sup>(72)</sup>. Dos compostos fenólicos presentes no tomate destacam-se a classe dos flavonóides, que são responsáveis pela cor, sabor, amargura, adstringência, odor, e proteção das vitaminas e enzimas presentes no fruto<sup>(73, 75)</sup>. Também são capazes de modular a resposta a stresses nas plantas, controlando o processo de transporte de auxinas (hormonas vegetais de crescimento)<sup>(76)</sup>. Tal como o licopeno, esta classe de compostos encontra-se

majoritariamente na pele do tomate, pois são muito eficazes na dissipação do excesso de luz ou energia absorvida pela célula, protegendo os fotossistemas presentes<sup>(60, 66, 73, 77-79)</sup>. Hoje em dia são um grupo de compostos muito investigados, que ao serem naturais e não apresentarem efeitos adversos permitem uma vasta gama de aplicações, não só na agricultura, mas também na medicina, cosmética e farmacologia<sup>(76)</sup>.

Os ácidos gordos são macromoléculas essenciais em todos os organismos vivos, que além de constituírem-se como a principal fonte de energia de reserva, também são componentes essenciais das membranas celulares<sup>(80)</sup>. Nas plantas, outra das suas funções é modular uma enorme variedade de respostas a stresses bióticos e abióticos<sup>(80)</sup>. O ácido linolénico e o ácido jasmónico (derivado de ácidos gordos) são exemplos disso, sendo que o primeiro para além de modular a produção de espécies reativas de oxigénio (ROS), também encontra-se envolvido em modificações de proteínas na adaptação à temperatura<sup>(80)</sup>. Outro aspeto que importa realçar na síntese de ácidos gordos centra-se nas moléculas requeridas neste processo metabólico, nomeadamente a acetil-Coenzima A, NADH, NADPH e o ATP<sup>(81)</sup>. Os dois últimos poderão ter origem nos cloroplastos, a partir de energia luminosa ou através do processo de glicólise (gerador de ATP), no citoplasma<sup>(81)</sup>.

As propriedades organoléticas do tomate são influenciadas por diversos fatores, tais como: a variedade, as condições ambientais, o método de cultivo (solo, semi-hidropónico, hidropónico), entre outros<sup>(37, 45, 50, 51)</sup>. O método de cultivo influencia bastante a disponibilidade de água e nutrientes para planta, assim como as propriedades organoléticas do fruto,. Atualmente estas propriedades ainda são inferiores nos frutos cultivados com sistemas hidropónicos, quando comparado aos frutos do sistema tradicional. Assim, surgiu a necessidade da elaboração de um novo sistema de cultivo para plantas de médio porte com maior espaço disponível para as raízes se desenvolverem e com maior quantidade de água circundante à raíz que a existente no sistema com um pequeno filme de nutrientes (*Nutrient Film Technique- NFT*) e ao sistema de fluxo profundo (*Deep Flow Technique- DFT*). O aumento significativo do espaço no novo sistema hidropónico, o aumento do volume de solução nutritiva, juntamente com a maior quantidade de oxigénio disponível, são alterações que poderão influenciar decisivamente a morfologia da raíz e aumentar a qualidade do fruto.

O objetivo deste trabalho consistiu em avaliar o impacto do novo sistema hidropónico, *Deep Large Flow Technique (DLFT)*, na qualidade do fruto, dado que permite um aumento do

volume de solução nutritiva e do espaço para as raízes se desenvolverem. Outro dos objetivos foi inferir a intensidade de alguns stresses subjacentes ao sistema DLFT, utilizando como termo de comparação um sistema semi-hidropónico por gotejamento (suporte com fibra de coco) e um sistema tradicional (solo). Os parâmetros utilizados para inferi-los foram os carotenóides, os ácidos gordos e os polifenóis.

## **5.2. Materiais e métodos**

### **5.2.1. Amostras**

Os frutos de tomate cereja foram colhidos entre os 107 e 160 dias após o início da experiência, com um estado de maturação comparável ao estágio V (laranja-vermelho) da escala descrita por Slimestad (57). As condições de cultivo do tomate cereja e as características do sistema DLFT encontram-se descritas no capítulo 4. Para a determinação dos parâmetros químicos nas amostras de tomate, foram retirados aleatoriamente 5 tomates de cada planta, contabilizado um total de 25 tomates por sistema de cultivo. As amostras foram trituradas e homogeneizadas, retirando-se uma parte da amostra para liofilização, e o restante armazenou-se a -20°C para as análises do material fresco (PF). Após a liofilização, triturou-se o resíduo seco de forma a ficar homogéneo. A humidade residual foi determinada numa balança de humidades Gibertini Eurotherm para correção das amostras relativas ao resíduo seco.

### **5.2.2. Reagentes**

Todos os produtos químicos usados continham grau analítico. O heptano, etanol (99%), metanol, ácido sulfúrico e o sulfato de sódio anidro foram fornecidos pela Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA), o hexano e o reagente de Folin–Ciocalteu foram adquiridos na Fluka (St. Louis, MO, USA), o hidróxido de sódio, metanol (HPLC) e o di-hidrogénio fosfato de amónia (98,0%) foram comprados na Panreac Química S.A. (Barcelona, Spain), a acetona, acetato de etilo, amoníaco, borohidreto de sódio, 1-metilimidazol e carbonato de sódio foram adquiridos

na Merck (Darmstadt, Germany), o cloróformio, cloreto de potássio e diclorometano foram comprados na VWR (Carnaxide, Portugal), o ácido acético glacial e anidrido acético foram fornecidos pela Riedel-de Haën (St. Louis, MO, USA), o hidroxitolueno butilado foi comprado na SAFC (St. Louis, MO, USA), o acetonitrilo (HPLC) foi adquirido na Fisher Scientific (Loughborough, UK) e o ácido fosfórico na Acros Organics (Geel, Belgium). Os eluentes usados no HPLC foram previamente filtrados em filtros membranares da Pall (0,20 mm, Ann Arbor, MI, USA) e a água ultra-pura (18 MΩ) utilizada no HPLC foi obtida através de um aparelho de água ultra-pura da Millipore (Milford, MA, USA).

### 5.2.3. Análises Nutricionais

A acidez titulável foi calculada de acordo com Sato (82). De forma geral, filtrou-se o sumo do fruto, retirou-se 10 mL de sobrenadante e titulou-se com 0,1N hidróxido de sódio até atingir um pH de 8,1. Através da quantidade de hidróxido de sódio (T, mL) adicionado calculou-se a acidez titulável (Eq.1), expressa em mg de ácido cítrico por 100 ml de amostra (mg AC/100ml):

$$A.T.= T \times 6,4 \times 100/10 \quad \text{Eq.1}$$

A determinação de cinzas das amostras previamente liofilizadas foi realizada numa mufla por incineração, com um programa de temperaturas definido por Andrikopoulos (83). O programa teve início à temperatura ambiente, aumentando 15 °C/min até atingir os 265 °C, permanecendo 15 min nesta temperatura. Posteriormente elevou-se a temperatura até atingir os 550°C, ficando contante ao longo de 4h.

O pH foi determinado a uma temperatura de 25°C, usando um HI 2209 pH Meter. O conteúdo de água foi determinado de acordo com Kalogeropoulos (74), sendo colocado o tomate fresco no forno a uma temperatura de 103°C, até atingir um peso constante. O teor de azoto nos tomates foi determinado através do analisador elementar Truspec 630-200-200 e o teor de proteína foi calculado multiplicando o teor de azoto por 6,25<sup>(84)</sup>. O total de hidratos de carbono foi calculado pela diferença das cinzas, proteína e lipídeos<sup>(85)</sup>. O valor energético foi determinado de acordo com a equação 2.

$$\text{Valor energético (kcal/100g)} = 4 \times [(\%) \text{hidratos de carbono} + (\%) \text{proteína}] + 9 \times [(\%) \text{lipídeos}] \quad \text{Eq.2}$$

#### 5.2.4. Determinação do teor lipídico

A determinação do teor lipídico foi feita de acordo com Bligh (86), com algumas modificações. Brevemente, pesou-se cerca de 100 mg de amostra liofilizada e adicionou-se 3 ml de uma solução com metanol/clorofórmio/BHT (2:1:0,01%). Após agitação no vortex juntou-se 400 µl de solução saturada de cloreto de potássio e agitou-se novamente. De seguida, adicionou-se 2 ml de clorofórmio e 2 ml de água destilada, com nova agitação no vortex, sendo colocada a agitar numa placa de agitação durante 20 minutos, com auxílio de uma barra magnética. Após agitação, procedeu-se à recolha da fase orgânica com uma pipeta de Pasteur para um tubo previamente pesado, passando num funil com sulfato de sódio anidro e algodão. De seguida efectuou-se uma lavagem com 2 ml de cloróformio, sendo este processo repetido três vezes. O solvente foi removido com o auxílio de um evaporador rotativo, a 40°C. O teor lipídico foi definido gravimetricamente após secagem no excicador. Armazenou-se a -20°C para subsequente análise. Os resultados foram expressos em percentagem de resíduo seco.

#### 5.2.5. Determinação do perfil de ácidos gordos

A composição de ácidos gordos foi analisada a partir dos extratos lipídicos de cada sistema, com a conversão dos ácidos gordos em ésteres metílicos (FAMES), previamente descrito por Lepage (87), e modificado por Cohen (88). Resumidamente, os ácidos gordos foram convertidos em FAMES por adição de uma mistura de acetato de etilo/ metanol (1:19 v/v) em aliquotas contendo os extratos lipídicos, sendo posteriormente submetidos a 80°C durante 1 h. Os FAMES foram analisados por cromatografia em fase gasosa (Agilent HP 6890) equipado com um detector seletivo de massa (Agilent 5973) e uma coluna capilar DB-225 J&W (30 m x 0,25 mm de diâmetro interno, espessura 0,15 µm de espessura) da Agilent. As condições cromatográficas foram as seguintes: temperatura inicial, a 35°C durante 0,5 min; gradiente de temperatura, 25°C/min até 195°C; seguido de 3°C/min até os 205°C, e por fim 8°C/min até os 230°C, permanecendo por 3 min. A temperatura do injetor foi 250°C, a temperatura da linha de transferência de 280°C e a razão de separação 1:100. O gás de transporte utilizado foi o hélio com um caudal de 2,6 mL por minuto.

Os FAMES foram identificados através da comparação dos tempos de retenção e espectros de massa obtidos nas injeções de dois padrões: “bacterial acid methyl esters CP mix” e “supelco 37 component FAME mix” da supelco (St. Louis, MO, USA). Foi também utilizada a biblioteca espectral Wiley-NIST de 1999 para identificar os FAMES. Para a quantificação dos ácidos gordos nas amostras de tomate foi utilizado como padrão interno o ácido heneicosanóico da Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA). Os resultados foram expressos em mg/g de material seco e em percentagem do total de ácidos gordos, sendo a quantificação feita de acordo com o fator de resposta calculado para cada ácido gordo presente nos padrões, em relação ao ácido heneicosanóico (padrão interno).

#### 5.2.6. Determinação dos açucares neutros

Os monossacarídeos foram analisados como acetatos de alditol, de acordo com Blakeney (89), com pequenas alterações. Hidrolisou-se cerca de 10 mg de amostra liofilizada com 400 µl de ácido sulfúrico a 72%, durante 3 h a 20°C. De seguida realizou-se uma nova hidrólise ácida durante 2 h e 30 min a 100°C, com a adição de 4,4 mL de água. Após arrefecimento do hidrolisado, adicionou-se 200 µl de solução de padrão interno (2-desoxiglicose, 20 mg/mL). Agitou-se e retirou-se 1 mL da mistura anterior, sendo adicionados 200 µl de amoníaco a 25%, seguindo-se uma redução dos monossacarídeos a alditóis por adição de 100 µl de uma solução de amoníaco a 3M, contendo 150 mg/mL de boroidreto de sódio. Após 1 h a 30°C no banho, adicionou-se 50 µl de ácido acético glacial e agitou-se. Voltou-se a adicionar 50 µl de ácido acético glacial e agitou-se. A acetilação dos alditóis foi feita pela adição de 0,45 mL de 1-metilimidazol e 3 mL de anidrido acético a 0,3 mL da mistura anterior. Esta solução foi colocada no banho a 30°C durante 30 min. Posteriormente, os acetatos de alditol foram extraídos com diclorometano e a fase orgânica foi lavada várias vezes com água. O solvente foi evaporado sob atmosfera de azoto. Da mesma forma, foram preparadas soluções padrão de arabinose, xilose, galactose, glicose e manose, para identificação através do tempo de retenção e comparação com os espectros de massas dos monossacarídeos presentes nas amostras.

A quantificação dos acetatos de alditol foi feita por cromatografia em fase gasosa (Agilent HP 6890), equipado com um detector selectivo de massa (Agilent 5973) e uma

coluna capilar DB-225 J&W (30 m × 0,25 mm i.d., com 0,15 µm de espessura de filme) da Agilent. As condições cromatográficas foram as seguintes: temperatura do injetor 220°C; temperatura inicial da coluna 220°C durante 5 min, com um gradiente de temperatura de 10°C por minuto até à temperatura final de 230°C, permanecendo 6 min. A temperatura do injetor foi 220°C, a temperatura da linha de transferência de 280°C e a razão de separação 1:30. O gás de transporte utilizado foi o hélio com um caudal de 1,2 mL por min. A quantificação dos vários açúcares neutros presentes nas amostras foi feita através do cálculo do fator de resposta de cada padrão em relação ao padrão interno. Os padrões usados foram a 2-desoxiglicose, L(+)-arabionose, D(+)-xilose, D(+)-galactose, D(+)-glicose e D(+)-manose adquiridas na Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA).

### 5.2.7. Determinação do licopeno e β-caroteno

O β-caroteno e o licopeno foram determinados de acordo com o procedimento descrito por Barros (85). Resumindo, pesou-se 150 mg de extrato seco e adicionaram-se 10 mL de uma mistura de acetona:hexano (4:6). Agitou-se vigorosamente durante 1 min, sendo filtrado de seguida com um papel de filtro Whatman No. 4. A absorvância do filtrado foi medida num espectrofotómetro UV-Vis (Lambda 25, Perkin Elmer) a 453, 505, 645 e 663 nm e a concentração dos carotenóides foram calculadas de acordo com as equações 3 e 4.

$$\text{Licopeno (mg/100 mL)} = -0,0458 \times A_{663} + 0,204 \times A_{645} + 0,372 \times A_{505} - 0,0806 \times A_{453} \quad \text{Eq.3}$$

$$\beta\text{-caroteno (mg/100 mL)} = 0,216 \times A_{663} - 1,220 \times A_{645} - 0,304 \times A_{505} + 0,452 \times A_{453} \quad \text{Eq.4}$$

### 5.2.8. Determinação dos polifenóis

A extração dos polifenóis foi feita de acordo com Kalogeropoulos (74), com pequenas modificações. A amostra liofilizada (0,5g) foi extraída com 5 mL de metanol com agitação (auxílio de uma barra magnética) durante 1 h, sendo este processo repetido 5 vezes. Na última extração a amostra foi colocada durante a noite na solução de extração no frigorífico (4°C). O extrato foi separado da fase sólida por centrifugação e os resíduos sólidos foram novamente dissolvidos em 1 mL de metanol, sendo posteriormente colocados no ultrassons durante 10

min e filtrados numa membrana com um poro de diâmetro 0,45 µm. Juntaram-se todos os extratos e armazenou-se a uma temperatura de 4°C para análise do total de polifenóis e dos polifenóis individuais.

### **Determinação do total de compostos fenólicos**

O conteúdo total de polifenóis foi determinado de acordo com o método de Folin-Ciocalteu, com modificações previamente descritas por Arnous (90). Brevemente, num tubo de *Eppendorf* adicionou-se 0,79 mL de água destilada, 0,01 mL do extrato e 0,05 mL do reagente de Folin-Ciocalteu, sendo agitado de seguida no vórtex. Após exatamente 1 min, adicionou-se 0,15 mL de carbonato de sódio (20%), sendo posteriormente agitado no vortex e deixou-se repousar no escuro durante 120 min, à temperatura ambiente. A absorvância foi lida num espetofotómetro UV-Vis (Lambda 25, Perkin Elmer) a 750 nm, e a concentração total de polifenóis calculada a partir de uma reta de calibração ( $R^2=0,9939$ ), usando como padrão o ácido gálico (34-681 mg/L). Os resultados foram expressos em mg de ácido gálico (GAE) por 100 g de tomate fresco.

### **Identificação e quantificação dos compostos fenólicos simples por HPLC**

A separação e a análise dos compostos fenólicos simples foi realizada num cromatógrafo líquido Waters Alliance (Milford, MA, USA) equipado com um injetor automático (Waters 2695, separations modules) e um detetor photodiode array (Waters 2996). A coluna utilizada para a separação dos polifenóis foi uma Atlantis T3 (250 mm x 4,5 mm diâmetro interno; 5 µm; Milford, MA, USA), a 30°C. Toda a configuração e processamento dos dados foi realizada no software Empower Pro da Waters Corporation. A metodologia aplicada foi baseada na metodologia reportada por Pereira (91). A fase móvel foi efectuada com um programa de gradientes, combinando o solvente A (10 mM de solução fosfato tamponada a pH 2,7), o solvente B (acetonitrilo) e o solvente C (metanol) do seguinte modo: 0–30 min, 0–10% B e 0–11% C, linear; 30–42 min, alterando apenas 11–17% C, linear; 42–55 min, 10–60% B e 17–0% C; 55-58 min, a composição da fase móvel foi mantida contante; 58–65 min foi realizada a lavagem e reequilíbrio da coluna.

O fluxo foi de 1 mL/min e o volume de injeção das soluções padrão e amostras de tomate foram de 20 µL. Todos os padrões e amostras foram filtradas em filtros de 0,45 µm Acrodisc GHP filters e injetados em duplicado.

Os diferentes compostos fenólicos foram identificados e quantificados através dos tempos de retenção, comparando o espectro UV-Vis do composto desconhecido com padrões e através da fortificação das amostras com os compostos puros, quando disponível. Alguns polifenóis simples foram identificados através da comparação do seu espectro com os da literatura e comparado com padrões de estrutura e absorvidade molar semelhante. Os comprimentos de onda utilizados para a quantificação dos polifenóis foram de 210 nm para flavanóis e ácidos hidroxibenzóicos, 315 nm para ácidos hidroxicinâmicos e 360 nm para flavonóis, após o varrimento dos 200 aos 780 nm. Os ácidos *trans*-cutárico, *trans*-fertárico e cloragénico foram quantificados em relação ao ácido caftárico. A rotina foi utilizada para quantificação da chalconaringenina.

Os padrões utilizados foram o ácido ferúlico, rutina, (-)-epicatequina, ácido caftárico, miricetina, ácido gálico, ácido *p*-coumárico fornecidos pela Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA). O ácido vanílico, ácido cafeico, vanilina, ácido protocatecuico, ácido *p*-hidroxibenzoico foram adquiridos na Acros Organics (Geel, Belgium) e o ácido sinápico na Fluka Biochemika AG (Buchs, Switzerland). A pureza dos padrões foram todas superiores a 95%.

### 5.2.9. Teste hedónico

Os tomates selecionados de cada sistema de cultivo para o teste hédonico eram uniformes entre si, quer no tamanho, quer na cor. Antes da realização da prova retiraram-se os tecidos da coroa e caule presentes no fruto, sendo posteriormente lavados em água corrente e seco com papel adsorvente. Os frutos de cada sistema foram colocados em tinas, sendo atribuídos números aleatoriamente a cada sistema de forma a não revelar a identidade.

O grupo alvo foi constituído por 54 adultos, onde 30 eram do sexo feminino e 24 do sexo masculino. Destes consumidores 57% pertenciam à faixa etária do 18-34 anos, 33% situavam-se nos 35-55 anos e 10% tinham idade superior a 55 anos. Os consumidores foram

recrutados no local de análise (Universidade da Madeira, Madeira, Portugal), e o único critério utilizado para a participação destes foi gostarem e comerem regularmente tomate (no mínimo uma vez por mês). Após a degustação do tomate o consumidor preencheu uma folha com quatro perguntas: 1) qual considera o melhor a nível gustativo; 2) qual considera o mais doce; 3) qual considera o mais ácido; 4) qual é o que apresenta melhor textura.

#### 5.2.10. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) e as diferenças entre as médias foram comparadas através do teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) com o programa IBM SPSS Statistics 23. Os valores obtidos para cada um dos parâmetros correspondem à média de 3 réplicas para a análise nutricional geral, no caso dos ácidos gordos os valores representam a média de 4 réplicas, e de duas réplicas para os polifenóis.

### 5.3. Resultados e discussão

#### 5.3.1. Avaliação nutricional

As propriedades organolépticas do tomate são atualmente um marco de qualidade para os consumidores, nestas destaca-se o sabor como a propriedade com maior impacto para o consumidor final. Este define-se basicamente pelo equilíbrio entre os açúcares redutores e os ácidos orgânicos, sendo influenciado por diversos fatores, como o método de cultivo e os stresses subjacentes<sup>(40, 45, 51, 71)</sup>. Também, as condições ambientais e a fase de crescimento influenciam a acumulação de açúcares no tomate, nomeadamente sob a forma de sacarose ou de hexoses (glucose, frutose, entre outros)<sup>(71)</sup>. A textura é outro elemento importante na qualidade, estando relacionada quer com o teor proteico, quer com a razão de absorção de minerais (potássio, cálcio), que confere a firmeza ao fruto<sup>(51, 92)</sup>.

Neste trabalho verificou-se que o total de açúcares no fruto variaram significativamente ( $p < 0,05$ ) entre os sistemas, destacando-se a xilose, a galactose e a glicose, sendo este último o monossacarídeo maioritário no tomate cereja (Tabela 15). No fruto produzido com o sistema semi-hidropónico ocorreu uma redução de 20% do total de açúcares

redutores em relação ao sistema DLFT, podendo explicar-se pela incidência de stresses provenientes dos sistemas, que poderá resultar numa menor produção e acumulação de açúcares redutores<sup>(93)</sup>.

**Tabela 15- Análise nutricional do tomate cereja cultivado nos três sistemas de cultivo em estudo.**

	DLFT	Semi-hidropônico	Tradicional
<b>Açúcares redutores (mg/ g)<sup>1</sup></b>			
<i>Arabinose</i>	3,49 ± 0,33 <sup>a</sup>	6,37 ± 0,32 <sup>b</sup>	3,77 ± 0,14 <sup>a</sup>
<i>Xilose</i>	2,76 ± 0,29 <sup>a</sup>	4,48 ± 0,28 <sup>b</sup>	3,31 ± 0,14 <sup>c</sup>
<i>Galactose</i>	3,61 ± 0,21 <sup>a</sup>	7,60 ± 0,26 <sup>b</sup>	4,75 ± 0,35 <sup>c</sup>
<i>Glicose</i>	297,68 ± 11,14 <sup>a</sup>	218,77 ± 9,51 <sup>b</sup>	269,75 ± 7,57 <sup>c</sup>
<i>Manose</i>	47,40 ± 1,16 <sup>a</sup>	46,95 ± 1,72 <sup>a</sup>	47,75 ± 1,66 <sup>a</sup>
<b>Acidez titulável (mg AC/ 100ml)<sup>2</sup></b>	439,47 ± 32,21 <sup>a</sup>	507,73 ± 20,57 <sup>b</sup>	522,67 ± 14,78 <sup>b</sup>
<b>Teor de água (%)<sup>2</sup></b>	91,78 ± 0,09 <sup>a</sup>	91,76 ± 0,50 <sup>a</sup>	91,22 ± 0,23 <sup>a</sup>
<b>Teor proteico (%)<sup>1</sup></b>	13,41 ± 0,64 <sup>a</sup>	11,92 ± 0,21 <sup>b</sup>	7,58 ± 0,24 <sup>c</sup>
<b>Teor lipídico (%)<sup>1</sup></b>	3,20 ± 0,09 <sup>a</sup>	2,33 ± 0,04 <sup>b</sup>	2,38 ± 0,10 <sup>b</sup>
<b>Teor de cinzas (%)<sup>1</sup></b>	25,03 ± 2,48 <sup>a</sup>	23,06 ± 1,15 <sup>a</sup>	22,69 ± 2,47 <sup>a</sup>
<b>Conteúdo de hidratos de carbono (%)<sup>1</sup></b>	58,36 ± 1,99 <sup>a</sup>	62,69 ± 0,91 <sup>a</sup>	67,35 ± 2,34 <sup>b</sup>
<b>Valor energético (Kcal/ 100g)<sup>2</sup></b>	25,97 ± 0,85 <sup>a</sup>	26,32 ± 0,39 <sup>a</sup>	28,20 ± 0,84 <sup>b</sup>
<b>pH<sup>2</sup></b>	4,22 ± 0,01 <sup>a</sup>	4,21 ± 0,02 <sup>a</sup>	4,17 ± 0,01 <sup>c</sup>
<b>Conteúdo total polifenóis (mg GAE/ 100g)<sup>1</sup></b>	469,88 ± 6,71 <sup>a</sup>	483,43 ± 23,76 <sup>a</sup>	645,27 ± 5,59 <sup>b</sup>
<b>Carotenóides (mg/ 100g)<sup>2</sup></b>			
<i>Licopeno</i>	3,58 ± 0,04 <sup>a</sup>	2,61 ± 0,05 <sup>b</sup>	4,71 ± 0,12 <sup>c</sup>
<i>β-caroteno</i>	0,25 ± 0,06 <sup>a</sup>	0,22 ± 0,06 <sup>a</sup>	0,35 ± 0,10 <sup>a</sup>

AC- Equivalente ao ácido cítrico; GAE- Equivalente ao ácido gálico;

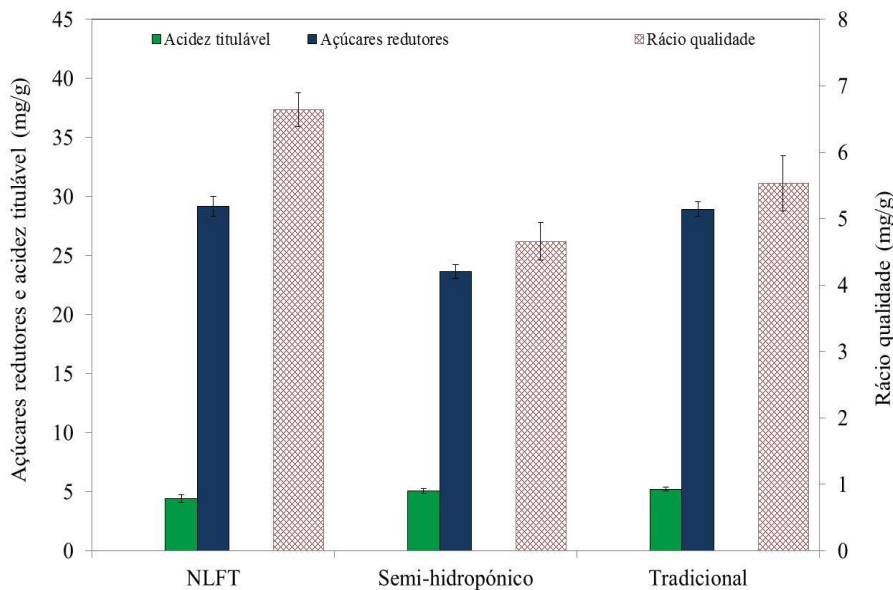
1- Peso seco; 2- Peso fresco;

Os valores representam a média de três réplicas ± desvio padrão;

A média seguida por diferentes letras na mesma linha representa que são significativamente diferentes (p <0,05).

No sistema tradicional o teor total de açúcares foi significativamente (p <0,05) inferior (7%) ao sistema DLFT, e 14% superior ao sistema semi-hidropônico (Figura 13). A diferença entre os sistemas DLFT e tradicional poderá dever-se ao stress hídrico provocado pela compactação do solo, que originará uma restrição do fluxo de água e osmolitos para o fruto durante a sua formação<sup>(94)</sup>. No solo a compactação vai aumentando ao longo do tempo, reduzindo progressivamente a acumulação de água no fruto e inibindo algumas vias metabólicas<sup>(94)</sup>. A diferença do teor de açúcares no sistema tradicional relativamente ao sistema semi-hidropônico poderá explicar-se pelo aumento do teor de açúcares no fruto do sistema tradicional ao longo da fase de maturação, mantendo um volume quase constante

(baixo crescimento)<sup>(94)</sup>. No sistema semi-hidropônico o volume do fruto aumentou com o seu crescimento e amadurecimento, diminuindo a concentração de açúcares no fruto.



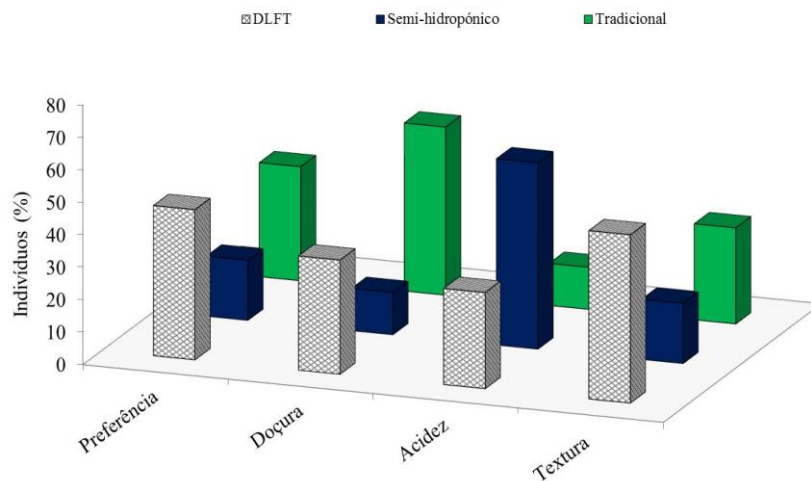
**Figura 13-** Teor de açúcares redutores (mg/g peso fresco), acidez titulável (mg/g peso fresco) e relação de ambos nos três sistemas de cultivo em estudo.

Os ácidos orgânicos (dados pela acidez titulável) são um fator qualitativo relevante para a determinação das características sensoriais do tomate, que além de conferir a acidez ao fruto, também protegem-no da atividade microbiana, influenciando o tempo de conservação<sup>(69)</sup>. Os resultados obtidos demonstram que a acidez no fruto foi estatisticamente ( $p < 0,05$ ) diferente entre o sistema tradicional e os sistemas hidropônicos. Este primeiro obteve uma acidez 25% superior ao sistema semi-hidropônico e DLFT (Figura 13). Piombino (95) obteve resultados idênticos para tomates cultivados em Itália, com uma variação de 318 a 678 mg de AC/100g. Claussen (93) e Krauss (60) constataram que o aumento da concentração de sais da solução nutritiva tem um impacto direto na acidez titulável, com uma variação de 190-306 mg AC/100g para uma condutividade elétrica de 2 mS/cm (igual à utilizada neste estudo) e 454 mg AC/100g para uma condutividade elétrica de 10 mS/cm. As diferenças ocorridas entre o sistema tradicional e DLFT têm por base o desequilíbrio da concentração de nutrientes presentes no solo. De acordo com Claussen (93) um teor de azoto baixo no solo e uma alta concentração de potássio origina uma acidez elevada no fruto, pois ocorre uma acumulação de catiões no fruto, com a planta a produzir ácidos orgânicos para equilibrar o pH. No teste hedônico (Figura 14) verifica-se que 57,4% das pessoas afirmaram que o tomate

produzido através do sistema semi-hidropônico é o mais ácido, não se encontrando de acordo com os resultados obtidos na acidez titulável (Tabela 15). Esta discrepância explica-se pelo baixo teor de monossacarídeos presentes no fruto produzido no sistema semi-hidropônico, que irão dar ao consumidor a sensação de um fruto mais ácido.

A razão dos açúcares redutores/acidez é o que melhor define a qualidade do tomate, tendo esta apresentado valores de 6,6, 4,7 e 5,5 mg/g para o fruto cultivado com o sistema DLFT, semi-hidropônico e tradicional, respetivamente (Figura 13). Os frutos produzidos com o sistema DLFT apresentaram a melhor qualidade dos três sistemas avaliados, encontrando-se assim de acordo com os resultados obtidos no teste hedónico (Figura 14), onde 46,3% dos inquiridos deram preferência ao tomate produzido no sistema DLFT.

A textura é essencialmente influenciada pelo teor proteico, onde se destaca os frutos produzidos com o sistema DLFT com um teor 11% e 44% maior, que os frutos do sistema semi-hidropônico e tradicional, respetivamente. Estes resultados vão de encontro à preferência da população inquerida no teste hedónico, onde os frutos provenientes do sistema DLFT obtiveram 51,9% (Figura 14) da preferência na textura.



**Figura 14- Resultados do teste hedónico efectuado a uma população de 54 pessoas, para aferir algumas propriedades organoléticas do fruto produzido nos três sistemas de cultivo em estudo.**

O teor de água (Tabela 15) obtido nos frutos cultivados com os vários sistemas não demonstraram diferenças significativas, no entanto o pH do fruto cultivado com o sistema tradicional apresentou diferenças significativas. Estes resultados estão de acordo com os

obtidos por Piombino (95) para tomates cultivados em Itália, com pH entre 3,98 e 4,45 e um teor de água entre os 93,12% e 95,58%. No teor lipídico, Kalogeropoulos (96) obteve 3,14%, sendo muito semelhante aos resultados obtidos no fruto cultivado com o sistema DLFT. Nos frutos do sistema tradicional e semi-hidropônico ocorreu uma redução significativa ( $p < 0,05$ ) deste parâmetro, sendo cerca de 27% inferior ao obtido no fruto produzido pelo sistema DLFT.

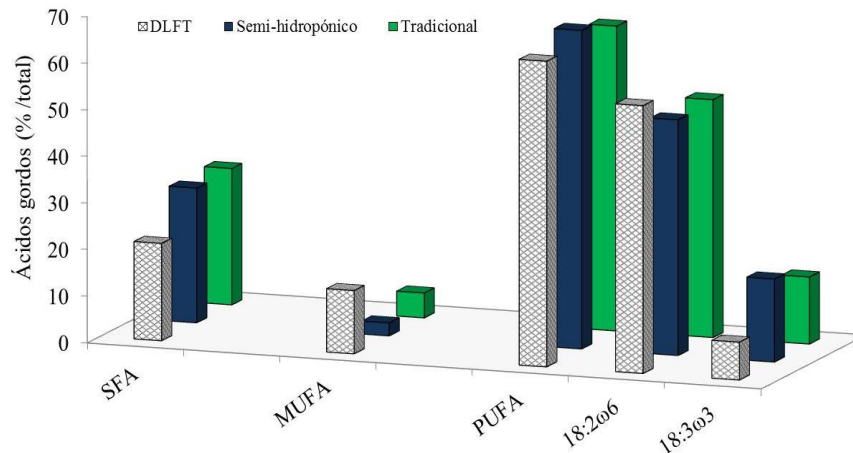
O conteúdo mineral do tomate aumenta de acordo com o crescimento e maturação do fruto, essencialmente pelo aumento da organização e permeabilidade celular, balanço ácido-base, e pelo controlo ou ativação de sistemas enzimáticos<sup>(70)</sup>. Neste trabalho verificou-se que nos frutos obtidos através dos vários sistemas as diferenças nos teores de cinzas não foram estatisticamente diferentes ( $p < 0,05$ ) (Tabela 15). O teor de hidratos de carbono e o valor energético também não apresentam diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os frutos produzidos nos sistemas hidropônicos, variando apenas entre estes e os obtidos no sistema tradicional.

### 5.3.2. Ácidos gordos

No tomate sabe-se que os ácidos gordos, nomeadamente o ácido oleico, esteárico, palmítico, mirístico, linoléico e linolénico representam grande parte da fração de ácidos gordos, tendo o teor dos dois últimos, tendência a diminuir com o avanço da maturação<sup>(70)</sup>. O ácido linoléico (18:2 $\omega$ 6) e o ácido linolénico (18:3 $\omega$ 3) são fundamentais na biossíntese de ácidos gordos  $\omega$ 3 polinsaturados essenciais (ácido eicosapentaenóico e ácido docosahexaenóico), que quando incluídos na dieta humana apresentam enormes benefícios para a saúde<sup>(74)</sup>. Nas plantas, os ácidos gordos intervêm em várias respostas a stresses bióticos e abióticos, como a temperatura, a salinidade, a seca e a tolerância a metais pesados<sup>(80)</sup>.

A fração lipídica presente nos tomates cereja em estudo é baixa (aproximadamente 3%), representando os ácidos gordos apenas 0,5%-0,9% do resíduo seco (Tabela 16). Nos diferentes sistemas estudados constatou-se que as maiores diferenças encontram-se nos ácidos gordos saturados (SFA) e monoinsaturados (MUFA) dos frutos cultivados no sistema DLFT (Figura 15). Os SFA dos frutos produzidos nos vários sistemas variaram entre os 20,9 e 29,3% do total de ácidos gordos, no entanto os MUFA tiveram um comportamento contrário,

variando entre 13,6 e 5,34%, enquanto que a percentagem de polinsaturados (PUFA) não exibiu grandes diferenças (65,4-68,3%). Kalogeropoulos (96) nas suas amostras de tomate obteve percentagens de PUFA entre 52,7-54,7%, de SFA entre 21,9-26,2%, e MUFA entre 17,3-20,3% do total de AG.



**Figura 15-** Ácidos gordos saturados (SFA), ácidos gordos monoinsaturados (MUFA), ácidos gordos polinsaturados (PUFA), e dos ácidos linoleico (18:2ω6) e linolénico (18:3ω3), do total de AG dos três sistemas de cultivo em estudo.

Relativamente ao teor total de ácidos gordos presente no resíduo seco dos tomates produzidos nos diferentes sistemas de cultivo (Tabela 16), verifica-se claramente que os frutos do sistema DLFT apresentaram concentrações significativamente superiores ( $p < 0,05$ ), sendo 39% e 44% superior aos dos sistemas semi-hidropônico e tradicional, respetivamente. A síntese de ácidos gordos encontra-se interligada como o processo de glicólise ou fotossintético<sup>(81)</sup>. Assim, os resultados obtidos nos frutos cultivados com o sistema DLFT poderão evidenciar uma maior taxa fotossintética e glicolítica. O total de MUFA (essencialmente 18:1) e PUFA (essencialmente 18:2ω6) foi significativamente superior nos tomates do sistema DLFT, sendo 87% e 37% inferior nos do sistema semi-hidropônico, e 78% e 44% inferior nos do sistema tradicional.

**Tabela 16- Perfil em ácidos gordos (mg/g peso seco) do tomate cereja produzido nos três sistemas de cultivo em estudo.**

Acido Gordo (mg/g)	DLFT	Semi-hidropônico	Tradicional
<b>Total - SFA</b>	1,97 ± 0,09 <sup>a</sup>	1,66 ± 0,03 <sup>b</sup>	1,55 ± 0,04 <sup>b</sup>
14:0	0,02 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,03 ± 0,01 <sup>b</sup>	0,03 ± 0,01 <sup>b</sup>
16:0	1,44 ± 0,07 <sup>a</sup>	1,31 ± 0,02 <sup>b</sup>	1,19 ± 0,04 <sup>c</sup>
18:0	0,44 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,22 ± 0,01 <sup>b</sup>	0,28 ± 0,02 <sup>c</sup>
Outros	0,08 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,11 ± 0,01 <sup>ab</sup>	0,05 ± 0,01 <sup>ac</sup>
<b>Total - MUFA</b>	1,28 ± 0,04 <sup>a</sup>	0,16 ± 0,01 <sup>b</sup>	0,28 ± 0,01 <sup>c</sup>
18:1	1,28 ± 0,04 <sup>a</sup>	0,16 ± 0,01 <sup>b</sup>	0,28 ± 0,02 <sup>c</sup>
<b>Total - PUFA</b>	6,19 ± 0,23 <sup>a</sup>	3,92 ± 0,06 <sup>b</sup>	3,47 ± 0,04 <sup>c</sup>
18:2 $\omega$ 6	5,42 ± 0,19 <sup>a</sup>	2,90 ± 0,04 <sup>b</sup>	2,71 ± 0,04 <sup>b</sup>
18:3 $\omega$ 3	0,77 ± 0,03 <sup>a</sup>	1,02 ± 0,02 <sup>b</sup>	0,76 ± 0,01 <sup>a</sup>
<b>Total (mg/g)</b>	9,44 ± 0,36 <sup>a</sup>	5,73 ± 0,09 <sup>b</sup>	5,30 ± 0,08 <sup>c</sup>

UI- Índice de insaturações; n.d.- Não detetado; SFA- Ácidos gordos saturados; MUFA- Ácidos gordos monossaturados; PUFA- Ácidos gordos poliinsaturados;

Os valores representam a média de quatro réplicas ± desvio padrão;

A média seguida por diferentes letras na mesma linha representa que são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ );

Os PUFA têm uma enorme importância no metabolismo da planta, além de apresentarem enormes benefícios para a saúde humana, nomeadamente o ácido linoleico (18:2 $\omega$ 6) e o ácido linolénico (18:3 $\omega$ 3)<sup>(74, 80)</sup>. Na Tabela 16 constata-se que a concentração do ácido linoleico nos frutos do sistema DLFT é cerca de 2x superior aos sistemas semi-hidropônico e tradicional. No entanto, o teor de ácido linolénico é maior nos frutos do sistema semi-hidropônico, com um acréscimo de 25%. O teor de ácido linoleico na planta permite prever o seu estado metabólico, podendo o seu aumento indicar maior produção de ATP, NADPH e NADH na planta (provenientes da fotossíntese e glicólise), e um aumento na fluidez das membranas do fruto no sistema DLFT<sup>(80, 81)</sup>. O ácido linoleico é normalmente associado a uma reduzida concentração de colesterol no plasma, tendo em conta à sua maior concentração no tomate cultivado com o sistema DLFT, é de supor que este poderá trazer maiores benefícios para a saúde humana<sup>(97)</sup>. Este ácidos gordos também tem aplicação na cosmética (revitalização da pele) e na terapia de algumas doenças, pois atuam no sistema imunitário e outros processos relacionados com a regeneração de tecidos<sup>(98)</sup>.

### 5.3.3. Carotenóides

Os tomates cereja caracterizam-se pelos seus enormes teores de antioxidantes, nomeadamente vitamina C, tocoferóis, total de polifenóis e carotenóides<sup>(66)</sup>. O licopeno e o  $\beta$ -caroteno são compostos antioxidantes lipossolúveis que se acumulam no tomate para proteger as células e os seus fotossistemas, sendo a sua biossíntese dependente quer de fatores genéticos, quer de fatores ambientais (luz, temperatura, stress hídrico, nutrição)<sup>(60, 68, 69)</sup>.

Pelos resultados obtidos (Tabela 15) constata-se que os frutos do sistema tradicional apresentaram um teor de carotenóides significativamente maior ( $p < 0,05$ ), com um teor de licopeno 24% e 45% superior ao sistema DLFT e semi-hidropónico, respetivamente. Os teores de  $\beta$ -caroteno foram muito semelhantes nos frutos dos três sistemas, não apresentando diferenças significativas. O maior teor de licopeno nos frutos produzidos com o sistema tradicional poderá explicar-se através de duas razões: pela maior exposição do fruto à radiação ultravioleta (UV) (reduzida área foliar) e através do stress hídrico provocado pela compactação do solo<sup>(60)</sup>. O stress hídrico quando incidente na planta provoca um aumento de espécies radiculares de oxigénio (ROS) no fruto, estimulando a produção de carotenóides para se proteger<sup>(60)</sup>. A razão principal para o aumento destes compostos nos frutos do sistema tradicional baseia-se na enorme radiação incidida no fruto devido à reduzida superfície foliar (Figura 16), necessitando de produzir maior número de carotenóides para proteger as células do fruto e os seus fotossistemas<sup>(60, 68)</sup>.



Figura 16- Parte aérea da planta do sistema DLFT (A), semi-hidropónico (B) e tradicional (C).

Os teores de licopeno obtidos no sistema tradicional vão de encontro aos resultados obtidos por Kaur (69) para variedades de tomate indiano e Lenucci (66). Adalid (99) nos tomates cereja de diferentes origens obteve uma variação de 0,70-12,00 mg/100 g, encontrando-se de acordo com os resultados obtidos nos três sistemas. Ilahy (100) e D'Evoli (101) obtiveram valores superiores de licopeno, variando entre 9,69-23,29 mg/100 g e 5,12 mg/100 g, respectivamente.

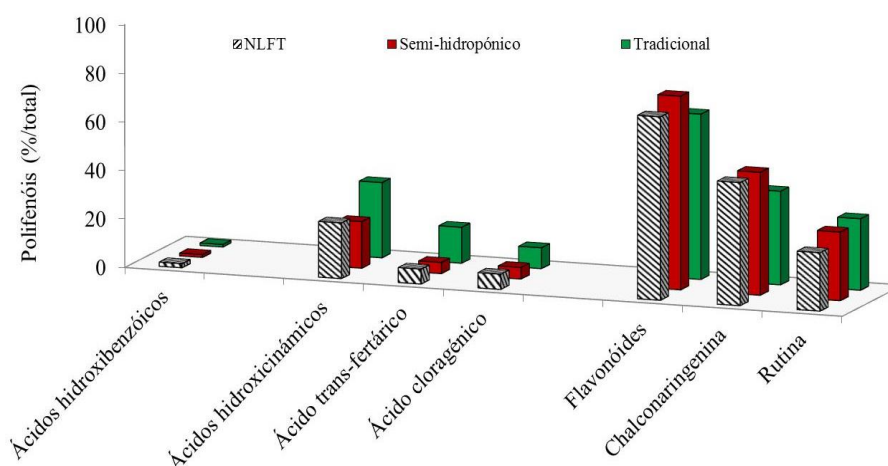
#### 5.3.4. Polifenóis

A nível nutricional o tomate é um alimento de enorme importância, constituindo uma fonte rica de minerais, vitaminas, antioxidantes (carotenóides, polifenóis), entre outros<sup>(40-43, 45)</sup>. Os polifenóis são metabolitos secundários sintetizados pelas plantas para responder a diversos fatores ambientais, edáficos e infeções microbianas<sup>(74, 75)</sup>. Estas moléculas encontram-se predominantemente no tecido exocárpico do tomate, tendo a radiação UV grande influência nas vias biossintéticas<sup>(67)</sup>.

Os resultados obtidos para o total de polifenóis (Tabela 15) demonstram uma diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os sistemas hidropônicos e o sistema tradicional, com 26% a mais neste último. A diferença poderá explicar-se por três fatores: (i) o stress hídrico provocado pela compactação do solo; (ii) a limitação de azoto; (iii) a grande incidência da radiação UV no fruto. (i) O stress hídrico é usualmente acompanhado pelo aumento da produção de ROS, daí o aumento da biossíntese de polifenóis com intuito de proteger o fruto<sup>(60)</sup>. (ii) A limitação de azoto no solo e a maior absorção de fósforo pela planta também aumenta consideravelmente o teor destas moléculas no fruto<sup>(102)</sup>. (iii) A pouca área foliar da planta no sistema tradicional (Figura 16) é outro fator que poderá explicar este aumento, pois a proteção da radiação UV oferecida ao fruto é menor, aumentando a produção de compostos fenólicos<sup>(67)</sup>.

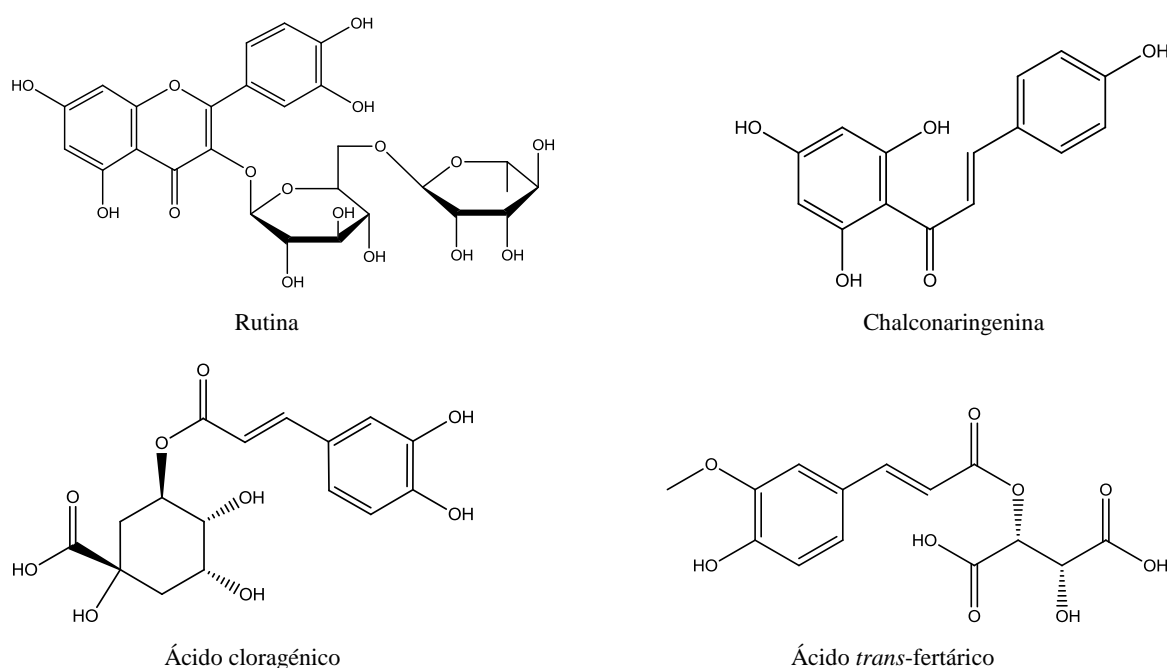
Os resultados obtidos neste trabalho para o total de polifenóis (Tabela 15) são semelhantes aos expressos por Kaur (69) para variedades de tomate indiano, e superiores aos obtidos por Georgé (103). Slimstad (57) demonstrou que diferentes condições climáticas influenciam diretamente o total de polifenóis e Vállverdú-Queralt (102) verificou que deficiências nutritivas no solo aumentam o teor de polifenóis.

Dos 16 polifenóis simples determinados, denotou-se uma predominância dos flavonóides (Figura 17) nos tomates cereja dos diferentes sistemas em estudo (68-80%). A segunda classe de compostos fenólicos com maior relevância foram os ácidos hidroxicinâmicos (19-31%). Os ácidos hidroxibenzóicos mostram ser uma classe de compostos com pouca relevância no tomate cereja, representando aproximadamente 1,5% do total de polifenóis simples. Os resultados obtidos para os diferentes sistemas encontram-se de acordo com os descritos por Kalogeropoulos (96) para tomates processados, onde 73% dos polifenóis eram flavonóides e 23,3% eram ácidos hidroxicinâmicos. O composto fenólico maioritário determinado neste trabalho no tomate cereja foi a chalconaringenina (Figura 18), representando 50,6% nos sistemas hidropônicos, e 38,5% no sistema tradicional. Estes resultados vão de encontro aos descritos por Slimestad (47), onde o composto maioritário no tomate cereja foi a chalconaringenina. A rutina (Figura 18) é outro flavonóide frequentemente detetado em amostras de tomate, sendo que nos tomates cereja dos diferentes sistemas em estudo o seu teor foi de 24%, 28% e 29% do total de polifenóis simples, para o sistema DLFT, semi-hidropônico e tradicional, respetivamente. Os ácidos hidroxicinâmicos trans-fertárico e cloragénico (Figura 18) foram outros polifenóis simples detetados com alguma relevância. O ácido cloragénico é frequentemente detetado como o fenol maioritário em algumas variedades de tomate cereja<sup>(57)</sup>. Vallverdú-Queralt (104) verificou que em amostras de tomate fresco este polifenol simples é um dos ácidos hidroxicinâmicos maioritários, com uma concentração 5x superior ao ácido cafeico.



**Figura 17- Compostos fenólicos maioritários e suas classes no tomate cereja produzido nos três diferentes sistemas de cultivo em estudo (%/ peso seco).**

Os polifenóis têm como principal função proteger as plantas de fatores abióticos (radiação UV, temperatura, salinidade) e bióticos (herbívoros, microrganismos) (76, 102). Através da análise do teor total de polifenóis simples (Tabela 17) verificam-se diferenças significativas entre os tomates cereja dos vários sistemas. O sistema tradicional apresentou 46% e 43% maior teor destas moléculas, comparativamente ao sistema DLFT e semi-hidropônico. Nas amostras de tomate cereja dos vários sistemas, os ácidos hidroxicinâmicos maioritários foram o ácido *trans*-fretárico e o ácido cloragénico, sendo que ambos apresentaram altas concentrações no sistema tradicional. O ácido *trans*-fretárico (Figura 18) apresentou diferenças significativas entre os sistemas ( $p < 0,05$ ), que além de representar 48% do total desta classe no sistema tradicional, também apresentou um teor 77% e 82% superior no fruto, comparativamente com o sistema DLFT e semi-hidropônico. O ácido cloragénico apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os sistemas de carácter hidropônico e o tradicional, variando entre os 60 e 68%. Kalogeropoulos (96) obteve 5,17 mg/100g deste polifenol simples, encontrando-se de acordo com os resultados obtidos para os sistemas hidropônicos estudados, mas inferior à concentração obtida para o sistema tradicional. O mesmo autor obteve 3,35 mg/ 100g de ácido cafeico e 1,7 mg/100g do ácido *p*-coumárico, sendo estes resultados idênticos aos obtidos para os sistemas em estudo (Tabela 17)<sup>(96)</sup>.



**Figura 18-** Estrutura molecular dos ácidos fenólicos e flavonóides com maior prevalência no tomate cereja produzidos nos três diferentes sistemas de cultivo.

**Tabela 17- Perfil dos polifenóis simples no tomate cereja produzidos nos três diferentes sistemas de cultivo em estudo (mg/100g peso seco).**

Polifenol	DLFT	Semi-hidroponico	Tradicional
<b>Ácidos hidroxibenzóicos</b>	1,24 ± 0,05 <sup>a</sup>	0,88 ± 0,02 <sup>b</sup>	1,38 ± 0,04 <sup>a</sup>
<i>Ácido gálico</i>	0,17 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,13 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,38 ± 0,01 <sup>b</sup>
<i>Ácido protocatecuico</i>	0,35 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,45 ± 0,01 <sup>b</sup>	0,39 ± 0,01 <sup>a</sup>
<i>Ácido p-hidroxibenzóico</i>	0,28 ± 0,02 <sup>a</sup>	0,04 ± 0,00 <sup>b</sup>	n.d.
<i>Ácido vanílico</i>	0,39 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,20 ± 0,01 <sup>b</sup>	0,40 ± 0,02 <sup>a</sup>
<i>Vanilina</i>	0,05 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,06 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,20 ± 0,01 <sup>b</sup>
<b>Ácidos hidroxicinâmicos</b>	16,73 ± 0,72 <sup>a</sup>	14,76 ± 0,39 <sup>a</sup>	41,76 ± 0,65 <sup>b</sup>
<i>Ácido trans-coutárico</i>	1,47 ± 0,08 <sup>a</sup>	1,34 ± 0,01 <sup>a</sup>	2,07 ± 0,02 <sup>b</sup>
<i>Ácido trans-fertárico</i>	4,49 ± 0,03 <sup>a</sup>	3,53 ± 0,05 <sup>b</sup>	19,95 ± 0,11 <sup>c</sup>
<i>Ácido cloragénico</i>	4,60 ± 0,32 <sup>a</sup>	3,67 ± 0,07 <sup>a</sup>	11,56 ± 0,28 <sup>b</sup>
<i>Ácido p-coumárico</i>	0,71 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,64 ± 0,01 <sup>b</sup>	0,71 ± 0,01 <sup>a</sup>
<i>Ácido cafeico</i>	2,52 ± 0,08 <sup>a</sup>	2,24 ± 0,03 <sup>a</sup>	3,72 ± 0,04 <sup>b</sup>
<i>Ácido ferrúlico</i>	1,72 ± 0,01 <sup>a</sup>	1,75 ± 0,05 <sup>a</sup>	2,07 ± 0,01 <sup>b</sup>
<i>Ácido sinápico</i>	1,22 ± 0,02 <sup>a</sup>	1,59 ± 0,01 <sup>b</sup>	1,68 ± 0,02 <sup>b</sup>
<b>Flavonóides</b>	55,12 ± 0,41 <sup>a</sup>	61,20 ± 0,34 <sup>b</sup>	91,72 ± 0,48 <sup>c</sup>
<i>Epicatequina</i>	0,07 ± 0,00 <sup>a</sup>	0,05 ± 0,00 <sup>b</sup>	0,08 ± 0,00 <sup>c</sup>
<i>Chalconaringenina</i>	37,00 ± 0,39 <sup>a</sup>	38,85 ± 0,25 <sup>b</sup>	51,95 ± 0,21 <sup>c</sup>
<i>Rutina</i>	17,55 ± 0,13 <sup>a</sup>	21,69 ± 0,11 <sup>b</sup>	39,69 ± 0,23 <sup>c</sup>
<i>Miricetina</i>	0,49 ± 0,01 <sup>a</sup>	0,60 ± 0,01 <sup>b</sup>	n.d.
<b>Polifenóis simples total</b>	73,08 ± 0,92 <sup>a</sup>	76,83 ± 1,31 <sup>a</sup>	134,85 ± 0,45 <sup>b</sup>

n.d.- Não detetado

Os valores representam a média de duas réplicas ± desvio padrão;

 A média seguida por diferentes letras na mesma linha representa que são significativamente diferentes ( $p < 0,05$ );

Os ácidos hidroxicinâmicos (*p*-coumárico, ferúlico, cafeico e cloragénico) ao contrário dos flavonóides encontram-se presentes no interior do fruto, daí sofrerem pouca influência das condições ambientais, principalmente da radiação UV<sup>(70)</sup>. A maior concentração de ácidos hidroxicinâmicos no sistema tradicional, em particular os ácidos *trans*-fertárico e cloragénico, poderão ter origem na baixa concentração de azoto no solo, que conseqüentemente leva a uma maior absorção de outros minerais, como o fósforo<sup>(75, 102)</sup>. Este facto poderá originar um stress salino na planta, que provocará um aumento na produção de ROS, e conseqüentemente maior teor de ácidos hidroxicinâmicos no interior do fruto<sup>(75)</sup>.

No tomate os flavonóides encontram-se essencialmente na pele, sendo responsáveis pela eliminação de grande parte dos radicais livres formados através do excesso de radiação UV<sup>(70, 73)</sup>. Através da Tabela 17 verificam-se diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) na concentração de flavonóides dos frutos entre os vários sistemas, sendo o tradicional o que apresentou maior teor destas moléculas. Os frutos dos sistemas DLFT e semi-hidropónico apresentaram menos 40% e 33% desta classe de compostos. As diferenças significativas ocorridas nestes dois sistemas poderão explicar-se através de duas razões fundamentais: (i) a maior incidência de radiação UV no fruto; (ii) a limitação de azoto no solo ou a menor absorção de água. (i) A intensidade luminosa (radiação UV) provoca um aumento dos flavonóides no fruto com o objetivo de proteger o conteúdo celular<sup>(72, 73, 79, 105, 106)</sup>. (ii) Com menor influência, vários autores reportam que a limitação do teor de azoto e a escassez de água aumentam a acumulação de flavonóides<sup>(76, 102, 105)</sup>.

Outra função importante dos flavonóides consiste na modulação do movimento das auxinas, sendo a sua passagem entre as células inibida pelo aumento dos flavonóides<sup>(73)</sup>. Assim o crescimento e desenvolvimento da planta e do fruto serão influenciados pelo teor desta classe de polifenóis. Pelos resultados obtidos (Tabela 17) supõe-se que a passagem de auxinas entre as células foi muito menor nas plantas do sistema tradicional<sup>(73, 76, 79)</sup>. Embora em muito menor escala, as plantas do sistema semi-hidropónico também poderão ter sofrido um pequeno défice no transporte destas moléculas, comparativamente com sistema DLFT. De acordo com a função das auxinas nas plantas, seria supor que as plantas do sistema tradicional apresentassem um crescimento menor, seguindo-se o sistema semi-hidropónico e por fim o sistema DLFT. De facto, confirma-se esta tendência através dos resultados obtidos no crescimento e acumulação de biomassa nas plantas do sistema DLFT.

## 5.4. Conclusão

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que a utilização do novo sistema DLFT para a produção de plantas com médio porte melhora significativamente a qualidade do fruto. O maior teor de açúcares redutores juntamente com uma boa acidez e uma melhor textura são dados que comprovam a melhor qualidade do tomate cereja produzido no sistema DLFT, daí a maior preferência dos consumidores no teste hedónico.

A avaliação dos teores de carotenóides, ácidos gordos e polifenóis dos frutos produzidos nos vários sistemas de cultivo poderá indicar que as plantas do sistema DLFT estiveram menos sujeitas a stressses abióticos subjacentes ao método de cultivo (hídrico, salino, radiação). Também, o menor teor de flavonóides nos frutos produzidos com este sistema poderá relacionar-se com um maior transporte de auxinas nas plantas, podendo indicar um maior crescimento das plantas.

## 6. CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que o novo sistema hidropónico DLFT aumenta o crescimento, a produção de biomassa e as propriedades organoléticas do tomate, com produtividade igual ao sistema semi-hidropónico. Estes resultados poderão explicar-se pela baixa incidência de stresses abióticos (provenientes do método de cultivo) nas plantas cultivadas no sistema DLFT. O maior teor de açúcares redutores juntamente com uma boa acidez e a melhor textura conferiram ao tomate cereja do sistema DLFT a melhor qualidade, encontrando-se de acordo com a preferência dos consumidores (teste hedónico). Isto poderá dever-se à melhor absorção de minerais e água pelas plantas deste sistema, originando um bom equilíbrio ácido-base no fruto (acidez) e uma maior produção de açúcares redutores que são posteriormente translocados para o fruto. A biomassa obtida nas raízes do sistema DLFT demonstra que a oxigenação da parte radicular não foi afetada e que não ocorreu acumulação de sais ao longo do sistema durante o crescimento e desenvolvimento das plantas.

No sistema semi-hidropónico verificou-se que a área de contacto da raiz com a solução, a acumulação de sais e menor retenção de água do suporte poderão ser fatores que afetam significativamente as propriedades organoléticas do fruto, o crescimento e acumulação de biomassa no tomateiro. Também, os teores de flavonóides, carotenóides e polifenóis poderão ter origem na maior incidência de stresses abióticos nas plantas produzidas com este sistema, comparativamente ao sistema DLFT.

No sistema tradicional as propriedades físicas e químicas do solo poderão ser a origem do baixo crescimento, produtividade e acumulação de biomassa. No entanto, a qualidade do fruto foi pouco afetada, podendo dever-se à baixa absorção de água pelas plantas deste sistema, que ao manter o volume do fruto poderá ter conferido boas propriedades organoléticas. Também, os teores de carotenóides e polifenóis nas plantas produzidas com este sistema poderão ter origem na maior incidência de stresses abióticos subjacentes ao método de cultivo, podendo dever-se à baixa absorção de azoto, reduzida área foliar e ao stress hídrico.

O novo sistema hidropónico demonstrou ser muito eficiente no cultivo de plantas de médio porte, que permitem ao produtor obter um maior rendimento num espaço de tempo menor. No entanto, outros estudos podem ser realizados para corroborar os resultados obtidos,

e permitir ter uma avaliação mais precisa dos benefícios que poderão advir para os produtores. O cultivo do tomate cereja num sistema NFT e DFT seria um dos estudos a realizar, tendo por objetivo verificar se as diferenças para o sistema DLFT seriam maiores que as obtidas no sistema semi-hidropónico. Seria também interessante testar o sistema DLFT em plantas com um sistema radicular muito sensível. Para além disso, com base nos resultados obtidos na biomassa do sistema DLFT, seria interessante o cultivo de plantas de médio porte onde a composição bioquímica da biomassa apresentasse um valor comercial elevado. A avaliação económica ao sistema seria outro dado fundamental para a sua implementação no mercado. Por fim, a automização completa do sistema e a sua conversão num sistema fechado tornaria-o mais económico e mais sustentável ambientalmente.

## 7. REFERÊNCIAS

1. Roberto K, 2003. What is hydroponics? In: Roberto K, editor. How-To Hydroponics: The futuregarden Press, pp. 10-16.
2. Resh HM, 1978. Introduction. In: Resh HM, editor. Hydroponic Food Production: Woodbridge Press Publishing Company, pp. 21-29.
3. Savvas D, 2003. Hydroponics: A modern technology supporting the application of integrated crop management in greenhouse. J Food Agri Environ.; 1, 80-86.
4. Lakkireddy KKR, Kasturi K, Sambasiva RKRS, 2012. Role of hydroponics and aeroponics in soilless culture in commercial food production. J Agric Sci Technol.; 1, 26-35.
5. Jones JBJ; 2005. Introduction. In: Jones JBJ, editor. Hydroponics: a practical guide for the soilless grower: CRC Press, pp. 1-10.
6. Shavrukov Y, Genc Y, Hayes J; 2012. The use of hydroponics in abiotic stress tolerance research. In: Asao T, editor. Hydroponics-a standard methodology for plant biological researches. InTech, pp. 39-66.
7. Cometti NN, 2003. Nutrição Mineral da Alface (*Lactuca sativa* L.) em Cultura Hidropônica – Sistema NFT: Universidade Federal rural do Rio de Janeiro.
8. Succop CE, 1998. Hydroponic greenhouse production of fresh market basil Colorado State University.
9. Pardossi A, Carmassi G, Diara C, Incrocci L, Maggini R, Massa D, 2011. Fertigation and Substrate Management in Closed Soilless Culture. In: Biologia delle Piante Agrarie UdP, Pisa.
10. Roberto K; 2003. Hydroponic technology. In: Roberto K, editor. How-to hydroponics. The Futuregarden Press, pp. 20-26.
11. Hassall; 2001. Hydroponics as a Commercial Production System. In: Hassall, editor. Hydroponics as an Agricultural Production System: Rural Industries Research and Development Corporation, pp. 3-9.

12. Snyder RG, 2008. Greenhouse Tomato Production. In: Jones JBJ, editor. Tomato Plant Culture: CRC Press, pp. 205-282.
13. Jones JBJ, 2005. Systems of hydroponic culture. In: Jones JBJ, editor. Hydroponics- a practical guide for the soilless grower. CRC Press, pp. 123-152.
14. Papadopoulos AP, 1991. The nutrient film technique and other hydroponic systems. In: Papadopoulos AP, editor. Growing greenhouse tomatoes in soil and in soilless media: Agriculture Canada Publication, pp. 68-79.
15. Adams CR, Bamford KM, Early MP, 2008. Alternatives to growing in the soil. In: Adams CR, Bamford KM, Early MP, editors. Principles of Horticulture. Elsevier, pp. 383-399.
16. Roberto K, 2003. Hydroponic mediums. In: Roberto K, editor. How-to hydroponics. The futuregarden Press, pp. 16-20.
17. Resh HM, 2013. Plant Nutrition. In: Resh HM, editor. Hobby hydroponics. CRC Press, pp. 55-70.
18. Fan R, Yang X, Xie H, Reeb M-A, 2012. Determination of nutrients in hydroponic solutions using mid-infrared spectroscopy. *Sci Hort*, 144, 48-54.
19. Resh HM, 1978. The nutrient solution. In: Resh HM, editor. Hydroponic food production. Woodbridge Press Publishing, pp. 60-80.
20. Trejo-Téllez LI, Gómez-Merino FC, 2012. Nutrient solutions for hydroponic systems. In: Asao T, editor. Hydroponics-a standard methodology for plant biological researches. InTech, pp. 1-22.
21. Savvas D, Manos G, 1999. Automated composition control of nutrient solution in closed soilless culture systems. *J Agric Engng Res*, 73, 29-33.
22. Savvas D, 2002. Automated replenishment of recycled greenhouse effluents with individual nutrients in hydroponics by means of two alternative models. *Biosyst Eng*, 83, 225-236.
23. Bot J, Adamowicz S, Robin P, 1998. Modelling plant nutrition of horticultural crops: a review. *Sci Hort*, 74, 47-82.

24. Jones JBJ, 2005. The nutrient solution. In: Jones JBJ, editor. Hydroponics: a practical guide for the soilless grower. CRC Press, pp. 71-116.
25. Resh HM, 1978. Plant Nutrition. In: Resh HM, editor. Hydroponic Food Production: Woodbridge Press Publishing, pp. 30-59.
26. Sadeghpour A, Jahanzad E, 2012. Response of hydroponically grown tomato and solution acidity to ammonium as a nutrient solution. A J A E, 3, 18-21.
27. Carlisle E, Myers S, Raboy V, Bloom A, 2012. The effects of inorganic nitrogen form and CO<sub>2</sub> concentration on wheat yield and nutrient accumulation and distribution. Front Plant Sci, 3, 1-13.
28. Britto DT, Kronzucker HJ, 2002. NH<sub>4</sub><sup>+</sup> toxicity in higher plants: a critical review. J Plant Physiol, 159, 567-584.
29. Whitney SM, Houtz RL, Alonso H, 2011. Advancing our understanding and capacity to engineer nature's CO<sub>2</sub>-sequestering enzyme, Rubisco. Plant Physiol, 155, 27-35.
30. Voogt W, 2002. Potassium management of vegetables under intensive growth conditions. In: Pasricha NS, Bansal SK, editors. Potassium for sustainable crop production: Intern. Potash Inst, pp. 347-362.
31. Urrestarazu M, Mazuela PC, 2005. Effect of slow-release oxygen supply by fertigation on horticultural crops under soilless culture. Sci Hort, 106, 484-490.
32. Schwarz D, Grosch R, Gross W, Hoffmann-Hergarten S, 2005. Water quality assessment of different reservoir types in relation to nutrient solution use in hydroponics. Agric Water Manag, 71, 145-166.
33. Upadhyaya GK, 2013. Effect of light on powdery mildew in greenhouse tomato (*Solanum lycopersicum* 'Espero'): Norwegian University of Life Sciences.
34. Carver GW, 2008. Introduction. In: Jones JBJ, editor. Tomato Plant Culture. CRC Press, pp. 1-54.
35. Bergougnoux V, 2014. The history of tomato: from domestication to biopharming. Biotechnol Adv, 32, 170-189.

36. Passam HC, Karapanos IC, Bebeli PJ, Savvas D, 2007. A review of recent research on tomato nutrition, breeding and post-harvest technology with reference to fruit quality. *Eur J Plant Sci Biotech*, 1, 1-21.
37. Ilić ZS, Kapoulas N, Šunić L, 2014. Tomato fruit quality from organic and conventional production. In: Pilipavicius V, editor. *Organic agriculture towards sustainability: InTech*, pp. 147-169.
38. Beckles DM, 2012. Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biol Technol*, 63, 129-140.
39. Moraru C, Logendra L, Lee T-C, Janes H, 2004. Characteristics of 10 processing tomato cultivars grown hydroponically for the NASA Advanced Life Support (ALS) Program. *J Food Compos Anal*, 17, 141-154.
40. Tinyane PP, Sivakumar D, Soundy P, 2013. Influence of photo-selective netting on fruit quality parameters and bioactive compounds in selected tomato cultivars. *Sci Hort*, 161, 340-349.
41. Nzanza B, 2006. Yield and quality of tomato as influenced by differential Ca, Mg and K nutrition. University of Pretoria.
42. Pinela J, Barros L, Carvalho AM, Ferreira IC, 2012. Nutritional composition and antioxidant activity of four tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) farmer' varieties in Northeastern Portugal homegardens. *Food Chem Toxicol*, 50, 829-834.
43. Arias R, Lee T-C, Logendra L, Janes H, 2000. Correlation of lycopene measured by HPLC with the L\*, a\*, b\* color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. *J Agric Food Chem*, 48, 1697–1702.
44. Jarquín-Enríquez L, Mercado-Silva EM, Maldonado JL, Lopez-Baltazar J, 2013. Lycopene content and color index of tomatoes are affected by the greenhouse cover. *Sci Hort*, 155, 43-48.
45. Wu M, 2006. Effect of nutrient solution electrical conductivity levels on lycopene concentration, sugar composition and concentration of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). The university of arizona.

46. Periago MJ, Rincón F, Aguera MD, Ros G, 2004. Mixture approach for optimizing lycopene extraction from tomato and tomato products. *J Agric Food Chem*, 52, 5796–5802.
47. Slimestad R, Verheul MJ, 2005. Content of chalconaringenin and chlorogenic acid in cherry tomatoes is strongly reduced during postharvest ripening. *J Agric Food Chem*, 53, 7251–7256.
48. Genuncio GdC, 2009. Crescimento e produção do tomateiro em sistemas de cultivo a campo, hidropônico e fertirrigado: Universidade federal rural do Rio de Janeiro.
49. Keillor G, 2008. Plant Characteristics and Physiology. In: Jones JBJ, editor. *Tomato Plant Culture*. CRC Press, pp. 55-80.
50. Arias R, Lee T-C, Specca D, Janes H, 2000. Quality comparison of hydroponic tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) ripened on and off vine. *J Food Sci*, 65, 545-548.
51. Jones JBJ, 2008. Fruit Characteristics. In: Jones JBJ, editor. *Tomato Plant Culture*. CRC Press, pp. 101-128.
52. Jones JBJ, 2008. Field Production in Soil. In: Jones JBJ, editor. *Tomato Plant Culture*. CRC Press, pp. 179-204.
53. Shi K, Hu W-H, Dong D-K, Zhou Y-H, Yu J-Q, 2007. Low O<sub>2</sub> supply is involved in the poor growth in root-restricted plants of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Environ Exp Bot*, 61, 181-189.
54. Xu H-l, Gauthier L, Gosselin A, 1995. Effects of fertigation management on growth and photosynthesis of tomato plants grown in peat, rockwool and NFT. *Sci Hort*, 63, 11-20.
55. Zekki H, Gauthier L, Gosselin A, 1996. Growth, productivity, and mineral composition of hydroponically cultivated greenhouse tomatoes, with or without nutrient solution recycling. *J Amer Soc Hort Sci*, 121, 1082-1088.
56. Chen YL, Dunbabin VM, Diggle AJ, Siddique KHM, Rengel Z, 2011. Development of a novel semi-hydroponic phenotyping system for studying root architecture. *Funct Plant Biol*, 38, 355-363.
57. Slimestad R, Verheul MJ, 2005. Seasonal variations in the level of plant constituents in greenhouse production of cherry tomatoes. *J Agric Food Chem*, 53, 3114–3119.

58. Roosta HR, Hamidpour M, 2011. Effects of foliar application of some macro- and micro-nutrients on tomato plants in aquaponic and hydroponic systems. *Sci Hort*, 129, 396-402.
59. Sangtarashani ES, Tabatabaei SJ, Bolandnazar S, 2013. Yield, photosynthetic efficiency and quality parameters of cherry tomato as affected by  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{K}^+$  under NaCl salinity. *Intl J Agri Crop Sci*, 5, 1280-1288.
60. Krauss S, Schnitzler WH, Grassmann J, Voitke M, 2006. The influence of different electrical conductivity values in a simplified recirculating soilless system on inner and outer fruit quality characteristics of tomato. *J Agric Food Chem*, 54, 441-448.
61. Sibomana IC, Aguyoh JN, Opiyo AM, 2013. Water stress affects growth and yield of container grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) plants. *GJBB*, 2, 461-466.
62. Nahar K, Gretzmacher R, 2011. Response of Shoot and Root Development of Seven Tomato Cultivars in Hydroponic System under Water Stress. *A J P S*, 4, 57-63.
63. Lovelli S, Perniola M, Tommaso TD, Bochicchio R, Amato M, 2012. Specific root length and diameter of hydroponically-grown tomato plants under salinity. *J Agron*, 11, 101-106.
64. Bot JL, Jeannequin B, Fabre R, 2001. Impacts of N-deprivation on the yield and nitrogen budget of rockwool grown tomatoes. *Agronomie*, 21, 341-350.
65. Hao X, Papadopoulos AP, 2004. Effects of calcium and magnesium on plant growth, biomass partitioning, and fruit yield of winter greenhouse tomato. *HortScience*, 39, 512-515.
66. Lenucci MS, Cadinu D, Taurino M, Piro G, Dalessandro G, 2006. Antioxidant composition in cherry and high-pigment tomato cultivars. *J Agric Food Chem*, 54, 2606-2613.
67. Maharaj R, Arul J, Nadeau P, 2014. UV-C irradiation effects on levels of enzymic and non-enzymic phytochemicals in tomato. *Innovative Food Sci Emerging Technol*, 21, 99-106.
68. Liu L, Shao Z, Zhang M, Wang Q, 2015. Regulation of carotenoid metabolism in tomato. *Mol Plant*, 8, 28-39.
69. Kaur C, Walia S, Nagal S, Walia S, Singh J, Singh BB, et al., 2013. Functional quality and antioxidant composition of selected tomato (*Solanum lycopersicon* L) cultivars grown in Northern India. *LWT--Food Sci Technol*, 50, 139-145.

70. Salunkhe DK, Jadhav SJ, Yu MH, 1974. Quality and nutritional composition of tomato fruit as influenced by certain biochemical and physiological changes. *Qual Plant - Plant Foods Hum Nutr*, 14, 85-113.
71. Rosales MA, Cervilla LM, Sanchez-Rodriguez E, Rubio-Wilhelmi Mdel M, Blasco B, Rios JJ, et al., 2011. The effect of environmental conditions on nutritional quality of cherry tomato fruits: evaluation of two experimental Mediterranean greenhouses. *J Sci Food Agric*, 91, 152-162.
72. Heleno SA, Martins A, Queiroz MJ, Ferreira IC, 2015. Bioactivity of phenolic acids: metabolites versus parent compounds: a review. *Food Chem*, 173, 501-513.
73. Kumar S, Pandey AK, 2013. Chemistry and biological activities of flavonoids: an overview. *The Scientific World Journal*, 1-16.
74. Kalogeropoulos N, Chiou A, Ioannou M, Karathanos VT, Hassapidou M, Andrikopoulos NK, 2010. Nutritional evaluation and bioactive microconstituents (phytosterols, tocopherols, polyphenols, triterpenic acids) in cooked dry legumes usually consumed in the Mediterranean countries. *Food Chem*, 121, 682-690.
75. Pandey KB, Rizvi SI, 2009. Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxid Med Cell Longevity*, 2, 270-278.
76. Mierziak J, Kostyn K, Kulma A. Flavonoids as important molecules of plant interactions with the environment. *Molecules*. 2014;19:16240-65.
77. Dixon RA, Pasinetti GM, 2010. Flavonoids and isoflavonoids: from plant biology to agriculture and neuroscience. *Plant Physiol*, 154, 453-457.
78. Agati G, Azzarello E, Pollastri S, Tattini M, 2012. Flavonoids as antioxidants in plants: location and functional significance. *Plant Sci*, 196, 67-76.
79. Petrusa E, Braidot E, Zancani M, Peresson C, Bertolini A, Patui S, et al., 2013. Plant flavonoids--biosynthesis, transport and involvement in stress responses. *Int J Mol Sci*, 14, 14950-14973.
80. Kachroo A, Kachroo P, 2009. Fatty Acid-derived signals in plant defense. *Annu Rev Phytopathol*, 47, 153-176.

81. Rawsthorne S, 2002. Carbon flux and fatty acid synthesis in plants. *Prog Lipid Res*, 41, 182-196.
82. Sato S, Sakaguchi S, Furukawa H, Ikeda H, 2006. Effects of NaCl application to hydroponic nutrient solution on fruit characteristics of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Sci Hort*, 109, 248-253.
83. Andrikopoulos NK, Kalogeropoulos N, Zerva A, Zerva U, Hassapidou M, Kapoulas VM, 2003. Evaluation of cholesterol and other nutrient parameters of Greek cheese varieties. *J Food Compos Anal*, 16, 155-167.
84. Kim CW, Sung MG, Nam K, Moon M, Kwon JH, Yang JW, 2014. Effect of monochromatic illumination on lipid accumulation of *Nannochloropsis gaditana* under continuous cultivation. *Bioresour Technol*, 159, 30-35.
85. Barros L, Carvalho AM, Ferreira ICFR, 2010. Leaves, Flowers, Immature fruits and Leafy flowered stems of *Malva sylvestris*: A comparative study of the nutraceutical potential and composition. *Food Chem Toxicol*, 48, 1466-1472.
86. Bligh EG, Dyer WJ, 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can J Biochem Physiol*, 37, 911-917.
87. Lepage G, Roy CC, 1986. Direct transesterification of all classes of lipids in a one-step reaction. *J Lipid Res*, 27, 114-120.
88. Cohen Z, Vonshak A, Richmond A, 1988. Effect of environmental conditions on fatty acid composition of the red alga *Porphyridium* correlation to growth rate. *J Phycol*, 24, 328-332.
89. Blakeney AB, Harris PJ, Henry RJ, Stone BA, 1983. A simple and rapid preparation of alditol acetates for monosaccharide analysis. *Carbohydr Res*, 113, 291-299.
90. Arnous A, Makris DP, Kefalas P, 2002. Correlation of pigment and flavanol content with antioxidant properties in selected aged regional wines from Greece. *J Food Compos Anal*, 15, 655-665.
91. Pereira V, Câmara JS, Cacho J, Marques JC, 2010. HPLC-DAD methodology for the quantification of organic acids, furans and polyphenols by direct injection of wine samples. *J Sep Sci*, 33, 1204-1215.

92. Schwarz D, Öztekin GB, Tüzel Y, Brückner B, Krumbein A, 2013. Rootstocks can enhance tomato growth and quality characteristics at low potassium supply. *Sci Hort*, 149, 70-79.
93. Claussen W, Bruckner B, Krumbein A, Lenz F, 2006. Long-term response of tomato plants to changing nutrient concentration in the root environment—the role of proline as an indicator of sensory fruit quality. *Plant Sci*, 171, 323-331.
94. Guichard S, Bertin N, Leonardi C, Gary C, 2001. Tomato fruit quality in relation to water and carbon fluxes. *Agronomie*, 21, 385-392.
95. Piombino P, Sinesio F, Moneta E, Cammareri M, Genovese A, Lisanti MT, et al., 2013. Investigating physicochemical, volatile and sensory parameters playing a positive or a negative role on tomato liking. *Food Res Int*, 50, 409-419.
96. Kalogeropoulos N, Chiou A, Pyriochou V, Peristeraki A, Karathanos VT, 2012. Bioactive phytochemicals in industrial tomatoes and their processing byproducts. *LWT--Food Sci Technol*, 49, 213-216.
97. Simopoulos AP, 2002. The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomed Pharmacother*, 56, 365-379.
98. Raposo MFdJ, Morais RMSC, Morais AMMB, 2013. Health applications of bioactive compounds from marine microalgae. *Life Sci*, 93, 479-486.
99. Adalid AM, Roselló S, Nuez F, 2010. Evaluation and selection of tomato accessions (*Solanum* section *Lycopersicon*) for content of lycopene,  $\beta$ -carotene and ascorbic acid. *J Food Compos Anal*, 23, 613-618.
100. Ilahy R, Hdider C, Lenucci MS, Tlili I, Dalessandro G, 2011. Phytochemical composition and antioxidant activity of high-lycopene tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars grown in Southern Italy. *Sci Hort*, 127, 255-261.
101. D'Evoli L, Lombardi-Boccia G, Lucarini M, 2013. Influence of heat treatments on carotenoid content of cherry tomatoes. *Foods*, 2, 352-363.
102. Vallverdú-Queralt A, Medina-Remón A, Casals-Ribes I, Lamuela-Raventos RM, 2012. Is there any difference between the phenolic content of organic and conventional tomato juices? *Food Chem*, 130, 222-227.

103. Georgé S, Tourniaire F, Gautier H, Goupy P, Rock E, Caris-Veyrat C, 2011. Changes in the contents of carotenoids, phenolic compounds and vitamin C during technical processing and lyophilisation of red and yellow tomatoes. *Food Chem*, 124, 1603-1611.
104. Vallverdu-Queralt A, Medina-Rejon A, Andres-Lacueva C, Lamuela-Raventos RM, 2011. Changes in phenolic profile and antioxidant activity during production of diced tomatoes. *Food Chem*, 126, 1700-1707.
105. Sanchez-Rodriguez E, Ruiz JM, Ferreres F, Moreno DA, 2012. Phenolic profiles of cherry tomatoes as influenced by hydric stress and rootstock technique. *Food Chem*, 134, 775-782.
106. Yang J, Huang J, Gu H, Zhong Y, Yang Z, 2002. Duplication and Adaptive Evolution of the Chalcone Synthase Genes of *Dendranthema* (Asteraceae). *Mol Biol Evol*, 19, 1752-1759.