



Projeto iPlant:

“Inovação na identificação e produção de plantas melhoradas de eucalipto para enfrentar desafios atuais”

(2019-2021)

Inovar no sistema de clonagem de eucalipto

Otimizar as condições para maximizar a produção de rebentos e o enraizamento de estacas

EFEITO DE LUZES ARTIFICIAIS NA PRODUÇÃO DE PLANTA CLONAL DE EUCALIPTO



PART OF
THE NAVIGATOR
COMPANY

UNIVERSIDADE
DE COIMBRA
universidade
de aveiro
INSTITUTO
SUPERIOR DE
AGRONOMIA



Co financiado por



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional

Índice

ABSTRACT	2
RESUMO	2
INTRODUÇÃO	3
PARTE EXPERIMENTAL	4
<i>Local de estudo: instalação do mini jardim clonal e tratamentos aplicados</i>	4
<i>Delineamento do ensaio</i>	6
<i>Gestão do mini jardim e propagação através de miniestacas</i>	6
<i>Qualidade das condições ambientais das estufas</i>	7
<i>Estufa do mini jardim clonal</i>	7
<i>Estufa de enraizamento</i>	8
<i>Monitorização dos ensaios e análise de dados</i>	10
RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
<i>Mortalidade do mini jardim clonal ao longo do estudo</i>	10
<i>Produtividade do mini jardim clonal</i>	12
<i>Morfologia dos rebentos sob influência de luzes artificiais</i>	16
<i>Sobrevivência aos 30 dias</i>	17
<i>Enraizamento aos 90 dias</i>	18
<i>Produção anual de planta e relação económica</i>	20
CONCLUSÕES	22
REFERÊNCIAS	22

EFEITO DE LUZES ARTIFICIAIS NA PRODUÇÃO DE PLANTA CLONAL DE EUCALIPTO

Daniela F.P. Dinis^{1*}, Joana Costa¹, Nuno Borralho², Daniela Ferreira²

¹ RAIZ, Herdade de Espirra, 2985-270 Pegões, Portugal, daniela.dinis@thenavigatorcompany.com

² RAIZ, Quinta de S. Francisco, Apartado 15, 3801-501 Eixo

ABSTRACT

The *iPlant - "Innovation in the identification and production of improved eucalyptus plants to face current challenges"* is a project aiming to increase the value and productivity of Portuguese eucalypt forest, founded on a partnership. One of its main objectives is the development and improvement of an operational cloning production system to increase the amount of clonal improved plants available in the national market.

The experimental design of the work here presented aims to optimize the mother plants productivity of a clonal garden and the survival and rooting capacity of the cuttings of seven eucalyptus clones (*E. globulus* and hybrids) testing different types of lights (LED artificial lighting with different incidence radiations versus sunlight).

The results indicated that artificial lighting has a positive effect in increasing the productivity of the mother-plants. The productivity was also dependent of the clone and the quarter of the year, with spring being the most productive season. Regarding the effect of lighting on the survival and rooting of the cuttings, the results were negative for the artificial lighting. The success of survival and rooting is also dependent on the clone, as there are genetic materials with better capacity for these two characteristics.

The artificial lights, more specifically of the Valoya spectrum, may present a superiority in obtaining annual plant per square meter. This increase due to a greater productivity of the mini clonal garden, which means a potential reduction in the space required and associated cost. However, LED's have associated costs, both in the purchase, installation and operation of the LED's, as well as additional costs associated with human resources, consumables and infrastructure in the rooting phase. Considering only the potential increase in the annual plant compared to the energy consumption of the lights, this alternative system has not proven to be financially rewarding.

KEY WORDS: Eucalypt clones, Cloning system, LED lighting, Productivity, Rooting

RESUMO

O *iPlant - "Inovação na identificação e produção de plantas melhoradas de eucalipto para enfrentar os atuais desafios"* é um projeto que visa aumentar o valor e a produtividade da floresta portuguesa de eucalipto, fundado em parceria. Um dos seus principais objetivos é o desenvolvimento e melhoria de um sistema de produção de clonagem operacional para aumentar a quantidade de plantas melhoradas clonais disponíveis no mercado nacional.

O desenho experimental do trabalho aqui apresentado visa otimizar a produtividade dos pés-mãe de um jardim clonal e a capacidade de sobrevivência e enraizamento das estacas de sete clones de eucalipto (*E. globulus* e híbridos) testando diferentes tipos de luzes (iluminação artificial LED com diferentes radiações de incidência em relação à luz solar).

Os resultados indicaram que a iluminação artificial tem um efeito positivo no aumento da produtividade dos pés-mãe. A produtividade também dependia do clone e do trimestre do ano, sendo a primavera a estação mais produtiva. Quanto ao efeito da iluminação sobre a sobrevivência e

enraizamento das estacas, os resultados foram negativos para a iluminação artificial. O sucesso da sobrevivência e enraizamento depende também do clone, uma vez que existem materiais genéticos com melhor capacidade para estas duas características.

As luzes LED, mais concretamente o espectro AP673L da Valoya, podem apresentar superioridade na obtenção de planta/m². Este acréscimo de planta deve-se a uma maior produtividade do mini jardim clonal, o que significa uma potencial redução do espaço necessário e custo associado. No entanto, os LED's apresentam custos associados, quer na compra, instalação e funcionamento dos mesmos, quer um acréscimo de custos associados a recursos humanos, consumíveis e infraestruturas na fase de enraizamento. Considerando apenas o potencial acréscimo de planta anual comparativamente ao consumo energético das luzes, este sistema alternativo não se demonstrou compensatório financeiramente.

PALAVRAS-CHAVE: Clones de eucalipto, Sistema de clonagem, Luzes LED, Produtividade, Enraizamento.

INTRODUÇÃO

O *iPlant - "Innovation in the identification and production of improved eucalyptus plants to face current challenges"* é um projeto que visa aumentar o valor e a produtividade da floresta de eucalipto em Portugal, assente numa parceria entre o INIAV, The Navigator Company, Viveiros Furadoro, ISA e RAIZ. Um dos principais objetivos é a melhoria do sistema operacional de produção de clonagem, e desenvolvimento de novas técnicas, de forma a aumentar a quantidade de planta melhorada disponível no mercado nacional, selecionada entre os melhores materiais genéticos disponíveis no RAIZ e Altri Florestal.

Eucalyptus globulus, nativo da Austrália, é uma das espécies florestais plantadas mais importantes em todo o mundo [1], e em Portugal, uma vez que apresenta adaptabilidade ao território nacional, elevada taxa de crescimento nalgumas condições edafoclimáticas e qualidade da madeira de excelência para a produção de pasta e de papel. É a espécie de eucalipto mais plantada no país [2], ocupando 9% da área florestal, que representa 35% do território nacional. Esta espécie existe em Portugal e na Europa desde a segunda metade do século XX [3] e a sua produção sustentável de madeira é um dos fatores de sucesso necessários para a competitividade da indústria nacional de pasta e papel [2].

Um dos processos utilizados para produção de planta de eucalipto é a clonagem, o qual garante a manutenção plena de características da planta-mãe elite selecionada, refletindo-se posteriormente na implementação de talhões uniformes de elevada produtividade [4]. No entanto, muitas espécies de eucalipto são recalcitrantes ao enraizamento o que dificulta a propagação clonal em escala comercial [5]. A propagação clonal do eucalipto pode ser realizada por macro ou mini estacaria. A técnica de mini estacaria, que corresponde processo produtivo utilizado neste estudo, apresenta vantagens tais como um menor custo de manutenção do mini jardim clonal e do transporte e processamento dos rebentos, um maior controlo no sistema de rega e nutrição dos pés-mãe, menores variações sazonais, um elevado grau de rejuvenescimento dos rebentos, entre outros [4].

Na propagação clonal do eucalipto por mini estacaria há dois fatores essenciais a maximizar na produção do mini jardim clonal: i) a produtividade de rebentos dos pés-mãe (rebentos úteis por m²), que varia conforme o material genético, idade dos pés-mãe e sazonalidade ambiental [4], sendo este fator o principal indicador de qualidade de um jardim clonal (sendo essencial a existência de controlo ambiental na estufa), e ii) a capacidade de enraizamento do material genético, em que a rizogénesis em rebentos está intimamente ligada ao seu estado fisiológico [6]. O enraizamento é a etapa mais crítica no sucesso de produção da planta, sendo necessário nos primeiros 30 dias assegurar condições ambientais favoráveis às estacas, como elevada humidade e temperatura moderada, promovendo uma baixa mortalidade até que ocorra a emissão de raízes adventícias. Esta primeira fase é seguida de outra em que se reduzem os níveis de humidade para promover o crescimento das raízes, ainda no mesmo

ambiente (estufa de enraizamento), acrescentando ao processo mais 20 a 30 dias, dependendo da altura do ano (e das condições da própria estufa). Após este período, as plantas são colocadas numa casa de sombra ou estufa de atempamento, promovendo as trocas gasosas e o desenvolvimento da parte aérea, até que estejam prontas para serem plantadas no terreno. Desta forma, toda a tecnologia que vise maximizar a produtividade e qualidade dos rebentos e o seu enraizamento vai favorecer a qualidade e produtividade dos clones em viveiro, levando ao estudo neste caso, da utilização de diferentes fontes de iluminação (luz artificial e natural). O uso de iluminação artificial na produção de plantas tem um papel fundamental, uma vez que possibilita a existência de fotoperíodos alargados, com consequente aumento da produtividade de rebentos, sendo que a tecnologia de diodo emissor de luz (LED) está em crescimento pelas suas vantagens, tais como um período de vida mais longo e uma emissão mínima de calor permitindo uma proximidade às plantas [7]. A utilização de comprimentos de onda específicos deve ser considerada com base no objetivo determinado. No âmbito deste estudo, foram usados dois tipos de LEDs, o AP673L (azul moderado, vermelho intenso) da marca Valoya e o DR/W/FR (vermelho profundo, branco e vermelho distante) da marca Philips.

Os objetivos do presente estudo foram: 1) avaliar se a produtividade dos pés-mãe é influenciada pelo uso de luzes artificiais e 2) avaliar se há diferenças na sobrevivência e enraizamento das estacas dependendo do tipo de luz, natural ou artificial (LEDs Valoya e Philips).

PARTE EXPERIMENTAL

Local de estudo: instalação do mini jardim clonal e tratamentos aplicados

O mini jardim clonal deste estudo foi instalado numa estufa, equipada com sistema de arrefecimento (usualmente designado de sistema de *cooling*), tecnologia para monitorização ambiental (sondas e *software* para medição de temperatura, luminosidade, humidade do ar) e sistema de fertirriga de controlo da solução nutritiva fornecida aos pés-mãe. A estufa encontra-se localizada nas instalações do RAIZ, na Herdade de Espirra, Pegões (distrito de Setúbal, Portugal). Foram selecionados sete clones para a implementação do ensaio (**Tabela 1**): quatro com proveniência RAIZ (planta *E. globulus* identificada no estudo com os códigos RZ1 e RZ3; planta híbrida, códigos RZ2 e RZ4) e três com proveniência Altri Florestal (planta *E. globulus*, códigos ALT1, ALT2 e ALT3).

Para a instalação do ensaio foram utilizados três canteiros de alumínio, cada um com 5,7m de comprimento e 0,83m de largura, com uma área útil de 4,36 m², preenchidos com substrato de areia grosseira lavada (com facilidade de drenagem média e capacidade de retenção de água). A instalação da planta nos canteiros ocorreu de abril a maio de 2019. Em termos de material genético, disposição do mesmo, espaçamento da planta (0,1m x 0,13m) e número de pés-mãe instalados por clone (**Tabela 1**), os três canteiros constituem réplicas completas.

Tabela 1. Espécies de eucalipto em estudo e dimensão do mini jardim clonal.

Clones	Material genético	Nºpés-mãe/linha	Nºpés-mãe/canteiro	Área clone m ²	Nºpés-mãe no ensaio experimental
RZ1	<i>E. globulus</i>	8	48	0.59	144
RZ2	<i>E. grandis</i> x <i>E. globulus</i>	8	48	0.59	144
RZ3	<i>E. globulus</i>	8	48	0.59	144
RZ4	<i>E. saligna</i> x <i>E. rufida</i>	9	54	0.67	162
ALT1	<i>E. globulus</i>	9	54	0.67	162
ALT2	<i>E. globulus</i>	8	48	0.59	144
ALT3	<i>E. globulus</i>	8	48	0.59	144
Total	-	-	348	4.29	1044

As variáveis climáticas foram monitorizadas (período de outubro de 2019 a julho de 2020), procurando assegurar valores de referência para a estufa de mini jardim clonal, sendo necessário bom arejamento e baixa humidade assim como temperatura do ar na faixa ótima entre os 25°C e 30°C durante o dia. A solução nutritiva fornecida aos pés-mãe teve uma frequência diária de cinco vezes, e um débito diário de 11,5 L/m² (Tabela 2). O estado nutricional das plantas foi acompanhado por diagnóstico visual e análises químicas foliares, bem como por registo de parâmetros como temperatura, pH e condutividade elétrica (CE μ S/cm) em amostras de lixiviado e solo.

Para ensaiar o efeito da luz nos pés-mãe foram instaladas luzes LED, AP673L da marca Valoya e DR/W/FR da marca Philips. Um dos canteiros tem presente apenas luz solar existente, sem qualquer luz artificial e funciona como controlo no ensaio, designado como tratamento T0; o espectro da Valoya foi instalado num dos outros canteiros disponíveis, a cerca de 0,70 m de altura dos pés-mãe, sendo designado por T1, e o espectro da Philips instalado num outro canteiro a cerca de 1,70 m de altura, sendo o T2 (Figura 1). As luzes estiveram em funcionamento com um fotoperíodo de 12h de luz (05h00 às 08h30 e das 13h00 às 21h30) e foram ligadas em junho de 2019, ainda durante o período de formação dos pés-mãe.

Tabela 2. Composição da solução nutritiva básica para a fertirregada do mini jardim clonal.

	N	P	K	Ca	Mg	Fe	B	Cu	Zn	Mn	Mo
Elemento (ppm)	144.1	22.7	123.5	153.9	31.8	2.4	0.31	0.06	0.40	1.00	0.04



Figura 1. Tratamentos com luzes artificiais e controlo. Em a) - Disposição dos tratamentos no mini jardim clonal em que 1) tratamento controlo, (T0) sem influência de luzes LED; 2) tratamento com luzes LED Valoya (T1) e 3) tratamento com luzes LED Philips (T2). Em b) – luzes Philips. Em c) – luzes Valoya.

Delineamento do ensaio

As estacarias usadas nos testes foram colhidas com uma frequência de uma a duas vezes por mês, no período de 11 meses, tendo sido realizadas podas dos pés-mãe para controlo de produtividade sempre que necessário. Em cada data de estacaria, os clones foram amostrados para os três tratamentos, com um número de estacas (n) tendencialmente igual entre tratamentos e estacarias (**Tabela 3**). Para obter valores de produtividade do mini jardim (por m²), os pés-mãe dos diferentes clones foram mensalmente podados, retirando e contabilizando os rebentos úteis para produção de estacas.

Tabela 3. Número de estacarias com número de estacas por ensaio (n) realizados de agosto de 2019 a julho de 2020 para os sete clones e três tratamentos em estudo.

	ago	set	out	nov	dez	jan	fev	mar	mai	jun	jul
	dia/n	dia/n	dia/n	dia/n	dia/n	dia/n	dia/n	dia/n	dia/n	dia/n	dia/n
RZ1	01/30	09/30	01/30	04/30	09/30	10/30	03/30	11/30	06/30	22/30	14/30
	20/21	18/30	10/30	13/30	18/30	-	12/30	-	-	-	-
RZ2	06/30	03/30	15/30	04/30	05/30	06/30	03/30	11/30	14/30	01/30	08/30
	22/30	23/30	24/30	14/30	16/30	-	17/30	-	-	18/30	-
RZ3	14/22	10/30	07/30	07/30	10/30	14/30	17/30	11/30	14/30	01/30	06/30
	30/30	26/30	25/30	26/30	19/30	30/30	26/30	-	-	18/30	-
RZ4	14/8	02/30	10/30	06/30	05/30	14/30	10/21 ^(b)	11/30	-	03/30	06/30
	23/26	26/30	21/30	20/30	18/30	29/30	20/30	-	-	-	-
ALT1	13/30	10/30	10/30	11/30	03/30	14/30	10/26 ^(c)	11/28 ^(e)	-	03/30	14/30
	30/30	18/30	24/30	21/30	16/30	29/30	20/30	-	-	-	-
ALT2	13/23	12/30	04/30	11/30	03/30	14/30	10/22 ^(d)	12/30 ^f	-	15/30	15/30
	30/30	23/30	24/30	20/30	12/30	29/30	21/30	-	-	-	-
ALT3	06/22	12/30	01/30	07/30	03/30	10/30	06/30	12/30	05/30	15/30	15/30
	13/18	25/30 ^(a)	21/30	19/30	11/30	29/30	21/30	-	-	-	-

(1)– meses de amostragem; (2) – dia do ensaio no mês respetivo e número de estacas por estacaria; (a) – T0 com n=26; (b-e) - n variável entre tratamentos (14 a 30); (f) – T2 com n=29.

Gestão do mini jardim e propagação através de miniestacas

Após três a quatro meses da data de instalação e primeira poda de formação dos pés-mãe (com cerca de 0,25 m de altura), tiveram início as primeiras estacarias com material proveniente dos diferentes tratamentos.

Os rebentos de cada combinação de clone/tratamento/estacaria foram colhidos no período da manhã para o interior de caixas térmicas devidamente identificadas. Após o término da colheita de rebentos na estufa do mini jardim, o processo de estacaria foi realizado em condições controladas no interior da estufa de enraizamento, ainda no período da manhã. As miniestacas (ou média estacas, de acordo com o material colhido), foram mergulhadas em IBA a 2500 ppm durante cinco segundos após corte em bisel da base e colocadas em substrato Eucamix (60:40 de turfa:perlite) + Osmocote 2kg/m³ 2-7-18+TE, levando na superfície uma camada fina de vermiculite. Nos primeiros 60 dias após a data da estacaria as estacas permaneceram no interior da estufa de enraizamento, em condições climáticas controladas de temperatura e humidade, com regulação da frequência e tempo de regas através do software SMonitor (monitorização através de sondas, com registo a cada 30 minutos no período de outubro de 2019 a setembro de 2020).

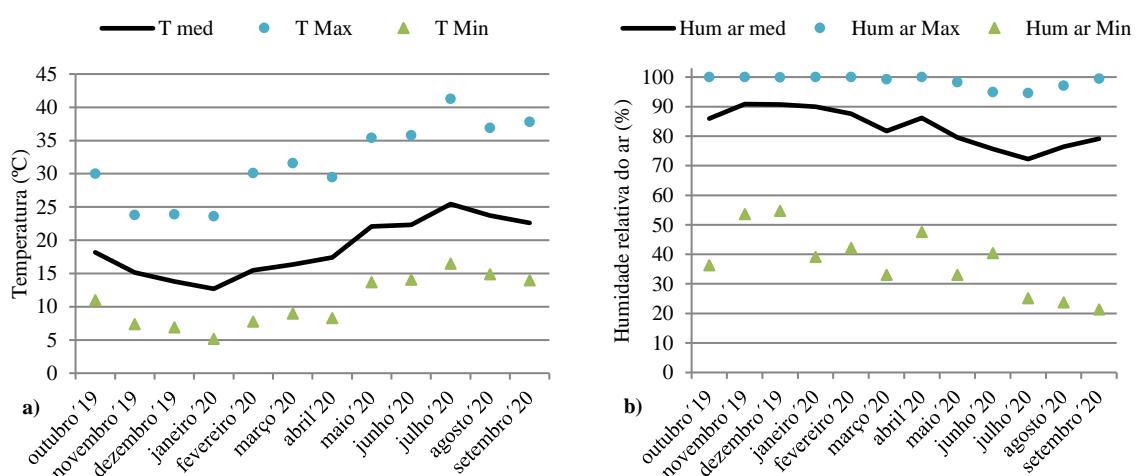
Qualidade das condições ambientais das estufas

Estufa do mini jardim clonal

Na estufa do mini jardim clonal de forma a otimizar a produtividade, os pés-mãe devem estar bem nutridos, livres de pragas e doenças e sob condições ambientais controladas, sendo de extrema importância o controlo das variáveis climáticas assegurando os valores de referência. Desta forma, no interior da estufa deverá haver luminosidade alta para potenciar o desenvolvimento dos rebentos, um bom arejamento e baixa humidade relativa do ar (humidade relativa idealmente entre 50 e 70% no verão e abaixo de 50% no inverno), temperatura do ar entre os 5-30°C, sendo a gama ideal entre os 25 e 30°C e uma capacidade evaporativa do ar elevada entre os 1 a 2 kPa, de forma a evitar stress hídrico ou a falta de transpiração da planta.

Após a recolha diária dos diferentes parâmetros no interior da estufa durante o período do estudo foi possível verificar que a temperatura média do ar esteve sempre dentro da faixa de referência (**Figura 2 a)**, embora no período da primavera/verão se tenham verificado alguns picos máximos acima desses valores (em aproximadamente 57% dos dias), mesmo com o funcionamento do sistema de *cooling*, enquanto nos meses do inverno, as temperaturas mínimas registadas se aproximaram do limite inferior da faixa ótima (temperatura inferiores a 10°C em aproximadamente 32% dos dias) (**Tabela 4**), o que pode ser explicado pela ausência de uma fonte de aquecimento no interior da estufa. Em contrapartida, os valores médios da humidade relativa do ar estiveram sempre acima dos valores recomendados (**Figura 2 b)**, sendo que apenas na primavera e verão estiveram dentro da faixa ótima, em 4 e 15% dos dias, respectivamente. No caso do VPD, ocorreu um comportamento semelhante, mas pela existência de valores médios abaixo dos mínimos recomendados em todos os meses, com exceção de julho (**Figura 2 c**). A relação destes três parâmetros mostra que existe espaço para melhorias, necessárias para a boa qualidade do jardim clonal, principalmente no sistema de arejamento da estufa (**Tabela 4**).

Um outro parâmetro monitorizado na estufa do mini jardim clonal foi a radiação fotossinteticamente ativa (PAR), correspondendo à faixa espectral de radiação solar entre os 280 e 710 nanômetros que os organismos fotossintéticos são capazes de usar na fotossíntese. No entanto, a eficiência no uso da radiação solar varia entre espécies (dependendo das características fisiológicas e morfológicas), podendo o aproveitamento da PAR pelas plantas ser influenciado por condições de crescimento e desenvolvimento [8]. Nas condições existentes no período do estudo, foi possível verificar que no segundo trimestre do ano em média ocorreu uma maior disponibilidade de radiação solar para as plantas serem capazes de transformar no processo de fotossíntese (**Figura 2 d**).



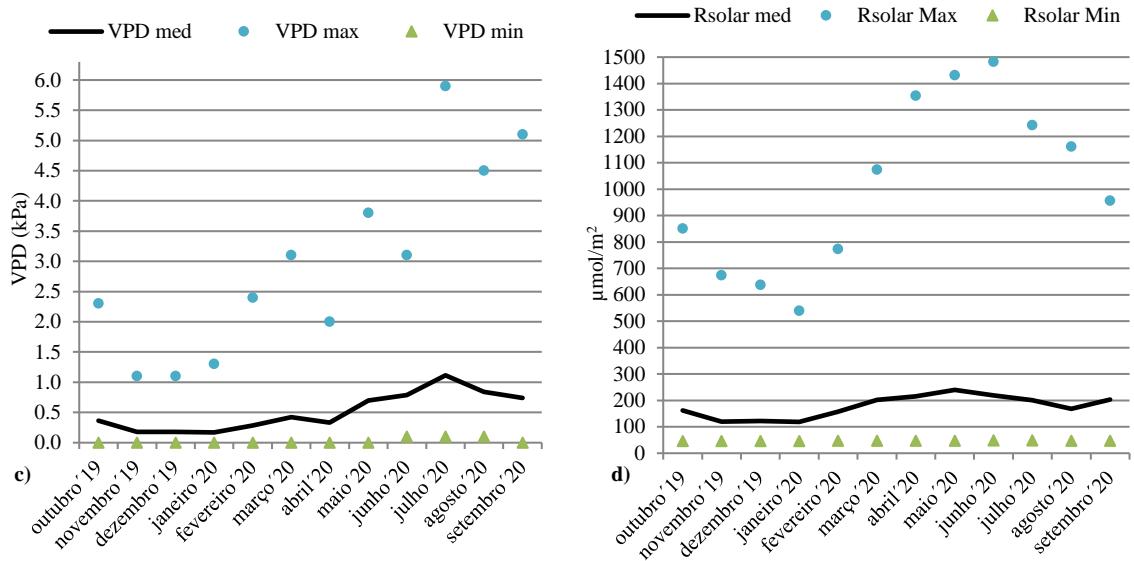


Figura 2. Diferentes parâmetros ambientais (temperatura, humidade, VPD e luminosidade) ao longo do período em que decorreu o estudo. Em a) – valores de temperatura do ar, em que T med (valores médios), T max (valores máximos) e T min (valores mínimos); em b) – valores de humidade relativa do ar, em que Hum ar med (valores médios), Hum ar max (valores máximos) e Hum ar min (valores mínimos); em c) – valores de VPD, em que VPD med (valores médios), VPD max (valores máximos) e VPD min (valores mínimos) e em d) – valores de radiação fotossinteticamente ativa (PAR), em que Rsolar med (valores médios), Rsolar max (valores máximos) e Rsolar min (valores mínimos)

Tabela 4. Parâmetros avaliados na estufa do mini jardim clonal, de radiação solar (Rsolar), temperatura (T), humidade relativa do ar (Hum ar) e VPD ao longo das diferentes épocas do ano, em que Rsolar med (radiação solar média), Rsolar max e min (valores máximos e mínimos, respetivamente), T med (temperatura média), T max e T min (temperatura máxima e mínima, respetivamente), Hum ar med (humidade relativa do ar média), Hum ar max e Hum ar min (humidade do ar máxima e mínima, respetivamente), VPD med (vapour-pressure deficit médio), nRD med (média do número de registos diários) e nDR (número de dias em que ocorreu registo dos parâmetros).

	T med	T max	T min	Hum ar med	Hum ar max	Hum ar min	Rsolar med	Rsolar max	Rsolar min	VPD med	nRD med	nDR
Outono (2019)	15,6	30,0	6,9	89,3	100	36,3	133,7	851,0	45,7	0,2	46	65
Inverno (2020)	14,8	31,6	5,2	86,4	100,0	33,1	159,1	1073,2	45,8	0,3	46	91
Primavera (2020)	20,6	35,8	8,3	80,5	100,0	33,1	225,1	1481,8	46,6	0,6	46	90
Verão (2020)	23,9	41,3	14,0	75,9	99,5	21,4	190,7	1242,4	47,1	0,9	48	92

Estufa de enraizamento

Na estufa de enraizamento, para os primeiros 30 dias após a estacaria, foram assumidos como valores de referência no verão o VPD (vapour-pressure deficit) entre 0,2 e 0,5 kPa, a temperatura entre 25-30°C e a humidade relativa do ar (HR) de 80-95%; no inverno é possível assegurar valores de VPD adequados com temperaturas entre os 15-20°C e humidade entre 70-85%; entre os 30 e 60 dias, a frequência de rega foi diminuída e os valores referência para o VPD devem ser ligeiramente superiores situando-se entre 0,8 e 0,9 kPa e humidade relativa entre 40- 60%.

Relativamente aos valores médios de VPD registados em 2019/2020, estes mantiveram-se dentro da faixa ótima no decorrer do tempo, com exceção dos meses de novembro e janeiro, que estiveram ligeiramente abaixo do mínimo recomendado (Figura 3 a), coincidindo com temperaturas médias igualmente baixas (Figura 3 b), na ordem dos 13°C (valores abaixo do recomendado para a altura do ano). A humidade relativa do ar esteve sempre, em média, dentro da faixa ótima, variando entre os 80-91% (Figura 3 c), sendo que os valores mínimos mais baixos de humidade foram registados nos meses

em que as temperaturas mínimas e máximas foram mais elevadas. Uma vez que as condições ambientais no interior da estufa nem sempre foram as ideais, pois os valores de temperatura e umidade ao longo das diferentes estações do ano nem sempre estiveram dentro das faixas ótimas estabelecidas (**Tabela 5**), existe espaço para melhoria dessas mesmas condições, seja em termos de aquecimento no período do inverno de forma a assegurar que as temperaturas mínimas não sejam inferiores a 10°C, seja na melhoria do sistema de *cooling* ou gestão do funcionamento de regas (frequência/duração), assegurando sempre um VPD ideal.

De ressalvar que embora o mês de setembro de 2020 não se encontre dentro do intervalo do ensaio, os parâmetros que o caracterizam foram expostos de forma a representar as condições ambientais características, à falta de igual período no ano anterior. Após este período, as estacas foram colocadas na casa de sombra ou estufa de atempamento, dependendo da altura do ano.

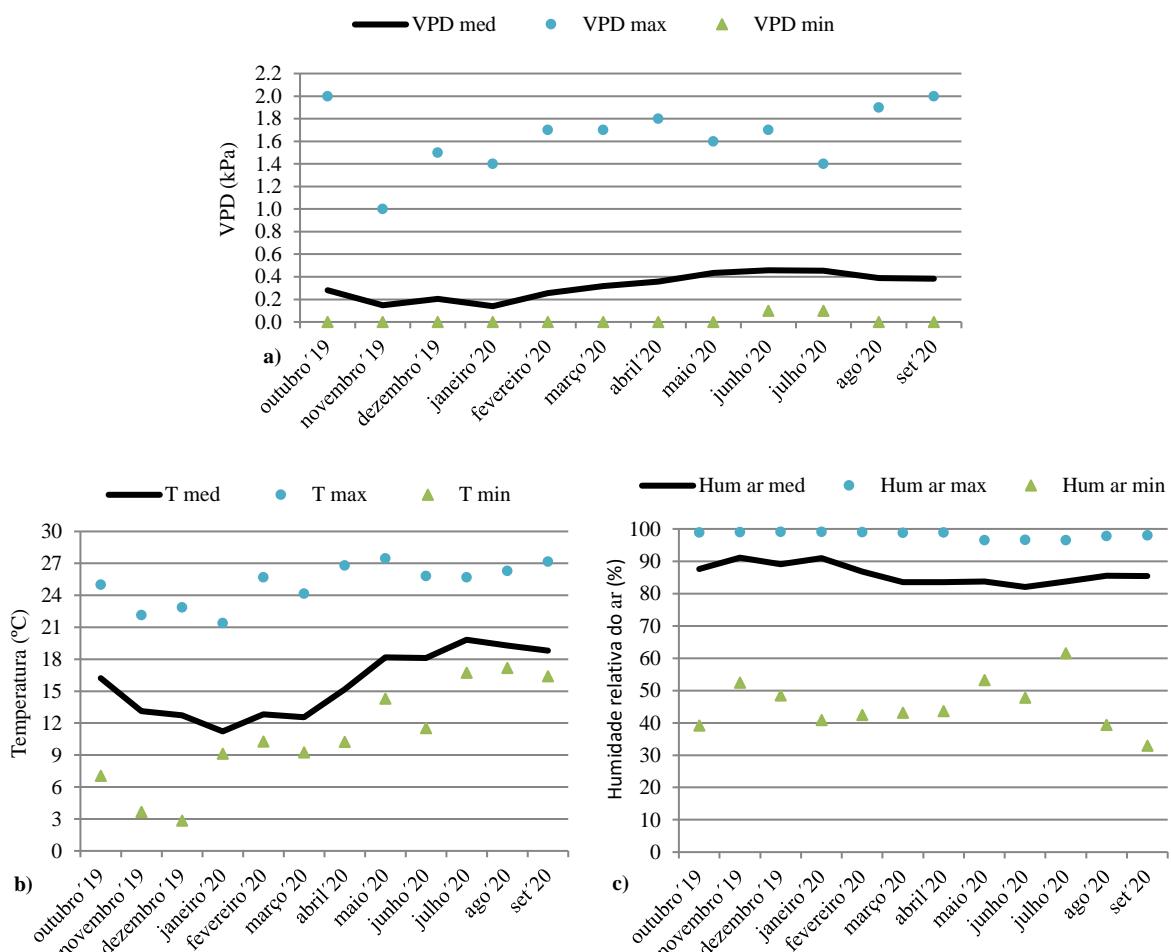


Figura 3. Diferentes parâmetros ambientais monitorizados (VPD, temperatura e umidade) ao longo do período em que decorreu o estudo. Em a) – valores de VPD, em que VPD med (valores médios), VPD max (valores máximos) e VPD min (valores mínimos); em b) – valores de temperatura do ar, em que T med (valores médios), T max (valores máximos) e T min (valores mínimos); em c) – valores de humidade relativa do ar, em que Hum ar med (valores médios), Hum ar max (valores máximos) e Hum ar min (valores mínimos).

Tabela 5. Parâmetros avaliados na estufa de enraizamento, temperatura (T), humidade relativa do ar (Hum ar) e VPD ao longo das diferentes épocas do ano, em que T med (temperatura média), T max e T min (temperatura máxima e mínima, respetivamente), Hum ar med (humidade relativa do ar média), Hum ar max e Hum ar min (humidade do ar máxima e mínima, respetivamente), VPD med (vapour-pressure deficit médio), nRD med (média do número de registos diários) e nDR (número de dias em que ocorreu registo dos parâmetros).

	T med	T max	T min	Hum ar med	Hum ar max	Hum ar min	VPD med	nRD med	nDR
Outono (2019)	14,0	23,3	4,5	89,3	99,0	46,7	0,2	45	85
Inverno (2020)	12,2	23,8	9,6	87,1	99,0	42,1	0,2	46	90
Primavera (2020)	17,2	26,7	12,0	83,1	97,3	48,2	0,42	46	90
Verão (2020)	19,3	26,4	16,8	84,9	97,4	44,6	0,4	48	92

Monitorização dos ensaios e análise de dados

A sobrevivência das plantas foi avaliada aos 30 dias (sob) na estufa de enraizamento e o enraizamento avaliado aos 90 dias (root) na estufa de atempamento/casa de sombra, usando as seguintes equações (1) e (2), respetivamente. A produtividade de cada clone (rebentos úteis) foi calculada mensalmente através da equação (3) e a quantidade de planta retirada por m^2 através da equação (4):

$$\text{Sob30\%} = (S/n) \times 100 \quad (1)$$

Na Eq.(1), Sob30% é a percentagem de sobrevivência das plantas, S é o número de estacas sobreviventes e n o número inicial de estacas em cada clone/tratamento/estacaria.

$$\text{Root90\%} = (E/n) \times 100 \quad (2)$$

Na Eq. (2), Root90% é a percentagem de enraizamento das plantas, E é o número de plantas enraizadas aos 90 dias e n o número inicial de estacas em cada clone/tratamento/estacaria.

$$\text{Prod}m^2 = RPM \times PMA \quad (3)$$

Na Eq. (3), Prod m^2 é a quantidade de rebentos úteis produzidos por m^2 , RPM é o número de rebentos úteis produzidos por pé-mãe e PMA é o número de pés-mãe existentes por m^2 .

$$\text{PlProd}/m^2 = \text{Prod}m^2 \times \text{Root90} \quad (4)$$

Na Eq. (4), PlProd/ m^2 é a quantidade de planta enraizada produzida por m^2 .

Foram aplicados os testes de Shapiro-Wilks e Lilliefors ($p < 0,05$) para suposições de normalidade. Foi aplicado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, com nível de significância de 5%, para verificar diferenças significativas entre tratamentos. Foi realizada a análise de correlação de Spearman ($p < 0,05$) dos dados ambientais com as variáveis mensuradas. Foi utilizado software de estatística da TIBCO software Inc.version 13.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Mortalidade do mini jardim clonal ao longo do estudo

A gestão do número de pés-mãe produtivos foi feita mensalmente, com controlo da mortalidade no período em que decorreu o ensaio. Não houve retanha dos pés-mãe em nenhum dos tratamentos e materiais genéticos ao longo do estudo.

Inicialmente o mini jardim clonal englobava a instalação de 1044 plantas (348 por tratamento) sendo que não ocorreu mortalidade entre os dois e três meses após a instalação das mesmas, coincidindo com o período inicial de funcionamento das luzes artificiais. As primeiras perdas de pés-mãe ocorreram em agosto de 2019, com uma perda de cerca de 1,5% dos pés-mãe instalados (Figura 4 a), o equivalente a 16 plantas (Tabela 6), ocorrendo maioritariamente no tratamento das luzes valoya. O mês de agosto

coincidiu com o início das estacarias e consequentemente das podas mais intensivas. De novembro a junho do ano seguinte não ocorreram perdas de pés-mãe em nenhum dos tratamentos, sendo que em julho de 2020 (fim do estudo) houve um acréscimo de 0,3% de mortalidade, estando este associado ao canteiro da valoya (perda de mais 3 pés-mãe).

Relativamente à mortalidade associada ao tratamento (**Figura 4 b**), verificou-se que as luzes da Valoya estão associadas a uma maior mortalidade (4,3%) comparativamente aos restantes tratamentos (controlo com 1,2% e luzes Philips com 0,6%). Estas perdas podem estar associadas a uma maior proximidade das luzes LED aos pés-mãe, intensificando a temperatura junto à parte aérea da planta assim como o possível aumento da temperatura e diminuição da humidade do substrato. Foi mais intensa numa fase em que os pés-mãe eram mais jovens e, por isso, possivelmente, mais sensíveis. Contudo, no pico de maior calor do ano seguinte, foi registada nova mortalidade, embora inferior.

Associando a mortalidade ao material genético, é possível concluir que há clones menos sensíveis, tais como o RZ4, ALT2 e ALT3 que não apresentaram perdas em nenhum dos tratamentos no decorrer do estudo, em contraste com outros, como os *globulus* RZ1 e RZ3 (**Tabela 7**). O clone RZ1 foi o que apresentou uma mortalidade superior, na ordem dos 9%, o que corresponde a uma perda de 14 pés-mãe, sendo que 11 se encontravam no canteiro da valoya. Relativamente ao RZ3, este apresentou perdas na ordem dos 4,2%, em que metade desses pés-mãe se encontrava igualmente no canteiro da valoya (**Tabela 7**).

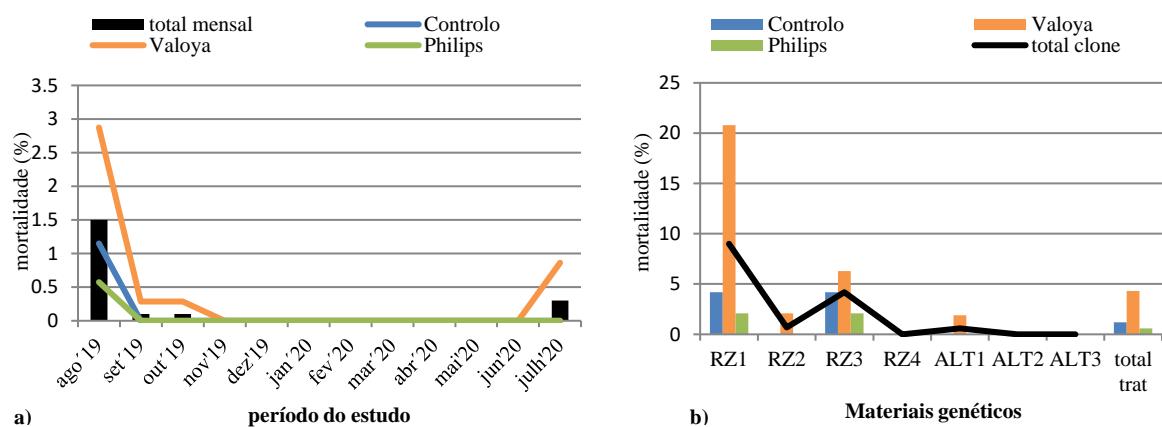


Figura 4. Gráficos da percentagem de mortalidade dos pés-mãe no mini jardim clonal: em a) em cada tratamento ao longo do estudo; e em b) em cada tratamento/material genético.

Tabela 6. Total de mortalidade de pés-mãe no mini jardim clonal (n= nº de pés-mãe) em cada mês/tratamento, ao longo do estudo.

	ago'19	set'19	out'19	nov'19	dez'19	jan'20	fev'20	mar'20	abr'20	mai'20	jun'20	julh'20	Total tratamento
Controlo	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
Valoya	10	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	15
Philips	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
Total mensal	16	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	3	21

Tabela 7. Total de mortalidade de pés-mãe no mini jardim clonal ($n =$ nº de pés-mãe) em cada tratamento e material genético.

	RZ1	RZ2	RZ3	RZ4	ALT1	ALT2	ALT3	Total tratamento
Controlo	2	0	2	0	0	0	0	4
Valoya	11	1	3	0	1	0	0	16
Philips	1	0	1	0	0	0	0	2
Total clone	14	1	6	0	1	0	0	22

Produtividade do mini jardim clonal

A capacidade do mini jardim clonal em produzir rebentos úteis para estacas depende tanto do tipo de tratamento a que os pés-mãe estão sujeitos (efeito das luzes na produtividade), como do genótipo, ocorrendo diferenças significativas ($p < 0,05$) para ambas as variáveis.

Em termos de capacidade de produção de rebentos/ m^2 , a média observada global do jardim clonal foi de 500 rebentos/ m^2 ao mês. A ordem entre os tratamentos foi (média do ensaio): valoya, com uma média de 595 rebentos/ m^2 ; seguida das luzes philips, com uma média de 488 rebentos/ m^2 e, por fim, o controlo, com uma média de 420 rebentos/ m^2 (Figura 5 a), sendo as luzes LED valoya significativamente diferente dos outros dois tratamentos.

Dos sete clones em estudo, os híbridos (RZ2 e RZ4) e o *E.globulus* RZ3 apresentaram valores de produtividade superiores aos restantes materiais, com uma produtividade média por m^2 acima dos 500 rebentos, em contraste com o *E. globulus* ALT3 que apresentou uma produtividade média por m^2 pouco acima dos 300 (Tabela 8), tendo sido verificadas diferenças estatísticas entre os genótipos RZ2 e ALT3 (Error! Reference source not found.). Em todos os materiais genéticos testados, a produtividade mensal foi superior nos tratamentos com luzes artificiais, em particular nos LED's valoya (Figura 5 b), sendo essa diferença mais acentuada comparativamente ao controlo no clone RZ1.

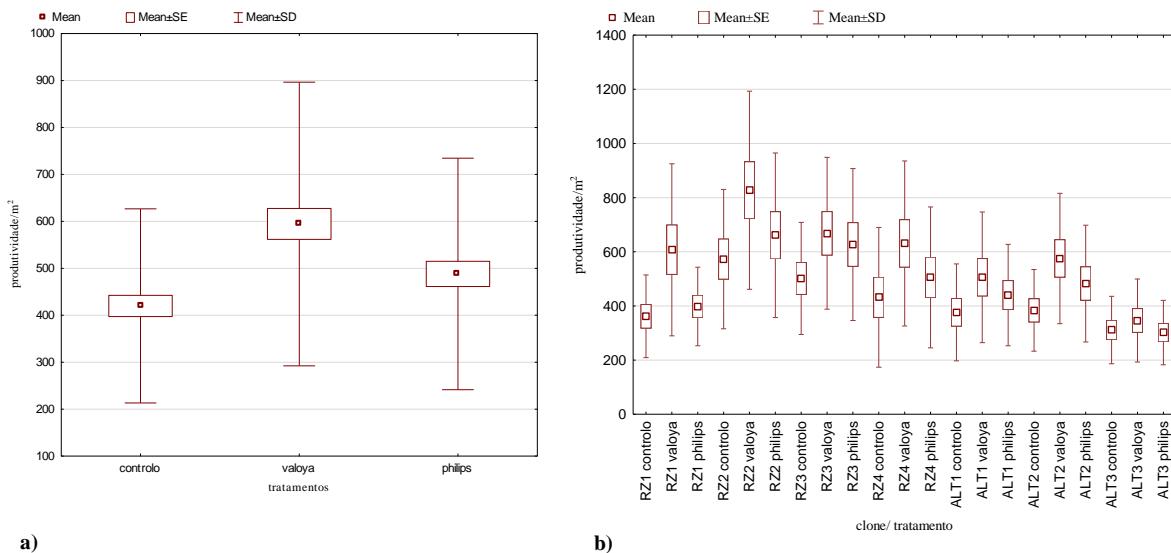


Figura 5. Boxplot para identificar diferenças na produtividade mensal/ m^2 (nº rebentos produzidos) dependendo do tratamento e do genótipo. Em a) efeito do tratamento, significativo ($p < 0,05$) e em b) efeito do tratamento no clone, significativo ($p < 0,05$).

Tabela 8. Média dos valores de produtividade/m² de cada clone (RZ1 a ALT3) em cada tratamento (controlo, valoya e philips).

	RZ1	RZ2	RZ3	RZ4	ALT1	ALT2	ALT3	Média tratamento
Controlo	362	573	502	432	377	384	311	420
Valoya	607	827	668	631	506	575	346	595
Phiplips	398	661	627	505	440	483	302	488
Média clone	456	684	599	523	441	481	320	501

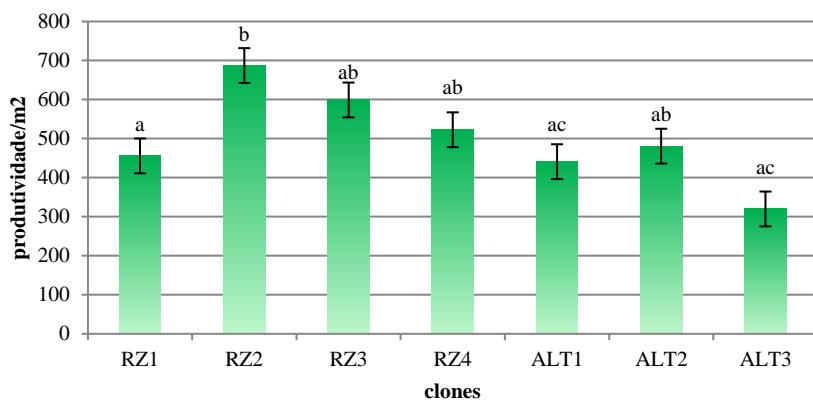


Figura 6. Produtividade de cada genótipo por m². Diferentes letras representam diferenças significativas entre a produtividade ($p<0,05$; teste de Kruskal-Wallis).

Para além dos fatores tratamento e clone, a época do ano também influenciou a produtividade ($p<0,01$), sendo esta superior na primavera, - uma vez que é nesta altura do ano que a luz solar é mais violeta e de alta energia, incentivando o crescimento vegetativo, - (Figura 7 a), com uma produtividade média de 668 rebentos e significativamente diferente do outono/inverno. Assim verificou-se uma relação direta da radiação solar disponível com a obtenção de rebentos. Este aumento de produtividade na primavera verificou-se em todos os genótipos, embora no clone ALT3 as diferenças entre a produtividade ao longo do ano tenham sido menos notórias mantendo uma produtividade mais constante (Figura 7 b). Analisando por época do ano (Tabela 9), as luzes LED voltam a mostrar vantagem na produtividade (Figura 7 c), no entanto as diferenças entre LED's e controlo foram mais acentuadas nas épocas da primavera e verão, embora fosse expectável que essas diferenças de produtividade fossem mais notórias no outono/inverno, tratando-se de um período do ano com menor disponibilidade de radiação solar, como visível na Tabela 4, e por essa razão o fotoperíodo alargado das luzes artificiais deveria potenciar a produtividade dos pés-mãe neste período face ao controlo.

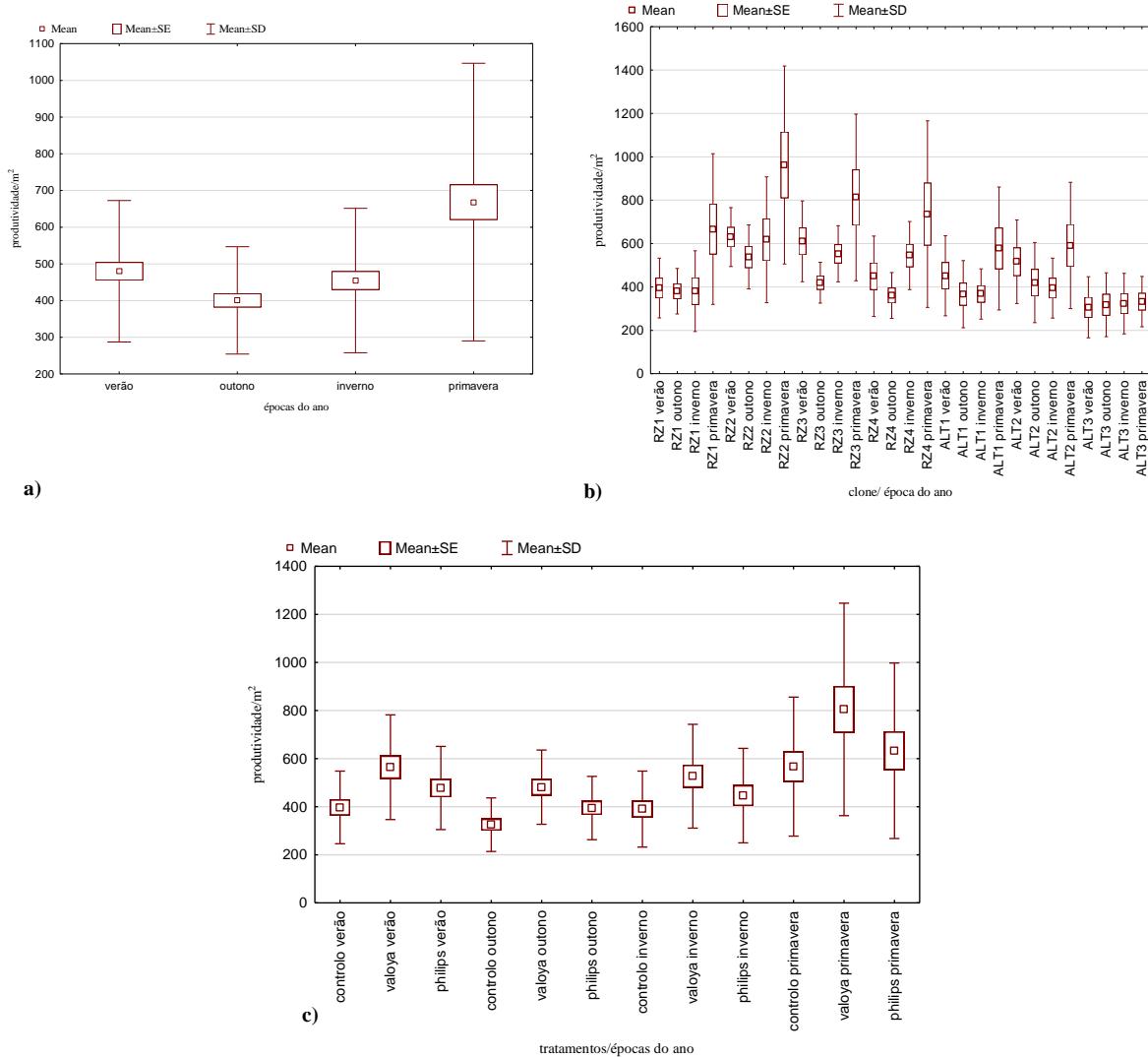


Figura 7. Boxplot para identificar diferenças na produtividade mensal/ m^2 (nº rebentos produzidos) dependendo da época do ano, do genótipo e do tratamento. Em a) efeito da época do ano, significativo ($p<0,05$); em b) efeito da época do ano no clone, significativo ($p<0,05$) e em c) efeito da época do ano no tratamento, significativo ($p<0,05$).

Tabela 9. Média dos valores de produtividade/ m^2 de cada tratamento (controlo, valoya e philips) em cada época do ano (primavera, verão, outono e inverno).

	Primavera	Verão	Outono	Inverno
Controlo	567	397	325	390
Valoya	805	565	481	527
Philips	633	478	395	446
Média época do ano	668	480	401	455

Para a boa qualidade do mini jardim clonal é necessário um conjunto de medidas, como por exemplo, nutrição e a manutenção das condições fitossanitárias, de forma a potenciar a produtividade dos pés-mãe e, por essa razão, é desejável que as condições climáticas na estufa sejam sempre ótimas, mantendo níveis constantes de variáveis de referência, como referido anteriormente. Deste modo, foi

relacionada a produtividade dos pés-mãe com as condições climáticas no interior da estufa do mini jardim, tendo sido verificado que houve uma correlação negativa com a humidade (**Tabela 10**). Isto é, nos meses em que se verificou uma maior temperatura e disponibilidade de radiação solar e menor humidade relativa no interior da estufa ocorreram melhores condições para o desenvolvimento de rebentos. Não obstante este facto, a correlação obtida é fraca entre as variáveis, o que permite inferir que estas variáveis já não carecem de grande ajuste e que a relação com a produtividade poderá estar relacionada sobretudo com o fotoperíodo existente entre estações do ano.

Tabela 10. Correlação de Spearman para produtividade mensal por m² (prod/m²) com as variáveis de radiação média solar (RSolar med), temperatura média do ar (T med), humidade média relativa do ar (Hum ar med) e VPD médio (VPD med). Dados climáticos referentes ao interior da estufa do mini jardim clonal.

	RSolar med	T med	Hum ar med	VPD med
Prod/m ²	0.231*	0.195*	-0.149*	0.142*

* Valor significativo ao nível de 5%.

Para além das condições ambientais terem influência na produtividade do mini jardim, o estado nutricional dos pés-mãe também apresenta um contributo, sendo que alguns nutrientes colaboram de forma positiva para o aumento do número de rebentos úteis para a estacaria. Isto é, um aumento da presença destes nutrientes nos pés-mãe leva a um aumento da produtividade dos mesmos.

Foi verificada em média a concentração destes nutrientes em maior quantidade nos pés-mãe sob a efeito das luzes LED's (**Tabela 11**), contribuindo para alguma diferenciação na concentração de nutrientes no estudo e obtenção de algum nível de relação entre a produtividade e a concentração dos nutrientes, expressa pelo índice de correlação de Spearman (**Tabela 12**). Uma vez que a solução nutritiva vigente foi a mesma em termos de composição e regime de regas e o substrato o mesmo entre tratamentos, as diferenças em termos de concentração dos nutrientes presentes nos pés-mãe dos diferentes tratamentos foram muito pouco expressivas, mostrando que o tipo luz (artificial ou solar) não parece ter uma interação com a nutrição do pé-mãe. Ainda, a solução nutritiva vigente esteve ajustada aos parâmetros estabelecidos, uma vez que todos os nutrientes se encontraram, em média, dentro dos valores referência (VR), com exceção do manganês ligeiramente acima dos VR em todos os tratamentos, sobretudo naquelas associados a uma menor produtividade (**Tabela 11**).

Tabela 11. Valores médios dos diferentes nutrientes presentes nas folhas dos pés-mãe sujeitos aos diferentes tratamentos (controlo, luzes valoya e luzes philips), em que VR (valores de referência).

	%						mg/kg						
	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Cloreto	Na
Controlo	2,32	0,24	1,42	0,96	0,22	0,14	104,0	604,2	8,78	27,6	46,78	1719	1335
Valoya	2,52	0,23	1,38	1,06	0,22	0,14	113,6	545,1	8,67	28,7	41,44	1761	1457
Philips	2,42	0,23	1,33	0,93	0,20	0,14	104,2	618,1	6,78	28,9	43,89	1677	1430
VR	2.0 -3.0	0.20 -0.35	1.2 -2.5	0.7 -1.2	0.2 -0.4	-	65 -200	150 -500	5 -15	20 -35	20 -70	-	-

Tabela 12. Correlação de Spearman para produtividade mensal por m² (prod/m²) com as variáveis de nutrientes presentes nos pés-mãe. Dados nutricionais referentes a amostras foliares.

	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Cloreto	Na
Prod/m ²	0,325	-0,148	-0,101	0,289	0,171	0,099	-0,065	-0,136	-0,167	0,015	-0,321	0,090	0,355

Morfologia dos rebentos sob influência de luzes artificiais

A tipologia utilizada para a preparação de uma estaca pode variar dependendo do tipo de genótipo e do tamanho do rebento. Rebentos mais pequenos e com um espaçamento entre-nós mais curto permitem formar uma estaca com dois pares de folhas com ou sem ápice, sendo que um rebento com um espaçamento entre-nós mais longo dificulta a formação de uma estaca com esta tipologia, preferenciando-se apenas um par de folhas. Para além do tamanho do rebento, alguns genótipos como os híbridos apresentam por natureza um espaçamento entre-nós superior aos globulus, independentemente do tamanho do rebento (**Figura 8**).

A exposição dos pés-mãe a luzes LED's simulou ciclos de produção em função da energia utilizada de diferentes espectros com o mesmo fotoperíodo comparativamente ao controlo, embora não se tenham testado diferentes fotoperíodos, intensidades de espectro ou aproximação aos pés-mãe. Com base nesta exposição aos tratamentos de luzes artificiais, foi possível verificar que associada a uma maior produtividade, alguns genótipos apresentaram ao nível dos rebentos alterações morfológicas visíveis a olho nu (**Figura 9**), como sendo na cor avermelhada do rebento (caule e folhas), textura das folhas e no diâmetro do caule (aparentemente com um aspetto mais “quadrado”). A alteração morfológica dos rebentos associada a uma maior produtividade nos tratamentos com LED's deve exigir uma colecta de rebentos mais frequente comparativamente ao controlo, de forma a estes sejam colhidos na altura certa e, consequentemente, seja possível a formação de estacas segundo o modelo estabelecido.

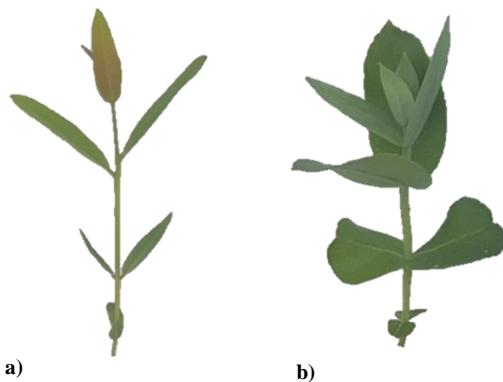


Figura 8. Fisiologia dos rebentos dependendo do genótipo. Em a) – híbrido RZ4 e em b) – *globulus* ALT3.

	Controlo	LED's Valoya	LED's Philips
RZ2	A photograph of a plant cutting from the RZ2 genotype under control conditions, showing a stem with two pairs of leaves and a node between the first and second pairs.	A photograph of a plant cutting from the RZ2 genotype under LED's Valoya treatment, showing a stem with two pairs of leaves and a node between the first and second pairs.	A photograph of a plant cutting from the RZ2 genotype under LED's Philips treatment, showing a stem with two pairs of leaves and a node between the first and second pairs.

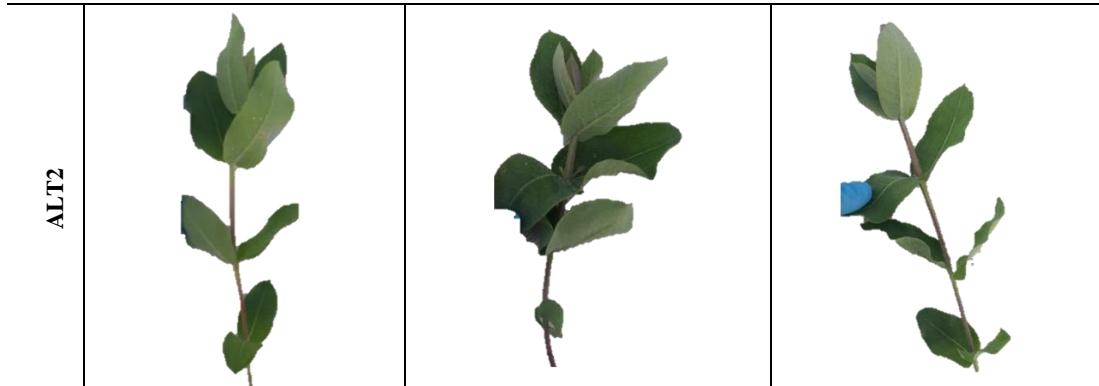


Figura 9. Alterações morfológicas de dois genótipos (híbrido RZ2 e *E.globulus* ALT2) face à influência de luzes artificiais comparativamente ao controlo.

Sobrevivência aos 30 dias

O parâmetro da sobrevivência é avaliado em estacas com 30 dias após a estacaria e apresentou valores elevados (superiores a 75%) em todos os tratamentos testados (Figura 10 a), não havendo diferenças significativas ($p=0,0784$) entre os mesmos. Quando comparado o efeito das luzes na sobrevivência em cada clone (Figura 10 b) é possível concluir que há diferenças significativas ($p<0,05$). O controlo teve menor dispersão de valores na maioria dos clones, apresentando melhores resultados no sucesso deste parâmetro, tendo sido superior aos restantes tratamentos. As diferenças na sobrevivência entre o controlo e luzes LED's podem estar relacionadas com a tipologia dos rebentos (diferenças morfológicas provocadas pelo uso de LED's, como referido no ponto anterior) e com o timming da colheita dos mesmos. Para realizar as estacarias dos vários tratamentos numa mesma data foi necessário estabelecer um compromisso entre o ponto ótimo de colheita dos rebentos de cada tratamento e uma data única de estacaria. A sobrevivência aos 30 dias também dependeu da época do ano ($p<0,05$), sendo superior na primavera, com uma média na ordem nos 98%. Em contraste, no verão ocorreu um decréscimo de cerca de 26%, sendo que este insucesso não poderá ser explicado pelas condições climáticas da estufa de enraizamento uma vez que foram muito semelhantes entre estas duas épocas do ano (Tabela 5), devendo-se possivelmente ao estado fisiológico dos pés-mãe (ajuste no sistema de fertirregua no período do verão) ou a questões de fitossanidade no interior da estufa, com o mês de setembro a ser propício para o aparecimento de fungos como o aparecimento de *Pestalotiopsis*. Nas épocas do ano que correspondem ao maior e menor sucesso em termos de sobrevivência (primavera e verão, respetivamente) não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos testados em cada época do ano, mas estas foram significativamente diferentes entre si e com as restantes épocas do ano. Relativamente ao outono e inverno, a sobrevivência em média foi inferior a 90% não havendo diferenças significativas entre estas duas épocas. No entanto, no inverno os tratamentos foram diferentes, com o tratamento do controlo a apresentar valores médios de 85% face aos 73% do tratamento da valoya (Figura 11). Embora a estação do ano pareça influenciar a sobrevivência das estacas em termos de sucesso, o comportamento entre tratamentos é transversal durante o decorrer do ano, ou seja, o efeito dos LED's nos pés-mãe não parece beneficiar a sobrevivência independentemente das condições climáticas no interior da estufa de enraizamento.

Verificou-se uma correlação negativa entre a sobrevivência aos 30 dias e a humidade relativa do ar ($r= -0,38047$), indicando que o nível deste parâmetro em alguns períodos pode ter excedido os valores referência das faixas ótimas. Este facto parece indicar haver espaço para a melhoria das condições climáticas da estufa de enraizamento de forma a potenciar o sucesso da sobrevivência aos 30 dias.

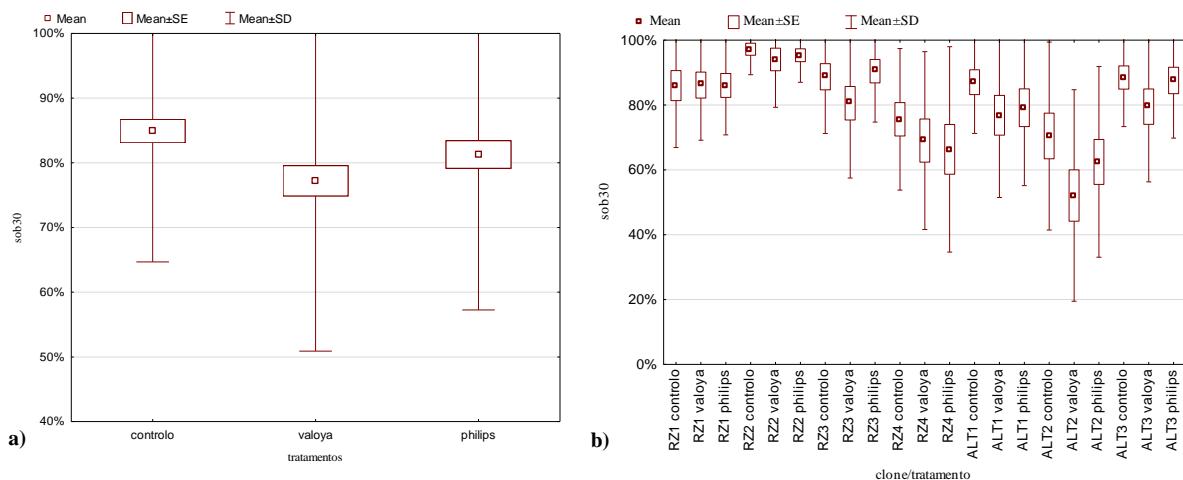


Figura 10. Boxplot para identificar diferenças entre diferentes tratamentos na sobrevivência aos 30 dias: em a) efeito do tratamento, não significativo ($p>0,05$); e em b) efeito do tratamento dependendo do clone, significativo ($p<0,05$).

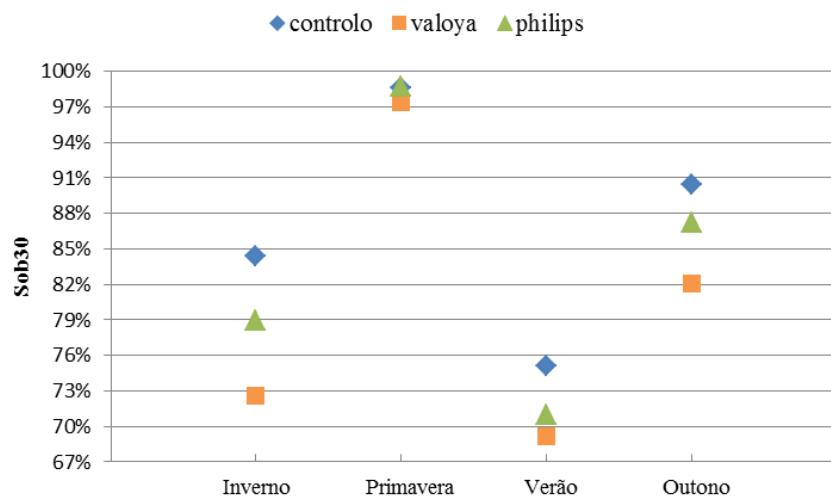


Figura 11. Gráfico da sobrevivência aos 30 dias dos tratamentos testados (controlo, valoya e philips) em cada época do ano (inverno, primavera, verão e outono).

Enraizamento aos 90 dias

Relativamente ao enraizamento aos 90 dias, último momento para avaliação do sucesso de produção do clone, o valor médio do ensaio foi de cerca de 53%, tendo sido verificadas diferenças significativas entre tratamentos ($p<0,01$). O controlo destacou-se pela positiva no sucesso do enraizamento, relativamente ao tratamento Valoya, havendo diferenças significativas entre ambos (**Figura 12 a**). A taxa média de enraizamento no global do ensaio foi: 59% para controlo, 50% para Philips e 49% para Valoya.

O enraizamento está ainda dependente do genótipo ($p<0,05$), havendo clones com maior aptidão para este parâmetro, como o RZ2, RZ3 e ALT1 que apresentaram bons resultados de enraizamento, acima dos 60% ao contrário dos restantes genótipos, com enraizamentos na ordem dos 40% (**Figura 13**).

Quando comparado o efeito dos tratamentos no enraizamento de cada clone (**Figura 12 b**), é possível verificar que os clones sob o efeito de luz solar mostram sempre melhor resposta ao enraizamento, à exceção do *globulus* RZ1, com um ganho de 15 pontos percentuais na valoya face ao controlo (**Tabela**

13). Não se verificaram diferenças significativas entre tratamentos dentro de cada material genético.

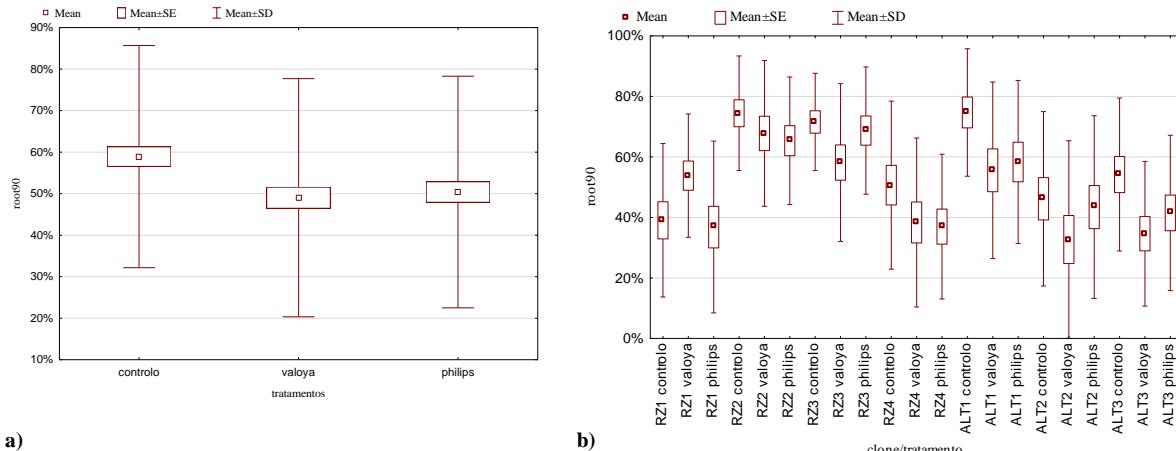


Figura 12. Boxplot para identificar diferenças entre diferentes tratamentos no enraizamento aos 90 dias: em a) efeito do tratamento, significativo ($p<0,05$); e em b) efeito do tratamento dependendo do clone, significativo ($p<0,05$).

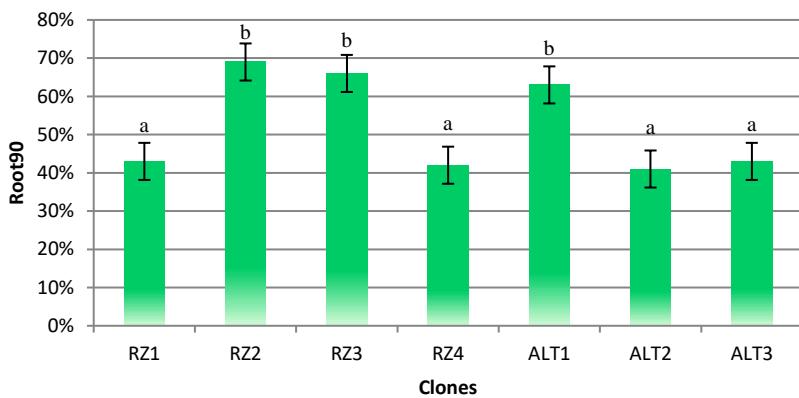


Figura 13. Enraizamento aos 90 dias por genótipo. Diferentes letras representam diferenças significativas entre o enraizamento ($p<0,05$; teste de Kruskal-Wallis).

Tabela 13. Enraizamento médio (%) aos 90 dias de cada material genético e tratamento testado.

	RZ1	RZ2	RZ3	RZ4	ALT1	ALT2	ALT3	Média do tratamento
Controlo	39	74	72	51	75	46	54	59
Valoya	54	68	58	38	56	33	35	49
Philips	37	65	69	37	58	43	42	50
Média do clone	43	69	66	42	63	41	43	53

A época do ano também afeta significativamente a obtenção de planta enraizada ($p<0,05$), sendo que os resultados vão ao encontro dos obtidos no parâmetro da sobrevivência aos 30 dias, em que é nas estacarias realizadas na época da primavera que se obtêm melhores resultados de enraizamento (~81%), sendo esta época significativamente diferente das restantes (verão=50%; outono=47% e inverno=52%). Em todas as épocas do ano, o controlo mostra ser superior comparativamente às luzes artificiais (Figura 14), sendo mais notória a superioridade deste tratamento nos meses caracterizados por temperaturas ambiente inferiores. Não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos em cada uma das estações do ano.

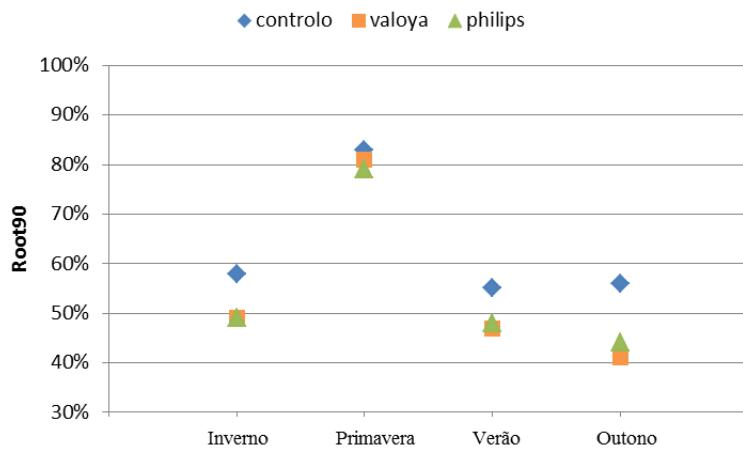


Figura 14. Gráfico do enraizamento aos 90 dias dos tratamentos testados (controlo, valoya e philips) em cada época do ano (inverno, primavera, verão e outono).

Como estudos anteriores comprovam, há uma relação significativa entre a nutrição dos pés-mãe com o enraizamento, havendo ainda alguns desconhecimento sobre o papel dos nutrientes nesse processo [9,10]. No decorrer deste estudo através da correlação dos nutrientes presentes em amostras foliares (**Tabela 14**) foi possível concluir que existe uma correlação positiva substancial do enraizamento com o boro (micronutriente já conhecido por ser importante na indução e formação de raízes) e uma correlação moderada com o potássio e cálcio, indicando que a presença destes nutrientes pode ser benéfica no enraizamento das estacas. Em contrapartida, o azoto mostrou ter uma correlação negativa com o enraizamento observado no estudo. Os níveis de azoto foliares médios dos pés-mãe encontram-se dentro da faixa de referência para este nutriente, pelo que tal indica a correta nutrição dos mesmos. Contudo, poderá haver espaço para ajustes no doseamento deste nutriente de modo a não prejudicar o enraizamento.

Tabela 14. Correlação de Spearman para o enraizamento aos 90 dias (root90) com as variáveis de nutrientes presentes nos pés-mãe. Dados nutricionais referentes a amostras foliares.

	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Cloreto	Na
Root90	-0,403*	0,315	0,091	0,270	0,115	0,195	0,189	-0,084	0,239	0,158	0,573*	0,211	-0,177

* Valor significativo ao nível de 5%.

Produção anual de planta e relação económica

Numa análise que integra as diferentes variáveis quantificadas no estudo, produtividade e enraizamento dos clones, foi possível retirar um valor médio do potencial do jardim clonal para a obtenção de planta enraizada por metro quadrado. Embora não existam diferenças significativas entre os diferentes tratamentos ($p>0,05$) para obtenção de planta, a Valoya apresentou destaque positivo comparativamente aos restantes tratamentos, sendo que a produção média anual variou entre 3083 no controlo e 3867 plantas na valoya (**Tabela 15**). O tratamento com luzes Philips não mostrou vantagem na obtenção de planta face ao controlo, uma vez que apresenta apenas um ligeiro acréscimo de planta produzida.

Na **Tabela 16** é possível constatar os ganhos da utilização de LED's nos diferentes materiais genéticos testados face ao controlo. Todos os materiais testados mostraram uma resposta favorável à presença de luzes LED, principalmente na Valoya, com ganhos acima dos 11%. O clone RZ1 foi o que mostrou uma resposta mais positiva a este espectro, produzindo o dobro da planta por m² comparativamente ao controlo. Já o genótipo ALT3, não apresentou uma resposta favorável à presença de luzes LED para a

obtenção de planta, com um decréscimo de cerca de 20 ponto percentuais face ao controlo.

Tabela 15. Produção anual de planta/m² de cada clone, tendo em conta o sucesso da produtividade e enraizamento de cada tratamento.

Potencial anual de produção de plantas	RZ1	RZ2	RZ3	RZ4	ALT1	ALT2	ALT3	Média anual tratamento
Controlo	1788	4848	4068	2868	3468	2352	2172	3083
Valoya	3576	6624	4752	3756	3864	2916	1584	3867
Philips	1944	4860	4920	2592	3108	2556	1668	3093
Média anual clone	2434	5441	4580	3075	3481	2605	1810	

Tabela 16. Ganhos (+) e perdas (-) percentuais dos tratamentos de luzes artificiais (Valoya e Philips) comparativamente ao controlo, em termos de planta produzida por m².

	RZ1	RZ2	RZ3	RZ4	ALT1	ALT2	ALT3
Valoya	+ 200	+ 37	+ 17	+ 31	+ 11	+ 24	- 27
Philips	+ 9	+ 0,2	+ 21	- 10	- 10	+ 9	- 23

As luzes artificiais apresentaram ganhos na obtenção de planta por metro quadrado comparativamente à ausência das mesmas (controlo), verificando-se que para a mesma área útil de um mini jardim clonal é possível aumentar a produtividade dos pés-mãe. No entanto, é necessário ter em conta outros tipo de variáveis não quantificadas na análise acima, como os custos associados ao sistema de LED's. A ter em conta os custos diretos tais como (Tabela 17): aquisição das luzes artificiais e equipamentos necessários para o suporte das mesmas e os gastos energéticos associados ao seu funcionamento. Embora os pés-mãe sob a influencia dos LED sejam mais produtivos, apresentam uma taxa de enraizamento inferior ao controlo implicando um acréscimo de custos, tais como: recursos humanos (manutenção do mini jardim clonal e maior produção de estacas e posterior monitorização das mesmas), maior gasto de substrato e necessidade de maior área disponível de estufa (seja na fase de enraizamento como na fase de atempamento).

Tabela 17. Investimento das luzes artificiais (Valoya e Philips) e consumos energéticos anuais associados.

	Investimento/m ² ¹	Potência (W)	Consumo energético anual (kWh/ano) ²
Valoya	885€	184	660€
Philips	604€	180	432€

¹valores apresentados de acordo com o investimento realizado no contexto do ensaio

²Consumo energético de acordo com um fotoperíodo de luz artificial diário de 12h, um preço médio de 0,137€ por kW/h (setembro 2021) em 365 dias do ano.

Neste estudo foi obtida uma produção anual diferencial de 182 plantas por metro quadrado entre o controlo e as luzes Valoya. Considerando um custo unitário de 0,31€ por planta, as luzes da Valoya representam um acréscimo de 56,4€ anuais, sem considerar alterações que possam ter de ser feitas na logística de viveiro (este estudo aponta para menor parque de pés-mãe e maior área de estufa de enraizamento). Este valor por si só não supera os custos anuais de consumo energético, desconsiderando o valor do investimento. Se se considerar o uso das luzes artificiais no trimestre mais produtivo (primavera) os custos do consumo energético baixam consideravelmente face ao lucro de planta produzida.

CONCLUSÕES

Este estudo, que teve como principal objetivo avaliar o efeito das luzes na produção de plantas via miniestacaria, demonstrou que, embora o aumento de fotoperíodo tenha tido resultados positivos na produtividade dos pés-mãe, não foi benéfico em termos de sobrevivência e enraizamento das plantas.

Relativamente à produtividade por m², as luzes têm um efeito positivo no aumento da rentabilidade do mini jardim para a produção de rebentos úteis. Todos os clones tiveram uma resposta positiva ao efeito das luzes, aumentando a produtividade quando comparado ao controlo, salientando a prevalência das luzes da Valoya. Relativamente à resposta dos clones ao efeito na produtividade, há genótipos com maior aptidão para uma maior produtividade do que outros, como o RZ2 e ALT3 respetivamente. A sobrevivência aos 30 dias na generalidade não está dependente do tratamento a que os pés-mãe foram sujeitos mas existem algumas diferenças dependendo do material genético. Quanto ao enraizamento aos 90 dias, os tratamentos das luzes artificiais apresentaram um efeito negativo no enraizamento das estacas em 85,7% dos materiais genéticos testados. Existe espaço para melhoria das condições na estufa do mini jardim clonal e na de enraizamento, de forma a potenciar a produtividade e a sobrevivência/indução do enraizamento, respetivamente.

As luzes LED, mais concretamente o espectro AP673L da Valoya, podem apresentar superioridade na obtenção de planta/m². Este acréscimo de planta deve-se a uma maior produtividade do mini jardim clonal, o que significa uma potencial redução do espaço necessário e custo associado. No entanto, os LED's apresentam custos associados, quer na compra, instalação e funcionamento dos mesmos, quer um acréscimo de custos associados a recursos humanos, consumíveis e infraestruturas na fase de enraizamento. Considerando apenas o potencial acréscimo de planta anual comparativamente ao consumo energético das luzes, este sistema alternativo não se demonstrou compensatório financeiramente.

REFERÊNCIAS

1. B.M. Potts, R.E. Vaillancourt, G. Jordan, G. Dutkowski, J.C. Silva, G. McKinnon, D. Steane, P. Volker, G. Lopez, L. Apiolaza, Y. Li, C. Marques, N. Borrelho, Exploration of the eucalyptus globulus gene pool, Proc. IUFRO Conference, Aveiro, pp. 46-61(2004).
2. S. Fabres, Floresta industrial-Silvicultura do eucalipto em Portugal, site e-globulus.
- 3 C.P. Neto, C. Valente, C. Gonçalves, C. Marques, D. Ferreira, L. Fontes, S. Fabres, S. Corticeiro, A sustentabilidade de plantações de eucalipto em Portugal, CELPA, Lisboa (2016).
4. R.G. Mafia, A.C. Alfenas, E.M. Ferreira, T.G. Zarpelon, L. Siqueira, Crescimento de mudas e produtividade de mini-jardins clonais de eucalipto tratados com rizobactérias selecionadas, *R. Árvore*, **29** (6): 843-851 (2005).
5. A.F. Batista, G. Santos, L. Silva, F.F. Quevedo, T. Assis, The use of mini-tunnels and effects of seasonality in the clonal propagation of Eucalyptus in subtropical environment, *Australian Forestry*, **78**(2): 65-72 (2015).
6. G.E. Brondani, F.J.B. Baccarin, H.W. Ondas, A.N. Gonçalves, M. Almeida, Morphological and production evaluation of Eucalyptus benthamii clonal mini-garden regarding to Zn and B, *Pesq. flor. bras.* **32**:151-164 (2012).
7. F. Bantis, K. Radoglou, Morphology, development and transplant potential of *Prunus avium* and *Cornus sanguinea* seedlings growing under different LED lights, *Turk J Biol*, **41**: 314-321 (2017).
8. F.A. Petter, J.A. Silva, A.M. Zuffo, F.R. Andrade, L.P. Pacheco, F.A. Almecida, Elevada densidade de semeadura aumenta a produtividade da soja? Respostas da radiação fotossinteticamente ativa, *Braganti*, **75**(2) (2016).
9. Malavasi, U.C, Macropropagação vegetativa de coníferas – perspectivas biológicas e operacionais, *Floresta e ambiente*, **1** (1): 131-135 (1994).
10. A.C.M.C.M. Cunha, H.N. Paiva, A. Xavier, W.C. Otoni, Papel da nutrição mineral na formação de raízes adventícias em plantas lenhosas, *Pesquisa florestal brasileira, Colombo*, **58**:35-47 (2009).