Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Malhas fotoconversoras e concentrações de potássio via fertirrigação no cultivo
de *Costus lasius* Loes. em ambiente protegido

Pedro Ramualyson Fernandes Sampaio

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas
Agrícolas

Piracicaba
2018

Pedro Ramualyson Fernandes Sampaio
Engenheiro Agrônomo

Malhas fotoconversoras e concentrações de potássio via fertirrigação no cultivo de
Costus lasius Loes. em ambiente protegido

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **SERGIO NASCIMENTO DUARTE**

Tese apresentada para obtenção do título Doutor em
Ciências. Área de concentração: Engenharia de Sistemas
Agrícolas

Piracicaba
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Sampaio, Pedro Ramualyson Fernandes

Malhas fotoconversoras e concentrações de potássio via fertirrigação no cultivo de *Costus lasius* Loes. em ambiente protegido / Pedro Ramualyson Fernandes Sampaio. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2018.

114 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. Manejo da fertirrigação 2. Solução nutritiva 3. Flores tropicais 4. Plantas ornamentais 5. Malhas coloridas I Título

DEDICATÓRIA

Aos meus pais (*in memoriam*)

Maria do Socorro Fernandes Sampaio e Raimundo Guedes Sampaio,

pelo amor, dedicação e esforços sem medidas;

o meu trabalho e a honra do título de Doutor em Ciências,

DEDICO.

Às minhas eternas admiráveis,

Maria Auxiliadora dos Santos e Ismaelita Leite Fernandes,

pelos contínuos ensinamentos profissionais e humanos,

OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por erguer-me na fé e proporcionar-me oportunidades e conquistas implanejáveis;

Às minhas irmãs, Márcia, Ana, Nega e Kele, pelas doses diárias de cuidado, carinho e amor;

Às minhas sobrinhas, Pâmela, Hortência, Maria e Esther; e ao meu sobrinho Aquiles, por me fazerem despertar, a cada dia, os mais puros e sinceros sentimentos que posso sentir;

Ao meu orientador e amigo, Dr. Sergio Nascimento Duarte, pelos ensinamentos profissionais e humanos;

Ao meu coorientador, Dr. Paulo Hercílio Viegas Rodrigues, pela parceria e ensinamentos;

Aos membros da Banca de Qualificação, Dr. Jarbas Honorio de Miranda e Dr. Marcelo Eduardo;

Aos membros da Banca de Defesa, Dra. Simone da Costa Mello, Dr. Charleston Gonçalves e Dr. Nildo da Silva Dias;

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, pela oportunidade do Curso de Doutorado e todas as experiências vividas;

À CAPES e ao CNPq pelas bolsas de estudo concedidas;

À CAPES, pela bolsa de Doutorado Sanduíche no Exterior, na Universidade de Almería, em Almería, Espanha;

Ao orientador no Exterior, Dr. Rodney Bruce Thompson, e sua esposa, Dra. Marisa Gallardo Pino, pelo acolhimento e experiências repassadas;

Aos colegas de trabalho em Almería: Maria Luísa, Francisco M. Padilla e María Teresa Peña Fleitas;

Aos melhores flatmates, Martina Fragati e Stanislav Kolencik, pela grande amizade construída em Almería;

Aos professores que me direcionaram os conhecimentos primordiais durante o Curso e a pesquisa: Tarlei Botrel, Patrícia Marques, Sônia Piedade, Rubens Coelho, Fernando Mendonça, Marcos Follegatti e Fábio Marin;

Aos funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas: Davilmar Collevatti, Beatriz, Angela Billis, Sr. Antônio, Paula Leme, Luiz Custódio, Antônio Pires, Fernando e Gilmar Grigolon, por se fazerem presentes e salvarem nossas vidas sempre que nos mostramos inexperientes;

À amiga Paula Bonassa, pela contribuição nos trabalhos de campo e Laboratório, pelos cafés nossos de cada dia e pela amizade enriquecida nos últimos anos;

A toda minha família Fernandes e Sampaio pelo apoio, pelas orações e por serem sempre presentes a cada conquista;

Aos irmãos de orientação: Jéssica Garcia, Luísa Lelis, Adriano Pacheco, Hugo Carvalho, José Leôncio, Asdrúbal Jesús, Alan Bernard, Wagner Wolff, e Osvaldo Nogueira. Em meio aos altos e baixos, foram vocês quem seguraram as pontas;

Aos amigos da vida, especialmente Antonio Anax, Hévila Neri, Kairone Costa, Pamela Jácome, Ana Cláudia, Karen Mariany, Regina Célia, Thalita Cavalcante, Amannda Keille, Danielle Leite, Mikhael Rangel, Felipe Torres, Edna Leite, Iria Leite e minha afilhada Anne Isabela, por dividirmos e compartilharmos os nossos sonhos e conquistas;

Às amigas que construí durante este caminho: Tatiane Leite, Rejane Alves, Fabrício Nakanishi, Josemar Fonseca, Romeu Marcelino, Jairo Cordeiro e Marcelo Sardinha, pelas boas companhias e pelos momentos ímpares;

Aos amigos Martiliana Freire, Lissia Letícia, Jussiara Sonally, Júlia Martella, Gracielle Peixoto, Flávia Gabriela e Rodrigo Gasparotto pela amizade e contribuição ao longo do experimento;

Aos amigos do Departamento de Engenharia de Biosistemas: Ana Luíza Ferreira, Jefferson Vieira, María Alejandra, Débora Pantojo, Fernanda Lamede, Arthur Carniatto, João Paulo Francisco, Nathália Lopes, Thuane Barboza, Timóteo Herculino, Ailson Marciel, Jefferson Oliveira, Alex Nunes, Rogério Lavanholi, Diego Sousa, Ana Sátiro, Larissa Bretas, Luiz Sobenko, Wagner Bombardelli, Danielle Morais, Otávio Neto, Acácio Perboni, Fabrício de Oliveira, Danilo Gomes, Luís Carvalho, Katarina Grecco, Isabela Almeida, Simone Luz, Elizabeth Carnevskis, Amauri Prudente, et al., pelas experiências vividas;

Aos amigos da Esalq: Haynna Abud, Nayara Roberto, Melina Cruzado, Mayara Rodrigues, Mônica Borda, Laiane Nascimento, Verena Benício, Rachel Tonhati, Aline Martineli, Yasmin Florentino, Tamires Teles, Daniela Oliveira, Marcos Miranda, Andres Trujillo, Octávio Augusto e Daigard Ricardo, pelos bons momentos compartilhados;

A todos que, direta ou indiretamente, seja compartilhando um café, uma boa cerveja, um pôster em um congresso, durante uma viagem ou até mesmo trocando experiências profissionais, contribuíram para a construção deste sonho.

BIOGRAFIA

Nordestino, Potiguar e Severianense, Pedro Ramualyson Fernandes Sampaio, 29 anos, nasceu em 29 de Junho de 1989, na cidade de Pau dos Ferros, no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil. É filho de agricultores, Raimundo Guedes Sampaio (*in memoriam*) e Maria do Socorro Fernandes Sampaio (*in memoriam*), e irmão caçula em uma família de cinco filhos. Estudou Educação primária na Escola Municipal Universidade Infantil e os Ensinos de primeiro e segundo graus na Escola Estadual Cristóvão Colombo de Queiroz, ambas situadas no município de Doutor Severiano, Rio Grande do Norte. Ingressou no Curso de Graduação em Agronomia, no ano de 2007, na Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFRSA, em Mossoró, no Rio Grande do Norte, onde recebeu o título de Engenheiro Agrônomo, no ano de 2012. Consequente, iniciou o Curso de Mestrado em Manejo de Solo e Água no Semiárido, no ano de 2012, onde trabalhou na linha de pesquisa em Manejo de Solo e Água na Agricultura, na mesma Instituição de Ensino em que lhe foi outorgada a Graduação em Agronomia, recebendo o título de Mestre em Manejo de Solo e Água em Fevereiro de 2014. Ainda em 2012, iniciou a Especialização em Educação Ambiental e Geografia do Semiárido, no Instituto Federal do Rio Grande do Norte – IFRN, no Campus do município de Apodí, Estado do Rio Grande do Norte, no qual concluiu a pesquisa e recebeu o título de Especialista em julho de 2014. Em agosto do mesmo ano, ingressou no Curso de Doutorado, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícolas, pertencente ao Departamento de Engenharia de Biosistemas, na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo - ESALQ/USP, em Piracicaba, Estado de São Paulo, onde atuou na linha de pesquisa em Fertirrigação e recuperação de áreas salinizadas. Na oportunidade, fez intercâmbio como bolsista CAPES, pelo Programa Doutorado Sanduíche no Exterior, Processo nº 88881,132126/2016-01, na Universidade de Almería, em Almería, na Espanha, entre os meses de março e julho de 2017, onde trabalhou com cultivo protegido e nutrição mineral em hortaliças. Atualmente, atua nas linhas de pesquisas de ambiente protegido, fertirrigação, irrigação, floricultura, hortaliças e manejo e conservação do solo.

EPÍGRAFE

*“Não sou nada;
sou apenas um instrumento, um pequeno lápis nas mãos do Senhor,
com o qual Ele escreve aquilo que deseja.
Por mais imperfeitos que sejamos,
Ele escreve magnificamente.”*

Madre Teresa de Calcutá

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT	10
LISTA DE FIGURAS.....	11
LISTA DE TABELAS	13
1. INTRODUÇÃO.....	15
2. REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1. FLORICULTURA NO BRASIL	17
2.2. CULTURA DE <i>COSTUS LASIUS</i> LOES.	18
2.3. CULTIVO EM AMBIENTE PROTEGIDO E O USO DE MALHAS FOTOCONVERSoras	20
2.4. FERTIRRIGAÇÃO.....	23
2.5. ÍNDICE DE ESTRESSE HÍDRICO DA CULTURA – IEHC	25
2.6. ÍNDICE DE CLOROFILA	27
3. MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	31
3.2. TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	32
3.3. CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	32
3.4. CARACTERÍSTICAS AVALIADAS	39
3.5. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS.....	47
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
4.1. VARIAÇÕES MICROCLIMÁTICAS DO AMBIENTE PROTEGIDO	49
4.2. CRESCIMENTO DE PLANTAS.....	52
4.3. NÚMERO DE FOLHAS, DE HASTES E DE INFLORESCÊNCIAS	56
4.4. DIMENSÕES DAS HASTES E DAS INFLORESCÊNCIAS	61
4.5. SANIDADE DAS FOLHAS E DAS INFLORESCÊNCIAS	63
4.6. ÍNDICE DE PREENCHIMENTO DE VASO - IPV	66
4.7. MATÉRIA FRESCA, SECA E ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR - IAF	67
4.8. ÍNDICE DE ESTRESSE HÍDRICO DA CULTURA – IEHC	70
4.9. ÍNDICE DE CLOROFILA - IC	72
4.10. MACRONUTRIENTES DO TECIDO VEGETAL	75
5. CONCLUSÕES.....	81
REFERÊNCIAS.....	83

RESUMO

Malhas fotoconversoras e concentrações de potássio via fertirrigação no cultivo de *Costus lasius* Loes. em ambiente protegido

As plantas tropicais vêm ocupando uma parcela crescente do setor de floricultura, tanto no mercado nacional quanto no internacional, por apresentarem formas exuberantes e coloridas. Neste sentido, o *Costus lasius* Loes. tem se destacado entre as plantas ornamentais por possuir, como característica mais atraente, pequenas inflorescências amarelo-ouro e caule pouco espiralado, marcas que dão leveza à combinação de plantas de vaso. Entretanto, esta espécie é pouco pesquisada no Brasil, principalmente quanto às condições ambientais de cultivo, de nutrição e de manejo da fertirrigação. O presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito de diferentes malhas fotoconversoras de sombreamento e diferentes concentrações de potássio, no cultivo de *Costus lasius* em ambiente protegido. O experimento foi conduzido em uma área experimental do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, em Piracicaba, SP. Os tratamentos foram constituídos da combinação de cinco concentrações de potássio na solução de fertirrigação (40, 80, 120, 160 e 200 mg L⁻¹), com três diferentes colorações de cobertura Chromatinet (Polysak Plastic Industries Ltd), nas cores vermelha, azul e preta, com índice de sombreamento de 50%. Foram utilizados 25 vasos “pote 19” por malha, em um total de 75, com um número de duas plantas por vaso, dispostos em bancadas de alumínio já disponíveis no local. Foram avaliados o crescimento das plantas, o número de folhas, de hastes e de inflorescências, as dimensões das hastes e das inflorescências, a sanidade das folhas e das inflorescências, o índice de preenchimento de vaso, a matéria fresca e seca, o índice de área foliar, o índice de estresse hídrico da cultura, o índice de clorofila e o acúmulo das concentrações de macronutrientes no tecido vegetal. O sombreamento com a malha vermelha melhorou as características de crescimento, número de folhas e aumentou a produção de massa fresca e seca de costus. A concentração de 200 mg L⁻¹ de K⁺, na solução de fertirrigação, é a recomendada para aumentar a massa fresca e o maior número das inflorescências, características relevantes para a espécie *Costus lasius* como planta ornamental. Os maiores teores de potássio acumulados nas inflorescências do costus são proporcionados pela concentração 200 mg L⁻¹ sobre as malhas vermelha e azul; e pela concentração 160 mg L⁻¹ no ambiente sombreado com a malha preta. A dose de 200 mg L⁻¹ de K⁺ associada a malha preta conduzem aos melhores resultados em termos de produção de hastes e inflorescências. O cultivo de costus sobre a malha azul tem maior eficiência no aproveitamento da clorofila e no processo fotossintético, indicando a camada basal das folhas como referência para esse tipo de avaliação. O IEHC apresenta grande variabilidade durante todo o ciclo e indica o ambiente de malha vermelha como o mais passível de causar estresse hídrico para as plantas na maioria dos meses estudados.

Palavras-chave: Manejo da fertirrigação; Solução nutritiva; Flores tropicais; Plantas ornamentais; Malhas coloridas

ABSTRACT

Photoconverters meshes and potassium concentrations in *Costus lasius* Loes. crops cultivated in greenhouse

Tropical plants have been participating of a growing portion in brazilian floriculture and in international markets, because of its exuberant and colorful forms. In this sense, the *Costus lasius* Loes. has stood out among ornamental plants because of its more attractive characteristics: small yellow-gold inflorescences and slightly spiraled stem, attributes that give lightness to the potted plants. However, there are few studies about this species in Brazil and mainly regarding the environmental conditions of cultivation, nutrition and fertirrigation management. The goal of this work is to evaluate the effect of different photoconverters meshes and different concentrations of potassium in the cultivation of *Costus lasius* in greenhouse. The experiment was conducted in an experimental area of the Plant Production Department at the School of Agriculture "Luiz de Queiroz", in Piracicaba, SP. Treatments were composed by a combination of five potassium concentrations in the fertigation solution (40, 80, 120, 160 and 200 mg L⁻¹) in three different meshes (Polysak Plastic Industries Ltd): red, blue and black, with shading capacity of 50%. For each mesh color twenty-five pots were used, 75 pots in total, with two plants per pot, arranged in aluminum benches already available at the place. In this experiment were evaluated the plants growth, number of leaves, stems and inflorescences, dimensions of stems and inflorescences, leaves and inflorescences health, vessel filling index, fresh and dry matter, leaf area index, crop water stress index, chlorophyll index and accumulation of macronutrients concentrations in plant tissue. The shading with the red mesh improved the growth characteristics, number of leaves and increased the production of fresh and dry mass of costus. The K⁺ concentration of 200 mg L⁻¹ in the fertigation solution is recommended to increase the fresh mass and to achieve the highest number of inflorescences, which are relevant characteristics for the specie *Costus lasius* as ornamental plant. The highest levels of accumulated potassium in costus inflorescences are provided by the concentration of 200 mg L⁻¹ on the red and blue meshes; and by the concentration of 160 mg L⁻¹ in the environment shaded with the black mesh. The dose of 200 mg L⁻¹ of K⁺ associated with black mesh leads to the best results in terms of stem and inflorescence production. The cultivation of costus on the blue mesh has greater efficiency in the use of chlorophyll and in the photosynthetic process, indicating the basal layer leaves as reference for this type of evaluation. The CWSI shows great variability throughout the cycle and indicates the red mesh environment as the most likely to cause hydric stress to plants in most of the months studied.

Keywords: Fertigation management; Nutritive solution; Tropical flowers; Ornamental plants; Colored meshes

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. (A) Vista frontal da casa de vegetação, onde se pode observar as mesas de alumínio e a disposição das malhas fotoconversoras ao longo da estufa; e (B) Vista lateral da casa de vegetação, com destaque para a disposição das malhas preta, azul e vermelha, ao longo da estufa.	31
Figura 2. Croqui da área experimental. Cinco tanques com as suas respectivas concentrações de potássio ($K1 = 40$, $K2 = 80$, $K3 = 120$, $K4 = 160$ e $K5 = 200 \text{ mg L}^{-1}$); malhas fotoconversoras e as cinco repetições dentro de cada ambiente.	32
Figura 3. (A) Arquitetura das hastes e inflorescências de <i>Costus lasius</i> e; (B) Inflorescência de <i>Costus lasius</i>	33
Figura 4. (A) Preparo do substrato e preenchimento dos vasos; (B) Estaqueamento em bandejas de poliestireno; e (C) Transplante das mudas para os vasos de produção.	34
Figura 5. (A) Sistema de irrigação por gotejamento; e (B) Teste de uniformidade dos gotejadores em casa de vegetação.	34
Figura 6. (A) Preparo da solução nutritiva de fertirrigação; e (B) Disposição dos tanques de polietileno, dentro da casa de vegetação.	35
Figura 7. (A) Ataque da lagarta do cartucho nas folhas da cultura; (B) Folhas de <i>Costus lasius</i> danificadas pelas pragas; e (C) Pulverizações mensais para o controle de patógenos.	36
Figura 8. Sensor termo higrômetro Incoterm®.	37
Figura 9. Medição da altura das plantas, realizada semanalmente, até o início do florescimento.	39
Figura 10. Contagem do número de hastes florais por parcela. (A) Número de hastes por parcela; e (B) Hastes florais de uma parcela experimental.	40
Figura 11. (A) Medição da altura do botão floral; (B) Medição do diâmetro do botão floral; e (C) Medida do comprimento da haste floral, na colheita de <i>Costus lasius</i>	40
Figura 12. Sanidade das plantas de <i>Costus lasius</i> , durante o ciclo. (A) Folhas saudáveis; e (B) Folhas com danos.	41
Figura 13. Índice de preenchimento de vaso de <i>Costus lasius</i> , em diferentes estádios de crescimento. (A) Inicial; (B) Desenvolvimento; e (C) Florescimento pleno.....	42
Figura 14. (A) Matéria fresca; e (B) Material seco das inflorescências de <i>Costus lasius</i>	42
Figura 15. (A) Amostra representativa de cada parcela para a coleta das folhas; e (B) Medidor de área foliar – LI-COR.	43
Figura 16. (A) Mini termômetro infravermelho simples (CRAFTSMAN); e (B) Leituras de temperatura foliar da cultura.	44
Figura 17. Aparelho manual ClorofiLOG CFL1030.	46
Figura 18. Temperaturas médias máximas internas, registradas no interior das malhas vermelha ($T1_{\text{máx}}$), azul ($T2_{\text{máx}}$) e preta ($T3_{\text{máx}}$), no ambiente protegido; e externa ($Ext_{\text{máx}}$), obtida na Estação Experimental da Esalq, ao longo do ciclo da cultura.	50

Figura 19. Temperaturas médias mínimas internas, registradas no interior das malhas vermelha (T1_mín), azul (T2_mín) e preta (T3_mín), no ambiente protegido; e externa (Ext_mín), obtida na Estação Experimental da Esalq, ao longo do ciclo da cultura.....	51
Figura 20. Radiação global interna, registradas no interior das três malhas do ambiente protegido; e externa, obtida na Estação Experimental da Esalq, ao longo do ciclo da cultura.....	52
Figura 21. Comportamento da altura média das plantas de <i>Costus lasius</i> , entre a fase inicial e de desenvolvimento, para as malhas de cores vermelha, azul e preta, submetidas às concentrações de potássio.	55
Figura 22. Comportamento do número médio das folhas das plantas de <i>Costus lasius</i> , entre a fase inicial e de desenvolvimento, para as malhas de cores vermelha, azul e preta, submetidos às concentrações de potássio.	58
Figura 23. Número médio de inflorescências das plantas de <i>Costus lasius</i> , submetidas às doses de potássio na solução de irrigação, sob a malha preta.	61
Figura 24. Boxplot das médias gerais do IEHC do fator malha fotoconversora.	71
Figura 25. Índices de clorofila <i>a</i> , <i>b</i> e total, nas regiões das camadas basal, mediana e apical, das folhas do costus, sob os fatores malhas fotoconversoras.	74
Figura 26. Concentrações de potássio (A); e de enxofre (B), nas plantas de <i>Costus lasius</i> , submetidas às doses de potássio na solução de fertirrigação, sob a malha vermelha. Valores com barras de erro padrão.	77
Figura 27. Concentrações de potássio (A) e de magnésio (B), nas plantas de <i>Costus lasius</i> , submetidas às doses de potássio na solução de fertirrigação, sob a malha azul. Valores com barras de erro padrão.	77
Figura 28. Concentrações de potássio (A), de enxofre (B) e de magnésio (C), nas plantas de <i>Costus lasius</i> , submetidas às doses de potássio na solução de fertirrigação, sob a malha preta. Valores com barras de erro padrão.	79
Figura 29. Umidades relativas médias máximas internas, registradas no interior das três malhas do ambiente protegido, e externa, obtida na Estação Experimental da Esalq, ao longo do ciclo da cultura.....	102
Figura 30. Umidades relativas médias mínimas internas, registradas no interior das três malhas do ambiente protegido, e externa, obtida na Estação Experimental da Esalq, ao longo do ciclo da cultura.....	102
Figura 31. Equações de regressão para as estimativas das umidades relativas máximas e mínimas para os ambientes das malhas vermelha (A e B), azul (C e D) e preta (E e F), respectivamente.	103
Figura 32. Estimativa da ET _o e da ET _c da cultura <i>Costus lasius</i> Loes. para o tratamento de malha vermelha.	104
Figura 33. Estimativa da ET _o e da ET _c da cultura <i>Costus lasius</i> Loes. para o tratamento de malha azul.	104
Figura 34. Estimativa da ET _o e da ET _c da cultura <i>Costus lasius</i> Loes. para o tratamento de malha preta.	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Solução nutritiva de Hoagland e Arnon, análise química da água e condutividade elétrica das soluções de fertirrigação para o manejo de <i>Costus lasius</i>	35
Tabela 2. Comparações entre médias e desvios padrões das temperaturas máximas e mínimas médias dentro de cada malha fotoconversora.	49
Tabela 3. Resumo da análise de variância da altura das plantas de <i>Costus lasius</i> , submetidas aos fatores doses de potássio e malhas fotoconversoras.	52
Tabela 4. Interação entre as médias da altura de plantas aos 60 e 90 DAT, para os fatores concentrações de potássio e malhas fotoconversoras.	53
Tabela 5. Médias das alturas das plantas, ao longo do ciclo de <i>Costus lasius</i> , para as malhas fotoconversoras.	54
Tabela 6. Resumo da análise de variância, para o número de folhas das plantas de <i>Costus lasius</i> , submetidas aos fatores doses de potássio e malhas fotoconversoras.	57
Tabela 7. Médias do número de folhas das plantas de <i>Costus lasius</i> para as malhas fotoconversoras.	57
Tabela 8. Resumo da análise de variância do número total de hastes e das hastes florais das plantas de <i>Costus lasius</i> submetidas às doses de potássio sob malhas fotoconversoras.	59
Tabela 9. Médias do número de hastes, entre as malhas fotoconversoras, e as médias do número de inflorescências para a interação entre as concentrações de potássio em cada fator de malha, para as plantas de <i>Costus lasius</i>	60
Tabela 10. Resumo da análise de variância das dimensões das hastes e dos botões florais das plantas de <i>Costus lasius</i> , submetidas aos fatores doses de potássio e malhas fotoconversoras.	61
Tabela 11. Médias de alturas e diâmetros das hastes e das inflorescências das plantas de <i>Costus lasius</i> para o fator malhas fotoconversoras.	62
Tabela 12. Médias das alturas das hastes das plantas de <i>Costus lasius</i> para os fatores concentrações de potássio em cada malha fotoconversora.	63
Tabela 13. Resumo da análise de variância para os dados de sanidade das plantas de <i>Costus lasius</i> submetidas aos tratamentos doses de potássio e malhas fotoconversoras.	64
Tabela 14. Comparação entre as médias das notas obtidas na avaliação da sanidade das plantas de <i>Costus lasius</i> para os tratamentos das malhas fotoconversoras.	64
Tabela 15. Avaliação, em porcentagem, do índice de preenchimento de vaso das plantas de <i>Costus lasius</i> sob concentrações de potássio e malhas fotoconversoras.	66
Tabela 16. Resumo da análise de variância da massa fresca das hastes (MFH) e das inflorescências (MFI), das massas secas das hastes (MSH) e das inflorescências (MSI), e do índice de área foliar (IAF), das plantas de <i>Costus lasius</i> , submetidas aos tratamentos das doses de potássio e das malhas fotoconversoras.	67
Tabela 17. Comparação entre as médias da matéria fresca e seca das hastes das plantas de <i>Costus lasius</i> para os tratamentos das malhas fotoconversoras.	69
Tabela 18. Médias da matéria fresca das inflorescências de <i>Costus lasius</i> para os tratamentos das concentrações de potássio (K ⁺) em cada tratamento de malha fotoconversora.	69

Tabela 19. Resumo da análise de variância para as leituras do IEHC de <i>Costus lasius</i> submetidas às doses de potássio sob malhas fotoconversoras.	70
Tabela 20. Comparação entre as médias das leituras do IEHC de <i>Costus lasius</i> , segundo os dias após o transplante, sob as malhas fotoconversoras.....	71
Tabela 21. Resumo da análise de variância das clorofilas <i>a</i> , <i>b</i> e total das camadas basal, mediana e apical, das folhas de <i>Costus lasius</i> , submetidas aos tratamentos das doses de potássio e das malhas fotoconversoras.	72
Tabela 22. Resumo da análise de variância dos macronutrientes das inflorescências das plantas de <i>Costus lasius</i> , em função das doses de potássio e das malhas fotoconversoras.....	76

1. INTRODUÇÃO

A floricultura no Brasil apresenta crescimento acima da média dos produtos ligados à Agricultura. Atualmente, o Sul e Sudeste do País se caracteriza pelo sólido mercado interno e, cada vez mais, incorpora-se o hábito do consumo de flores entre a população. Para manter o crescimento, é preciso investir em novas cores e formatos, e também em espécies ainda não domesticadas, que atenderiam à demanda criada por esse mercado.

Neste âmbito, destaca-se a espécie *Costus lasius* Loes. que, embora com grande potencial de produção e de mercado no Brasil, ainda é uma cultura pouco estudada. É uma planta tropical, com inflorescências de tamanho e formato diferenciados, que atendem a um mercado de ornamentação restrito dentro da floricultura. Com sua recente introdução no mercado nacional de plantas ornamentais, ainda se convive com dificuldades no cultivo, devido à escassez de informações técnicas quanto ao seu manejo do solo e da adubação. O costus é pouco conhecida e difundida nacionalmente, o que requer pesquisas relacionadas ao seu cultivo em ambiente protegido e estudos nutricionais para explorar sua potencialidade produtiva e ornamental. O mercado de envasadas é o que mais cresce no Brasil e no exterior, dada a facilidade de transporte, a durabilidade e a satisfação do cliente por este produto. Esta espécie envasada concorreria com outras tropicais como as bromélias, as helicônias, as orquídeas e as folhagens, todas com alto valor agregado.

Uma nova tecnologia que está sendo estudada em cultivo protegido é a utilização de malhas fotoconversoras. Em busca de maiores rendimentos das culturas, estudos com uso de malhas ou filmes plásticos de diferentes naturezas ou cores estão sendo bastante praticados, por promoverem a alteração da qualidade espectral da radiação e, como consequência, melhorar no crescimento e na produção de culturas vegetais. Sua utilização em estudos com a espécie em destaque é uma aposta para melhor qualidade e ingresso do produto no mercado nacional.

Agregado ao cultivo em ambiente protegido, a utilização da fertirrigação tem sido uma técnica essencial para melhorar ou garantir a produção agrícola sem riscos de contaminação, muitas vezes causados pela lixiviação de nitratos e potássio no solo, em consequência da existência de um aumento potencial do mercado consumidor. Entretanto, apesar do crescimento considerável nos últimos anos, as pesquisas realizadas ainda são poucas no que se refere ao emprego da fertirrigação associada à cultura em estudo e ao seu cultivo em ambiente protegido, em relação às alterações no monitoramento preciso da solução nutritiva.

A fertirrigação é uma prática que está diretamente relacionada à produtividade e à qualidade do cultivo, sendo importante a realização de pesquisas que possam definir

recomendações de adubação. Este conhecimento, para o *costus*, é pouco difundido, o que pode resultar em um alto impacto na produção e na qualidade das hastes e das inflorescências desta espécie, evitando a aplicação de quantidade insuficiente ou excessiva de água e fertilizantes. O potássio é um nutriente importante no processo de translocação de carboidratos para toda a planta, para a formação do botão floral, de forma que a sua concentração ideal pode impactar a qualidade das inflorescências da espécie ornamental.

Nesta pesquisa, foram estabelecidas as hipóteses de que existe influência do uso de malhas de diferentes colorações sobre o aumento da produtividade e da qualidade das folhas e inflorescências de *Costus lasius*; que a presença de malhas vermelhas e azuis, quando submetidas a uma dose específica de potássio consumido, interfere positivamente na qualidade e na produção das inflorescências; e que é possível obter-se uma recomendação nutricional potássica ideal para a formação dos botões florais e para a manutenção de uma melhor qualidade pós-colheita desta espécie.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar o efeito de diferentes malhas fotoconversoras e doses de potássio sobre o desempenho de *Costus lasius* Loes, no que diz respeito à determinação da concentração ótima de potássio na solução de fertirrigação e da malha de sombreamento, com enfoque nos parâmetros vegetativos, produtivos e qualitativos desta espécie, sob cultivo em ambiente protegido.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Floricultura no Brasil

A floricultura no Brasil, que inclui flores e plantas ornamentais, vem gradualmente crescendo como atividade econômica desde a década de 1960. A produção de flores movimentou R\$ 5,7 bilhões em 2014, com aumento de 13% em relação a 2013, segundo o Instituto Brasileiro de Floricultura (IBRAFLOR, 2017). Este mercado é considerado estratégico para o país porque gera alta renda por hectare, possibilita o uso de pequenas áreas e gera um grande número de empregos por ano (BLISKA JÚNIOR & FERRAZ, 2012). Atualmente, o País conta com 8 mil produtores, dos quais 98% são de pequeno e médio porte. A área cultivada em 2013 totalizou 13,8 mil hectares, na qual mais de 350 espécies foram produzidas, somando 3 mil variedades (AGÊNCIA BRASIL, 2014).

O mercado brasileiro engloba mais de 60 centrais de atacado, 650 empresas atacadistas e 22 mil pontos de venda no varejo, apresentando, ainda, um consumo per capita de R\$ 26,68/ano. A participação no mercado divide-se em 40,33% para mudas de plantas ornamentais, 48,37% para bulbos, tubérculos, rizomas e similares, 3,67% para flores frescas e 7,63% para outras formas. O IBRAFLOR, que havia previsto para o ano de 2014 o faturamento de R\$ 5,7 bilhões, atingiu R\$ 6,2 bilhões em 2015, R\$ 6,65 bilhões em 2016 e, para ano de 2017, a previsão de crescimento em todo o país foi de 9%, com faturamento de R\$ 7,2 bilhões. Desde 2006 o segmento de flores tem registrado altas anuais, de 8 a 15% em volume e de 15 a 17% em valor (IBRAFLOR, 2017).

Apesar desse potencial, o desenvolvimento do mercado de flores no Brasil apresenta-se irregular, permanecendo concentrado em alguns estados e subdesenvolvido ou inexistente em outros, apesar do potencial de desenvolvimento em diversas regiões do país (IBRAFLOR, 2017; JUNQUEIRA & PEETZ, 2014). As razões desta irregularidade ainda não são plenamente conhecidas (MURARO, NEGRELLE e CUQUEL, 2015). A falta de informações precisas sobre a cadeia de suprimentos, a necessidade de qualificação na gestão do relacionamento com os clientes e a falta de interação entre os produtores do setor, foram citados como principais razões para o subdesenvolvimento do mercado florístico em alguns estados brasileiros (OLIVEIRA et al., 2011; IBRAFLOR, 2017).

Com relação à floricultura no Estado de São Paulo, este, atualmente, possui 2.244 produtores cadastrados em aproximadamente 6.588 hectares, com uma área média de 2,94 hectares por produtor. Ainda, com consumo per capita de R\$ 39,25/ano, há a geração de aproximadamente 93.600 empregos distribuídos em produção (42.564), no atacado (6.500), no varejo (41.536) e no

apoio (3.000), contando também com 6.998 pontos de varejo, com uma média de 5,94 empregados por ponto (IBRAFLOR, 2017).

O território brasileiro é um lugar de perspectivas promissoras para o ramo da floricultura, devido aos seus fatores climáticos, principalmente quando se considera a exploração de flores tropicais, atividade essa que encontra no País um ambiente propício para o seu desenvolvimento. À medida que as demandas do mercado externo vêm aumentando, vão se abrindo as portas para os potenciais polos de produtores de flores tropicais (PAULINO, 2012).

Em um mercado saturado por culturas tradicionais, espécies não usuais ou aquelas apresentadas de uma nova forma despertam a curiosidade e estimulam o consumo, o que faz da novidade um componente importante da estratégia de marketing (SIQUEIRA, 2009).

As plantas tropicais vêm ocupando uma parcela crescente no setor da floricultura, tanto no mercado nacional como no internacional, por apresentarem formas exuberantes e coloridas. Estas plantas constituem uma das maiores riquezas da nossa flora e são apreciadas no mercado externo por sua durabilidade e capacidade de gerar belas composições (LOGES et al., 2005).

O interesse por algumas espécies, como flores de corte, se dá devido à grande durabilidade pós-colheita das inflorescências, enquanto que o uso no paisagismo em vasos ou em canteiros está relacionado ao longo período de floração, à arquitetura da planta, à variação da textura, à forma e cor das folhas e inflorescências e à adaptação a diferentes locais de cultivo (CASTRO et al., 2011).

2.2. Cultura de *Costus lasius* Loes.

O *Costus lasius* Loes. é uma espécie que apresenta folhas estreitamente elípticas e inflorescência reta ou inclinada. Tem como característica mais atraente suas inúmeras pequenas inflorescências amarelo-ouro e um caule pouco espiralado, características que dão leveza à combinação com plantas de vaso. Está distribuída naturalmente no Panamá, na Colômbia, no Peru e sua ocorrência no Brasil abrange a região amazônica (GONÇALVES et al., 2005).

Segundo Castro et al. (2011), as plantas de *Costus lasius*, apresentam porte baixo, hábito de planta expandido, distribuição espiralada da folhagem e elevado número de hastes foliares por planta, permitindo uma alta capacidade de recobrimento do solo. Apresentam alta persistência de folhas verdes e inflorescências nas plantas, longo período de florada, bem como contraste entre a cor da inflorescência e da folhagem. Ademais, as inflorescências apresentam longa vida pós-colheita.

Conforme Paes, Mendonça e Casas (2013), a epiderme foliar, em vista frontal, apresenta células com paredes retas levemente onduladas, com formato hexagonal. Os tricomas, com seus

pelos ferrugíneos e longos (COSTA; ESPINELLI; FIGUEIREDO, 2010), são do tipo tectores filamentosos simples, sem ramificações, sendo considerados estruturas de grande valor para algumas espécies vegetais (SILVA et al., 2005), predominantes na face abaxial e adaxial das folhas. Embora seja uma espécie pouco estudada, especificamente em ambientes protegidos, estas características permitem sua recomendação como flor de corte, planta de vaso, planta para jardim ou para paisagismo (CASTRO et al., 2011).

Dentre as espécies cuja importância econômica e interesse vêm crescendo no setor de plantas ornamentais, destacam-se as da ordem Zingiberales, que abrange oito famílias de monocotiledôneas (SIMPSON, 2006; ARAÚJO & OLIVEIRA, 2007). Dentre estas, a família Costaceae vem despertando grande interesse. Esta tem distribuição natural na América, na África, na Ásia e no norte da Austrália, sendo pouco explorada economicamente, apesar de seu potencial ornamental. De forma esporádica, é possível encontrar algumas plantas no comércio, tanto como plantas de vaso, mudas para jardins, flores de corte ou plantas medicinais (CASTRO et al., 2011).

A família Costaceae, anteriormente classificada como uma subfamília de Zingiberaceae, recentemente foi reclassificada em função da análise cladística molecular do genoma nuclear de cloroplasto, bem como pelas características morfológicas, as quais indicam que há diferenças anatômicas e estruturais entre Costaceae e Zingiberaceae, que garantem um caráter diagnóstico distintivo (SPECHET & STEVENSON, 2006). No entanto, poucos trabalhos científicos evidenciam características peculiares de Costaceae (PAES, MENDONÇA e CASAS, 2013).

Segundo os trabalhos de Spechet e Stevenson (2006), a Costaceae foi dividida em sete gêneros que compreendem de 120 a 150 espécies. O gênero *Costus* aparece com maior destaque, pois suas plantas apresentam beleza e exotividade, podendo ser amplamente utilizadas, desde em arranjos florais até em paisagismo, resultando em composições originais e duráveis, devido ao fato de suas inflorescências persistirem por vários dias (GONÇALVES et al., 2005).

Merida et al. (2013) relata que o gênero *Costus* compreende o conjunto dos gengibres espirais. A folhagem é espiralada em torno de hastes semelhantes a bambus ou colmos de cana-de-açúcar. É difícil fazer generalizações sobre este gênero, pois as plantas são muito variadas. Algumas espécies têm textura aveludada suave nas faces inferiores das folhas. A maioria das espécies apresenta a face inferior da folha com coloração em tons de verde, enquanto outras são roxas. As brácteas e as inflorescências podem variar desde a forma de uma espiga, assemelhando-se a um abacaxi, ou ser levemente cônica, com as folhas emergindo do interior das brácteas.

De acordo com Merida (2013), tem sido constatada, no comércio, a presença de espécies da Família Costaceae, tanto na forma de plantas envasadas para decoração de interiores ou mudas para emprego em jardins, quanto na forma de flores de corte, utilizando-se as inflorescências em

arranjos florais. O interesse por algumas espécies como flor de corte é devido à grande durabilidade pós-colheita das inflorescências, enquanto que o uso no paisagismo em vasos ou em canteiros, está relacionado ao longo período de floração, à arquitetura da planta, à variação da textura, à forma e cor de folhas e inflorescências e à adaptação a diferentes locais de cultivo (CASTRO et al., 2011). Para o uso de uma espécie como planta de vaso, deve-se considerar que o sucesso comercial não depende apenas de sua qualidade estética e da facilidade de produção, mas também da durabilidade de pós-produção, o que vai garantir a aceitação do produto pelo consumidor (SIQUEIRA, 2009).

2.3. Cultivo em ambiente protegido e o uso de malhas fotoconversoras

O cultivo em ambiente protegido tem sido bastante utilizado, uma vez que permite obter produtos de melhor qualidade, melhorar a produtividade e colocar no mercado um produto com um padrão que, em condições de campo aberto, não seria possível (PEREIRA, 2013). O ambiente em que o vegetal se desenvolve e o tipo de cultivo influencia o crescimento e a produção de biomassa (DAVID; MISCHAN; BOARO, 2006). Aliado a isso, medidas que aumentem a durabilidade pós-colheita vêm despertando o interesse dos produtores e pesquisadores (COSTA et al., 2007; TORRES & SANTOS, 2007).

A luz é o fator preponderante no controle do crescimento, do desenvolvimento e do metabolismo das plantas, os quais são afetados por sua intensidade, direção e duração (CHANG; ANDERSON; WRIGHT, 2008). A radiação solar é um fator determinante de outros fatores meteorológicos, como a temperatura e a umidade relativa do ar, que são importantes porque atuam decisivamente em todos os processos vitais das plantas, dentre eles a fotossíntese, a transpiração, o fotoperiodismo, o crescimento dos tecidos e a floração (PANDORFI, 2006).

Um exemplo de mecanismo para atenuar a radiação sobre essas plantas é o uso de malhas fotoconversoras. Essas malhas representam, assim, um novo conceito agrotecnológico, tendo como finalidade combinar a proteção física com a filtração diferencial da radiação solar, visando promover respostas fisiológicas específicas que são reguladas pela luz (BRANT et al., 2009). Para várias culturas, tem sido cada vez mais comum o uso com sucesso de malhas de diferentes colorações (SOUZA et al., 2011).

Shahak et al. (2004) desenvolveram, com a indústria de plástico, uma série de malhas de sombreamento, cada uma modificando especificamente o espectro da radiação filtrada nas regiões de UV, visível ou vermelho-distante e/ou aumentando a dispersão de radiação difusa e/ou afetando os componentes térmicos da região do infravermelho. Mostraram ainda que estudos em diversas culturas sob várias malhas fotoconversoras, com mesmo índice de sombreamento de

malhas pretas, entre 50 a 80%, dependendo da cultura e da época, produziram respostas significativas.

A faixa de espectro mais importante para os processos fotobiológicos situa-se entre o ultravioleta (200-400 nm), o espectro visível (400-700 nm, região esta do espectro também denominada Radiação Fotossinteticamente Ativa - RFA) e o infravermelho (740-1.600 nm) (SCARANARI; LEAL; PELLEGRINO, 2008). Taiz e Zeiger (2004) mostram que as faixas das regiões do espectro e os respectivos efeitos sobre as plantas podem ser agrupadas em: primeira faixa: > 1.000 nm (infravermelho), não causam danos às plantas e são por elas absorvidas, sendo aproveitadas sob a forma de calor, sem que haja interferência nos processos biológicos; segunda faixa: entre 1.000 e 720 nm, estes são os limites do espectro que exerce efeito no crescimento das plantas; 3ª faixa: entre 720 e 610 nm, ocorre absorção pela clorofila e carotenoides, com forte atividade fotossintética, apresentando em vários casos atividade fotoperiódica; 4ª faixa: entre 610 e 510 nm, é uma faixa espectral de baixo efeito fotossintético e de fraca ação sobre a formação da planta, a qual corresponde à região verde do espectro; quinta faixa: entre 510 e 400 nm, é essencialmente a faixa mais fortemente absorvida pelos pigmentos amarelos e pela clorofila; corresponde ao azul-violeta do espectro e é também região de grande atividade fotossintética, exercendo ainda vigorosa ação na formação da planta; sexta faixa: entre 400 e 320 nm (ultravioleta), ocorre inibição de alongação celular, exercendo efeitos na formação das plantas, tornando-as mais baixas e com as folhas mais grossas. Larcher (2000) cita que, nessa faixa, a radiação ultravioleta A (UV-A), caracteriza-se por atuar como foto-oxidante; sétima faixa: entre 320 e 280 nm, é uma faixa prejudicial à maioria das plantas. A radiação UV-B (280-314 nm), além do efeito foto-oxidante, causa lesões nas biomembranas (LARCHER, 2000); oitava faixa: < 280 nm, causa morte rápida às plantas.

Entre os diferentes pigmentos que podem promover as respostas fotomorfogênicas nas plantas, os mais importantes são aqueles que absorvem luz vermelha e azul (TAIZ & ZEIGER, 2013). A malha vermelha reduz as ondas azuis, verdes e amarelas, acrescentando ondas na faixa espectral do vermelho e do vermelho distante, com transmitância para comprimentos de ondas superiores a 590 nm. Já a malha azul filtra as ondas na faixa do vermelho e do vermelho distante, o que permite a passagem de ondas com transmitância na região do azul-verde (400–540 nm) (SHAHAK et al., 2004).

A luz vermelha, no limite inferior da faixa, provoca um grande aumento na expressão de um gene que codifica uma enzima-chave na síntese da giberelina (TOYOMATSU et al., 1998) que, por sua vez, pode promover o alongamento de internódios e o controle de floração. Os fitocromos são pigmentos proteicos de coloração azul, responsável pela percepção luminosa dos vegetais, que

se interconvertem em formas ativas e inativas que respondem aos diferentes comprimentos de onda. Esta conversão é utilizada pelas plantas na sincronização do seu desenvolvimento, com as exigências luminosas do ambiente. Os sinais luminosos fornecem informações fundamentais em muitos estágios do desenvolvimento vegetal, como germinação de sementes, desenvolvimento de plântulas, desenvolvimento adequado do sistema fotossintético, dormência de brotos, respostas a competição, tuberização, floração, alocação e armazenamento de nutrientes (SMITH, 2000).

Tsunoyama et al. (2002) relatam que a luz azul influencia a biossíntese de clorofila e outros pigmentos, por meio da regulação da expressão de determinados genes. Leite et al. (2005) discutiram sobre o vigor foliar de plantas de *Phalaenopsis* sp., quando foi observado que plantas desenvolvidas sob a malha azul e sob a malha vermelha apresentaram precocidade no florescimento. Briassoulis, Mistriotis e Elephterakis (2007) ressaltam que as malhas fotoconversoras não só contribuem para um incremento da produção, como também para um efeito positivo na qualidade e homogeneidade da mesma.

Shahak et al. (2004) conduziram experimentos em pomares comerciais de macieira e pessegueiro usando malhas de cores vermelha, amarela, azul, cinza e pérola, com 30% de sombreamento, para reduzir a luminosidade. No primeiro ano, os resultados mostraram efeitos positivos no florescimento, padrão, tamanho, coloração e qualidade dos frutos, além de redução no estresse hídrico e queimaduras em frutos. Os autores afirmaram ser ainda muito cedo para delinear os mecanismos que envolvem as respostas, que podem estar relacionadas à qualidade da luz, à modificação do microclima gerado, ou ambas, abrindo novas perspectivas para implementar o desenvolvimento de pomares sob proteção. Entretanto, o uso dessas malhas abriu espaço e curiosidade para diversas pesquisas com diversas culturas, que procuram expandir o mercado agrícola em busca de benefícios e facilidade no manejo de frutas, hortaliças, flores e florestais.

Pesquisas revelaram que plantas cultivadas sob malhas vermelhas apresentaram maior comprimento de ramificações e, sob malhas azuis, apresentaram menor tamanho em relação à malha preta (neutra) (OREN-SHAMIR et al., 2001; SHAHAK et al., 2004). Silva Junior et al. (2012) mostraram que plantas de orquídea *Laelia purpurata* var. *cárnea*, cultivadas sob malha azul, apresentaram aumento das células da epiderme na face adaxial e do mesofilo quando comparadas com as plantas que se desenvolveram sob as malhas vermelha e neutra; além disso, a malha azul possibilitou um desenvolvimento mais uniforme do velame. Calaboni (2014) percebeu que as plantas cultivadas sob a malha vermelha apresentaram menor número de brotos lançados ao longo do tempo, enquanto que as plantas sob as malhas azul e neutra não diferiram estatisticamente entre si. Por outro lado, a malha neutra apresentou menor altura, comparada às malhas azul e vermelha que apresentaram plantas maiores com alturas, que não diferiram estatisticamente.

Entretanto, vale ressaltar que as alterações nas características espectrais da radiação solar podem modificar características estruturais das plantas. Muitos trabalhos têm demonstrado que a qualidade da luz influencia aspectos do desenvolvimento das plantas, como o conteúdo de nitrogênio e de pigmentos foliares, e a partição de biomassa entre folhas, caules e raízes (PONS & BERKEL, 2004; MELO & ALVARENGA, 2009). Diversos estudos mostraram grandes avanços nesta área; porém, maiores pesquisas são necessárias para compreensão dos mecanismos fisiológicos responsáveis pelas respostas das plantas, assim como para a implementação em uma vasta variedade de culturas e condições ambientais (SHAHAK, 2006).

2.4. Fertirrigação

Com o aumento da população mundial e a perspectiva de perda dos recursos naturais, é necessário o desenvolvimento de uma agricultura intensiva e sustentável em seus diferentes aspectos, na qual os produtos químicos e fertilizantes minerais sejam usados com o objetivo de aumentar a produção de alimentos com o mínimo de impactos ao ambiente.

A fertirrigação tem se destacado como uma das tecnologias de maior impacto na produção agrícola, possibilitando a distribuição de nutrientes durante o ciclo da cultura, de acordo com a necessidade nutricional das plantas, reduzindo os riscos de desperdício de fertilizantes e de contaminação ambiental (OLIVEIRA et al., 2011). Em ambiente protegido, a irrigação é imprescindível, mas o manejo inadequado do sistema de irrigação e da cultura pode inviabilizar o processo produtivo (PEREIRA, 2013).

O sistema de irrigação localizada é o mais indicado quando se utiliza a fertirrigação, principalmente o gotejamento, pois esse sistema aplica água e nutrientes na quantidade e posição adequadas, com maior eficiência de distribuição. A aplicação de fertilizantes via água de irrigação é vantajosa quando se usa sistema de irrigação de alta frequência, pois possibilita a aplicação da quantidade exata de fertilizantes que o vegetal demanda para o seu ciclo vegetativo (MEDEIROS, 2010). Além disso, tem sido uma prática comum para culturas que são desenvolvidas dentro de ambiente protegido, o que proporciona uma melhor utilização do sistema de irrigação, resultando em uma vantajosa relação custo/benefício ao agricultor (QUADROS et al., 2010; PEDÓ et al., 2013; SILVA & SILVEIRA, 2012).

A fertirrigação surge como a maneira mais eficiente e econômica de manejar a aplicação de fertilizantes às plantas. Isto ocorre porque a aplicação desses fertilizantes, em menor quantidade por vez, mas com maior frequência, possibilita manter um nível uniforme de nutrientes no solo, aumentando a eficiência do uso pelas plantas e sua produtividade (BRAGA et al., 2011). Para se

realizar o manejo da fertirrigação de forma eficiente é necessário um equilíbrio entre a quantidade de nutrientes e a quantidade de água a ser aplicada durante cada fase do ciclo da cultura, o que determina a concentração de fertilizantes na água de irrigação (BLANCO & FOLEGATTI, 2002).

Com o propósito de obter rendimentos elevados na cultura, estão sendo aplicadas doses excessivas de fertilizantes por produtores, o que pode resultar em um acúmulo de resíduos de sais e, por consequência, no aumento da sua lixiviação no solo (OLIVEIRA et al., 2013). Alguns fatores são de fundamental importância na produção de vegetais e para o bom desenvolvimento e crescimento da cultura. A nutrição das plantas é um dos fatores mais importantes e tem um impacto direto na produção e qualidade dos vegetais. O manejo da fertirrigação é uma ferramenta que permite às plantas obter a quantidade de nutrientes exigida em cada fase fenológica, resultando em maior eficiência e economia na utilização de fertilizantes (FRIZZONE et al., 2012). Desse modo, a fertirrigação deve ser gerenciada para manter uma concentração iônica adequada na solução de fertirrigação.

Depois do nitrogênio, o potássio é o elemento requerido em maiores quantidades pelas espécies de plantas cultivadas (NACHTIGALL & RAIJ, 2005). Mais especificamente, está associado ao controle da abertura e fechamento dos estômatos, permite maior translocação de carboidratos produzidos nas folhas para outros órgãos da planta, maior eficiência enzimática e melhoria da qualidade comercial da planta (SILVA et al., 2003). De acordo com Kano et al. (2010), o potássio e o nitrogênio são os nutrientes mais acumulados pelos brotos em sistemas convencionais de cultivo de plantas. A importância das funções que esses nutrientes desempenham tem sido reconhecida, como na formação de componentes celulares (TAIZ & ZEIGER, 2013) e na regulação do potencial osmótico e ativação enzimática (STAGNARI et al., 2015).

O potássio tem um papel essencial na ativação enzimática, na fotossíntese, na eficiência do uso da água, na formação de amido e na síntese proteica (STINO et al., 2011). Por outro lado, o excesso de potássio pode causar desequilíbrio nos níveis de cálcio e magnésio (ALMEIDA et al., 2015) e poluir os aquíferos quando lixiviados, o que evidencia a importância de um bom programa de fertilização e da determinação da concentração ótima desse elemento para as diferentes espécies hortícolas, frutíferas e ornamentais, de forma a garantir qualidade de produção.

O suprimento de potássio às raízes ocorre basicamente pelos mecanismos de fluxo de massa e de difusão. Novais et al. (2007) mencionam que o mecanismo de interceptação radicular contribui com menos de 5% da demanda de potássio pelas plantas, considerando o pequeno volume de solo explorado pelo sistema radicular da maioria das espécies de ciclo curto. A difusão de potássio no solo em direção às raízes é afetada por fatores relacionados com o solo e com a planta, destacando-se o conteúdo de água e o potássio na solução do solo (SOUSA NETO, 2017).

Por meio das curvas de acúmulo de nutrientes, é possível conhecer a demanda nutricional em cada etapa do crescimento, sendo importante, portanto, monitorar a necessidade por determinado elemento ao longo do ciclo de uma cultura e em cada fase fenológica (GALATI, 2010). Pode-se, assim, reduzir o risco de aplicações de doses excessivas de fertilizantes, bem como reduzir o risco de fornecer doses abaixo do mínimo exigido pela planta para atingir metas de produtividade (BECKMANN-CAVALCANTE, 2007).

2.5. Índice de Estresse Hídrico da Cultura – IEHC

A radiação solar é a única fonte de energia para a fotossíntese e demais processos vegetais. Para que esta possa ser interceptada pela cobertura vegetal, deverá ser absorvida, refletida e transmitida em proporções variáveis, de modo que influencie no crescimento e no desenvolvimento das plantas em função da intensidade, qualidade e produção (BECKMANN et al., 2006).

A transmissão da radiação solar, em uma comunidade de plantas, é expressa como uma função exponencial negativa do produto do índice de área foliar, pelo coeficiente de extinção k , que depende das propriedades óticas das folhas do dossel vegetativo, segundo a lei de Beer. Sendo assim, são necessárias medidas de área foliar do dossel, acima do sensor de radiação, para a determinação da sua interceptação (SCHOFFEL & VOLPE, 2001).

A temperatura da superfície da cobertura vegetal, que é uma resposta às trocas de energia, pode ser expressa em termos da radiação por ela emitida. Assim, partindo-se da lei de *Stefan-Boltzmann*, que diz que a energia emitida por um corpo qualquer é proporcional à quarta potência da temperatura absoluta de sua superfície, pode-se determinar a temperatura da superfície de um corpo, conhecendo-se o fluxo de radiação emitido por sua superfície (MAGIOTTO, 1996). Dessa forma, para estimar a temperatura nesta faixa de radiação, a técnica de termometria do infravermelho, a qual se utiliza de radiômetros que medem a energia no infravermelho, tem sido amplamente utilizada (CAMPBELL & NORMAN, 1998). O sensor obtém a temperatura relativa de um alvo por meio da captação de uma amostra da radiação térmica infravermelha, na qual converte-a em um sinal elétrico, cuja voltagem é proporcional à radiação captada, emitida pela folha, caracterizando-se por estar composta, principalmente, pela parte infravermelha do espectro, cuja magnitude depende da temperatura (WANJURA & UPCHURCH, 1991; SANMARTIN & ACEVEDO, 2001; FERNANDES, 2010; BRUNINI, 2016).

Utilizando-se da termometria por infravermelho, é possível obter a temperatura do dossel vegetativo sem que haja contato direto com as folhas das plantas (GARCIA et al., 2000; COSTA, 2016). O desenvolvimento de termômetros infravermelho portáteis e com baixo custo, durante a década de 70, permitiu um avanço nas pesquisas, sobre o uso de sensores remotos, para a medição da temperatura do dossel vegetativo e, inclusive, para a detecção de ocorrência de estresse hídrico nas culturas (GARCIA et al., 2000; TRENTIN et al., 2011).

A rapidez na medição, a relativa facilidade de uso e o fato de ser um método não destrutivo, estão entre as vantagens da termometria por infravermelho. Para a correta determinação da temperatura do dossel das plantas, utilizando os termômetros infravermelhos, alguns procedimentos como a limpeza da lente do sensor; a calibração regular do aparelho; a correta escolha da emissividade do objeto; e o posicionamento do sensor em direção à superfície foliar a ser medida, devem ser cuidadosamente observados (KIRKHAN, 2014).

A temperatura das plantas atua como um bom indicador do status hídrico da planta, sendo uma variável fundamental para monitorar o estresse de água nas espécies vegetais (WANG et al., 2010). Segundo Jackson et al. (1988), dentre as técnicas usadas para estimar o estresse de água entre das plantas, a temperatura foliar é um método indireto que se fundamenta na hipótese de que a transpiração esfria as folhas em relação ao ar adjacente. Assim, à medida que a folha torna limitante, a transpiração se reduz e, conseqüentemente, ocorre o aumento da temperatura foliar, pela absorção da radiação solar incidente. Dentre os equipamentos que podem ser usados para a determinação da temperatura das folhas, destaca-se o canhão portátil infravermelho, que possui sensor de captação de energia em forma de raios infravermelhos, a qual é medida na superfície de um objeto e pode variar conforme a temperatura do mesmo (COSTA, 2016).

Vários índices de estresse hídrico foram desenvolvidos e continuam sendo aprimorados a partir do conhecimento da resposta das plantas ao potencial de água no sistema radicular, de estimativas de transpiração e de temperatura foliar (TRENTIN et al., 2011). Muitos índices utilizam a diferença entre a temperatura da cultura e a temperatura do ar como base para a estimativa da severidade do estresse hídrico (TESTI et al., 2008; LEBOURGEOIS et al., 2010), inclusive o índice de estresse hídrico da cultura (IEHC) (JACKSON et al., 1981).

Em condições de altas temperaturas foliares e disponibilidade hídrica limitante, as plantas respondem ao estresse hídrico com o fechamento estomático e minimizam suas perdas de água para a atmosfera (BRUNINI, 2016). Idso et al. (1981) e Jackson (1982), propuseram a avaliação da temperatura do dossel vegetativo como uma ferramenta essencial no monitoramento do IEHC. Por meio da combinação do balanço de energia e da equação de Penman-Monteith, Jackson et al. (1981) apresentaram as considerações teóricas para o desenvolvimento do IEHC, que é baseado

na diferença entre a temperatura foliar e a temperatura do ar, a qual é comparada à condição de estresse hídrico severo e de ausência de limitação de água que, por sua vez, são denominadas como linha de base superior e linha de base inferior, respectivamente.

As linhas de base superior e inferior podem ser definidas de diversas maneiras. No entanto, Jackson et al. (1981) sugeriram equações para a estimativa dessas linhas baseadas em dados meteorológicos locais. O limite superior experimental representa o estresse hídrico máximo tolerado pela cultura, o qual é definido quando os estômatos se encontram totalmente fechados. Por outro lado, o limite inferior representa uma situação na qual a planta não apresenta nenhuma restrição hídrica. Dessa forma, de acordo com os limites experimentais, o índice de estresse hídrico para a cultura estará compreendido entre os valores 0, que representa o estresse nulo, e 1, que está relacionado ao estresse máximo (TRENTIN, 2010).

Trentin (2010) explica que, quando a cultura está sob estresse hídrico, os estômatos permanecem fechados e a transpiração diminui, de modo que a temperatura na folha apresenta um incremento. Assim, quando uma planta está sem estresse hídrico, a temperatura foliar permanece entre 1 e 4 °C mais baixa que a temperatura ambiente, e o valor do IEHC é igual a zero. Quando a transpiração diminui, a temperatura da folha sobe e pode ficar entre 4 e 6 °C mais elevada que a do ar, causando um déficit hídrico alto, no qual a transpiração foliar é drasticamente reduzida e o IESC fica próximo à 1.

Faria Junior e Lima (2000) relatam que o emprego de malhas de sombreamento tem contribuído diretamente para a redução da temperatura interna para o cultivo protegido e melhor eficiência do uso da água, além de interceptarem a radiação solar incidente. Desse modo, quando submetidas a diferentes espectros de luz, as plantas se sujeitam a diferentes comportamentos fisiológicos, incluindo a possibilidade de estresse hídrico causados por alterações espectrais ou manejo em casa de vegetação (SHAHAK et al., 2004).

2.6. Índice de Clorofila

Existem diversos fatores importantes que estão relacionados à eficiência fotossintética em plantas, como a concentração e a composição de pigmentos cloroplásticos, que afetam o crescimento das plantas e a sua adaptabilidade a ambientes com diferentes luminosidades (DAI et al., 2009). As perdas no teor de clorofila estão associadas a fatores ambientais prejudiciais, de tal forma que as variações na relação clorofila/carotenoides totais tornam-se bons indicadores de lesões em plantas (HENDRY & PRICE, 1993; KARA & MUJDECI, 2010).

A determinação do teor de clorofila foliar é um procedimento comum para cientistas (BRITO et al., 2011). A utilização de medidas indiretas para determinar o estado nutricional das plantas tem sido objeto de pesquisa para várias espécies de plantas. A leitura do teor de clorofila também se correlaciona positivamente com os teores de nitrogênio nas folhas e são indicadores desse nutriente na cultura, já que o nitrogênio está presente na estrutura da clorofila (PÔRTO et al., 2011). A correlação entre o teor de clorofila e o nitrogênio se deve, em grande parte, ao fato do nitrogênio (%) contido nas folhas ser integrante das enzimas que estão associadas aos cloroplastos e participarem da síntese de moléculas da clorofila (MARENCO & LOPES, 2005; VIANA et al., 2008). Por essa razão, o teor de clorofila no final da fase vegetativa tem sido relacionado com o estado nutricional do nitrogênio em diversas culturas (ARGENTA; SILVA; BARTOLINI, 2001).

A quantidade de radiação refletida pelas plantas está inversamente relacionada à radiação absorvida por pigmentos da planta e varia com o comprimento de onda da radiação incidente. Os pigmentos vegetais, como a clorofila, absorvem a radiação fortemente no espectro visível de 400 a 700 nm (PINTER et al., 2003), particularmente, em comprimentos de onda como 430 (azul) e 660 nm (vermelho) para clorofila *a* e 450 (azul) e 650 nm (vermelho) para a clorofila *b*. Outros pigmentos vegetais, como antocianinas e carotenoides, também são importantes (BLACKBURN, 2007).

Em contraste, a reflectância da planta é alta na região do infravermelho próximo (NIR 700-1300 nm) como resultado da densidade foliar e dos efeitos da estrutura do dossel. Este contraste acentuado no comportamento de reflectância, entre as porções vermelha e NIR do espectro, é a motivação para o desenvolvimento de índices espectrais que se baseiam em proporções de valores de reflectância nas regiões visível e NIR (SRIPADA et al., 2006). Esses índices espectrais são frequentemente usados para avaliar vários atributos de plantas, como o índice de área foliar, a biomassa, o teor de clorofila ou o conteúdo de nitrogênio (MULLA, 2013).

O método de extração e de determinação da clorofila, executado em laboratório e desenvolvido por Arnon (1949), ainda que de fácil execução, apresenta algumas desvantagens, especialmente a coleta destrutiva do material vegetal, a extração via maceração com acetona 80% e a leitura em espectrofotômetro, além do grande consumo de tempo (FERREIRA et al., 2006). São quantificáveis as clorofilas *a* e *b*, por meio do método de colorimetria, no qual a Clorofila *a* possui uma coloração azul celeste em solução, enquanto que, a clorofila *b*, apresenta-se na cor verde-amarelada (RAJCAN; DWYER; TOLLENAAR, 1999; SENGE; WIEHE; RYPPA, 2006). Esta quantificação segue a Lei Lambert-Beer, que corresponde à relação entre a intensidade incidente e a intensidade que é transmitida por um corpo, a qual é chamada de espectro de transmissão ou absorvância (PERKAMPUS, 1992). Por outro lado, a determinação da cor verde das folhas das

plantas é possível de ser realizada de maneira rápida e prática, por meio de clorofilômetros portáteis e manuais que indicam o conteúdo exato de clorofila no visor do equipamento (PÔRTO et al., 2011).

Métodos de avaliação práticos e rápidos, que permitam avaliar o estado nutricional das plantas, tornam-se cada vez mais essenciais para facilitar a gestão das culturas. Dessa forma, os medidores portáteis de clorofila foliar estão sendo amplamente utilizados, uma vez que permitem estimar os teores de clorofila, de forma indireta e não destrutiva, com base nas propriedades ópticas das folhas, constituindo uma alternativa para a avaliação da concentração de nitrogênio em plantas (ARGENTA et al., 2001).

No Brasil, o medidor de clorofila Falker ClorofiLOG® 1030 é um modelo que vem sendo amplamente utilizado para quantificar o índice de clorofila por meio do fluxo de luz transmitido pelas folhas, através de comprimentos de onda de absorvâncias diferentes. Este aparelho emite luz em três comprimentos de onda (λ), 635 e 660 nm (vermelho) e 880 nm (infravermelho), e indica o índice de clorofila Falker, fornecendo os resultados da clorofila *a*, *b* e total (FALKER, 2008; RIGON et al., 2012).

Schlichting et al. (2015), trabalhando com o estatus de nitrogênio das plantas, identificou que o índice de clorofila Falker foi estatisticamente igual ao teor de clorofila determinado no laboratório, denotando que a medida indireta dos índices de clorofila e o conteúdo de clorofila possui alta correlação com a concentração de nitrogênio na planta. Rigon et al. (2012), utilizando o mesmo medidor portátil de clorofila, em folhas de mamona, estimou a concentração de pigmentos fotossintéticos com alta precisão, e com a economia de tempo e dos reagentes químicos que são tipicamente utilizados em procedimentos convencionais. Brito et al. (2011) comprovaram que medidas indiretas com o modelo Falker produziram resultados associados a modelos empíricos e permitiu uma rápida previsão da concentração de pigmentos fotossintéticos em folhas de algodão, com alta precisão e sem a utilização de reagentes químicos e de protocolos laboratoriais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

A pesquisa foi conduzida em ambiente protegido, localizado em uma área experimental do Departamento de Produção Vegetal, ocupando as casas de vegetação que foram construídas especificamente para a Produção de Plantas Ornamentais, na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (ESALQ/USP). A Escola se localiza no município de Piracicaba, no Estado de São Paulo, situado nas coordenadas geográficas de 22° 42' de latitude sul e 47° 37' de longitude oeste, a uma altitude de 550 m. Segundo Sentelhas (1998), o clima da região, pela classificação de Koppen, é do tipo Cwa, tropical úmido, com temperaturas do mês mais quente superior a 22 °C e do mês mais frio inferior a 18 °C.

As parcelas experimentais estavam alocadas na casa de vegetação com vão único de 6,4 m de largura e 36 m de comprimento, coberta com um filme de polietileno difusor de luz, com 100% de transmissividade e com diferentes malhas quanto ao tipo de luz transmitida (ChromatiNET®), com espessura de 5 mm e índice de sombreamento de 50%. O túnel estava disposto no sentido norte/sul e foi dividido em três partes iguais para receber os tratamentos das malhas (Figura 1 A e B).

Figura 1. (A) Vista frontal da casa de vegetação, onde se pode observar as mesas de alumínio e a disposição das malhas fotoconversoras ao longo da estufa; e (B) Vista lateral da casa de vegetação, com destaque para a disposição das malhas preta, azul e vermelha, ao longo da estufa.

As malhas foram instaladas a 3,5 m do solo e eram móveis. Para evitar interferências entre os tratamentos, as plantas e os sensores de temperatura e de radiação solar global foram colocados no centro geométrico de cada área, de modo que as plantas tomadas para análise de um tratamento estivessem a uma distância maior que 7 metros do outro tratamento ou do perímetro da casa de vegetação, evitando assim interferência direta da luz de um tratamento no outro.

3.2. TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Os tratamentos foram constituídos pela combinação de cinco concentrações de potássio na solução de fertirrigação para a cultura *Costus lasius* ($K1 = 40$, $K2 = 80$, $K3 = 120$, $K4 = 160$ e $K5 = 200 \text{ mg L}^{-1}$), com três diferentes colorações de cobertura de malha de ChromatiNet® (Polysak Plastic Industries Ltd), nas cores vermelha, azul e preta.

Foram utilizados 25 vasos ‘pote 19’ por malha, em um total de 75, com um número de duas plantas por vaso, dispostos em bancadas de alumínio já presentes no local, totalizando 75 parcelas experimentais, seguindo um delineamento experimental em blocos, com cinco concentrações de potássio (K^+), e cinco repetições (Figura 2).

Figura 2. Croqui da área experimental. Cinco tanques com as suas respectivas concentrações de potássio ($K1 = 40$, $K2 = 80$, $K3 = 120$, $K4 = 160$ e $K5 = 200 \text{ mg L}^{-1}$); malhas fotoconversoras e as cinco repetições dentro de cada ambiente.

3.3. CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

A espécie utilizada foi a *Costus lasius* Loes., conhecida popularmente como caninha do brejo, costus, *Costus lasius* ou lasius; que apresenta, como característica mais atraente, as pequenas inflorescências de coloração amarelo-ouro e o caule pouco espiralado, as quais ressaltam leveza estética à combinação de plantas de vaso (Figura 3 A e B).

Figura 3. (A) Arquitetura das hastes e inflorescências de *Costus lasius* e; (B) Inflorescência de *Costus lasius*.

3.3.1. Produção de mudas, transplante e condução das plantas

As mudas foram formadas a partir de estacas caulinares retiradas de plantas vigorosas, provenientes da Agência Paulista de Tecnologia do Agronegócio (APTA), na Unidade de Pesquisa e Desenvolvimento de Ubatuba – UPDU, em Ubatuba - SP. As estacas foram padronizadas com 10 cm de altura, em maio de 2015, e plantadas em bandejas de 72 células, com substrato comercial Topgarden, composto por turfa, corretivos, vermiculina, carvão vegetal e casca de pinus, até atingirem enraizamento satisfatório. As mudas de costus foram transplantadas para vasos ‘pote 19’, em 16 de julho de 2015, sendo utilizadas duas mudas por vaso, quando estas apresentaram dois pares de folhas, cada (Figura 4 A, B e C). As plantas foram mantidas sob condições de casa de vegetação durante todo o experimento, desde a fase inicial, até 180 DAT; a fase de desenvolvimento, desde os 180 aos 390 DAT; e a fase do florescimento, iniciando com os primeiros botões florais, dos 390 DAT até a fase de colheita, com 460 DAT, que foi realizada no dia 11 de novembro de 2016, totalizando um ano e quatro meses de ciclo de cultivo.

Figura 4. (A) Preparo do substrato e preenchimento dos vasos; (B) Estaqueamento em bandejas de poliestireno; e (C) Transplante das mudas para os vasos de produção.

3.3.2. Manejo da irrigação e da fertirrigação

Foi adotado um sistema de irrigação por gotejamento, utilizando emissores do tipo autocompensante, com vazão nominal de 4 L h^{-1} , os quais foram previamente avaliados, quanto à uniformidade, por meio do teste do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), sob condições normais de operação, apresentando uniformidade superior a 90% em todo o sistema. Os gotejadores estavam acoplados às linhas de irrigação, compostas por tubos de polietileno de 16 mm de diâmetro, havendo um gotejador para cada vaso (Figura 5 A e B).

Figura 5. (A) Sistema de irrigação por gotejamento; e (B) Teste de uniformidade dos gotejadores em casa de vegetação.

As fertirrigações com o potássio, utilizando como fonte o fertilizante cloreto de potássio, foram realizadas em todas as irrigações, com as concentrações pré-estabelecidas pelos tratamentos. Já para os demais elementos, as aplicações foram mantidas constantes, com a frequência de irrigação realizada diariamente. A sequência de aplicação seguiu desde a menor até a maior concentração estudada. A princípio, por ser uma espécie nova no mercado e não possuir uma recomendação nutricional e hídrica, a lâmina de irrigação foi controlada por meio do método de

gravimetria, onde foram utilizados três vasos para pesagem, sendo um de cada malha estudada, localizado no centro geométrico de cada bancada, para que não sofresse interferência do ambiente.

As lâminas foram calculadas diariamente, para posteriores irrigações, e se mantiveram por um tempo de 60 DAT, com um turno de rega de um dia. Após esse período, devido ao excesso de perda da capacidade de vaso do substrato, foram estabelecidas duas irrigações diárias, sendo uma no início da manhã e a outra ao final da tarde, mantendo-se as lâminas pré-estabelecidas nas avaliações gravimétricas no início da fase inicial da cultura. A partir dos 180 DAT, devido à exigência mostrada pela cultura durante a fase de desenvolvimento, foi acrescentada mais uma lâmina de irrigação, totalizando, assim, três irrigações por dia, uma a cada oito horas, aplicadas até o período da colheita.

Como solução padrão, foi utilizada a de Hoagland & Arnon (1950), diluída a 1/4 da concentração preconizada pelos autores, para controle da condutividade elétrica do substrato, utilizando água do Departamento de Produção Vegetal da Esalq (Tabela 1). Foram utilizados cinco tanques de polietileno com capacidade para 200 L, cada, onde foram colocadas, individualmente, cada solução de K^+ : K1 = 40, K2 = 80, K3 = 120, K4 = 160 e K5 = 200 mg L⁻¹, a ser aplicada em todas as irrigações (Figura 6 A e B).

Tabela 1. Solução nutritiva de Hoagland e Arnon, análise química da água e condutividade elétrica das soluções de fertirrigação para o manejo de *Costus lasius*.

----- Macronutrientes (mg L ⁻¹) -----						----- Macronutrientes (mg L ⁻¹) -----					
N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
52,53	7,74	-	50,12	12,15	16,03	0,13	0,01	1,25	0,13	0,00	0,01
Análise de água				Condutividade elétrica das soluções de fertirrigação							
pH		CE		40 mg L ⁻¹	80 mg L ⁻¹	120 mg L ⁻¹	160 mg L ⁻¹	200 mg L ⁻¹			
6,5		0,33		0,88	0,97	1,08	1,14	1,24

Figura 6. (A) Preparo da solução nutritiva de fertirrigação; e (B) Disposição dos tanques de polietileno, dentro da casa de vegetação.

3.3.3. Controle de pragas, doenças e tratos culturais

O *Costus lasius* é uma cultura tropical que se mostra moderadamente resistente às doenças. Em geral, o principal problema em seu cultivo são as pragas, principalmente alguns insetos mastigadores, como gafanhotos, lagartas e sugadores não identificados, que podem ser controlados com inseticidas e, no caso de pouca população, ser removidos manualmente. Amostras de folhas, contendo sinais de clorose e necrose, foram coletadas e levadas ao laboratório de Fitopatologia da Esalq, pertencente ao Departamento de Produção Vegetal, para a realização do seu diagnóstico. Poucos trabalhos reforçam os cuidados fitossanitários com várias espécies da família costaceae e os seus possíveis problemas. A lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) foi a principal praga encontrada durante todo o ciclo do costus, sendo o seu controle realizado manualmente devido à baixa população (Figura 7 A, B e C).

Os indícios dos ataques da praga foram detectados a partir das folhas mastigadas em algumas hastes, porém em pequena proporção, sendo encontradas apenas duas vezes durante todo o cultivo. Entretanto, como medida preventiva, foram realizadas aplicações do inseticida Certero (Triflumuron) e do fungicida Amistar Top® (Azoxistrobina), com períodos mensais, até o florescimento pleno da cultura. Não foi realizada nenhuma poda. Para manter a limpeza das plantas, foram realizadas desfolhas sempre que necessário, em todos os tratamentos, devido ao grande numero de perdas de folhas observadas no cultivo dessa espécie.

Figura 7. (A) Ataque da lagarta do cartucho nas folhas da cultura; (B) Folhas de *Costus lasius* danificadas pelas pragas; e (C) Pulverizações mensais para o controle de patógenos.

3.3.4. Obtenção dos dados climáticos

Para a obtenção dos dados de clima no interior da estufa, foram utilizados termômetros Termo Higrômetro Incoterm®, instalados no centro geométrico de cada tratamento de malha fotoconversora, na altura do dossel da cultura, a cerca de 1,30 m do solo e 2,30 m da malha (Figura 8). Foram coletados dados diários de temperaturas, mínima e máxima, para as malhas vermelha, azul e preta, por um período correspondente entre o dia 20 de julho de 2015 e 11 de novembro de 2016, quando o *costus* atingiu o período de colheita, com o propósito de determinar a diferença entre os tratamentos. Os dados foram analisados por meio de estatística descritiva, utilizando as médias máxima e mínima diárias dentro de, aproximadamente, um ano e quatro meses de cultivo.

Figura 8. Sensor termo higrômetro Incoterm®.

Para a obtenção dos dados de radiação global dentro da estufa, com o intuito de observar a diferença dentro de cada malha, foram estimados os dados de transmissividade para cada ambiente, por meio de dados de radiação global interna e externa ao ambiente protegido. Para cada malha, foi calculada a transmissividade média diária, por meio da diferença entre a radiação global externa, obtida na Estação Experimental da Esalq, e a radiação interna, obtida por meio do Datalogger Campbell Scientific CR1000, durante todo ciclo da cultura. Os dados de radiação global interna foram estimados a partir do produto entre a radiação global externa, correspondente ao período de 16 meses de cultivo de *Costus lasius*, e a transmissividade média das malhas vermelha (34,8), azul (30,1) e preta (37,1) (Equação 1).

$$RGInt = RGExt * TR / 100 \quad (1)$$

Em que:

RGInter – é a Radiação Global Interna, MJ/m²d⁻¹;

RGExt – é a Radiação Global Externa, MJ/m²d⁻¹; e

TR – é a transmissividade da malha.

Para o conhecimento do comportamento da Umidade Relativa (UR) dentro de cada malha estudada, foi feita uma estimativa desses valores por meio de uma regressão, utilizando os dados de UR obtidos por Nascimento (2018). Por meio dos dados de UR dentro e fora do ambiente protegido, foram obtidas as equações de regressão para cada malha fotoconversora (Apêndice A). A partir dessas equações, foram estimadas as URs internas correspondentes ao ciclo de cultivo de *Costus lasius*, para cada ambiente (Apêndice A).

A partir dos dados de temperatura, também foi possível obter a estimativa do cálculo da Evapotranspiração de Referência (ET_o), seguindo a metodologia de Camargo (1971) (Equação 2).

$$ET_o = RT * T * kf * ND \quad (2)$$

Em que:

ET_o - é a evapotranspiração de referência, mm d⁻¹, estimada pelo método de Camargo (1971);

RT - é a radiação solar extraterrestre, mm d⁻¹ de evapotranspiração equivalente;

ND – é o número de dias do período analisado;

T - é a temperatura do ar média, em °C; e

kf - é um fator de ajuste que varia com a temperatura do ar média anual do local (kf = 0,01 para T < 23 °C; kf = 0,0105, para T = 24 °C; kf = 0,011, para T = 25 °C; kf = 0,0115, para T = 26 °C; e kf = 0,012, para T > 26°C).

A Evapotranspiração da cultura (ET_c) de *Costus lasius* foi estimada utilizando o coeficiente de cultivo (Kc) da espécie *Heliconia psittacorum* L., determinado por Moura et al. (2013), que possui características fisiológicas e ciclo semelhante à cultura em estudo, para o conhecimento do seu consumo de água diário até a fase final do florescimento (Apendice A).

3.4. CARACTERÍSTICAS AVALIADAS

3.4.1. Crescimento de plantas

As avaliações da altura das plantas foram feitas mensalmente, para acompanhar o crescimento e o desenvolvimento das hastes. A primeira medida teve início em setembro de 2015, dois meses após o transplante das mudas, e estenderam-se até o início da fase de florescimento, no mês de agosto de 2016, totalizando, assim, 12 avaliações. A cada avaliação, foram selecionadas duas hastes de cada vaso, aleatoriamente, que identificaram as amostras para cada uma das parcelas. Para a obtenção da altura, cada haste foi medida desde a sua parte basal até o seu ápice, com o auxílio de uma régua graduada. Ao final de cada medição, foi realizada a média aritmética entre as leituras de cada parcela experimental para posterior análise estatística (Figura 9).

Figura 9. Medição da altura das plantas, realizada semanalmente, até o início do florescimento.

3.4.2. Número de folhas, de hastes e de inflorescências

A produtividade do *Costus lasius* foi avaliada por meio da contagem de todas as folhas, das hastes e das inflorescências pertencentes a cada parcela experimental, em cada uma das malhas (Figura 10 A e B). A contagem do número de folhas teve início dois meses após o transplante das mudas, e estenderam-se até o início da fase de florescimento, no mês de agosto de 2016, totalizando, também, 12 avaliações. A contagem do número de hastes e de inflorescências foram realizadas no período da colheita, quando as hastes já se encontravam com os botões florais formados. Foi considerada haste floral, qualquer haste que já apresentava, independente do

tamanho ou do período de floração, uma inflorescência em seu ápice. Antes da realização da análise estatística, os dados de contagens foram transformados utilizando raiz quadrada.

Figura 10. Contagem do número de hastes florais por parcela. (A) Número de hastes por parcela; e (B) Hastes florais de uma parcela experimental.

3.4.3. Dimensões das hastes e das inflorescências

As dimensões das hastes e das inflorescências foram determinadas a partir das amostras obtidas dentro de cada parcela experimental, na qual foi selecionada, aleatoriamente, uma amostra com três hastes florais, para compor cada parcela estudada, para determinação da produtividade do *costus*, no momento da colheita nas três malhas fotoconversoras. As medições do comprimento das hastes e das inflorescências, ao final do ciclo, foram realizadas a partir da porção basal até a apical, utilizando uma trena métrica, graduada em centímetros. Por outro lado, para as medições dos respectivos diâmetros, as hastes foram medidas a partir da sua porção basal, enquanto que os diâmetros das inflorescências foram medidos na porção mediana do botão floral, utilizando uma um paquímetro digital, graduado em milímetros (Figura 11 A, B e C).

Figura 11. (A) Medição da altura do botão floral; (B) Medição do diâmetro do botão floral; e (C) Medida do comprimento da haste floral, na colheita de *Costus lasius*.

3.4.4. Sanidade das folhas e das inflorescências

A sanidade das folhas das plantas foi quantificada baseando-se em uma escala visual de notas. Cada parcela foi avaliada, individualmente, dentro de cada malha, na ocasião da colheita. Para a avaliação, foram verificadas as ocorrências de danos causados por ataques de insetos, por doenças ou por deficiência nutricional, cujas características desagregam valor comercial e prejudicam a aparência saudável das plantas ornamentais (Figura 12 A e B). As notas para a avaliação da sanidade variaram de 1 a 5, avaliadas por uma única pessoa, ao final do ciclo, da seguinte forma: nota 1 - plantas com as folhas externas altamente atacadas por doenças foliares; nota 2 - presença abundante de lesões nas folhas externas; nota 3 - presença moderada de lesões nas folhas externas; nota 4 - lesões escassas nas folhas externas e; nota 5 - plantas com as folhas externas saudáveis. As notas foram pré-estabelecidas, baseadas em trabalho de Siqueira (2009), que utilizou notas variando entre zero a dez, considerando que os genótipos com as notas mais altas apresentavam melhor condição fitossanitária e nutricional. Assim, quanto maior a nota, melhor foi a condição da planta. Em seguida, os dados obtidos foram submetidos à análise descritiva, para cada concentração de potássio e para os tratamentos das malhas fotoconversoras.

Figura 12. Sanidade das plantas de *Costus lasius*, durante o ciclo. (A) Folhas saudáveis; e (B) Folhas com danos.

3.4.5. Índice de preenchimento de vaso - IPV

O índice de preenchimento de vaso foi obtido por meio da avaliação do percentual de recobrimento do substrato pelas plantas, no momento da colheita, por meio da avaliação visual de um único pesquisador. Esse índice foi obtido por meio da sua classificação em quatro faixas distribuídas, quais sejam: até 25%, entre 26 e 50%, entre 51 e 75% e acima de 75% de recobrimento do substrato, obtidas por visualização da superfície do vaso, coberta pela parte aérea das hastes, em cada parcela experimental (Figura 13). Em seguida, para cada malha colorida, os resultados foram submetidos a uma análise descritiva e comparados entre si.

Figura 13. Índice de preenchimento de vaso de *Costus lasius*, em diferentes estádios de crescimento. (A) Inicial; (B) Desenvolvimento; e (C) Florescimento pleno.

3.4.6. Fitomassa fresca e seca das hastes e inflorescências

Em cada parcela foram selecionadas, aleatoriamente, três hastes florais, tomadas como uma amostra representativa, para as determinações dos pesos fresco e seco das hastes e botões florais. Para obtenção da Massa fresca das hastes (MFH) e a Massa fresca das inflorescências (MFI), as hastes e as inflorescências do costus foram pesadas, separadamente e, em seguida, foram acondicionadas em sacos de papel e postas para secar em estufa de circulação forçada, com temperatura de 65°C ($\pm 1^{\circ}$), por um período mínimo de 48 horas, até atingirem peso constante. Posteriormente, o material vegetal foi retirado da estufa e pesado para a determinação da massa seca (MS) (Figura 14). As massas frescas e secas das partes vegetais aéreas foram determinadas utilizando uma balança semianalítica com precisão de 0,01 g.

Figura 14. (A) Material fresco; e (B) Material seco das inflorescências de *Costus lasius*.

3.4.7. Índice de área foliar - IAF

Para a determinação do índice de área foliar (IAF), foram coletadas 20 folhas em cada parcela, seguindo metodologia adotada por Vetanovetz (1996). Cada parcela experimental foi composta por uma amostra significativa com três hastes florais, nas quais foram coletadas, aleatoriamente, 20 folhas saudáveis, para a realização das leituras de área foliar (AF). A partir dos valores medidos de AF, foi dividida a soma total pelo número de folhas da amostra (20 folhas), estimando-se a AF média por folha. Para tal determinação, foi utilizado o Model 3100 Area Meter LI-COR (Figura 15 A e B).

Figura 15. (A) Amostra representativa de cada parcela para a coleta das folhas; e (B) Medidor de área foliar – LI-COR.

Para estimar a AF de cada haste produzida na parcela, foi realizada uma contagem do número de folhas por haste. Com isto, foi estimada a AF de cada parcela multiplicando o número de hastes pela AF média por haste. O IAF foi determinado por meio da Equação (3).

$$IAF = \frac{AF}{Ap} \quad (3)$$

Em que:

IAF - Índice de área foliar, adimensional;

AF - Área foliar, m²; e

Ap - Área útil da parcela (vaso), m².

3.4.8. Temperatura foliar e o índice de estresse hídrico da cultura – CWSI

As medições da temperatura foliar foram realizadas utilizando um mini termômetro infravermelho simples da marca CRAFTSMAN, que indica a temperatura média durante a medição de temperatura da superfície foliar (Figura 16 A e B). Foram realizadas três leituras de temperatura foliar, a uma distância de 20 cm das folhas, dentro de cada parcela experimental e para cada uma das três malhas fotoconversoras, escolhendo, aleatoriamente, uma folha da camada basal, outra folha da parte mediana e uma folha da parte apical das plantas do costus. As leituras foram realizadas mensalmente, iniciando no mês de setembro de 2015 e finalizando em agosto de 2016, totalizando 12 leituras durante todo o ciclo da cultura. As leituras foram tomadas sempre ao mesmo horário do dia, entre as 12 e 14 horas, período este em que ocorre menor variação de temperatura diária dentro do ambiente protegido. Ao final, foi realizada uma média aritmética entre as três leituras obtidas, em cada parcela experimental e para cada avaliação mensal.

Figura 16. (A) Mini termômetro infravermelho simples (CRAFTSMAN); e (B) Leituras de temperatura foliar da cultura.

O índice de estresse hídrico da cultura (IEHC), obtido por meio dos dados de temperatura foliar, foi calculado segundo a metodologia de Jackson et al. (1988), usando a Equação 4.

$$IEHC = \frac{(T_c - T_a) - (T_c - T_a)LBI}{(T_c - T_a)LBS - (T_c - T_a)LBI} \quad (4)$$

Em que:

T_c - temperatura do dossel, °C;

T_a - temperatura média do ar, °C;

$(T_c - T_a)_{LBI}$ - linha base de temperatura inferior, correspondente a diferença entre a temperatura do ar e a de uma cultura sem estresse hídrico ou correspondente a temperatura da folha molhada; e

$(T_c - T_a)_{LBS}$ - linha base de temperatura superior, sendo a diferença entre a temperatura do ar e a da planta que aumenta sem limites a resistência do dossel ou correspondente à temperatura da folha seca.

Para o uso da temperatura do dossel no cálculo, foi seguida a metodologia de Meron et al. (2013), que sugerem descartar os valores que apresentem diferenças $T_c - T_a$ abaixo de -10 °C e acima de 7 °C. As linhas base de temperatura, inferior e superior, foram determinadas por intermédio da mínima e da máxima diferença entre a temperatura da cultura observada (T_c) e a temperatura média do ar (T_a). Neste caso, o Índice de Estresse Hídrico da Cultura é chamado observado (IEHCobs).

3.4.9. Índice de clorofila - IC

As medições das clorofilas *a*, *b* e total, expressas em Índice de Clorofila Falker (ICF), foram obtidas utilizando o aparelho manual ClorofiLOG CFL1030, da empresa Falker (Figura 17). O clorofiLOG, assim como todos os clorofilômetros eletrônicos, apresenta sua medição com um índice adimensional. Esse índice é proporcional a valores medidos em laboratório, como g de clorofila/g de folha, ou g de clorofila/área de folha. No entanto, esta relação de proporcionalidade varia conforme a espécie em que se trabalha. No caso do clorofiLOG, este índice é chamado ICF (FALKER, 2008).

Figura 17. Aparelho manual ClorofiLOG CFL1030.

Foram realizadas três leituras dentro de cada parcela experimental, para cada uma das malhas avaliadas, em uma folha da camada basal, uma da camada mediana e uma folha da parte apical, as quais foram escolhidas aleatoriamente, de forma a avaliar o comportamento da clorofila em diferentes partes das plantas, submetidas a diferentes comprimentos de luz transmitida pelas malhas coloridas e pela malha neutra. As leituras foram realizadas em agosto de 2016, no final da fase vegetativa e no início do florescimento. Os valores das clorofilas *a*, *b* e total foram avaliados separadamente, para cada posição foliar estudada, e foram submetidas à análise da variância. Em seguida, foram comparados entre os tratamentos das malhas por meio da análise conjunta.

3.4.10. Macronutrientes do tecido vegetal

As amostras das plantas utilizadas para a avaliação das características da fitomassa seca das inflorescências foram processadas e preparadas para a determinação dos teores de potássio e do restante dos macronutrientes do material vegetal. Após a secagem e a pesagem da massa seca, foram selecionadas quatro repetições, dentro dos tratamentos correspondentes às cinco concentrações de potássio na solução de fertirrigação. Em seguida, o material foi encaminhado a um laboratório do Departamento de Ciências do Solo da ESALQ para a determinação da concentração dos macronutrientes: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S), de acordo com a metodologia modificada de Malavolta, Vitti e Oliveira (1997).

3.5. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Primeiramente, após o teste de normalidade dos dados, foi realizada uma análise estatística individual para cada malha utilizada, seguindo um delineamento experimental em blocos ao acaso com cinco concentrações de potássio, e cinco repetições. Posteriormente, foi realizada uma análise conjunta entre as cinco concentrações de potássio e as três malhas fotoconversoras. Para o estudo das análises químicas das inflorescências, as concentrações de potássio foram comparadas, individualmente, em cada um dos tratamentos das malhas.

Após os resultados obtidos, as variáveis da altura das plantas, da produtividade, das dimensões das hastes e dos botões florais, das fitomassas fresca e seca das hastes e dos botões florais, do índice de área foliar, do índice de estresse hídrico da cultura e do índice de clorofila foram analisados, estatisticamente, por meio de análise de variância, desdobrando as análises sempre que a interação foi significativa, sendo comparadas pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. Os fatores quantitativos, relativos às concentrações de potássio da solução e dos demais macronutrientes, foram analisados objetivando a construção de curvas de resposta descritas por regressão polinomial. Os dados estatísticos foram trabalhados em ambiente SAS System 9.3.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Variações microclimáticas do ambiente protegido

As temperaturas obtidas dentro de cada ambiente de malha fotoconversora apresentaram pouca variação entre si ao longo do ciclo (Tabela 2). A malha vermelha provocou maiores temperaturas no interior da estufa, atingindo valores de 1,40 e 0,65 °C superiores em média às temperaturas obtidas nas malhas azul e preta, respectivamente, e com desvios padrões diferindo em 0,15 e 0,44 entre os mesmos ambientes. O mesmo ocorreu com as temperaturas médias inferiores, quando a malha preta resultou em menor média total em relação as demais malhas, enquanto que a azul proporcionou maiores temperaturas mínimas, demonstrando que este último ambiente proporciona menor variação de temperatura dentro da estufa e denotando maior conforto para as plantas, em relação aos demais tratamentos. Resultados semelhantes foram obtidos por Colaboni (2014) que, estudando malhas de cores vermelha, azul e preta, encontrou maiores temperaturas médias máximas e menores médias mínimas para a malha vermelha, bem como, menor variação de temperatura para a malha azul. Leite (2006), ao comparar temperaturas médias entre malhas de cores vermelha, azul e neutra, dentro de ambiente protegido, não encontrou diferenças estatísticas entre as mesmas por meio do teste de Tukey em 5% de probabilidade. O autor supracitado ressalta que quaisquer alterações provocadas nas plantas, dentro do ambiente sob malha colorida, podem estar associadas aos diferentes espectros de luz transmitidos individualmente, e não às diferenças de temperaturas encontradas ao longo do ciclo.

Tabela 2. Comparações entre médias e desvios padrões das temperaturas máximas e mínimas médias dentro de cada malha fotoconversora.

Malhas	Temperatura máxima (°C)		Temperatura Mínima (°C)	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Vermelha	38,10	5,36	16,87	4,45
Azul	36,70	5,21	17,02	4,57
Preta	37,45	4,92	16,51	4,31

As temperaturas médias máximas no interior da estufa variaram uniformemente durante o ano de estudo, comportando-se proporcionalmente às médias máximas obtidas fora do ambiente protegido. As malhas de diferentes cores variaram o comportamento das curvas das temperaturas durante todo o ciclo, com os maiores valores encontrados dentro da malha vermelha. A malha preta, que é considerada neutra e não apresenta interferência das cores para a temperatura dentro da estufa, oscilou em alguns meses do ano, mantendo a temperatura mais elevada que as malhas coloridas nos meses mais frios do ano e apresentando temperaturas médias entre as malhas

vermelha e azul nos meses mais quentes (Figura 18). Essas informações corroboram com pesquisas de Arthurs, Stamps e Giglia (2013), que estudaram alterações ambientais com o uso dessas malhas. Comportamento semelhante é observado nas temperaturas médias mínimas dentro do ambiente protegido (Figura 19). Entretanto, a malha azul mostrou, em grande parte das médias mensais, maiores valores de temperatura mínima, confirmando que a variação de temperatura dentro dessa malha é menor em comparação às demais, e que nas malhas vermelha e preta não houve variação considerável. Faria Junior e Lima (2000) relatam que o emprego das malhas de sombreamento vem sendo indicado e considerado como uma das soluções de baixo custo, que, além de interceptarem a radiação solar incidente, contribuem para a redução da temperatura interna de abrigos, para o cultivo em ambiente protegido. No entanto, os autores indagam se é necessário que se estabeleçam níveis adequados de sombreamento, para que não haja prejuízo à produção vegetal.

Figura 18. Temperaturas médias máximas internas, registradas no interior das malhas vermelha (T1_máx), azul (T2_máx) e preta (T3_máx), no ambiente protegido; e externa (Ext_máx), obtida na Estação Experimental da Esalq, ao longo do ciclo da cultura.

Figura 19. Temperaturas médias mínimas internas, registradas no interior das malhas vermelha (T1_mín), azul (T2_mín) e preta (T3_mín), no ambiente protegido; e externa (Ext_mín), obtida na Estação Experimental da Esalq, ao longo do ciclo da cultura.

Os valores médios mensais de radiação solar global estimados para as malhas fotoconversoras variaram entre 3,22 a 8,97 MJ m⁻² dia⁻¹, dentro de toda a casa de vegetação. A estimativa dos dados de radiação para cada malha permitiu observar que os maiores valores foram encontrados na área referente à malha preta, com mínima de 3,98 e máxima de 8,97 MJ m⁻² dia⁻¹; já a malha azul proporcionou menor variação entre os dados de radiação, com valores entre 3,22 e 7,27 MJ m⁻² dia⁻¹. Esse fato ocorre devido à maior transmissividade que existe dentro da área de malha preta, enquanto que as malhas de diferentes cores causaram uma pequena redução da transmissividade, denotando um comportamento inferior da radiação durante todo o ciclo (Figura 20). Embora o comportamento da radiação externa apresente maior variação entre as médias mensais, os dados de transmissividade das malhas permitiram estimar a radiação interna e observar o comportamento de cada ambiente durante o cultivo do costus. As maiores médias dentro do ambiente protegido se mantiveram entre os meses de setembro e novembro, com pouca variação no período do cultivo, possivelmente não afetando o cultivo do costus em épocas de elevados índices de insolação.

Figura 20. Radiação global interna, registradas no interior das três malhas do ambiente protegido; e externa, obtida na Estação Experimental da Esalq, ao longo do ciclo da cultura.

4.2. Crescimento de plantas

De acordo com a análise de variância (ANOVA), para a altura das plantas, mostrou que houve interação significativa ($p < 0,05$) dos fatores concentrações de potássio e malhas fotoconversoras para a variável altura de plantas apenas aos 60 e 90 DAT (Tabela 3). Analizando-se isoladamente o efeito das malhas, verificou-se efeito significativo sobre a altura das plantas em todas as avaliações realizadas. Por outro lado, os efeitos das concentrações de K^+ não foram estatisticamente significativos ($p < 0,05$).

Tabela 3. Resumo da análise de variância da altura das plantas de *Costus lasius*, submetidas aos fatores doses de potássio e malhas fotoconversoras.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios											
		Altura das plantas – DAT											
		60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390
Bloco	12	31,24 *	37,76 *	36,48 *	24,54 *	17,28 *	10,75 *	7,60 ns	4,89 ns	12,32 ns	7,07 ns	10,74 ns	15,99 ns
Malhas	2	29,33 *	55,33 *	101,71 *	109,48 *	81,39 *	58,29 *	16,15 *	12,35 *	34,29 *	44,02 *	87,55 *	142,16 *
Doses de K^+	4	2,55 ns	3,89 ns	7,11 ns	11,28 ns	6,92 ns	7,33 ns	0,52 ns	0,96 ns	0,65 ns	1,20 ns	1,29 ns	2,25 ns
Malhas * K^+	8	8,87 *	12,91 *	8,60 ns	5,86 ns	4,22 ns	5,85 ns	5,27 ns	2,61 ns	7,15 ns	8,53 ns	9,66 ns	5,63 ns
Erro	48	3,86	4,74	7,20	6,24	6,00	4,42	4,39	3,28	8,33	7,98	10,18	9,04
Total	74												
CV(%)		27,18	25,09	22,96	17,13	13,85	10,42	8,53	6,08	8,01	7,21	7,74	6,89

*, significativo a 5% de probabilidade; e, ns, não significativo.

As médias para o crescimento das plantas, aos 60 e 90 DAT, comprovam a interação significativa entre os tratamentos de potássio e as malhas fotoconversoras (Tabela 4). Aos 60 DAT, comparando as malhas de colorações vermelha e azul, não foram identificadas diferenças significativas do K^+ no crescimento das plantas, enquanto que, dentro da malha preta, a dose K4 mostrou-se superior às demais (10,35 cm), diferindo estatisticamente de K5, que foi a menos eficiente e diferiu das concentrações inferiores, com uma média entre plantas de 6,54 cm. Aos 90 DAT, o crescimento das plantas manteve-se constante e com pouca diferença entre os tratamentos. As concentrações de K^+ não diferiram dentro da malha vermelha. Na malha preta, a dose K4 permaneceu estatisticamente diferente das demais, atingindo média superior de 12,07 cm. Nesse período, dentro da malha azul, a dose K5 diferiu apenas de K3, respondendo de forma eficiente à maior dosagem aplicada, com uma altura de 11,12 cm, enquanto que a dose K3 atingiu uma altura mínima média de 6,90 cm.

Avaliando a diferença entre as malhas, observa-se que, nas duas épocas avaliadas, quando foram aplicadas as concentrações K3 e K4, as médias obtidas pela malha preta mostraram-se estatisticamente diferentes e superiores às médias encontradas nas malhas de cores vermelha e azul, que atingiram valores inferiores e estatisticamente iguais. Por outro lado, aos 90 DAT, a média da dose K5 na malha azul foi superior àquelas obtidas nas demais malhas, sendo registrada um valor de 11,12 cm. O *costus* é uma espécie que apresenta o seu crescimento reduzido na fase inicial. Por esta razão, as diferenças encontradas aos 60 DAT não podem ser explicadas pelos incrementos da dose de potássio devido ao recente estabelecimento da fertirrigação, que possivelmente causaram pouca interferência sobre as plantas, em relação ao período avaliado. Embora tenha havido uma pequena diferença estatística entre as médias das alturas das plantas, estas podem estar mais relacionadas à desuniformidade entre as mudas transplantadas do que ao próprio efeito do potássio ou ao efeito das malhas fotoconversoras, que não conseguem interferir efetivamente na fase inicial das mesmas, o que pode ser comprovado pela eficiência do efeito das malhas sobre as doses de potássio ao longo do crescimento das plantas, até atingirem o início do florescimento.

Tabela 4. Interação entre as médias da altura de plantas aos 60 e 90 DAT, para os fatores concentrações de potássio e malhas fotoconversoras.

Malhas	Altura de plantas (cm)									
	----- 60 DAT -----					----- 90 DAT -----				
	K1	K2	K3	K4	K5	K1	K2	K3	K4	K5
Vermelha	6,82 aA	5,43 aA	7,17 abA	5,97 bA	6,22 aA	8,06 aA	6,20 aA	8,15 abA	6,83 bA	6,95 bA
Azul	6,73 aA	6,55 aA	5,51 bA	6,95 bA	9,02 aA	9,01 aAB	8,15 aAB	6,90 bB	7,67 bAB	11,12 aA
Preta	8,56 aAB	7,86 aAB	8,85 aAB	10,35 aA	6,54 aB	10,87 aAB	9,36 aAB	10,86 aAB	12,07 aA	7,88 abB

Médias seguidas de mesma letra minúscula, em colunas; e maiúscula, em linhas; não diferem entre si pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade.

Em todas as épocas avaliações, a altura média das plantas, mantiveram-se constantes até a sua fase final de desenvolvimento (Tabela 5). Desde o período inicial de avaliação até atingirem os 180 DAT, a malha preta proporcionou maiores alturas médias para as plantas, em relação às malhas coloridas. Neste período, as malhas azul e vermelha apresentaram diferenças significativas entre si apenas a partir dos 120 DAT, período em que os efeitos individuais das doses de K^+ aplicadas já se estabilizavam sobre as plantas. A partir dos 210 dias, na fase de desenvolvimento, a diferença entre as malhas começou a influenciar o material vegetal. Entre os 240 e 300 DAT, as malhas vermelha e azul passaram a interferir efetivamente no crescimento das plantas, as quais tiveram um maior ganho de altura em relação à malha preta, que não influencia no espectro de luz sobre as plantas. A partir dos 270 DAT, as plantas do *costus* já não diferiam estatisticamente entre si e permaneceram assim até os 360 DAT, quando as plantas da malha vermelha passaram a atingir alturas médias de 43,20 cm, diferindo das plantas das malhas azul e preta, com alturas de 40,90 e 39,49 cm, respectivamente. Na fase inicial de florescimento, as malhas já se comportavam estatisticamente diferentes, e a vermelha apresentou-se como a mais eficiente para a altura das plantas, atingindo média de 46,09 cm, seguida da azul, com 43,56 cm, e da preta com 41,33 cm.

Tabela 5. Médias das alturas das plantas, ao longo do ciclo de *Costus lasius*, para as malhas fotoconversoras.

Malhas	Altura de plantas (cm) – DAT											
	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390
Vermelha	6,32 b	7,24 b	9,67 c	12,43 c	15,65 b	18,45 b	23,86 b	29,66 ab	37,14 a	40,58 a	43,20 a	46,09 a
Azul	6,95 b	8,57 b	11,69 b	14,70 b	18,31 a	20,72 a	25,45 ab	30,54 a	36,06 ab	39,02 ab	40,90 b	43,56 b
Preta	8,43 a	10,20 a	13,70 a	16,61 a	19,09 a	21,36 a	24,44 a	29,15 b	34,8 b	37,94 b	39,49 b	41,33 c

Médias seguidas de mesma letra, em colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade.

Durante todo o período da fase inicial, as plantas sob a malha preta apresentaram altura superior às das plantas de malhas coloridas (Figura 21). A partir dos 210 DAT, as malhas já proporcionavam plantas com alturas médias semelhantes, embora estatisticamente diferentes, mas que já começavam a ser afetadas pelo efeito das diferentes colorações. Aos 240 DAT, as plantas das malhas vermelha e azul apresentaram um crescimento mais acelerado e atingiram, ao final da fase de desenvolvimento, tamanhos superiores aos das plantas da malha preta.

Figura 21. Comportamento da altura média das plantas de *Costus lasius*, entre a fase inicial e de desenvolvimento, para as malhas de cores vermelha, azul e preta, submetidas às concentrações de potássio.

A variação entre o efeito das malhas durante todo o crescimento do costus pode ser explicada pela própria coloração das mesmas e das suas alterações microclimáticas sobre o metabolismo da planta, uma vez que as plantas crescem tendenciosamente em um ambiente com sombreamento vermelho, em comparação ao ambiente azul ou preto. Isso é explicado pela ativação da síntese das auxinas pelos comprimentos de onda do espectro vermelho e vermelho distante que são intensificados na malha vermelha, enquanto que a malha azul, por sua vez, retém parcialmente essa dimensão do espectro, permitindo apenas a maior penetração do espectro na faixa do verde para o azul; já a malha preta não altera o espectro de luz do ambiente. Taiz e Zeiger (2004) mencionam que as faixas das regiões do espectro que abrange entre 1.000 e 720 nm, relativo à faixa do vermelho e vermelho distante, são os limites do espectro que exercem efeito no crescimento das plantas. O aumento da relação entre estas faixas, proporcionada pelos filtros das malhas vermelhas, pode estimular uma maior conversão do fitocromo da forma ativa para a forma inativa (MORGAN & SMITH, 1978), causando redução da relação entre a forma ativa e o fitocromo total, o que causaria um maior alongamento de caules (MELO & ALVARENGA, 2009). Toyomasu et al. (1998) afirmaram que a luz vermelha, no limite inferior da faixa, pode causar um grande aumento na expressão de um gene que codifica uma enzima-chave na síntese da giberelina. Li (2006) explica que isto ocorre devido à transferência de luz do espectro nesta faixa da cor ser maior, promovendo, assim, melhor qualidade de luz e luz difusa, e maior desenvolvimento vegetativo, enraizamento e produção. Scaranari, Leal e Pellegrino (2008) complementam, ainda, que isso pode promover o alongamento de internódios e o controle de floração.

Existem diversas pesquisas que mostram que, sob malha vermelha, as plantas apresentam maiores taxas de crescimento, quando comparadas às malhas azul e preta (OREN-SHAMIR et al., 2001). Shahak et al. (2004) verificaram que, comparadas com a malha preta, a malha vermelha

estimulou, significativamente, o crescimento vegetativo. Por outro lado, os autores mencionaram que a malha azul causou nanismo nas plantas. Shahak et al. (2002) também observaram atraso no crescimento das plantas sob a malha azul em cultivo de espécies como *Aspidistra elatior*, *Aralia* sp., *Asparagus officinalis* e *Monstera deliciosa*. Contudo, os mesmos autores observaram uma aceleração do crescimento vegetativo sob a malha vermelha, quando comparada com a malha preta. Resultados semelhantes foram obtidos em estudos com o cultivo de lisianthus (ALMEIDA; CALABONI e RODRIGUES, 2016), de *Pitosporo variegata* (OREN-SHAMIR et al., 2001; STAMPS; CHANDLER, 2008), de *Catharanthus roseus* (MELO & ALVARENGA, 2009) e de mudas de culturas de grande porte como o cafeeiro (HENRIQUE et al., 2011).

De outro modo, algumas espécies podem comportar-se de maneira diferente sob o efeito das malhas fotoconversoras. Calaboni (2014), cultivando heliconia em vaso, encontrou maiores alturas para a malha azul, em relação às cores vermelha e preta. Outros trabalhos evidenciaram que a malha preta promoveu resultados expressivos sobre o crescimento das plantas de *Raphis excelsa* (MEIRELLES et al., 2007) e de *Anthurium* sp. (NOMURA, LIMA e FUZITANI, 2009), para as quais, as malhas de sombreamento vermelha e azul foram inferiores. Estas variações são ressaltadas por Arthurs, Stamps e Giglia (2013), que justificaram que os resultados nas revisões de literatura sugerem que as respostas de diferentes espécies de plantas são muitas vezes variáveis, quando submetidas a condições da modificação no espectro de luz pelo uso de diferentes malhas.

4.3. Número de folhas, de hastes e de inflorescências

De acordo com a ANOVA, há efeito significativo ($p < 0,05$) do fator malhas fotoconversoras para o número de folhas em todos os períodos observados, com exceção para as avaliações realizadas aos 270 e 390 DAT (Tabela 6). As diferentes doses de K^+ e a interação entre os tratamentos não responderam significativamente em nenhuma das épocas avaliadas.

Tabela 6. Resumo da análise de variância, para o número de folhas das plantas de *Costus lasius*, submetidas aos fatores doses de potássio e malhas fotoconversoras.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios											
		Número de Folhas – DAT											
		60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390
Bloco	12	4,5 ns	18,7 *	72,5 *	97,48 *	111,2 ns	149,8 ns	177,9 ns	302,2 ns	547,5 ns	694,1 ns	578,7 ns	1434,7 ns
Malhas	2	25,4 *	135,6 *	639,1 *	675,6 *	905,4 *	1084,7 *	1031,6 *	409,9 ns	1679,6 *	2970,8 *	3813,8 *	4517,7 *
Doses de K ⁺	4	2,5 ns	13,8 ns	56,8 ns	77,5 ns	101,5 ns	117,2 ns	174,4 ns	505,7 ns	1485,5 ns	807,7 ns	1442,8 ns	809,4 ns
Malhas * K ⁺	8	2,0 ns	4,8 ns	36,7 ns	63,2 ns	77,2 ns	100,7 ns	185,3 ns	443,5 ns	368,4 ns	1120,3 ns	674,1 ns	836,7 ns
Erro	48	2,3	9,59	30,79	51,39	79,30	136,26	225,8	369,8	528,24	670,84	730,24	1197,72
Total	74												
CV(%)		27,90	35,16	33,56	29,71	25,95	24,26	23,01	20,35	21,81	20,33	19,50	21,30

*, significativo a 5% de probabilidade; e, ns, não significativo.

Comparando a tabela das médias do número de folhas entre os fatores malhas fotoconversoras (Tabela 7), verifica-se que as médias das folhas das plantas, presentes nas malhas de colorações vermelha e azul, foram estatisticamente iguais até os 270 DAT. A malha preta apresentou-se estatisticamente diferente das demais até a mesma data mencionada, quando atingiu um número médio de folhas de 98,38 e estatisticamente igual ao número das malhas vermelha e azul, com médias de 93,90 e 90,34, respectivamente. Após esse período, houve variações entre as médias dos fatores, sendo que nenhuma das malhas diferiu-se exclusivamente das demais. Entretanto, a partir dos 300 DAT, a malha vermelha já apresentava uma média entre o número de folhas superior aos demais fatores, mantendo-se assim até a fase final das avaliações, aos 390 DAT, data em que começou o florescimento das plantas, durante o qual a malha vermelha proporcionou um maior número de folhas para as plantas estudadas.

Tabela 7. Médias do número de folhas das plantas de *Costus lasius* para as malhas fotoconversoras.

Malhas	Número de Folhas											
	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390
Vermelha	5,00 b	7,08 b	12,52 b	18,88 b	29,68 b	43,24 b	62,44 ab	94,16 a	103,64 ab	136,32 a	151,12 a	177,96 a
Azul	4,80 b	7,84 b	14,92 b	22,56 b	32,16 b	45,48 b	60,84 b	90,60 a	98,16 b	130,60 ab	126,88 b	154,91 ab
Preta	6,64 a	11,44 a	22,16 a	29,92 a	41,12 a	55,60 a	72,68 a	98,68 a	114,28 a	115,24 b	134,88 ab	154,44 b

Médias seguidas de mesma letra, em colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade

A alta variação entre o número de folhas, para as épocas de avaliação, pode ter sido causada pela limpeza das plantas que apresentavam um grande número de folhas secas, as quais eram retiradas mensalmente para a manutenção da sanidade das mesmas. Calaboni (2014), trabalhando com *Heliconia ortotricha*, sob malhas coloridas, encontrou resultados que concordam com as respostas obtidas nesta pesquisa. O mesmo ocorreu em estudos com *Eustoma grandiflorum* (ALMEIDA; CALABONI; RODRIGUES, 2016) e *Pittosporum* sp. (STAMPS; CHANDLER, 2008)

sob malhas coloridas, nas quais os números de folhas das plantas sob a malha vermelha foram maiores que nas das plantas das malhas preta e azul, respectivamente.

Durante todo o cultivo, observou-se que as plantas presentes na malha preta mantiveram-se com um maior número de folhas até atingirem 300 DAT, sempre seguidas das malhas vermelha e azul (Figura 22). A partir deste período, o efeito das cores vermelha e azul, refletida nas malhas em estudo, proporcionou um aumento potencial ao longo das últimas avaliações, sobre o número de folhas estudadas, efeito este não observado nas plantas da malha preta. Apesar das plantas do *costus* apresentarem um crescimento reduzido na fase inicial, verificou-se que, a partir do início da fase de desenvolvimento, o material vegetal sofreu maior interferência dos tratamentos aplicados, respondendo mais rapidamente aos efeitos esperados, principalmente sobre os das malhas do ambiente protegido. Neste período, as doses de potássio aplicadas foram eficientes para proporcionar um aumento potencial no número de folhas, embora os seus efeitos estatísticos semelhantes não tenham sido capazes de definir aquela que proporcionaria os melhores resultados.

Kasperbauer e Hamilton (1984) justificaram que a exposição à luz vermelha e à vermelha distante durante o crescimento e desenvolvimento foliar influencia o desenvolvimento de cloroplastos para garantir sobrevivência mais eficiente à planta. Costa et al. (2011) complementam que essa exposição pode ter influenciado no aumento da capacidade fotossintética das plantas sem cobertura e com cobertura vermelha, quando comparadas à azul, quando estudaram malhas de diferentes colorações no cultivo do morango.

Figura 22. Comportamento do número médio das folhas das plantas de *Costus lasius*, entre a fase inicial e de desenvolvimento, para as malhas de cores vermelha, azul e preta, submetidos às concentrações de potássio.

Os resultados da ANOVA apresentada na Tabela 8 permitiram verificar efeito significativo ($p < 0,05$) apenas do fator malhas fotoconversoras sobre o número de hastes (NH). Entretanto, para a variável número de inflorescências (NI), foi possível obter uma interação significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos estudados.

Tabela 8. Resumo da análise de variância do número total de hastes e das hastes florais das plantas de *Costus lasius* submetidas às doses de potássio sob malhas fotoconversoras.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios	
		Número de Hastes	Número de Inflorescências
Bloco	12	125,01 ns	22,72 ns
Malha	2	839,89 *	77,45 *
Doses de K ⁺	4	44,65 ns	78,59 *
Malha * K ⁺	8	20,14 ns	49,19 *
Erro	48	93,82	17,98
Total	74		
CV%		15,43	43,16

*, significativo a 5% de probabilidade; e, ns, não significativo.

A malha preta apresentou maior média significativa para o número de hastes na parcela, com um número de 62,12 hastes por planta, diferindo estatisticamente das médias das malhas fotoconversoras que, por sua vez, não diferiram entre si, atingindo valores médios de 61,44 e 57,76 hastes em cada uma das malhas vermelha e azul, respectivamente (Tabela 9). Esses resultados estão de acordo com os dados encontrados por Castro et al. (2011) que, em pesquisa com a espécie *Costus lasius*, encontraram um número superior a 40 hastes por plantas, independente do ambiente de cultivo.

Observando o comportamento das médias do K⁺ para o NH, dentro de cada malha, somente as médias das doses 40 (K1) e 200 mg L⁻¹ (K5) diferiram estatisticamente. Para a menor dosagem aplicada (K1), as hastes nas malhas vermelha e azul produziram um número médio de 12,80 e 7,80 inflorescências, sendo estas respectivamente superior e igual à média da malha preta, que proporcionou 5,40 hastes florais. Para a maior dose estudada (K5), as médias das malhas azul e vermelha também não diferiram entre si, e apresentaram valores médios de 10,40 e 10,20 inflorescências, respectivamente. Por outro lado, a média da malha preta foi superior e estatisticamente diferente das demais, apresentando um número de 19,40 inflorescências na média total, sendo a mais eficiente em toda a pesquisa.

Quando se compara as diferentes concentrações de K⁺ em cada malha, em linhas, verifica-se que as malhas fotoconversoras permaneceram estatisticamente iguais, embora a dose 40 mg L⁻¹ tenha causado maior resposta para a malha vermelha e a dose 200 mg L⁻¹ para a malha azul. No ambiente vermelho, as diferentes variações no espectro de luz, que influenciaram no crescimento

das plantas, podem ter acelerado o processo de floração das hastes e interferido no tratamento de fertirrigação, o que pode justificar a semelhança estatística entre as dosagens mínima e máxima de K^+ . Resposta semelhante pode ser estendida para as médias obtidas na malha azul, onde se verificou um menor número de hastes florais, comparando-a com as outras malhas, para as doses de 80 (6,00), 160 (8,00) e 200 $mg\ L^{-1}$ (10,20); embora, assim, a dosagem 200 $mg\ L^{-1}$ seja a mais recomendada para o florescimento das plantas nessa malha.

Tabela 9. Médias do número de hastes, entre as malhas fotoconversoras, e as médias do número de inflorescências para a interação entre as concentrações de potássio em cada fator de malha, para as plantas de *Costus lasius*.

		Número de Hastes		Número de Inflorescências		
Malhas		Doses de K ⁺ (mg L ⁻¹)				
		40	80	120	160	200
Vermelha	61,44 b	12,80 aA	6,50 aA	8,40 aA	10,00 aA	10,40 bA
Azul	57,76 b	7,80 abA	6,00 aA	9,20 aA	8,00 aA	10,20 bA
Preta	69.12 a	5.40 bC	9.60 aBC	11.00 aABC	13.20 aAB	19.40 aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula, em colunas; e maiúsculas, em linhas; não diferem pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade

Diferente das malhas de cores, o ambiente preto propiciou resposta de forma contínua à aplicação das doses de potássio, no qual as plantas com a menor concentração de K^+ (40 $mg\ L^{-1}$) apresentaram a menor média de hastes florais, com um valor de 5,40. A interação significativa entre ambos os fatores, apenas para o ambiente de malha preta, permitiu um ajuste das doses de K^+ a um modelo linear, apresentando um R^2 de 0,94 (Figura 23). A resposta crescente das concentrações de potássio apresentou um valor máximo de 19,40 hastes para uma aplicação de 200 $mg\ L^{-1}$ na solução de fertirrigação, sendo esta a recomendada para se obter um maior número de hastes florais, também, quando não há a interferência do espectro de luz. Rodrigues et al. (2008), estudando o potássio na produção de crisântemo, comprovou que a maior dose recomendada do tratamento (400 $mg\ L^{-1}$ de K^+) foi a que proporcionou o maior número de inflorescências, acarretando, também, um elevado diâmetro das mesmas. Gruszynski (2001) justifica estas respostas ao fato do potássio estar intimamente ligado ao número de hastes e, conseqüentemente, ao número final de inflorescências. Kittas et al. (1999) explicam que as malhas que diminuem a intensidade luminosa no interior da estufa afetam, de maneira significativa, alguns dos comprimentos de onda, principalmente na faixa do azul. Os mesmos autores encontraram um número inferior de frutos comerciais sob a cobertura azul, em relação aos outros tratamentos, e justificam tal resposta às alterações espectrais causadas pelo material de cobertura.

Figura 23. Número médio de inflorescências das plantas de *Costus lasius*, submetidas às doses de potássio na solução de irrigação, sob a malha preta.

4.4. Dimensões das hastes e das inflorescências

De acordo com a análise de variância para as variáveis alturas e diâmetros das hastes e dos botões florais das plantas, verificaram-se diferenças significativas ($p < 0,05$) apenas para os fatores isolados das malhas e das concentrações doses de potássio sobre a Altura das Hastes (AH) (Tabela 10). As variáveis de Diâmetro das Hastes (DH), de Altura das Inflorescências (AI) e do Diâmetro das Inflorescências (DI) não sofreram efeito significativo de nenhum dos tratamentos e, tampouco, da interação entre ambos.

Tabela 10. Resumo da análise de variância das dimensões das hastes e dos botões florais das plantas de *Costus lasius*, submetidas aos fatores doses de potássio e malhas fotoconversoras.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios			
		Altura das Hastes (cm)	Diâmetro das Hastes (mm)	Altura das Inflorescências (cm)	Diâmetro das Inflorescências (mm)
Bloco	12	20,30 ns	0,09 ns	0,60 *	6,36 ns
Malhas	2	173,36 *	0,11 ns	0,11 ns	1,82 ns
Doses de K ⁺	4	48,98 *	0,06 ns	0,61 ns	6,30 ns
Malhas * K ⁺	8	19,29 ns	0,06 ns	0,34 ns	3,78 ns
Erro	48	15,00	0,13	0,26	3,35
Total	74				
CV(%)		8,81	8,28	13,77	16,84

*, significativo a 5% de probabilidade; e, ns, não significativo.

Por meio da comparação entre as médias, pode-se afirmar que houve efeito positivo das malhas de diferentes cores e das doses de potássio na solução de fertirrigação para a AH (Tabelas 11 e 12). A partir das diferenças entre as médias das malhas (Tabela 11), observa-se que a malha

vermelha diferiu estatisticamente, atingindo uma altura média de 46,62 cm, enquanto que os tratamentos de malha azul e preta apresentaram médias finais de 43,95 e 41,36 cm, respectivamente, não diferindo entre si. Este efeito comprova a eficiência das malhas vermelhas em acelerar o crescimento das plantas, em relação às demais cores de malhas avaliadas, principalmente na fase de desenvolvimento durante o cultivo. Embora o teste de médias não tenha identificado significância entre as malhas de cores azul e preta, pode-se verificar que as mesmas proporcionaram um bom crescimento de hastes, com alturas médias próximas da obtida sob a malha vermelha, podendo, também, serem indicadas para a obtenção de uma altura específica de hastes.

Dados obtidos por Castro et al. (2011), avaliando espécies da família Costaceae cultivadas em solo, mostram que a espécie *Costus lasius* possui uma variação no comprimento das hastes entre 60 e 70 cm, e das inflorescências entre 6,5 e 7,0 cm de altura. Estes resultados apresentaram uma variação superior aos encontrados na presente pesquisa, na qual as hastes variaram entre 40 e 50 cm, e as inflorescências entre 3,0 e 4,0 cm na avaliação final. Comportamento similar foi observado para o diâmetro das inflorescências, que variaram entre 10 e 12 mm, apresentando-se como a metade daqueles observados pelos mesmos autores acima citados, que indicam uma variação entre 20 e 25 mm para esta variável. Essa redução no porte das variáveis pode ser justificada pelo tipo de manejo realizado e a utilização do cultivo em vaso, que restringe o crescimento radicular, controlando o crescimento das hastes e dos botões florais das plantas. Entretanto, os resultados obtidos para os diâmetros das hastes corroboraram aqueles obtidos por Castro (2011) e seus colaboradores, cujos dados variaram entre 4,0 e 5,0 mm para a espécie em estudo, independente das doses de fertirrigação.

Tabela 11. Médias de alturas e diâmetros das hastes e das inflorescências das plantas de *Costus lasius* para o fator malhas fotoconversoras.

Malhas	Altura das Hastes (cm)	Diâmetro das Hastes (mm)	Altura das Inflorescências (cm)	Diâmetro das Inflorescências (mm)
Vermelha	46,62 a	4,35 a	3,83 a	10,69 a
Azul	43,95 b	4,32 a	3,71 a	11,18 a
Preta	41,36 b	4,22 a	3,73 a	10,74 a

Médias seguidas de mesma letra, em colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade.

As diferentes doses de K^+ estudadas diferiram entre si apenas sob a malha de coloração preta, enquanto que para as malhas de colorações vermelha e azul foram estatisticamente semelhantes (Tabela 12). A comparação entre as médias, em colunas, comprova que as concentrações de K^+ foram estatisticamente iguais dentro das malhas vermelha e azul. Na malha preta, por sua vez, a variável diferiu entre as doses excessivas aplicadas, com as maiores hastes

submetidas à dose 80, com altura média de 44,48 cm, e as menores encontradas sobre a dose 200, com médias de 36,41 cm, sendo os menores resultados encontrados em toda a pesquisa. A comparação entre as médias mostrou que as maiores doses de K^+ não influenciaram o crescimento das hastes das plantas. Observando individualmente cada malha, verifica-se que as maiores alturas foram obtidas para as menores doses de K^+ , atingindo alturas médias máximas de 47,70 e 46,75 cm, com a dose 40, nas malhas vermelha e azul, respectivamente, e 44,48 cm, para a dose 80, na malha preta, denotando que as plantas não são exigentes nesse nutriente para atingirem alturas comerciais desejáveis.

Em geral, verifica-se que o ambiente vermelho proporcionou maiores alturas das hastes para todas as doses de fertirrigação aplicadas, sendo o mais indicado quando se desejam produzir plantas ornamentais com hastes grandes e vigorosas, podendo ser usadas, também, como plantas de corte. Estudos com diferentes espécies corroboram os efeitos das malhas vermelhas, comparada a outras colorações (HENRIQUE et al., 2011; MELO & ALVARENGA, 2009; OREN-SHAMIR et al., 2001; SHAHAK et al., 2004). Do ponto de vista da fertirrigação, as plantas mostraram-se mais eficientes com a dosagem mínima de potássio na solução. Em geral, a menor concentração de potássio (40 mg L^{-1}) pode ser indicada para atingir boa altura comercial do *costus*, principalmente por gerar redução de custo e de aplicação de fertilizantes na água de irrigação.

Tabela 12. Médias das alturas das hastes das plantas de *Costus lasius* para os fatores concentrações de potássio em cada malha fotoconversora.

Doses de K^+ (mg L^{-1})	Altura das hastes – (cm)			
	Malha vermelha	Malha azul	Malha preta	Médias
40	47,70 aA	46,75 aAB	41,12 abB	45,19 ab
80	47,62 aA	45,88 aA	44,48 aA	45,99 a
120	46,49 aA	44,02 aA	42,87 abA	44,46 ab
160	44,37 aA	40,37 aA	41,90 abA	42,21 ab
200	46,73 aA	42,72 aA	36,41 bB	41,95 b
Médias	46,62 A	43,95 B	41,36 B	

Médias seguidas de mesma letra minúscula, em linhas; e maiúscula, em colunas; não diferem pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade.

4.5. Sanidade das folhas e das inflorescências

De acordo com a ANOVA, apenas os fatores malhas fotoconversoras causaram efeito significativo sobre a sanidade das plantas do *costus*, não havendo respostas significativas para as concentrações de K^+ e para a interação entre os tratamentos (Tabela 13).

Tabela 13. Resumo da análise de variância para os dados de sanidade das plantas de *Costus lasius* submetidas aos tratamentos doses de potássio e malhas fotoconversoras.

Fontes de Variação	Quadrados Médios	
	GL	Sanidade das plantas
Bloco	12	0,61 ns
Malhas	2	9,16 *
Doses de K ⁺	4	0,29 ns
Malhas * K ⁺	8	0,13 ns
Erro	48	0,31
Total	74	
CV(%)		15,51

*, significativo a 5% de probabilidade; e, ns, não significativo.

As notas obtidas para qualificar a sanidade das plantas não diferiram significativamente em relação às concentrações de K⁺ aplicadas, resultando em uma diferença mínima de 0,20 entre as avaliações (Tabela 14). Entretanto, observa-se, em cada fator de malha, que as menores notas foram obtidas pelas maiores concentrações de K⁺ aplicadas, sendo que a concentração 80 mg L⁻¹ proporcionou notas médias de 3,80 e 3,60 nas malhas vermelha e azul, respectivamente, e a concentração 200 mg L⁻¹ resultou em uma média de 2,60 para a malha preta. Comparando as médias gerais de cada malha, observa-se que a malha vermelha obteve melhores resultados em relação às demais, com uma média de 4,04 para a sanidade das suas folhas e inflorescências, representando, aproximadamente, 6,93 e 28,72% superior às malhas azul e preta, respectivamente.

Tabela 14. Comparação entre as médias das notas obtidas na avaliação da sanidade das plantas de *Costus lasius* para os tratamentos das malhas fotoconversoras.

Doses de K ⁺ (mg L ⁻¹)	Sanidade das plantas		
	Malha vermelha	Malha azul	Malha preta
40	4,20 a	4,00 a	3,00 a
80	4,00 a	3,80 a	3,20 a
120	4,00 a	3,80 a	2,80 a
160	3,80 a	3,60 a	2,80 a
200	4,20 a	3,60 a	2,60 a
Média	4,04 A	3,76 A	2,88 B

Médias seguidas de mesma letra minúscula, em linhas; e maiúscula, em colunas; não diferem pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade.

Problemas causados por desequilíbrio nutricional foram raros; porém foi encontrado clorose nas folhas, o que contribuiu para a redução das notas em alguns tratamentos. Resultados semelhantes foram observados por Siqueira (2009), estudando a planta ornamental coroa-de-cristo. Segundo os resultados da análise fitopatológica do material, foram observadas lesões cloróticas nas folhas com pontos necróticos centrais, semelhante à alimentação de inseto sugador. Em análise

microscópica, foram observados esporos de ferrugem, *Helminthosporium* e *Cladosporium* (secundários). Maior incidência de pragas foi encontrada no ambiente preto, onde não havia alteração do espectro de luz.

A qualidade das plantas está condicionada à resistência e durabilidade do material vegetal, quando submetida a ataques de pragas e doenças, conforme avaliação. A baixa média obtida pelo material do tratamento de malha preta demonstra que as malhas de diferentes cores contribuíram para maior resistência das plantas em relação ao ataque de patógenos; porém, o excesso de luminosidade e da radiação dentro desse ambiente, em relação ao ambiente colorido, contribuiu para a menor qualidade do material avaliado, que apresentou maior perda de folhas secas e maior susceptibilidade do vegetal às condições fotossintéticas.

Siqueira (2009) atribuiu notas de zero a dez considerando os sintomas fitossanitários ou nutricionais apresentados pela planta e concluiu que as maiores diferenças nas notas para a sanidade da espécie foram encontradas quando se comparou os diferentes tamanhos de vasos, devido ao comportamento da arquitetura dos diferentes genótipos e não ao ambiente protegido. O autor identificou que as maiores notas foram resultantes da adaptação das plantas às condições de cultivo, já que não houve adubação e controle fitossanitário durante o período. Em cultivo de tomateiros em ambiente protegido, quando foram avaliadas densidade de plantas, Streck et al. (1998) não observaram diferenças aparentes na sanidade das plantas entre os tratamentos. Ritzinger et al. (2009) também avaliaram parâmetros de sanidade das plantas, por meio de notas de zero a cinco, em duas áreas diferentes, a partir da aparência foliar (estado e coloração), do crescimento das plantas, da ocorrência de pragas e do sistema de manejo, buscando limitações de ordem fitossanitária e selecionando manejos eficientes e sustentáveis.

A sanidade das folhas e das inflorescências são características importantes para manter a qualidade, a durabilidade, o preço a ser comercializado e a garantia da aceitabilidade do produto. O *costus* é uma espécie que apresenta grande perda de folhas durante o seu ciclo, principalmente na fase de desenvolvimento, o que pode estar relacionada à restrição do recipiente em que a planta é cultivada e ao crescimento do rizoma e distribuição das raízes. Entretanto, poucos trabalhos têm discutido o efeito dessas malhas sobre a sanidade das plantas desenvolvidas sob esses materiais, no que diz respeito a hortícolas e plantas ornamentais.

4.6. Índice de Preenchimento de Vaso - IPV

Não foi observada diferença significativa entre os tratamentos de K^+ e das malhas fotoconversoras para o IPV, de acordo com a estatística descritiva (Tabela 15). As plantas de *Costus lasius* apresentaram uma copa com um grande número de folhas elípticas, em um grande número de hastes, o que contribuiu para conseguirem recobrir de forma eficiente a superfície do substrato e do recipiente. Dessa forma, todos os tratamentos foram classificados como superiores a 75% do preenchimento do vaso, não havendo interferência das cores das malhas e das concentrações de potássio para a formação completa da parte aérea das plantas.

Tabela 15. Avaliação, em porcentagem, do índice de preenchimento de vaso das plantas de *Costus lasius* sob concentrações de potássio e malhas fotoconversoras.

Doses de K^+ (mg L ⁻¹)	Índice de preenchimento de vaso (%)		
	Malha vermelha	Malha azul	Malha preta
40	> 75	> 75	> 75
80	> 75	> 75	> 75
120	> 75	> 75	> 75
160	> 75	> 75	> 75
200	> 75	> 75	> 75
Média	> 75	> 75	> 75

Avaliação até 25%, entre 26 e 50%, entre 51 e 75% e acima de 75% de recobrimento do substrato.

Siqueira (2009), trabalhando com diferentes genótipos e tamanhos de vasos, encontrou diferenças significativas no IPV apenas quando foram comparados os tamanhos dos vasos estudados, mostrando que essa avaliação não difere quando os vasos apresentam o mesmo tamanho e que o estudo sobre o tamanho de vaso seria importante para estabelecer o recipiente adequado para o melhor desenvolvimento de determinadas espécies. Essa característica é importante para manter a qualidade e a boa visibilidade e arquitetura do produto ornamental, principalmente em plantas tropicais utilizadas para este fim. Castro et al. (2011) tratam essa informação como essencial para se definir a adequação de determinada espécie ao uso paisagístico, obtida sob o ponto de vista do observador a um metro de distância da planta. Embora seja uma avaliação simples, ainda é escasso, na literatura, esse tipo de estudo.

4.7. Matéria fresca, seca e Índice de Área Foliar - IAF

Na Tabela 16, se encontra detalhada a análise de variância referente às variáveis de matéria fresca das hastes (MFH) e das inflorescências (MFI), matéria seca das hastes (MSH) e das inflorescências (MSI), e do índice de área foliar (IAF). Nota-se que os tratamentos das malhas influenciaram significativamente ($p < 0,05$) apenas sobre a MFH e a MSH, enquanto as doses de K^+ nas soluções de fertirrigação tiveram efeito sobre a MFI. Não foi encontrado efeito sobre a MSI do *costus*, denotando que a produtividade das flores da cultura não foi alterada pelas cores das malhas e pelas concentrações do potássio. Os mesmos resultados foram observados para o IAF das plantas.

Benincasa (1988) explica que a distribuição de matéria seca entre as diferentes partes de uma planta pode ser atribuída a um comportamento inerente às espécies vegetais, as quais refletem a sua adaptabilidade às diferentes condições de um determinado ambiente. Nomura, Lima e Fuzitani (2009), em estudo com diferentes malhas de colorações no cultivo do antúrio, mencionaram que, provavelmente, o menor desenvolvimento da área foliar total de plantas cultivadas sob essas malhas pode ser consequência da maior transmissividade de radiação na região do espectro absorvida pelos pigmentos fotossintéticos, pelos carotenoides ou pelas clorofilas. Por outro lado, Casarini (2004) menciona que concentrações excessivas de potássio podem interferir negativamente no IAF por diminuição do número de folhas nas plantas ocasionado pela senescência das folhas.

Tabela 16. Resumo da análise de variância da massa fresca das hastes (MFH) e das inflorescências (MFI), das massas secas das hastes (MSH) e das inflorescências (MSI), e do índice de área foliar (IAF), das plantas de *Costus lasius*, submetidas aos tratamentos das doses de potássio e das malhas fotoconversoras.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios				
		MFH	MSH	MFI	MSI	IAF
		(g)	(g)	(g)	(g)	
Bloco	12	63,51 ns	2,28 ns	9,96 *	0,20 *	590,92 ns
Malhas	2	196,61 *	12,53 *	3,05 ns	0,06 ns	582,82 ns
Doses de K^+	4	29,26 ns	1,83 ns	11,99 *	0,14 ns	392,95 ns
Malhas * K^+	8	67,12 ns	2,90 ns	4,73 ns	0,16 ns	410,00 ns
Erro	48	32,09	1,57	4,77	0,10	522,02
Total	74					
CV(%)		9,59	11,79	35,74	49,44	20,48

*, significativo em 5% de probabilidade; e, ns, não significativo.

Na tabela de médias dos resultados da MFH, nota-se que apenas as concentrações extremas de potássio, 40 (K1) e 200 mg L⁻¹ (K5), diferiram entre as coberturas das malhas (Tabela 17). A dose K1 proporcionou maior MFH para as plantas da malha vermelha, com valor de 66,67 g, sendo estatisticamente semelhante à malha azul, com 59,22 g, e diferindo apenas da malha preta, com valor de 53,50 g. Observando o efeito da dose extrema K5, as plantas da malha azul atingiram peso de 64,71 g para a MSH, sendo superior aos pesos das malhas vermelha (61,44 g) e preta (54,32 g). Dentre as médias gerais entre as malhas, observa-se que as plantas submetidas à cobertura de cor preta tiveram um rendimento inferior de 2,74 e 5,53 g quando comparadas às plantas das malhas azul e vermelha, respectivamente, que foram estatisticamente semelhantes entre si. Para os resultados da MSH, verificou-se que as diferenças entre as plantas de cada malha foram significativas apenas sobre as médias das doses de 40 e 80 mg L⁻¹, com pesos superiores obtidos na malha de coloração vermelha, atingindo valores de 11,92 e 12,12 g, respectivamente. As médias das plantas produzidas sobre as demais doses não diferiram entre as malhas. Analisando as médias gerais, verificou-se eficiência significativa superior do ambiente vermelho em relação aos demais, com média de 11,46 g, identificando esta coloração como a mais eficiente para a produtividade do custos.

Almeida, Calaboni e Rodrigues (2016), avaliaram o efeito malhas de cores vermelha, azul e preta sobre o cultivo de *lisianthus*, e encontraram variação entre a massa fresca das plantas entre 41,30 e 60,62 g, e registraram as malhas vermelha e preta como as mais eficientes. Henrique et al. (2011), estudando mudas de cafeeiro, e Melo e Alvarenga (2009), em cultivo de *Catharanthus roseus* cv. 'Pacífica White', indicaram a malha vermelha como aquela que proporciona o maior teor de massa seca total e das hastes em relação às malhas azul e preta; e verificaram que esse efeito também pode ser influenciado pela espécie estudada. Costa et al. (2010), em pesquisa com a planta medicinal *Ocimum selloi*, verificaram redução da massa seca sob efeito da malha azul em relação à malha vermelha, e justificaram tal efeito como uma possível redução da taxa de assimilação do CO₂ nas plantas da malha azul. Essa diferença pode ser explicada pelo efeito dos espectros de luz que se mantêm em suas faixas específicas e sobre cada uma das malhas, que permitem maior desempenho sobre as plantas. Embora o efeito sobre as doses de potássio não tenha sido significativo, verificou-se que o teste de médias foi capaz de identificar que a maior dose de potássio estudada proporcionou uma maior MSH dentro da malha azul. Entretanto, esse efeito não garante a eficiência da fertirrigação sobre a malha azul, visto que cada dose aplicada comportou-se de maneira diferente em cada ambiente.

Tabela 17. Comparação entre as médias da matéria fresca e seca das hastes das plantas de *Costus lasius* para os tratamentos das malhas fotoconversoras.

Matéria fresca das hastes – (g)						
Doses de K ⁺ (mg L ⁻¹)						
Malhas	40	80	120	160	200	Médias
Vermelha	66,67 Aa	58,14 aA	62,75 aA	61,23 aA	61,44 abA	62,05 a
Azul	59,22 abAB	59,94 aAB	58,83 aAB	53,58 aB	64,71 aA	58,46 ab
Preta	53,60 Ba	58,43 aA	58,66 aA	57,57 aA	54,32 bA	56,52 b
Matéria seca das hastes – (g)						
Vermelha	11,92 Aa	12,12 aA	11,22 aA	10,14 aA	11,88 aA	11,46 a
Azul	9,80 Ba	10,32 abA	9,40 aA	10,12 aA	11,44 aA	10,22 b
Preta	10,42 abA	9,36 bA	10,40 aA	10,78 aA	10,26 aA	10,24 b

Médias seguidas de mesma letra minúscula, em linhas; e maiúscula, em colunas; não diferem pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade.

Considerando o efeito positivo do potássio sobre a formação do botão floral das plantas, não foi observado, em cada malha, diferenças significativas sobre os tratamentos (Tabela 18). No entanto, houve maior desempenho das maiores doses estudadas sobre a MFF, especificamente a dose K4 para a malha vermelha, com peso fresco de 7,39 g; e a dose K5, para as malhas azul e preta, com pesos médios de 8,07 e 8,15 g, respectivamente. Avaliando as médias gerais de cada dose de K⁺ dentro das malhas, verificou-se que a dose K5 foi a mais eficiente para o desenvolvimento das inflorescências de costus, sendo a dosagem indicada para se obter maior qualidade dos botões florais, comprovando que este nutriente é importante no processo de floração da espécie estudada. Estudos nutricionais com plantas do costus e espécies de Costaceae são escassos para comparação da eficácia desse nutriente. Entretanto, estes dados corroboram os estudos dos efeitos positivos do potássio sobre o florescimento de diferentes espécies ornamentais como a gérbera (GUERRERO; FERNANDES; LUDWIG, 2012), o crisântemo (RODRIGUES et al., 2008), o lisianthus (SOUSA NETO, 2017) e a rosa (LIMA, 2013; SILVA, 2013), que utilizaram diferentes soluções de fertirrigação com potássio em ambiente protegido.

Tabela 18. Médias da matéria fresca das inflorescências de *Costus lasius* para os tratamentos das concentrações de potássio (K⁺) em cada tratamento de malha fotoconversora.

Matéria fresca das inflorescências – (g)				
Doses de K ⁺	Malha vermelha	Malha azul	Malha preta	Médias entre malhas
K1	7,07 a	5,47 a	5,04 a	5,86 ab
K2	5,28 a	4,38 a	5,20 a	4,96 b
K3	6,68 a	6,32 a	5,59 a	6,20 ab
K4	7,39 a	5,09 a	5,80 a	6,09 ab
K5	6,13 a	8,07 a	8,15 a	7,45 a

Médias seguidas de mesma letra, em colunas; não diferem pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade.

4.8. Índice de Estresse Hídrico da Cultura – IEHC

De acordo com a ANOVA, houve efeito significativo ($p < 0,05$) do fator malhas fotoconversoras sobre o IEHC apenas para os períodos de 60, 150, 270, 300 e 360 DAT. As concentrações de K^+ na solução de fertirrigação e a interação entre os tratamentos não influenciaram o IEHC observado em nenhuma das datas de avaliação (Tabela 19).

Tabela 19. Resumo da análise de variância para as leituras do IEHC de *Costus lasius* submetidas às doses de potássio sob malhas fotoconversoras.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios											
		IEHC – DAT											
		60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390
Bloco	12	0,09 *	0,06 ns	0,17 *	0,16 *	0,27 *	0,20 *	0,25 *	0,18 *	0,25 *	0,23 *	0,17 *	0,12 ns
Malhas	2	0,25 *	0,08 ns	0,03 ns	0,48 *	0,01 ns	0,01 ns	0,10 ns	0,59 *	0,94 *	0,07 ns	0,37 *	0,09 ns
Doses de K^+	4	0,07 ns	0,02 ns	0,04 ns	0,07 ns	0,03 ns	0,06 ns	0,03 ns	0,03 ns	0,05 ns	0,04 ns	0,07 ns	0,02 ns
Malhas * K^+	8	0,07 ns	0,10 ns	0,04 ns	0,04 ns	0,02 ns	0,04 ns	0,01 ns	0,03 ns	0,01 ns	0,03 ns	0,03 ns	0,03 ns
Erro	48	0,046	0,06	0,06	0,03	0,05	0,06	0,05	0,04	0,02	0,05	0,06	0,07
Total	74												
CV(%)		51,23	53,86	46,34	26,54	40,36	49,59	56,51	39,43	28,00	48,79	55,34	62,99

*, significativo em 5% de probabilidade; e, ns, não significativo.

De acordo com a tabela de médias, analisando separadamente cada época de avaliação, verificou-se que, quando os tratamentos das malhas apresentaram diferenças estatísticas sobre a temperatura foliar da planta, a malha vermelha mostrou médias no índice de estresse superiores às demais, com exceção apenas na primeira avaliação, aos 60 DAT, quando se obteve média inferior de 0,31; enquanto que as malhas preta e azul foram estatisticamente semelhantes, com médias de 0,48 e 0,47, e diferiram estatisticamente da vermelha (Tabela 20). Aos 150 DAT foram verificadas as maiores médias para o índice de estresse da cultura, especialmente sobre as malhas vermelha e azul, que responderam com valores estatísticos semelhantes de 0,76 e 0,66, respectivamente, diferindo da média inferior da malha preta (0,48). Esses maiores valores podem ser justificados pela época de avaliação, referente ao mês de dezembro, quando ocorrem elevadas temperaturas em Piracicaba e que mantém o ambiente protegido mais aquecido durante parte do dia, causando maiores perdas por evapotranspiração e submetendo as plantas a maiores estresses. Aos 270 DAT, embora a malha preta tenha proporcionado uma média superior no índice estudado (0,66), esta não diferiu estatisticamente da média obtida na malha vermelha (0,56) que, teoricamente, provocaria as maiores temperaturas no ambiente e, por consequência, picos de estresse hídrico. Para os períodos de 300 e 360 DAT, a malha vermelha permaneceu com os maiores índices médios sobre a cultura, enquanto que a malha preta mostrou-se ser a que menos interfere no estresse sobre as plantas.

Nestes últimos períodos, a malha azul comportou-se de maneira intermediária entre as demais malhas, atingindo médias de 0,50 aos 300 DAT, diferindo das demais e, aos 360 DAT, com média de 0,49, sendo estatisticamente semelhante à malha vermelha.

Tabela 20. Comparação entre as médias das leituras do IEHC de *Costus lasius*, segundo os dias após o transplante, sob as malhas fotoconversoras.

Malhas	Temperatura foliar – IEHC				
	Dias Após o Transplante – DAT				
	60	150	270	300	360
Vermelha	0,31 b	0,76 a	0,56 a	0,74 a	0,53 a
Azul	0,47 a	0,66 a	0,36 b	0,50 b	0,49 a
Preta	0,48 a	0,48 b	0,66 a	0,36 c	0,30 b

Médias seguidas de mesma letra, em colunas, não diferem pelo teste de Tukey em 5% de probabilidade

Não houve variação significativa na demanda hídrica do *costus* durante o ciclo da cultura, mostrando o uso eficiente da água da irrigação pelas plantas observadas nos três ambientes microclimáticos (Figura 24).

Figura 24. Boxplot das médias gerais do IEHC do fator malha fotoconversora.

O IEHC, em resposta às malhas fotoconversoras, apresentou grande variabilidade quando se estudam diferentes épocas de avaliação, principalmente pela influência da temperatura do ar sobre a temperatura das folhas. Essa discrepância pode ser explicada tanto pelas oscilações microclimáticas internas de umidade relativa, de radiação global e da temperatura, quanto pela interferência da localização do ambiente de estudo. A luz emitida pelas malhas também pode modificar estas variáveis ambientais em torno do dossel da cultura, cuja variação sazonal, nas condições ambientais dentro dos ambientes sombreados, deverá afetar o cultivo de flores e de outras culturas (ARTHURS et al., 2013).

Durante as avaliações, foi observado que o sombreamento sobre as malhas, causado pela vegetação circundante ou por alteração repentina do tempo no momento das leituras, ocasionavam redução drástica das temperaturas foliares, resultando em maior contraste com a temperatura do ar que não caía abruptamente em relação à temperatura na superfície das folhas, mesmo quando as leituras eram realizadas na mesma hora do dia, nos picos de temperaturas diários. Informações específicas sobre o efeito das malhas de diferentes cores sobre o IEHC nas plantas são escassas na literatura. Arthurs, Stamps e Giglia (2013) complementam que poucos estudos relatam as condições microclimáticas específicas presentes em várias estruturas de sombreamentos, com diferentes colorações.

4.9. Índice de Clorofila - IC

A análise de variância, para os dados de clorofila das folhas, mostrou que tanto as clorofilas *a*, *b* e total, das camadas basal e apical, quanto a clorofila *b* da camada mediana, responderam significativamente aos tratamentos das malhas fotoconversoras (Tabela 21). Não foi encontrado efeito estatístico das doses de K^+ e da interação entre os fatores.

Tabela 21. Resumo da análise de variância das clorofilas *a*, *b* e total das camadas basal, mediana e apical, das folhas de *Costus lasius*, submetidas aos tratamentos das doses de potássio e das malhas fotoconversoras.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios								
		Folha basal			Folha mediana			Folha apical		
		<i>a</i>	<i>b</i>	total	<i>a</i>	<i>b</i>	total	<i>a</i>	<i>b</i>	total
Bloco	12	6,85 ns	10,58 ns	32,41 ns	18,26 ns	15,11 ns	54,03 ns	49,17 *	49,83 *	193,50 *
Malhas	2	35,30 *	118,86 *	277,91 *	55,44 ns	77,75 *	247,17 ns	65,14 *	88,01 *	304,53 *
Doses de K	4	9,51 ns	28,54 ns	70,60 ns	26,73 ns	33,85 ns	119,06 ns	34,21 ns	25,62 ns	115,20 ns
Malhas * K	8	8,18 ns	27,33 ns	61,81 ns	37,33 ns	37,53 ns	136,33 ns	12,55 ns	13,88 ns	47,61 ns
Erro	48	7,48	15,03	41,9	28,57	20,93	87,66	18,63	17,49	68,49
Total	74									
CV(%)		7,97	80,64	13,45	16,32	37,79	20,87	14,82	48,32	21,90

*, significativo em 5% de probabilidade; e, ns, não significativo.

Embora as doses de K^+ na solução de irrigação não tenham influenciado significativamente a clorofila das folhas, é válido mencionar que o fornecimento do potássio para as plantas estimula o aproveitamento do nitrogênio (VIANA; KIEHL, 2010), que está diretamente relacionado com o teor de clorofila das plantas, o qual responde positivamente à sua variação nas folhas de diversas espécies agrícolas (GIANQUINTO; SAMBO; BORSATO, 2006; GOFFART; OLIVIER; FRANKINET, 2008; PADILLA et al., 2014, 2015), contribuindo para o aumento da sua absorção, assimilação, nutrição e produtividade das plantas. Por outro lado, as recomendações de K^+ não

apresentaram deficiência na planta, contribuindo positivamente para o teor das clorofilas, uma vez que plantas sob deficiência de K^+ podem contribuir para uma redução geral da assimilação de CO_2 e resultar em concentrações reduzidas de clorofila foliar (ZHAO; OOSTERHUIS; BEDNARZ, 2001; JIN et al., 2011; BATTIE-LACLAU et al., 2014; EREL et al., 2015).

O *Costus* demonstrou ter uma resposta positiva à variação de clorofila sobre as camadas basal, mediana e apical das folhas (Figura 25). À medida que a posição das folhas aproximava-se do ápice da planta, o IC reduzia-se proporcionalmente. Os teores de clorofila *a*, *b* e total foram superiores nas folhas da camada basal, denotando ser a região mais indicada para a avaliação dessa variável. Taiz et al. (2017) explicam que as folhas mais sombreadas das plantas aumentam a captura de luz por terem mais clorofila total por centro de reação, ocasionada pela razão mais alta entre as clorofilas *b* e *a*, e pelas folhas desta camada apresentarem lâminas geralmente mais finas do que as que ficam expostas ao sol. Além disso, observa-se que as plantas cultivadas sob todos os tratamentos pareceram sintetizar mais clorofila *a*, o que é explicado pelo fato do seu espectro ser mais amplo em comparação com o da clorofila *b*, visto que esta é a molécula que torna possível a fotossíntese (LIN et al., 2013).

Observando as médias entre as medidas indiretas dos teores de clorofila, verifica-se que a malha azul elevou os teores de clorofila da planta em relação aos outros tratamentos. As plantas expostas sob a malha vermelha tiveram menor resposta em todas as avaliações feitas, enquanto que a malha preta interferiu medianamente sobre os teores observados. Para a clorofila *a*, a malha azul apresentou índices de 35,6 e 31,0 nas camadas basal e apical, seguidas das respostas das malhas preta (34,1 e 28,6) e vermelha (33,3 e 27,9), respectivamente. Para a clorofila *b*, houve diferença significativa para a malha azul em relação às outras malhas, sob as médias das três camadas estudadas, sendo que os maiores teores encontrados atingiram valores de 16,2 na camada basal, 13,8 na mediana e 10,8 na apical. Proporções semelhantes foram observadas para a clorofila total, que respondeu com teores de 51,9; 47,3 e 41,7 unidades Falker para as camadas basal, mediana e apical das plantas da malha azul, respectivamente, o que comprova tanto a eficiência deste ambiente sobre a clorofila das plantas, quanto o maior teor de clorofila na camada basal das mesmas, onde ocorre menor interferência da luz sobre elas e mantém-se a concentração da pigmentação, denotando maior qualidade às folhas.

Algumas espécies apresentam regiões específicas na planta para uma resposta mais efetiva sobre o teor de clorofila nas folhas, o que facilita o manejo dos nutrientes. Para conhecimento, não existe registro prévio do uso do ClorofiLOG, e de metodologias de laboratório, em espécies da família Costaceae, não dispondo de uma referência para comparação direta sobre a validade dos resultados obtidos.

Figura 25. Índices de clorofila *a*, *b* e total, nas regiões das camadas basal, mediana e apical, das folhas do *costus*, sob os fatores malhas fotoconversoras.

Resultados semelhantes ao desta pesquisa, sobre o teor das clorofilas sob diferentes espectros de luz, foram obtidos no cultivo de *Nicotiana tabacum* L. cv. Burley (KASPERBAUER & PEASLEE, 1973), e ornamentais como a *Dendranthema × grandiflorum* (Ramat.) Kitamura ‘Spears’ (MCMAHON & KELLY, 1995), e *Catharanthus roseus* (L.) (MELO & ALVARENGA, 2009). Entretanto, estudos mais recentes sobre a eficiência das clorofilas em ambientes de diferentes colorações de malhas carecem de informações.

Schlichting et al. (2015) demonstraram, em plantas de trigo, que a avaliação das clorofilas das folhas, por meio de dispositivos portáteis, tem sido tão eficiente quanto pelo método tradicional. Os autores compararam a eficiência entre os dispositivos portáteis SPAD® 502 e Falker ClorofiLOG®, com a quantificação laboratorial dos teores de clorofila, e confirmaram que o dispositivo Falker, por si, foi significativamente semelhante às demais metodologias, comprovando que este pode ser utilizado como metodologia confiável em campo para o manejo da cultura. Tal eficiência também foi confirmada por Lin et al. (2013) que utilizou o mesmo dispositivo no manejo da alface sob a emissão de diferentes cores de luzes, incluindo a vermelha e a azul.

A efetiva ação da malha azul sobre os teores de clorofilas pode ser explicada pela intensidade com que os pigmentos atuam sobre essa faixa do espectro. Neste caso, a absorção da luz azul excita a clorofila a um estado energético mais elevado do que a absorção de luz vermelha, pois a energia dos fótons é maior quando seus comprimentos de onda são mais curtos, como explica Taiz et al. (2017). Por outro lado, as plantas sob a malha vermelha ou ambiente com alta

luminosidade tendem a inibir esses pigmentos, muitas vezes apresentando folhas de colorações mais amareladas, o que demonstra redução na síntese e teor de clorofila das plantas, conforme o encontrado nessa pesquisa, sob as malhas vermelha e preta. Taiz e Zeiger (2004) mencionam que a faixa entre 400 e 510 nm é a faixa mais fortemente absorvida pelos pigmentos amarelos e pela clorofila, correspondendo à variação do violeta ao azul do espectro, cuja região atua com grande atividade fotossintética, exercendo uma vigorosa ação na formação da planta. Melo e Alvarenga (2009) verificaram em sua pesquisa que as plantas que foram cultivadas a pleno sol e sob malha preta mostraram-se amareladas e de porte baixo, em relação às malhas coloridas. Streit et al. (2005) explicaram, ainda, que a intensidade de absorção de luz realizada pela planta dependerá do ambiente na qual a mesma se encontra.

Melo e Alvarenga (2009) afirmam que os baixos conteúdos das clorofilas, do nitrogênio foliar e da área foliar das plantas parecem indicar ocorrência de fotoinibição nas plantas sob regime de radiação. Edreva (2005) complementa que a fotoinibição pode ser provocada por elevada irradiância e consequente superprodução de elétrons, causando a desestruturação de membranas e destruição dos cloroplastos. Uma explicação que associa o baixo conteúdo de carotenoides nas folhas das plantas a pleno sol, que são pigmentos acessórios das clorofilas (STREIT et al., 2005), pode estar associada a uma proteção insuficiente dos complexos coletores de luz dos fotossistemas, o que explica o baixo teor das clorofilas nas plantas sob o ambiente de cor preta, no qual não ocorre alteração do espectro de luz. Por outro lado, o maior teor de clorofilas nas folhas sob malhas azul e vermelha, pode ser relacionado ao maior conteúdo de carotenoides nestes tratamentos (MELO & ALVARENGA, 2009).

4.10. Macronutrientes do tecido vegetal

Os resultados da análise da variância, relativos à absorção dos macronutrientes pelas inflorescências do *costus*, em cada malha fotoconversora, indicaram efeito significativo ($p < 0,05$) sobre os elementos K e S, dentro da malha vermelha; o K e o Mg para a malha azul; e efeito significativo ($p < 0,05$) sobre os teores de K, Mg e S dentro da malha preta ($p < 0,05$) (Tabela 22). Os tratamentos com diferentes concentrações de potássio na solução de fertirrigação não promoveram diferenças significativas nos teores dos macronutrientes N, P e Ca em nenhuma das malhas estudadas.

Tabela 22. Resumo da análise de variância dos macronutrientes das inflorescências das plantas de *Costus lasius*, em função das doses de potássio e das malhas fotoconversoras.

Fontes de Variação	Quadrados Médios						
	Malha vermelha						
	GL	N	P	K	Ca	Mg	S
Bloco	3	0,39 ns	0,02 ns	0,09 ns	2,31 ns	0,29 ns	0,02 ns
Doses de K ⁺	4	1,35 ns	0,02 ns	6,72 *	5,32 ns	0,09 ns	0,03 *
Linear	1	2,98 ns	0,06 ns	24,52 *	2,34 ns	0,27 ns	0,11 *
Quadrático	1	1,67 ns	0,02 ns	0,75 ns	2,86 ns	0,08 ns	0,01 ns
Erro	12	0,72	0,03	1,02	4,52	0,22	0,01
Total	19						
CV(%)		10,45	14,82	11,56	21,18	14,47	15,51
Malha azul							
Bloco	3	2,61 ns	0,06 ns	7,27 ns	1,19 ns	0,27 ns	0,04 ns
Doses de K ⁺	4	0,38 ns	0,07 ns	28,36 *	1,33 ns	1,58 *	0,03 ns
Linear	1	1,32 ns	0,05 ns	96,16 *	0,52 ns	3,89 *	0,09 ns
Quadrático	1	0,09 ns	0,07 ns	5,96 ns	1,98 ns	0,21 ns	0,01 ns
Erro	12	0,90	0,02	4,97	1,11	0,34	0,03
Total	19						
CV(%)		9,78	10,00	20,69	10,48	14,71	20,47
Malha preta							
Bloco	3	0,87 ns	0,06 ns	2,6 ns	1,64 ns	0,29 ns	0,04 ns
Doses de K ⁺	4	0,28 ns	0,01 ns	13,14 *	5,44 ns	1,40 *	0,09 *
Linear	1	0,00002 ns	0,00002 ns	37,46 *	10,98 ns	0,29 ns	0,30 *
Quadrático	1	0,88 ns	0,01 ns	5,46 ns	7,88 ns	5,32 *	0,003 ns
Erro	12	1,14	0,03	1,25	3,23	0,29	0,02
Total	19						
CV(%)		11,78	13,93	12,54	15,49	13,54	13,26

* significativo em 5% de probabilidade e, ns, não significativo;

Nas Figuras 26, 27 e 28, são mostrados os comportamentos dos teores dos macronutrientes absorvidos pelas plantas submetidas às cinco concentrações de potássio. Os teores de K⁺ nas inflorescências do *costus* apresentaram diferenças significativas entre si, e responderam eficientemente às maiores doses aplicadas nas três malhas fotoconversoras. Para a malha vermelha (Figura 26 A), a resposta do teor de K⁺ nas inflorescências ajustou-se ao modelo linear ($R^2 = 0,91$), apresentando correlação positiva entre as concentrações de K⁺ aplicadas, com exceção da K2 (80 mg L⁻¹) que decresceu em relação à primeira dosagem. Neste ambiente, o florescimento das plantas apresentou o seu ponto de máximo para a dose K5 (200 mg L⁻¹). Com o aumento do potássio na planta, o teor de S nas inflorescências respondeu de maneira inversamente proporcional às recomendações aplicadas, apresentando correlação negativa e ajustando-se ao modelo linear ($R^2 = 0,83$). Tal comportamento está possivelmente relacionado ao efeito dos íons potássio na planta, que reduzem a absorção do elemento S com o aumento do K⁺ (Figura 26 B).

Figura 26. Concentrações de potássio (A); e de enxofre (B), nas plantas de *Costus lasius*, submetidas às doses de potássio na solução de fertirrigação, sob a malha vermelha. Valores com barras de erro padrão.

Para a malha azul, o desempenho das concentrações de K⁺ nas inflorescências do costus apresentou de forma similar à absorção do potássio pelo material vegetal da malha vermelha, ajustando-se ao modelo linear (R^2 igual a 0,85). A dose K2 (80 mg L⁻¹), mais uma vez, apresentou correlação negativa à menor dosagem aplicada. A maior resposta das inflorescências foi observada para K5 (200 mg L⁻¹), mostrando ser a mais indicada para o florescimento da espécie em estudo sob os ambientes coloridos (Figura 27 A). Os teores de Mg, por sua vez, mostraram-se pouco retidos pela planta quando se aumentaram as doses de K⁺, uma vez que a dose K2 (80 mg L⁻¹) estimulou maior absorção desse nutriente, que pode ser justificado pela baixa retenção do potássio nessa mesma concentração, mostrando que os nutrientes respondem de maneira inversamente proporcionais dentro da planta (Figura 27 B). Tais resultados respondem à confirmação de Meurer (2006), de que o efeito depressivo do Mg sobre o K é um exemplo clássico de interação negativa entre os nutrientes.

Figura 27. Concentrações de potássio (A) e de magnésio (B), nas plantas de *Costus lasius*, submetidas às doses de potássio na solução de fertirrigação, sob a malha azul. Valores com barras de erro padrão.

Na malha preta, por sua vez, o teor de K^+ nas inflorescências ajustou-se linearmente ($R^2 = 0,71$) e apresentou uma correlação positiva até a dose K4 (160 mg L^{-1}), sendo a mais eficiente para este ambiente (Figura 28 A), embora a dose de 200 mg L^{-1} tenha sido a mais eficiente em emitir hastes florais. Guerrero, Fernandes e Ludwig (2012) encontraram ajuste de regressão linear positiva para o acúmulo de K^+ nas inflorescências das gérberas em função de fontes de potássio, corroborando os resultados deste trabalho, conforme obtido nas três malhas em estudo. Rodrigues et al. (2008) mencionam que esse comportamento linear ocorre, principalmente, pela fácil disponibilidade do íon potássio, uma vez que este não fica adsorvido no substrato, mas, sim, disponível para a planta. A resposta do teor de S absorvido nas plantas sobre a malha preta, no entanto, foi semelhante àquela obtida dentro da malha vermelha, onde os teores de S acumulados a partir das doses mais baixas de K^+ foram superiores aos obtidos pelas doses mais elevadas, mostrando que o efeito inverso às concentrações de potássio pode estar relacionado à baixa absorção desse nutriente com o aumento de K^+ na planta (Figura 28 B). Para o teor de Mg, as plantas responderam positivamente à absorção do K^+ até a dose de 120 mg L^{-1} , na qual houve maior retenção desse nutriente, com ajuste ao modelo quadrático com $R^2 = 0,99$. A partir dessa dosagem, o acúmulo de Mg reduziu à medida que se aumentou a concentração de potássio na solução, respondendo negativamente ao excesso K^+ (Figura 28 C). Esses resultados corroboram os obtidos em estudos com o potássio no cultivo de ornamentais como a gérbera (GUERRERO; FERNANDES; LUDWIG, 2012; LUDWIG et al., 2008), e a rosa (CASARINI, 2004).

De acordo com Ernani et al. (2007), o potássio compete com vários cátions pelos sítios de absorção na membrana plasmática, especialmente com o nitrato, o cálcio e o magnésio. A soma dos cátions que são absorvidos pelas plantas normalmente permanece pouco afetada pela variação na composição do meio na qual ela se desenvolve (ERNANI et al., 2007; LAWLOR, 2001), o que implica que o aumento na disponibilidade de determinado cátion resulta na diminuição da absorção dos demais, justificando o efeito do potássio sobre os demais elementos. Guerrero (2012) e colaboradores, estudaram fontes e doses de silicato e cloreto potássio no cultivo da gérbera e encontraram redução nos teores e no acúmulo de Mg e S nas inflorescências, em relação as folhas, para ambos os tratamentos, especialmente na fase final de reprodução. Os autores atribuem esse comportamento quando a relação entre o K e o Mg não está balanceada, que pode ser observada pela correlação negativa dos nutrientes na flor, como ocorreu com o Mg e o S, em resposta às soluções de K^+ neste estudo.

Figura 28. Concentrações de potássio (A), de enxofre (B) e de magnésio (C), nas plantas de *Costus lasius*, submetidas às doses de potássio na solução de fertirrigação, sob a malha preta. Valores com barras de erro padrão.

5. CONCLUSÕES

- a) O sombreamento com a malha vermelha melhorou as características de crescimento, número de folhas e aumentou a produção de massa fresca e seca de costus;
- b) A concentração de 200 mg L^{-1} de K^{+} , na solução de fertirrigação, é a recomendada para aumentar a massa fresca e o maior número das inflorescências, características relevantes para a espécie *Costus lasius* como planta ornamental;
- c) Os maiores teores de potássio acumulados nas inflorescências do costus são proporcionados pela concentração 200 mg L^{-1} sobre as malhas vermelha e azul; e pela concentração 160 mg L^{-1} no ambiente sombreado com a malha preta;
- d) A dose de 200 mg L^{-1} de K^{+} associada a malha preta conduzem aos melhores resultados em termos de produção de hastes e inflorescências;
- e) O cultivo de costus sobre a malha azul tem maior eficiência no aproveitamento da clorofila e no processo fotossintético, indicando a camada basal das folhas como referência para esse tipo de avaliação; e
- f) O IEHC apresenta grande variabilidade durante todo o ciclo e indica o ambiente de malha vermelha como o mais passível de causar estresse hídrico para as plantas na maioria dos meses estudados.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA BRASIL, 2014. Disponível: <<http://memoria.ebc.com.br/agenciabrasil/noticia/2014-01-19/floricultura-brasileira-faturou-r-52-bilhoes-no-ano-passado>>. Acesso em: 09 ago. 2017.
- ALMEIDA, J. M. de; CALABONI, C.; RODRIGUES, P. H. V. Lisianthus cultivation using differentiated light transmission nets. **Ornamental Horticulture**, v. 22, n. 2, p. 143–146, 2016.
- ALMEIDA, E. V. D.; FERNANDES, F. M.; CAIONE, G.; PRADO, R. DE M.; BOLIANI, A. C.; CORRÊA, L. D. S. L. **In:** Growing mango cultivar Keitt in production. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v. 46, p. 430-438, 2015.
- ANDREWS, M.; RAVEN, J. A.; LEA, P. J. Do plants need nitrate? The mechanisms by which nitrogen form affects plants. **Annals of Applied Biology**, v. 163, n. 2, p. 174–199, 2013.
- ARAÚJO, F. P.; OLIVEIRA, P. E. Biologia floral de *Costus spiralis* (jacq.) Roscoe (Costaceae) e mecanismos para evitar a autopolinização. **Revista Brasileira de Botânica**. São Paulo, SP. v. 30, p. 61-70, 2007.
- ARGENTA, G.; SILVA P. R. F.; BARTOLINI, C. G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. **Ciência Rural**, vol. 31, n. 4, p. 715-722, 2001.
- ARNON, D. I. Cooper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxylase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology**. v. 24: 1-15. 1949.
- ARREGUI, L. M.; LASA, B.; LAFARGA, A.; IRA, I.; BAROJA, E.; QUEMADA, M. Evaluation of chlorophyll meters as tools for N fertilization in winter wheat under humid Mediterranean conditions. **European Journal Agronomy**. v. 24, n. 2, p. 140–148, 2006.
- ARTHURS, S. P.; STAMPS, R. H.; GIGLIA, F. F. Environmental modification inside photoselective shadehouses. **HortScience**, v. 48, n. 8, p. 975–979, 2013.
- BACKES, C.; DE LIMA, C. P.; DE GODOY, L. J. G.; BOAS, R. L. V.; IMAIZUMI, I. Coloração verde nas folhas da cultura do alho vernalizado em resposta à adubação nitrogenada. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p. 491–498, 2008.
- BALASUBRAMANIAN, V.; MORALES, A. C.; CRUZ, R. T.; THIYAGARAJAN, T. M.; NAGARAJAN, R.; BABU, M.; ABDULRACHMAN, S.; HAI, L. H. Adaptation of the Chlorophyll Meter (SPAD) Technology for Real-Time N Management in Rice: A Review. **International Rice Research Notes**, v. 25, n. 1, p. 4–8, 2000.
- BATTIE-LACLAU, P.; LACLAU, J. P.; BERI, C.; MIETTON, L.; MUNIZ, M. R. A.; ARENQUE, B. C.; DE CASSIA PICCOLO, M.; JORDAN-MEILLE, L.; BOUILLET, J. P.; NOUVELLON, Y. Photosynthetic and anatomical responses of *Eucalyptus grandis* leaves to

potassium and sodium supply in a field experiment. **Plant, Cell and Environment**, v. 37, n. 1, p. 70–81, 2014.

BECKMANN-CAVALCANTE, M. Z. **Características de substratos e concentrações de soluções nutritivas para o cultivo do crisântemo em vaso**. Tese (Doutorado em agronomia) - Universidade Estadual Paulista -UNESP, Jaboticabal, 2007. 145 p.

BECKMANN, M. Z.; DUARTE, G. R. B.; PAULA, V. A.; MENDEZ, M. E. G.; PEIL, R. M. N. Radiação solar em ambiente protegido cultivado com tomateiro nas estações verão-outono do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 36, n. 1, p.86-92. 2006.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FCAV-Unesp, 1988. 41 p.

BENINCASA, P.; GUIDUCCI, M.; TEI, F. The Nitrogen use efficiency: meaning and sources of variation - case studies on three vegetable crops in Central Italy. **Horttechnology**, v. 21, n. June, p. 266–273, 2011.

BLACKBURN, G. A. Hyperspectral remote sensing of plant pigments. **Journal of Experimental Botany**, v. 58, n. 4, p. 855-867, 2007.

BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S. Use of a chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. **Journal of Production Agriculture**. v.8, n.1, p. 56-60, 1995.

BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. Manejo da água e nutrientes para o pepino em ambiente protegido sob fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 251-255, 2002.

BLISKA JÚNIOR, A.; FERRAZ, A. C. Método de identificação no grau de gestão nas atividades de produção de flores de corte. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 3, p. 531-538. 2012.

BRAGA, D. F.; NEGREIROS, M. Z.; FREITAS, F. C. L.; GRANJEIRO, L. C.; LOPES, W. A. R. Crescimento de melancia ‘Mickylee’ cultivada sob fertirrigação. **Caatinga**, v. 24, p. 49-55, 2011.

BRANT, R. S.; PINTO, J. E. B. P.; ROSA, L. F.; ALBUQUERQUE, C. J. B.; FERI, P. H.; CORRÊA, R. M. Crescimento, teor e composição do óleo essencial de melissa cultivada sob malhas fotoconversoras. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 1401-1407, 2009.

BRIASSOULIS, D.; MISTRIOTIS, A.; ELEPHTERAKIS, D. Mechanical behaviour and properties of agricultural nets – part I: Testing methods for agricultural nets. **Science Direct. Polymer Testing**, v. 26, n. 6, p. 822-832, 2007.

BRITO, G. G.; SOFIATTI, V.; BRANDÃO, Z. N.; SILVA, V. B.; SILVA, F. M.; SILVA, D. A. Non-destructive analysis of photosynthetic pigments in cotton plants. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, n. 4, p. 671–678, 2011.

- BRUNINI, R. G. **Índice de estresse hídrico na cultura de cana-de-açúcar, em superfícies irrigadas sobre diferentes exposições e declividades.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, Jaboticabal, SP. 2016. 60 p.
- CALABONI, C. **Utilização de malhas coloridas em cultivo protegido no desenvolvimento de duas espécies de helicônias em vaso.** Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, SP. 2014. 66 p.
- CAMARGO, A. P. de. Balanço hídrico no Estado de São Paulo. São Paulo: **Instituto Agrônômico**, v. **Boletim**, v. 1, n. 3, p. 24, 1971.
- CAMERON, K. C.; DI, H. J.; MOIR, J. L. Nitrogen losses from the soil/plant system: A review. **Annals of Applied Biology**, v. 162, n. 2, p. 145–173, 2013.
- CAMPBELL, G. S.; NORMAN, J. M. **An Introduction to Environmental Biophysics**, second edition. Springer, 1998. 286 p.
- CASARINI, E. **Doses de N e K aplicados via fertirrigação na cultura da roseira (*Rosa* sp.) em ambiente protegido.** Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP. 2004. 120 p.
- CASTILLA, Nicolás. **Greenhouse technology and management.** Cabi, 2013.
- CASTRO, C. E. Estrutura da produção: Caracterização de propriedades e avanços tecnológicos. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, Campinas, SP. v. 8, p. 9-56, 2002.
- CASTRO, C. E. F.; MOREIRA, S. R.; CASTRO, A. C. R.; SOUZA, F. V. D.; LOGES, V.; GONÇALVES, C.; COSTA, M. E. P. C.; MOURA, L. F. Avaliação de espécies de Costaceae para uso ornamental. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, Campinas, SP, v. 17, n. 1, p. 63-74, 2011.
- CERATTI, M.; PAIVA, P. D.; SOUSA, M.; TAVARES, T. S. Comercialização de flores e plantas ornamentais no segmento varejista no município de Lavras/MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras v. 31, n. 4, p. 1212-1218, 2007.
- CÉSPEDES LÓPEZ, A. J.; GARCÍA, M. C. G.; PARRA, J. J. P.; GÓMEZ, I. M. C. **Caracterización de la Explotación Hortícola Protegida de Almería.** Fundación para la investigación agraria en la provincia de Almería-FIAPA, p. 1–178, 2009.
- CHANG, X.; ALDERSONB, P. G.; WRIGHTB, C. J. Solar irradiance level alters the growth of basil (*Ocimum basilicum* L.) and its content of volatile oils. **Environmental and Experimental Botany**. Elmsford. Elsevier. V. 63, n. 1–3, p. 216–223, 2008.

- CLEMENT, J.; NOVAS, N.; GAZQUEZ, J. A.; MANZANO-AGUGLIARO, F. An active contour computer algorithm for the classification of cucumbers. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 92, p. 75–81, 2013.
- COELHO, F. S.; FONTES, P. C. R.; PUIATTI, M.; NEVES, J. C. L.; SILVA, M. C. de C. Dose de nitrogênio associada à produtividade de batata e índices do estado de nitrogênio na folha. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1175–1183, 2010.
- COSTA, L. C. D. B.; PINTO, J. E. B. P.; CASTRO, E. M. D.; ALVES, E.; BERTOLUCCI, S. K. V.; ROSAL, L. F. Effects of coloured shade netting on the vegetative development and leaf structure of *Ocimum selloi*. **Bragantia**, v. 69, n. 2, p. 349-359, 2010.
- COSTA, J. O. **Padrões de resposta termal ao déficit hídrico na cultura do café irrigado por gotejamento**. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, SP. 2016. 98 p.
- COSTA, A. S.; LOGES, V.; CASTRO, A. C. R.; BEZERRA, G. J. S. M.; SANTOS, V. F. Variabilidade genética e correlações entre caracteres de cultivares e híbridos de *Heliconia psittacorum*. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 2, n. 3, p. 187-192, 2007.
- COSTA, F. R. C.; ESPINELLI, F. P.; FIGUEIREDO, F. O. G. Guia de zingiberales dos sítios PPBio na Amazônia Ocidental brasileira. Manaus, **Áttema Design Editorial**, 2011. 284 p.
- COSTA, R. C.; CALVETE, E. O.; REGINATTO, F. H.; CECCHETTI, D.; TEREZA, J.; RAMBO, A.; TESSARO, F. Malhas de sombreamento na produção de morangueiro em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 1, p. 98–102, 2011.
- COSTA, V. M.; FOLEGATTI, M. V.; ATARASSI, R. T.; DUARTE, S. N.; DIAS, N. da S.; SILVA, C. R. Desenvolvimento de mudas de cafeeiro produzidas em tubetes sob malhas termo-refletoras e malha negra. **Irriga**, v. 1, n. 1. Special Issue Special Edition - Great Cultures, p. 52–65, 2016.
- CRUSIOL, L. G. T.; CARVALHO, J. de F. C.; SIBALDELLI, R. N. R.; NEIVERTH, W.; DO RIO, A.; FERREIRA, L. C.; PROCÓPIO, S. D. O.; MERTZ-HENNING, L. M.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B. NDVI variation according to the time of measurement, sampling size, positioning of sensor and water regime in different soybean cultivars. **Precision Agriculture**, v. 18, n. 4, p. 1–21, 2016.
- DAI, Y.; SHEN, Z.; LIU, Y.; WANG, L.; HANNAWAY, K.; LU, H. Effects of shade treatments on the photosynthetic capacity, chlorophyll fluorescence, and chlorophyll content of *Tetrastigma hemsleyanum* Diels et Gilg. **Environmental and Experimental Botany**, v. 65, n. 2-3, p. 177-182, 2009.

- DAVID, E.F.S. MISCHAN, M. M.; BOARO, C. S. F. Rendimento e composição do óleo essencial de *Mentha piperita* L., cultivada em solução nutritiva com diferentes níveis de fósforo. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 8, n. 4, p. 183-188, 2006.
- EDREVA, A. Generation and scavenging of reactive oxygen species in chloroplasts: a submolecular approach. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 106, n. 2/3, p. 119-133, Apr. 2005.
- EL-SHIKHA, D. M.; WALLER, P.; HUNSAKER, D.; CLARKE, T.; BARNES, E. Ground-based remote sensing for assessing water and nitrogen status of broccoli. **Agricultural Water Management**, v. 92, p. 183-193, 2007.
- EREL, R.; YERMIYAHU, U.; BEN-GAL, A.; DAG, A.; SHAPIRA, O.; SCHWARTZ, A. Modification of non-stomatal limitation and photoprotection due to K and Na nutrition of olive trees. **Journal of Plant Physiology**, v. 177, p. 1–10, 2015.
- ERNANI, P. R.; CIMÉLIO BAYER, C.; ALMEIDA, J. A.; CASSOL, P. C. Mobilidade vertical de cations influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**. v. 31, n. 2, p. 393-402. 2007.
- FALKER, Automação Agrícola Ltda. Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG / CFL 1030). Porto Alegre: **Falker**, 2008. 33p.
- FARIA JUNIOR, M. J. A.; LIMA, A. M. Uso de Sombreamento em Estufa Coberta com Polietileno e com ventilação natural: efeitos sobre variáveis climáticas. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, Fortaleza, 29, 2000.
- FERNANDES, E. J. Determinação do índice de estresse hídrico em cultura do feijoeiro com termômetro de infravermelho. **Irriga**, v. 15, n. 3, p. 248, 2010.
- FERREIRA, M. M. M.; FERREIRA, G. B.; FONTES, P. C. R.; DANTAS, J. P. Índice SPAD e teor de clorofila no limbo foliar do tomateiro em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica, em duas épocas de cultivo. **Revista Ceres**, v. 53, n. 305, p. 83-92, 2006.
- FITZGERALD, G. J. Characterizing vegetation indices derived from active and passive sensors. **International Journal of Remote Sensing**, v. 31, n. 16, p. 4335–4348, 2010.
- FOLLETT, R. H.; FOLLETT, R. F.; HALVORSON, A. D. Use of a chlorophyll meter to evaluate the nitrogen status of dryland winter wheat. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 23, n. 7–8, p. 687–697, 1992.
- FOX, R. H.; WALTHALL, C. L. Crop monitoring technologies to assess nitrogen status. **Agronomy Monograph**. 647-674, 2008.
- FRIZZONE, J. A., FREITAS, P. S. L., REZENDE, R.; FARIA, M. A. **Microirrigação: gotejamento e microaspersão**. Maringá, PR: Eduem. 2012.

GALATI, V. C. **Crescimento e acúmulo de nutrientes em quiabeiro ‘Santa Cruz 47’.**

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista - UNESP, Jaboticabal, 2010, 26 p.

GALLARDO, M.; THOMPSON, R. B.; LOPEZ-TORAL, J. R.; FERNANDEZ, M. D.;

GRANADOS, R. Effect of applied N concentration in a fertigated vegetable crop on soil solution nitrate and nitrate leaching loss. **Acta Horticulturae**. 700. P. 221-224. 2006.

GARCIA, A.; BOUHID ANDRE, R. G.; FERREIRA, M. I.; PAÇO, T. de. Comparação de modelos para avaliação do estresse hídrico em cultura de nectarinas. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Sete Lagoas, v. 8, n. 1, p. 43–48, 2000.

GERALDSON, C. M.; TAYLER, K. B. Soil Testing And Plant Analysis. Madison, WI: Soil Science Society America, v. 3rd edn, n. Ed. R. L. Westerman. Madison, WI: **Soil Science Society America**, p. 549–562, 1990.

GIANQUINTO, G.; GOFFART, J. P.; OLIVIER, M.; GUARDA, G.; COLAUZZI, M.; COSTA, L. D.; VEDOVE, G. D.; VOS, J.; MACKERRON, D. K. L. The use of hand-held chlorophyll meters as a tool to assess the nitrogen status and to guide nitrogen fertilization of potato crop. **Agronomie, Centre de Recherches Ecology, Weed**, v. 47, p. 35–80, 2004.

GIANQUINTO, G.; ORSINI, F.; FECONDINI, M.; MEZZETTI, M.; SAMBO, P.; BONA, S. A methodological approach for defining spectral indices for assessing tomato nitrogen status and yield. **European Journal of Agronomy**, v. 35, n. 3, p. 135–143, 2011.

GIANQUINTO, G.; SAMBO, P.; BORSATO, D. Determination of SPAD Threshold Values for the Optimisation of Nitrogen Supply in Processing Tomato. *Acta Agriculturae*, June 7-10. 2006.

GIL, P. T. De; CEZAR, P.; FONTES, R.; CECON, P. R.; FERREIR, F. A. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 1999, p. 611–615, 2002.

GIRDEN, E. R. ANOVA: repeated measures. In: Sage University Paper Series on Quantitative Applications in the Social Sciences. Sage Publications Inc., Newbury Park, California, USA, p. 07–084. 1992.

GOFFART, J. P.; OLIVIER, M.; FRANKINET, M. Potato Crop Nitrogen Status Assessment to Improve N Fertilization Management and Efficiency : **Past – Present – Future**. p. 355–383, 2008.

GONÇALVES, C.; CASTRO, C. E. F.; AZEVEDO FILHO, J. A.; TAGLIACCOZZO, G. M. D. Evaluation of Costus species and their use as indoor potted-plants. **Acta Horticulturae**, Leuven, Bélgica, v. 683, p. 319-325, 2005.

GRANADOS, R. Effect of applied N concentration in a fertigated vegetable crop on soil solution nitrate and nitrate leaching loss. **Acta Horticulturae**, v. 700, p. 221–224, 2006.

- GROFF, E. C.; NANNI, M. R.; POVH, F. P.; CEZAR, E. Características agronômicas associadas com índices de vegetação medidos por sensores ativos de dossel na cultura da soja. **Semina: Ciencias Agrarias**, v. 34, n. 2, p. 517–526, 2013.
- GRUSZYNSKI, C. Produção comercial de crisântemos: vaso, corte e jardim. **Guaíba: Agropecuária**, 2001. 166 p.
- GUERRERO, A. C.; FERNANDES, D. M.; LUDWIG, F. Acúmulo de nutrientes em gérbera de vaso em função de fontes e doses de potássio. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 2, p. 201–208, 2012.
- GULER S; BUYUK G. Relationships among chlorophyll-meter reading value, leaf N and yield of cucumber and tomatoes. **Acta Horticulturae**. v. 729, p. 307-311. 2007.
- HATFIELD, J. L.; GITELSON, A. A.; SCHEPERS, J. S.; WALTHALL, C. L. Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. **Agronomy Journal**, v. 100, n. 3 SUPPL., 2008.
- HENDRY, G. A. F.; PRICE, A. H. Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. In: HENDRY, G. A. F.; GRIME, J. P. (Ed.). **Methods in comparative plant ecology**. London: Chapman & Hall, 1993. p. 148-152.
- HENRIQUE, P. de C.; ALVES, J. D.; DEUNER, S.; GOULART, P. de F. P.; DO LIVRAMENTO, D. E. Aspectos fisiológicos do desenvolvimento de mudas de café cultivadas sob malhas de diferentes colorações. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 46, n. 5, p. 458–465, 2011.
- HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. The water culture method for growing plants without soils. Berkeley: **California Agricultural Experimental Station**, 1950. 347p.
- HOCHMUTH, G. J. Efficiency ranges for nitrate-nitrogen and potassium for vegetable petiole sap quick tests. **HortTechnology**, v. 4, n. 3, p. 218–222, 1994.
- HOEL, B. O. Chlorophyll Meter Readings in Winter Wheat: Cultivar Differences and Prediction of Grain Protein Content. **Acta Agriculturae Scandinavica**, Section B — Soil & Plant Science, v. 52, n. 4, p. 147–157, 2002.
- HOEL, B. O.; SOLHAUG, K. A. Effect of Irradiance on Chlorophyll Estimation with the Minolta SPAD-502 Leaf Chlorophyll Meter. **Annals of Botany**, v. 82, n. 3, p. 389–392, 1998.
- IBRAFLOR - INSTITUTO BRASILEIRO DE FLORICULTURA. Números do setor: Gargalos da floricultura. Campinas: IBRAFLOR, 2015. Disponível em: <http://www.ibraflor.com/ns_mer_interno.php>. Acesso em: 18 abr. 2017.

- IDSO, S. B.; JACKSON, R. D.; PINTER, P. J.; REGINATO, R. J.; HATFIELD, J. L. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. **Agricultural Meteorology**, v.24, p.45-55, 1981.
- JACKSON, R. D. Canopy temperature and crop water stress. In: HILLEL, D. **Advances in irrigation**. New York: Academic Press, p. 43-85, 1982.
- JACKSON, R. D.; KUSTAS, W.P.; CHOUDHURY, B. J. A reexamination of the crop water stress index. **Irrigation Science**, v. 9, n 4, p. 309-317, 1988.
- JACKSON, R. D.; IDSO, S. B.; REGINATOR, R. J.; PINTER, P. J. Canopy temperature as a crop water stress indicator. **Water Resources Research**, Washington, v. 17, n. 4, p. 1133-1138, 1981.
- JIN, S. H.; HUANG, J. Q.; LI, X. Q.; ZHENG, B. S.; WU, J. Sen; WANG, Z. J.; LIU, G. H.; CHEN, M. Effects of potassium supply on limitations of photosynthesis by mesophyll diffusion conductance in *Carya cathayensis*. **Tree Physiology**, v. 31, n. 10, p. 1142–1151, 2011.
- JUNQUEIRA, A. H.; PEETZ, M. S. Setor produtivo de flores e plantas ornamentais do Brasil, no período de 2008 a 2013: atualizações, balanços e perspectivas. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**. v. 20, p. 115-120. 2014.
- KANO, C.; CARDOSO, A. I. I.; VILLAS BÓAS, R. L. Influência de doses de potássio nos teores de macronutrientes em plantas e sementes de alface. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 3, p. 287-291, 2010.
- KARA, B.; MUJDECI, M. Influence of late-season nitrogen application on chlorophyll content and leaf area index in wheat. **Scientific Research and Essays**, v. 5, n. 16, p. 2299-2303, 2010.
- KAPP JUNIOR, C.; GUIMARÃES, A. M.; CAIRES, E. F. Use of active canopy sensors to discriminate wheat response to nitrogen fertilization under no-tillage. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 5, p. 886–894, 2016.
- KASPERBAUER, M. J.; HAMILTON, J. L. Chloroplast structure and starch grain accumulation in leaves that received different red and far red levels during development. **Plant Physiology**, v. 74, p. 967–970, 1984.
- KASPERBAUER, M. J.; PEASLEE, D. E. Morphology and photosynthetic efficiency of tobacco leaves that received end-of-day red and far red light during development. **Plant physiology**, v. 52, n. 5, p. 440–442, 1973.
- KIPP, S.; MISTELE, B.; SCHMIDHALTER, U. The performance of active spectral reflectance sensors as influenced by measuring distance, device temperature and light intensity. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 100, p. 24–33, 2014.

- KIRKHAM, M. B. **Principles of soil and water plant relations**. San Diego: Academic Press, 2014. 500 p.
- KITTAS, C.; BAILLE, A.; GIAGLARAS, P. Influence of covering material and shading on the spectral distribution of light in greenhouse. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 73, p. 341-351, 1999.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531p.
- LAWLOR, D. W. **Principles of plant nutrition**. 5th edition. 2001. 849 p.
- LEITE, C. A. **Utilização de malhas coloridas na produção de flores de alta, média e baixa exigência em radiação solar**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, SP. 2006. 99 p.
- LEITE, C. A.; ITO, R. M.; GERALD, T. C.; FAGNANI, M. A. Manejo do espectro de luz através de malhas coloridas visando o controle do crescimento e florescimento de *Phalaenopsis*. 2005. Disponível em: <www.polisack.com.br>. Acesso em: 15 mar. 2015.
- LEBOURGEOIS, V.; CHOPART, J.L.; BÉGUÉ, A.; Le MÉZO, L. Towards using a thermal infrared index combined with water balance modelling to monitor sugarcane irrigation in a tropical environment. **Agricultural Water Management, Amsterdam**, v. 97, p. 75-82, 2010.
- LI, J. C. Uso de mallas en invernaderos. **Horticultura Internacional**, n. n. extra, p. 86–91, 2006.
- LIMA, C. J. G. de S. **Manejo de fertirrigação no cultivo de roseiras em ambiente protegido**. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, São Paulo. 2013. 168 p.
- LIN, K. H.; HUANG, M. Y.; HUANG, W. D.; HSU, M. H.; YANG, Z. W.; YANG, C. M. The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. capitata). **Scientia Horticulturae**, v. 150, p. 86–91, 2013.
- LIU, W.; ZHU, D. W.; LIU, D. H.; GENG, M. J.; ZHOU, W. B.; MI, W. J.; YANG, T. W.; HAMILTON, D. Influence of nitrogen on the primary and secondary metabolism and synthesis of flavonoids in chrysanthemum morifolium ramat. **Journal of Plant Nutrition**, v. 33, n. 2, p. 240–254, jan. 2010.
- LOGES, V.; TEIXEIRA M. C.; CASTRO A. C.; COSTA, A. S. Colheita, pós-colheita e embalagem de flores tropicais em Pernambuco. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF. v. 23, p. 699-702. 2005.
- LUDWIG, F.; FERNANDES, D. M.; MOTA, P. R. D.; VILLAS BÔAS, R. L. Macronutrientes em cultivares de gérbera sob dois níveis de fertirrigação. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 068-073, 2008.

- MA, B. L.; DWYER, L. M. Determination of nitrogen status in maize senescing leaves. **Journal of Plant Nutrition**, v. 20, n. 1, p. 1–8, jan. 1997.
- MADEIRA, A. C.; FERREIRA, A.; DE VARENNES, A.; VIEIRA, M. I. SPAD Meter Versus Tristimulus Colorimeter to Estimate Chlorophyll Content and Leaf Color in Sweet Pepper. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 34, n. 17–18, p. 2461–2470, 2003.
- MAGIOTTO, S.R. **Estimativa da evapotranspiração de referência pelo uso da termometria ao infravermelho**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996. 71 p.
- MALAVOLTA, E; VITTI G. C; OLIVEIRA S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2 ed.** Piracicaba: POTAFOS (Associação Brasileira para Pesquisa de Potássio e do Fósforo), 1997. 317p.
- MANZANO-AGUGLIARO, F.; CANERO-LEON, R. Economics and environmental analysis of Mediterranean greenhouse crops. **African Journal of Agricultural Research**, v. 5, n. 22, p. 3009–3016, 2010.
- MARENCO RA; LOPES NF. 2005. **Fisiologia Vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. 2. ed.** Viçosa: UFV. 439p.
- MCMAHON, M. J.; KELLY, J. W. Anatomy and pigments of chrysanthemum leaves developed under spectrally selective filters. **Scientia Horticulturae**, v. 64, n. 3, p. 203–209, 1995.
- MEDEIROS, P. R. F. **Manejo da fertirrigação em ambiente protegido visando o controle da salinidade para a cultura do tomate em solo franco-argiloso**. Tese (doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba – SP. 2010. 85 p.
- MEIRELLES, A. J. A.; PAIVA, P. D. D. O.; OLIVEIRA, M. I. De; TAVARES, T. S. Influência de diferentes sombreamentos e nutrição foliar no desenvolvimento de mudas de Palmeiras Ráfia *Rhapis excelsa* (Thunberg) Henry ex. Rehder. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 6, p. 1884–1887, 2007.
- MELO, A. A. M.; ALVARENGA, A. A. de. Sombreamento de plantas de *Catharanthus roseus* (L.) G. Don “Pacífica White” por malhas coloridas: Desenvolvimento vegetativo. **Ciencia e Agrotecnologia**, v. 33, n. 2, p. 514–520, 2009.
- MERIDA, D. **Desenvolvimento e produção de *Costus productus* Maas como planta de vaso em função de doses de nitrogênio**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2013. 24 p.
- MERON, M.; SPRINTSIN, M.; TSIPRIS, J.; ALCHANATIS, V.; COHEN. Foliage temperature extraction from thermal imagery for crop water stress determination. **Precision Agriculture**, v. 14, n 5, p. 467-477, 2013.

- MEURER, E. J. Potássio. In: Fernandes, M. S., Ed., **Nutrição mineral de plantas**. Sociedade Brasileira de Ciência do solo, Viçosa, 281-299. 2006.
- MIN, J.; ZHAO, X.; SHI, W. M.; XING, G. X.; ZHU, Z. L. Nitrogen Balance and Loss in a Greenhouse Vegetable System in Southeastern China. **Pedosphere**, v. 21, n. 4, p. 464–472, 2011.
- MONJE, O. A.; BUGBEE, B. Inherent limitations of nondestructive chlorophyll meters: a comparison of two types of meters. **HortScience**, v. 27, n. 1, p. 69–71, 1992.
- MONOSTORI, I.; ÁRENDÁS, T.; HOFFMAN, B.; GALIBA, G.; GIERCZIK, K.; SZIRA, F.; VÁGÚJFALVI, A. Relationship between SPAD value and grain yield can be affected by cultivar, environment and soil nitrogen content in wheat. **Euphytica**, v. 211, n. 1, p. 103–112, 2016.
- MORGAN, D. C.; SMITH, H. Simulated sunflecks have large, rapid effects on plant stem extension. **Nature**, London, v. 273, p. 534-536, June 1978.
- MOURA, A. R. C.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; AZEVEDO, J. R. G.; SILVA, B. B.; OLIVEIRA, L. M. M. Evapotranspiração de referência baseada em métodos empíricos em bacia experimental no Estado de Pernambuco - Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 2, p. 181–191, 2013.
- MULLA, D. J. Twenty-five years of remote sensing in precision agriculture: Key advances and remaining knowledge gaps. **Biosystems Engineering**, v. 114, n. 4, p. 358–371, 2013.
- MURARO, D.; NEGRELLE, R. R. B.; CUQUEL, F. L. Market management: the impact on the development of an ornamental plants supply chain in Curitiba, Brazil. **Ciencia e Investigação Agrária**, v. 42, n. 3, p. 453–460, 2015.
- MURDOCK, L.; JONES, S.; BOWLEY, C.; NEEDHAM, P.; JAMES, J.; HOWE, P. Using a Chlorophyll Meter to Make Nitrogen Recommendations on Wheat. **Cooperative Extension Service**, University of Kentucky, Lexington, KY, p. 170, 1997.
- NACHTIGALL, G. R.; RAIJ, B. V. **Análise e interpretação do potássio no solo**. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Ed.). Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa de Potássio e do Fósforo, cap. 5, p.93-118. 2005.
- NASCIMENTO, J. G. Malhas coloridas de sombreamento e soluções nutritivas de fertirrigação na cultura da gérbera (*Gerbera jamesonii*) em ambiente protegido. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, SP. 2018. 95 p.
- NOMURA, E. S.; LIMA, J. D.; FUZITANI, E. J. Crescimento e produção de antúrio cultivado sob diferentes malhas de sombreamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 1394-1400, 2009.

- NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007, 1017p.
- OLIVEIRA, J. M.; GRZYBOVSKI, S. R.; SANTOS, A. C. Estratégia de competitividade do mercado de flores e plantas ornamentais: um estudo multifocal. **Conexão Ciência**, v. 6, p. 144-164. 2011.
- OLIVEIRA, F. A.; DUARTE, S. N.; MEDEIROS, J. F.; DIAS, N. DA S.; SILVA, R. C. P.; LIMA, C. J. G. S. Manejos da fertirrigação e doses de N e K no cultivo de pimentão em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.1152-1159, 2013.
- OLIVIER, M.; GOFFART, J. Threshold value for chlorophyll meter as decision tool for nitrogen management of potato. **Agronomy Journal**, v. 98, p. 496–506, 2006.
- OREN-SHAMIR, M.; GUSSAKOVSKY, E.E.; SHPIEGEL, E.; NISSIM-LEVI, A.; RATNER, K.; SHAHAK, Y. Coloured shade nets can improve the yield and quality green decorative branches of *Pittosporum variegatum*. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Ashford, v. 76, p. 353-361, 2001.
- PADILLA, F. M.; PE, M. T.; GALLARDO, M.; THOMPSON, R. B. Determination of sufficiency values of canopy reflectance vegetation indices for maximum growth and yield of cucumber. **European Journal of Agronomy**. v. 84, p. 1–15, 2017.
- PADILLA, F. M.; PEÑA-FLEITAS, M. T.; GALLARDO, M.; THOMPSON, R. B. Evaluation of optical sensor measurements of canopy reflectance and of leaf flavonols and chlorophyll contents to assess crop nitrogen status of muskmelon. **European Journal of Agronomy**, v. 58, p. 39–52, 2014.
- PADILLA, F. M.; PEÑA-FLEITAS, M. T.; GALLARDO, M.; THOMPSON, R. B. Threshold values of canopy reflectance indices and chlorophyll meter readings for optimal nitrogen nutrition of tomato. **Annals of Applied Biology**, v. 166, n. 2, p. 271–285, 2015.
- PAES, L. S.; MENDONÇA, M. S.; CASAS, L. L. Aspectos Estruturais e Fitoquímicos de partes vegetativas de *Costus spicatus* (Jacq.) Sw. (Costaceae). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**. Campinas, v. 15, n. 3, p. 380-390, 2013.
- PANDORFI, C. G. **Microclima na produção de gérbera em ambiente protegido com diferentes tipos de cobertura**. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba – SP. 2006. 96f.

- PARDOSSI, A.; TOGNONI, F.; INCROCCI, L. **Mediterranean Greenhouse Technology**, 2004.
- RIGON, J. P. G.; CAPUANI, S.; BELTRÃO, N. E. M.; BRITO NETO, J. F.; SOFIATE, V.; FRANÇA, F. V. Non-destructive determination of photosynthetic pigments in the leaves of castor oil plants. **Acta Scientiarum**. p. 325–329, 2012.
- PAULINO, A. S. **Cultivo de Heliconia Golden Torch sob diferentes fontes e doses de silício**. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2012, 31 p.
- PEDÓ, T.; MARTINAZZO, E. G.; AUMONDE, T. Z.; CAPPELLARI, M. R.; SOUZA, V. L. de; SOUZA, E. A. de; VILLELA, F. A.; LOPES, N. F.; MAUCH, C. R. Adubação nitrogenada e sua relação à biometria e partição de assimilados em plantas de rabanete cultivar “Comprido de Ponta Branca”. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v. 7, n. 3, p. 31–36, 2013.
- PEÑA-FLEITAS, M. T.; GALLARDO, M.; THOMPSON, R. B.; FARNESELLI, M.; PADILLA, F. M. Assessing crop N status of fertigated vegetable crops using plant and soil monitoring techniques. **Annals of Applied Biology**, v. 167, n. 3, p. 387–405, 2015.
- PERKAMPUS, H. H. UV-VIS Spectroscopy and its applications. Berlin: **Springer-Verlag**, 1992.
- PEREIRA, L. G. **Produção de hastes florais de gérbera submetidas a diferentes tensões de água no solo**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 2013. 69 p.
- PINTER, P. J., HATFIELD, J. L., SCHEPERS, J. S., BARNES, E. M., MORAN, M. S., DAUGHTRY, C. S.; UPCHURCH, D. R. Remote sensing for crop management. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 69, 647–664, 2003.
- PONS, T. L.; BERKEL, Y. E. M. J. van. Species-specific variation in the importance of the spectral quality gradient in canopies as a signal for photosynthetic resource partitioning. **Annals of Botany**, London, v. 94, n. 5, p. 725–732, Nov. 2004.
- PÔRTO, M. L.; PUIATTI, M.; FONTES, P. C. R.; CECON, P. R.; ALVES, J. C.; ARRUDA, A. A. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio na cultura da abobrinha. **Horticultura Brasileira**, v. 29, p. 311–315, 2011.
- PÔRTO, M. L.; PUIATTI, M.; FONTES, P. C. R.; CECON, P. R.; ALVES, J. C. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio na cultura do pepino japonês em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 3, p. 292–296, 2014.
- PULIDO-BOSCH, A.; BENSI, S.; MOLINA, L.; VALLEJOS, A.; CALAFORRA, J. M.; PULIDO-LEBOEUF, P. Nitrates as indicators of aquifer interconnection. Application to the Campo de Dalias (SE - Spain). **Environmental Geology**, v. 39, n. 7, p. 791–799, 2000.

- QI, X.-H.; XU, X.-W.; LIN, X.-J.; ZHANG, W.-J.; CHEN, X.-H. Identification of differentially expressed genes in cucumber (*Cucumis sativus* L.) root under waterlogging stress by digital gene expression profile. **Genomics**, v. 99, n. 3, p. 160–168, 2012.
- QUADROS, B. R.; SILVA, E. de S.; SILVA BORGES, L.; ARAÚJO MOREIRA, C.; MORO, A. L.; BÔAS, R. L. V. Doses de Nitrogênio na Produção de rabanete fertirrigado e determinação de clorofila por medidor portátil nas folhas. **Irriga**, v. 15, n. 4, p. 353–360, 2010.
- RAJCAN, I.; DWYER, L. M.; TOLLENAAR, M. Note on relationship between leaf soluble carbohydrate and chlorophyll concentrations in maize during leaf senescence. **Field Crops Research**, v. 63, n. 1, p. 13-17, 1999.
- RECHE-MÁRMOL, J. **Cultivo del pepino en invernadero**. Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino. 2011. 50p.
- RITZINGER, C. H. S. P.; FANCELLI, M.; RITZINGER, R.; COELHO FILHO, M. A. Avaliação da Qualidade do Solo e Sanidade das Plantas utilizando Método Participativo. **Embrapa**, p. 956–963, 2009.
- RODRIGUES, T. M.; RODRIGUES, C. R.; PAIVA, R.; FAQUIN, V.; PAIVA, P. D. de O.; PAIVA, L. V. Níveis de potássio em fertirrigação interferindo no crescimento/desenvolvimento e qualidade do crisântemo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 4, p. 1168–1175, 2008.
- SAMBORSKI, S. M.; GOZDOWSKI, D.; WALSH, O. S.; LAMB, D. W.; STEPIEŃ, M.; GACEK, E. S.; DRZAZGA, T. Winter wheat genotype effect on canopy reflectance: Implications for using NDVI for in-season nitrogen topdressing recommendations. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 6, p. 2097–2106, 2015.
- SAMBORSKI, S. M., TREMBLAY, N., FALLON, E. Strategies to make use of plant sensors-based diagnostic information for nitrogen recommendations. **Agronomy journal**, v. 101, n. 4, 800–816. 2009.
- SANDOVAL-VILLA, M.; GUERTAL, E. A.; WOOD, C. W. Tomato leaf chlorophyll meter readings as affected by variety, nitrogen form, and nighttime nutrient solution strength. **Journal of Plant Nutrition**, v. 23, n. 5, p. 649–661, 2000.
- SANMARTIN, J. P.; ACEVEDO, E. **Temperatura de canopia, CWSI e rendimento en genotipos de trigo**. Laboratorio de Relación Suelo-Água-Planta. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. 2001. 58 p.
- SCARANARI, C.; LEAL, P. A. M.; PELLEGRINO, G. Q. Simulations of Microclimate in Greenhouses Aiming the Acclimatization. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 30, n. 4, p. 1001–1008, 2008.

- SCHEPERS, J. S.; BLACKMER, T. M.; WILHELM, W. W.; RESENDE, M. Transmittance and reflectance measurements of corn leaves from plants with different nitrogen and water supply. **Journal of Plant Physiology**, v. 148, n. 5, p. 523–529, 1996.
- SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D. D.; VIGIL, M.; BELOW, F. E. Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 23, n. 17–20, p. 2173–2187, nov. 1992.
- SCHLICHTING, A. F.; BONFIM-SILVA, E. M.; SILVA, M. D. C.; PIETRO-SOUZA, W.; SILVA, T. J. A.; FARIAS, L. N. Efficiency of portable chlorophyll meters in assessing the nutritional status of wheat plants. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 12, p. 1148–1151, 2015.
- SCHOFFEL, E. R.; VOLPE, C. A. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela soja para a produção de fitomassa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Sete Lagoas, v. 9, p. 241–249, 2001.
- SEMBIRING, H.; LEES, H. L.; RAUN, W. R.; JOHNSON, G. V.; SOLIE, J. B.; STONE, M. L.; DELEON, M. J.; LUKINA, E. V.; COSSEY, D. A.; LARUFFA, J. M.; WOOLFOLK, C. W.; PHILLIPS, S. B.; THOMASON, W. E. Effect of growth stage and variety on spectral radiance in winter wheat. **Journal of Plant Nutrition**, v. 23, n. 1, p. 141–149, jan. 2000.
- SENGE, M. O.; WIEHE, A.; RYPPA, C. Synthesis, reactivity and structure of chlorophylls. In: GRUMM, B.; PORRA, R. J.; RÜDGER, W.; SCHEER, H. (Ed.). *Chlorophylls and Bacteriochlorophylls: biochemistry, biophysics, functions and applications*. Dordrecht: **Springer Science**, 2006. p. 27-37.
- SENTELHAS, P. C. **Estimativa diária da evapotranspiração de referência com dados de estação meteorológica convencional e automática**. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998. 97p.
- SHAHAK, Y.; LAHAV, T.; SPIEGEL, E.; PHILOSOPH-HADAS, S.; MEIR, S.; ORENSTEIN, H.; GUSSAKOVSKY, E.; RATNER, K.; GILLER, Y.; SHAPCHISKY, S.; ZUR, N.; ROSENBERGER, I.; GAL, Z.; GANELEVIN, R.; TEL-ZUR, N. Growing *Aralia* and *Monstera* under colored shade nets. **Olam Poreah July Issure**, v. 13, n. 1, p. 60-62, 2002.
- SHAHAK, Y.; GUSSAKOVSKY, E. E.; COHEN, Y.; LURIE, S.; STERN, R.; KFIR, S.; NAOR, A.; ATZMON, I.; DORON, I.; GREENBLAT-AVRON, Y. ColorNets: A new approach for light manipulation in fruit trees. **Acta Horticulturae**, v. 636, p. 609–616, 2004.
- SHAHAK, Y.; GUSSAKOVSKY, E. E.; GAL, E.; GAELEVIN, R. Colornets: crop protection and light-quality manipulation in one technology. **Acta Horticulturae**, v.659, p.143-161, 2004.

- SHAHAK, Y. Photo-selective netting for improved performance of horticultural crops. A review of ornamental and vegetable studies carried out in Israel. **Acta Horticulturae**, p. 161-168. 2006.
- SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; AZEVEDO NETO, A. D.; SANTOS, V. F. Comportamento estomático e potencial da água da folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico. **Acta botânica brasileira**. Porto Alegre, v.17, n.2, p.231-246. 2003.
- SILVA, L. M.; ALQUINI, Y.; CAVALLET, V. J. Interrelações entre a anatomia vegetal e a produção vegetal. **Acta Botanica Brasilica**, vol. 19, n. 1, p. 183–194. 2005.
- SILVA, M. C. C.; FONTES, P. C. R.; MIRANDA, G. V. Índice SPAD e produção de batata, em duas épocas de plantio, em função de doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v. 27, p. 17–22, 2009.
- SILVA, C. R. M. da; SILVEIRA, M. H. D. Fertirrigação da cultura do rabaete com diferentes dosagens de nitrogênio. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 8, n. 15, p. 946–953, 2012.
- SILVA, E. M. **Cultivo de roseira em ambiente protegido sob níveis de salinidade do solo e relações nitrogênio:potássio**. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 2013. 94 p.
- SILVA JUNIOR, J.M.; CASTRO, E.M.; RODRIGUES, M.; PASQUAL, M.; BERTOLUCCI, S.K.V. Variações anatômicas de *Laelia purpurata* var. *cárnea* cultivada in vitro sob diferentes intensidades e qualidade de luz espectral. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 3, p. 480-486, 2012.
- SIMPSON, M. G. Diversity and Classification of flowering plants. **Plant Systematics**. Elsevier Academic Press, 590p. 2006.
- SIQUEIRA, C. V. A. **Adequação de coroa-de-cristo (*Euphorbia milii* Des Moulins) como planta de vaso**. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agronômico de Campinas, 2009, 24 p.
- SIQUEIRA, C. V. V. **Coroa-de-cristo (*Euphorbia milii* des Moulins) como planta de vaso**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produção Agrícola) – Instituto Agronômico, 2009. 51 p.
- SMITH, H. Phytochromes and light signal perception by plants – an emerging synthesis. **Nature**, London, v.407, p. 585-591, 2000.
- SOLARI, F.; SHANAHAN, J.; FERGUSON, R.; SCHEPERS, J.; GITELSON, A. Active sensor reflectance measurements of corn nitrogen status and yield potential. **Agronomy Journal**, v. 100, n. 3, p. 571–579, 2008.

- SOUSA NETO, O. N. **Limites de umidade e concentrações de potássio na solução do solo no cultivo do lisianthus (*Eustoma grandiflorum*) fertirrigado em ambiente protegido.** Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2017. 112 p.
- SOUZA, G. S.; SILVA, J. S.; SANTOS, A. R.; GOMES, D. G.; OLIVEIRA, U. C. Crescimento e produção de pigmentos fotossintéticos em Alfavaca cultivada sob malhas coloridas e adubação fosfatada. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v.7, n.13, p. 296-306, 2011.
- SRIPADA, R. P., HEINIGER, R. W., WHITE, J. G.; WEISZ, R. Aerial color infrared photography for determining late-season nitrogen requirements in corn. **Agronomy Journal**, 97, 1443e1451. 2006.
- SPECHET, C. D.; STEVENSON, D. W. A new phylogenybased generic classification of Costaceae (Zingiberales). **Taxonomy**, v. 55, n. 1, p. 153-163, 2006.
- STAMPS, R. H.; CHANDLER, A. L. Differential effects of colored shade nets on three cut foliage crops. **Acta Horticulturae**, v. 770, p. 169-176, 2008.
- STAGNARI, F.; GALIENE, A.; PISANTE, M. (2015). Shading and nitrogen management affect quality, safety and yield of greenhouse-grown leaf lettuce. *Scientia Horticulturae*, 192(31), 70-79.
- STINO, R. G.; ABDEL-WAHAB, S. M.; HABASHY, S. A.; KELANI, R. A. Productivity and fruit quality of three mango cultivars in relation to foliar sprays of calcium, Zinc, Boron or potassium. **Journal of Horticultural Science & Ornamental Plants**, v. 3, p. 91-98, 2011.
- STRECK, N. A.; BURIOL, G. A.; ANDRIOLO, J. L.; SANDRI, M. A. Influência da densidade de plantas e da poda apical drástica na produtividade do tomateiro em estufa de plástico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 7, p. 1105–1112, 1998.
- STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W. do; HECKTHEUER, L. H. H. As clorofilas. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, p. 748–755, 2005.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. 5.ed. Porto Alegre: Artimed, 2013. 918 p.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A.; MASTROBERTI, A. A.; OLIVEIRA, P. L. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. Porto Alegre: Artimed, 2017. 858 p.
- TESTI, L.; GOLDHAMER, D. A.; INIESTA, F. Crop water stress index is a sensitive water stress indicator in pistachio trees. **Irrigation Science**, New York, v.26, p.395-405, 2008.
- THOMPSON, R. B.; GALLARDO, M.; RODRÍGUEZ, J. S.; SÁNCHEZ, J. A.; MAGÁN, J. J. Effect of N uptake concentration on nitrate leaching from tomato grown in free-draining soilless culture under Mediterranean conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 150, p. 387–398, 2013.

- THOMPSON, R. B.; MARTÍNEZ-GAITAN, C.; GALLARDO, M.; GIMÉNEZ, C.; FERNÁNDEZ, M. D. Identification of irrigation and N management practices that contribute to nitrate leaching loss from an intensive vegetable production system by use of a comprehensive survey. **Agricultural Water Management**, v. 89, p. 261–274, 2007.
- TORRES, J. S.; SANTOS, K. B. **Produção e comercialização de floricultura tropical em Teresina, PI**. Resultados de pesquisas. Grupo de Estudo e Pesquisa em Floricultura Tropical (GEPFLORA), v.1, p.6-11, 2007.
- TSUNOYAMA, T.; MORIKAWA K.; SHII NA, T.; TOYOSHIMA, Y. Blue light specific and differential expressions of plastid sigma factor, Sig in, *Arabidopsis thaliana*. **Febs letter**, Netherlands, v. 516, n. 10, p. 225-228, Mar. 2002.
- TOYOMATSU, T.; KAWAIDE, H.; MITSUHASHI, W.; INOUE, Y.; KAMIYA, Y. Phytochrome Regulates Gibberellin Biosynthesis during Germination of Photoblastic Lettuce Seeds. **Plant Physiology**, v. 118, n. 4, p. 1517–1523, 1998.
- TREMBLAY, N.; WANG, Z.; CEROVIC, Z. G. Sensing crop nitrogen status with fluorescence indicators. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, n. 2, p. 451–464, 2012.
- TRENTIN, R. **Estimativa de um índice de estresse hídrico para a cultura da cana-de-açúcar com base na temperatura foliar**. Dissertação (M.S. em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010. 61 p.
- TRENTIN, R.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A.; STEIDLE NETO, A. J. Transpiração e temperatura foliar da cana-de-açúcar sob diferentes valores de potencial matricial. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 6, p. 1085–1095, 2011.
- ULISSI, V.; ANTONUCCI, F.; BENINCASA, P.; FARNESELLI, M.; TOSTI, G.; GUIDUCCI, M.; TEI, F.; COSTA, C.; PALLOTTINO, F.; PARI, L.; MENESATTI, P. Nitrogen concentration estimation in tomato leaves by VIS-NIR non-destructive spectroscopy. **Sensors**, v. 11, n. 6, p. 6411–6424, 2011.
- VETANOVETZ, R. P. Tissue analysis and interpretation. In: REED, D.W. Water, media and nutrition for greenhouse crops. **Batavia: Ball Publishing**, 1996. cap.9, p.197-219.
- VIANA, M. C. M.; FRERE, F. M.; GONÇALVES, L. D.; MASCARENHAS, M. H. T.; LARA, J. F. R.; ANDRADE, C. L. T.; PURCINO, H. M. A. Índice de clorofila na folha de alface submetida a diferentes doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. S86-S90. 2008.
- VIANA, E. M.; KIEHL, J. de C. Doses de nitrogênio e potássio no crescimento do trigo. **Bragantia**, v. 69, n. 4, p. 975–982, 2010.

- VIEIRA NETO, J.; GONÇALVES, P. A. S. Comunicação científica. **Horticultura Brasileira**, v. 34, n. 1, p. 126–129, 2016.
- WANG, X.; YANG, W.; WHEATON, A.; COOLEY, N.; MORAN, B. Automated canopy temperature estimation via infrared thermography: a first step towards automated plant water stress monitoring. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.73, n.1, p.74– 83, 2010.
- WANJURA, D. F.; UPCHURCH, D. R. Infrared thermometer calibration and viewing method effects on canopy temperature measurement. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 55, n. 3, p. 309-321, 1991.
- WOOD, C. W.; REEVES, D. W.; HIMELRICK, D. G. Relationships between chlorophyll meter readings and leaf chlorophyll concentration, N status, and crop yield: A review. **Proceedings of the Agronomy Society of New Zealand**, v. 23, p. 1–9, 1993.
- ZHAO, C.; WANG, J.; HUANG, W.; ZHOU, Q. Spectral indices sensitively discriminating wheat genotypes of different canopy architectures. **Precision Agriculture**, v. 11, n. 5, p. 557–567, 2010.
- ZHAO, D.; OOSTERHUIS, D. M.; BEDNARZ, C. W. Influence of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants. **Photosynthetica**, v. 39, n. 1, p. 103-109, 2001.
- ZOTARELLI, L.; SCHOLBERG, J. M.; DUKES, M. D.; MUÑOZ-CARPENA, R. Monitoring of nitrate leaching in sandy soils. **Journal of Environment Quality**, v. 36, n. 4, p. 953, 2007.

APÊNDICES

APÊNDICE A.

Figura 29. Umidades relativas médias máximas internas, registradas no interior das três malhas do ambiente protegido, e externa, obtida na Estação Experimental da Esalq, ao longo do ciclo da cultura.

Figura 30. Umidades relativas médias mínimas internas, registradas no interior das três malhas do ambiente protegido, e externa, obtida na Estação Experimental da Esalq, ao longo do ciclo da cultura.

Figura 31. Equações de regressão para as estimativas das umidades relativas máximas e mínimas para os ambientes das malhas vermelha (A e B), azul (C e D) e preta (E e F), respectivamente.

Figura 32. Estimativa da ETo e da ETc da cultura *Costus lasius* Loes. para o tratamento de malha vermelha.

Figura 33. Estimativa da ETo e da ETc da cultura *Costus lasius* Loes. para o tratamento de malha azul.

Figura 34. Estimativa da ETo e da ETc da cultura *Costus lasius* Loes. para o tratamento de malha preta.

APÊNDICE B.

Trabalho desenvolvido durante o Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior, Processo nº 88881,132126/2016-01, na Universidade de Almería, em Almería, Espanha.

Genotype effects on canopy reflectance and chlorophyll meter measurements in cucumber

1. Introduction

Cucumber has great social and economic importance among the vegetables grown and are greatly desired and consumed in all regions and countries. It stands out as one of the preferred by consumers, due to the taste and nutritional value of this vegetable (VIEIRA NETO; GONÇALVES, 2016). The coastal area of southeastern Spain is one of the largest concentrations of greenhouses in the world, with approximately 37,500 ha (MANZANO-AGUGLIARO; CANERO-LEON, 2010), and is mostly dedicated to the production of greenhouse vegetables (CLEMENT et al., 2013), where 7,000 ha are dedicated to cucumber crops (RECHE-MÁRMOL, 2011), demonstrating the importance of cucumbers agriculturally and economically (QI et al., 2012). Optimal N management that meets crop requirements while reducing N loss to the environment is required for intensive vegetable production because of increasing societal pressure to reduce the environmental problems associated with nitrate (NO_3^-) contamination of water bodies (ANDREWS; RAVEN; LEA, 2013; CAMERON; DI; MOIR, 2013).

The optimal management of nitrogen (N) is an increasingly important requirement for agriculture and intensive horticulture, due to the rising fertilizer prices and continued pressure from society to reduce the environmental problems associated with inappropriate management of nitrogen in crops (ANDREWS; RAVEN; LEA, 2013; CAMERON; DI; MOIR, 2013). Prediction of crop nitrogen (N) requirements is necessary for the protection of water resources against contamination and for efficient use of N-fertilizer (HOEL, 2002).

The excessive supply of N, and consequent loss of nitrate by leaching commonly occurs in intensive vegetable production, as reported in various regions such as the southeast (SE) Spain (PULIDO-BOSCH et al., 2000; GALLARDO et al., 2006), in Florida, USA (ZOTARELLI et al., 2007), in central Italy (BENINCASA; GUIDUCCI; TEI, 2011) and in China (MIN et al., 2011). Thus, there is a pressing need to improve the management of N in intensive vegetable production.

The evaluation of the N content in the plant throughout the cycle of a crop or at specific times, to detect N deficiency or excess, will enable correction of the amount or concentrations of nitrogen being applied by fertigation (THOMPSON et al., 2013). The use of regular monitoring

with on-going correction of the amount or concentration applied has been proposed as an effective approach for optimizing crop management of nitrogen (THOMPSON et al., 2013). This type of evaluation will be useful, particularly for crops grown in soil with fertigation and drip irrigation, which because of the frequent application of N provide the opportunity for quick corrective management (PEÑA-FLEITAS et al., 2015).

Several approaches have been considered for evaluating the nitrogen content in the plant; they range from relatively simple methods, based on analysis of the total N or the NO_3^- content of plant tissue, designated as being traditional methods, to sophisticated remote sensing approaches, such as the use of proximal optical sensors (FOX; WALTHALL, 2008; THOMPSON et al., 2013; PADILLA et al., 2014, 2015; SAMBORSKI et al., 2015). Traditional approaches include determining the concentration of NO_3^- in petiole sap (HOCHMUTH, 1994) and the total N content of leaf tissue (GERALDSON; TAYLER, 1990). For producers, the use of these traditional methods in the field is relatively simple, and there is no large initial purchase cost, as is the case with many proximal optical sensors. However, there is considerably laboratory work involved in these traditional methods and results do not come often at the time correction is needed.

The use of optical sensors to evaluate the nitrogen in the crop has been the subject of considerable research in recent years. Various approaches have been studied (FOX; WALTHALL, 2008; TREMBLAY; WANG; CEROVIC, 2012). There has been considerable work on the use of chlorophyll (Chl) meters (BLACKMER; SCHEPERS, 1995; ARREGUI et al., 2006), and canopy reflectance sensors (HATFIELD et al., 2008; SAMBORSKI; TREMBLAY; FALLON, 2009). A major advantage of canopy reflectance is that with continuous measurement and a relatively large field of view, it is possible to make rapid measurements of large areas of the crop, which provides a representative assessment of the crop.

One of the first sensors studied, early in the eighties, was the hand-held SPAD-502 leaf Chl meter which indirectly measures the Chl content per unit leaf area (MONJE; BUGBEE, 1992; FOX; WALTHALL, 2008) measuring as transmissions light at 650 nm, where light absorption per molecule of Chl occurs, and a 940 nm, where no absorption occurs (GIL et al., 2002; FERREIRA et al., 2006). The SPAD-502 allows quick and easy measurement on plant leaves without damaging the leaf. The Chl content in leaves is regarded being related to the nitrogen content in the plant (SCHEPERS et al., 1996), and can identify deficiency, toxicity and adequate concentration of N (GIL et al., 2002). Measurements with Chl meters have been shown to be sensitive to differentiate the N nutrition in many different crops, such as maize (BLACKMER; SCHEPERS, 1995), potato (GIL et al., 2002; GIANQUINTO et al., 2004; GOFFART; OLIVIER; FRANKINET, 2008; SILVA; FONTES; MIRANDA, 2009; COELHO et al., 2010), tomato (FERREIRA et al., 2006;

GIANQUINTO; SAMBO; BORSATO, 2006; GULER; BUYUK, 2007; ULISSI et al., 2011; PADILLA et al., 2015), sweet pepper (MADEIRA et al., 2003), garlic (BACKES et al., 2008), muskmelon (PADILLA et al. 2014) and cucumber (PÔRTO et al., 2014), and can be efficient for other crops as well.

The Crop Circle ACS-470 (Holland Scientific Inc., Lincoln, NE, USA) is an active crop canopy reflectance sensor (SOLARI et al., 2008) that measures reflectance of three different wavelengths. A unique feature built into the ACS-470 sensor is that it enables the user to change the filters that determine which wavelengths are measured. This allows the instrument to be customized to a particular spectral detection application. Its spectral configuration is performed with the use of standard interference filters of 12.5 mm diameter. Several vegetation indices can be calculated from reflectance data of the different wavelengths, like the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI), Red Ratio Vegetation Index (RRVI), Green Ratio Vegetation Index (GRVI).

Some studies demonstrated the efficiency of the use vegetation indices for determining crop N in wheat (LIU et al., 2010; KAPP JUNIOR; GUIMARÃES; CAIRES, 2016), soy (GROFF et al., 2013), cereal crops (FOX; WALTHALL, 2008), potato (OLIVIER; GOFFART, 2006) and in horticultural species like muskmelon (PADILLA et al., 2014), tomato (GIANQUINTO et al., 2011; PADILLA et al., 2015), broccoli (EL-SHIKHA et al., 2007) and cucumber (LIU et al., 2010; PADILLA et al., 2017).

The combined fertigation and drip irrigation systems used in the greenhouse system of Almería and elsewhere provides the technical capacity to apply the exact amount and concentration of nitrogen to crops, as required by the crop, in small frequent applications. Currently, producers use standard recipes to manage nitrogen and are not taking advantage of this technical capacity for precise nutrient management. In order to take full advantage of this technical capacity, a technique or combination of techniques for monitoring the N status of crops is required. Such tools will allow rapid correction of N supply, thus ensuring optimal N status of crops.

Chlorophyll content can be easily affected by many factors, including plant genotype and N content of the plant, which can affect Chl meter readings and reflectance data (FOLLETT; FOLLETT; HALVORSON, 1992; SANDOVAL-VILLA; GUERTAL; WOOD, 2000). The genetic and environmental factors may influence the greenness of the leaves, this way, differences between species, cultivars and stages of growth are expected (WOOD; REEVES; HIMELRICK, 1993). Relevant features of the plant-specific genotype include leaf density, leaf Chl content, light reflection on leaf surface, diffraction of light within mesophyll (MONJE; BUGBEE, 1992; HOEL;

SOLHAUG, 1998; BALASUBRAMANIAN et al., 2000) and the presence or absence of a wax coating on the leaves (SAMBORSKI; TREMBLAY; FALLON, 2009).

The architecture of the canopy can also affect the spatial distribution of Chl in chloroplasts including the position of the leaf relative to the incident light (ZHAO et al., 2010). Differences in Chl values for different cultivars were found in several crops, such as soy (MA; DWYER, 1997; CRUSIOL et al., 2016), potato (Minotti et al., 1994), winter wheat (SEMBIRING et al., 2000; SAMBORSKI et al., 2015; MONOSTORI et al., 2016), corn (SCHEPERS et al., 1992) and wheat (SEMBIRING et al., 2000). It is thus challenging to suggest universal meter readings that indicates N sufficiency for all varieties of a specific crop (SANDOVAL-VILLA; GUERTAL; WOOD, 2000). For this reason, Murdock et al. (1997) suggested that readings should be calibrated for variety in order to be useful.

Works with reflectance and transmittance sensors on different crops like tomato (GULER; BUYUK, 2007; GIANQUINTO et al., 2011; ULISSI et al., 2011; PADILLA et al., 2015), sweet pepper (MADEIRA et al., 2003), garlic (BACKES et al., 2008) and muskmelon (PADILLA et al., 2014) shows the ability of these sensors for determining leaf or crop N content. Some varieties of cucumber have demonstrated positive responses regarding the determination of N content through nutritional monitoring with optical sensors (LIU et al., 2010; KIPP; MISTELE; SCHMIDHALTER, 2014; PADILLA et al., 2017), finding optimal sufficiency values for the proper management of N in the crop. However, research in different cucumber crops and cultivars about efficiency in response to the use of optical sensors and the evaluation of the N content of the plant leaf during intensive cultivation are still scarce. Further studies are needed to validate the sufficiency values already found (PADILLA et al., 2017).

The central aim of this study is to assess the genotype effect on sap analysis and two proximal optical sensors for the determination of leaf N content, using the SPAD-502 meter and Crop Circle ACS-470, in a cucumber crop grown in soil under greenhouse conditions in southeastern (SE Spain).

2. Material and Methods

2.1. Experimental site

A cucumber (*Cucumis sativus* L.) crop was cultivated in soil under similar conditions to those of the commercial production of intensive vegetables in SE Spain. This commercial system consists of protected cultivation of plant crops in low to medium plastic greenhouses throughout the Mediterranean Basin (PARDOSSI; TOGNONI; INCROCCI, 2004; CASTILLA, 2013). Cucumber is an important crop in this system and is commonly grown in soil from autumn to

spring (autumn crop) or from spring to summer (short spring crop). In this system, almost 50% of soil-grown crops are grown with combined drip irrigation and fertigation in which nutrients are applied in all irrigations (THOMPSON et al., 2007), and this percentage is rapidly increasing (CÉSPEDES LÓPEZ et al., 2009).

The experimental work was conducted in a plastic greenhouse at the Experimental Station of the University of Almería, located in Retamar, Almería, SE Spain, with geographic coordinates 36°51'N, 2°16'W, and altitude of 92 m. The greenhouse had a multi-span structure of galvanized steel with plastic walls and a roof of low density polyethylene (LDPE) tri-laminated film (200 m thickness). It had no heating, and it had passive ventilation (flap roof windows), an east–west orientation, with crop rows aligned north–south. The cropping area was 1327 m².

The soil was an artificial layered “enarenado” typical of the region (THOMPSON et al., 2007), which a 30 cm layer of loam soil, imported from a quarry, has been placed over the naturally occurring silt soil, and a 10 cm layer of fine gravel (mostly 2–5 mm diameter) was placed over the loam soil as mulch. Above-ground drip irrigation was used for combined irrigation and mineral fertilizer application (i.e. fertigation). Drip tape was arranged in paired lines with 0.8 m spacing between lines within each pair, 1.2 m spacing between adjacent pairs of lines, and 0.5 m spacing between drip emitters within drip lines, giving an emitter density of 2 emitters m⁻². The emitters had a discharge rate of 3 L h⁻¹. The coefficient of uniformity (CU) of the drip system was >90%.

The greenhouse was organized into a total of 36 plots, measuring 6 m by 3 m. There were three N treatments with four replicate plots per treatment. Each plot contained three paired lines of drip tape with 6 drip emitters in each line. One plant was positioned 6 cm from and immediately adjacent to each dripper, giving a plant density of 2 plants m⁻² and 36 plants per replicate plot. There were border areas along the edges of the greenhouse.

2.2. Cucumber crop and experimental treatments

Three different cucumber varieties were evaluated: Strategos (Syngenta International AG, Basel, Switzerland), Pradera, (Rijk Zwaan Zaadteelt en Zaadhandel B.V., De Lier, The Netherlands) and Mitre (Semillas Fitó, Barcelona, Spain). The cucumber crops were grown with a spring growing season. The crops were transplanted as 3-week-old seedlings on 30 March 2017 and grown until 15 June 2017 (77 days from transplanting). Before transplanting, a series of large irrigations were applied to leach residual soil NO₃⁻ and to homogenise the soil profile between sectors. For the first 4 days after transplanting (DAT), all seedlings were irrigated with water (0.1 mmolNL⁻¹).

The three experimental treatments consisted of three different N concentrations in the nutrient solution applied by fertigation from 5 DAT until the end of the crop. The N treatments

ranged from deficient to excessive. Average applied N concentrations ($\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$) during the treatment period (28–77 DAT) were 4.8, 9.8 and 20 mmolNL^{-1} for the very N deficient (N1), conventional N management (N2) and excessive N treatment (N3), respectively. The three different cucumber varieties were randomly subjected to these three experimental N treatments. Most of applied N was as NO_3^- (93%), the rest as ammonium (NH_4^+). Other than N, complete nutrient solutions were applied, to ensure that all other nutrients were not limiting. The soil mineral N content to 40 cm depth at transplanting was, on average, 159 kgNha^{-1} in N₁, 107 to N₂ plots, and 132 kgNha^{-1} in N₃ plots.

Local crop management practices were used; the crop was periodically pruned and was vertically supported by nylon cord guides to maintain an open canopy structure. Irrigation was scheduled to maintain the soil matric potential (SMP) in the root zone, at 15 cm depth, within –10 to –30 kPa; two tensiometers (Irrometer Co., Riverside, CA, USA) per treatment were used to measure SMP. Irrigation was applied every 1–2 days, adjusting for crop size and climate. Topping (the removal of the apical shoot to arrest stem elongation) was conducted at per plant at 56 DAT. High temperature within the greenhouse was controlled by white-washing the plastic cladding with applications of CaCO_3 suspension. The white-washing was maintained until the end of the crop.

2.3. Optical sensor measurements

Optical measurements of relative leaf Chl content were made with the hand-held leaf-clip SPAD-502 Chl meter (Minolta Camera Co. Ltd., Tokyo, Japan). For individual measurements, the SPAD measures a leaf surface area of 6 mm^2 . Measurements with this device commenced after commencement of experimental treatments (19 DAT) and were then repeated biweekly at the beginning of the crop and weekly from the middle of the crop to the end of the crop. Measurements were always made at the same time (8:00 h to 9:00 h solar time) on eight marked plants in each replicate plot, from four plants located in each of the two inner lines of plants in each plot. The value for each plot was the average of the eight measurements. For each plant, measurement was made on the most recently fully expanded and well-lit leaf, on the distal part of the adaxial side of the leaf, midway between the margin and the mid-rib of the leaf. Leaves with physical damage or with condensed water were not measured; alternative plants being selected. After topping and the associated cessation of new leaf production, measurements were made on the same leaf.

Measurements of canopy reflectance were made with the Crop Circle ACS-470 (Holland Scientific Inc., Lincoln, NE, USA) which is an active proximal reflectance sensor (SOLARI et al., 2008). Filters were selected to measure reflectance at 550nm (green), 670nm (red) and 760nm (near-

infrared, NIR). Measurements were made with the sensor directly horizontal to the crop rows (i.e. side-view).

The sensor was aligned vertically and faced the upper part of the canopy at 45 cm horizontal distance giving a field of view of the crop canopy of 26 cm height $\times$ 5 cm width. Measurements could not be made from above the crop (top viewing geometry) because of nylon cords, attached to wires above the crop, which maintained each plant erect. The sensor was positioned so that the top of the field of view was level with the most recently fully expanded leaf. Measurements were always made at the same time each day (8:00 h to 9:00 h solar time) and continued biweekly at the beginning of the crop and weekly from the middle of the crop to the end of the crop. Measurements commenced on 19 DAT. In each replicate plot, two passes consisting of two m pass in each of the two inner rows were made at walking speed (approx. at 1.5 km h⁻¹). Ten measurements were made per second.

Reflectance data of each wavelength were stored in a portable GeoScout GLS-400 datalogger (Holland Scientific, Inc., Lincoln, NE, USA) and subsequently processed. From each individual reading, four reflectance indices were calculated based on reflectance values of individual wavelengths, and then the index values for each individual reading were averaged to provide an average value for each replicate plot. The indices were: (a) Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) (Sellers, 1985), $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$, (b) the Normalized Difference Vegetation Index on Greenness (GNDVI) (Ma et al., 1996), $GNDVI = (NIR - Green) / (NIR + Green)$, which is a variation on NDVI using the green wavelength, and two Simple Ratio Vegetation Indices: (c) the Red Vegetation Index ($RVI = NIR / Red$), and (d) Green Vegetation Index ($GVI = NIR / Green$). These four indices are amongst the most commonly used canopy reflectance indices to evaluate crop N status (HATFIELD et al., 2008; FITZGERALD, 2010).

2.4. Petiole sap [NO₃⁻-N] and leaf N content

The [NO₃⁻-N] in petiole sap and leaf N content were determined biweekly at the beginning of the crop and weekly from the middle of the crop to the end of the crop. These measurements were made from 19 DAT until the end of the crop. For each determination of petiole sap [NO₃⁻-N] and leaf N content, the most recently fully expanded leaf from each of eight different plants in each replicate plot were removed. After topping (removal of plant apical tissue), equivalent leaves on all plants were sampled from the upper part of the canopy. Upon sampling, leaves were enclosed in sealed plastic bags, from which air had been squeezed, and were immediately refrigerated at 4

°C before processing in the laboratory within 24 h of sampling. Petioles were removed from each leaf, cut into 1 cm long pieces and then squeezed with a manual garlic press.

The resulting juice from the eight petioles of each replicate plot was diluted and filtered before analysis of $[\text{NO}_3^- - \text{N}]$ with an automatic continuous segmented flow analyser (model SAN++, Skalar Analytical B.V., Breda, The Netherlands). The leaf blades were oven dried at 65°C until constant weight and ground sequentially in a knife mill and ball mill. The total N content of each sample consisting of eight leaf blades from each replicate plot was determined using a Dumas-type elemental analyser system (model Rapid N, Elementar Analysensysteme GmbH, Hanau, Germany).

2.5. Determination of crop dry matter production

Above-ground dry matter production (DMP) of the crop was measured by final biomass sampling by removing two complete plants in each replicate plot on 77 DAT. All material of each biomass component (stem, leaf and fruit) was dried in an oven at 65 °C until constant weight, and the dry matter contents were determined. The amounts of all pruned shoot material and fruit production were determined throughout the crop, in four selected plants in each replicate plot; the same four plants were used for all prunings and also for the ten individual fruit harvests. At each pruning, the amount of dry matter was determined as described previously. At each harvest of fruit, fresh weights were determined.

2.6. Data analysis

Differences in leaf N content, nitrate in petiole sap and optical sensor measurements between N treatments and cucumber varieties over time were evaluated by repeated-measures analysis of variance (RM-ANOVA), using time as a within-subjects factor and N treatment and variety as between-subjects' factors. When necessary to meet the Mauchly's sphericity assumption of RM-ANOVA, Huyn-Feldt adjusted degrees of freedom were used for within-subject effects when epsilon was >0.75 ; the Greenhouse-Geisser adjusted degrees of freedoms were used when epsilon was <0.75 (GIRDEN, 1992).

For each date of each measurement, regression analysis was conducted to evaluate the relationships between the measurements and leaf N content. The coefficient of determination (R^2) was used to quantify the strength of the relationship between measurements and leaf N content. The standard error of the estimate (SEE) provided the standard error of values of leaf N content estimated by the regression.

Repeated-measures ANOVA was conducted with IBM SPSS 22 (IBM Corporation, Armonk, NY, USA) and regression analyses were conducted with Statgraphics Centurion XVI.

3. Preliminary Results

Chl values of the cucumber leaves, obtained by the SPAD-502 optical transmittance sensor, demonstrate significant differences between the studied genotypes and the nitrogen doses in function of the evaluated times (Figure X). The genotypes responses are different for leaves chlorophyll content, highlighting the Mitre variety (MTR) with a highest chlorophyll content comparing to Pradera (PRD) and Strategos (STR), respectively. For the MTR variety, the weekly nitrogen doses readings behavior, were similar to the cycles end, remaining higher than the respective doses for other varieties.

Similar results were found for leaf chlorophyll contents when we evaluated the nitrogen rates applied in each variety. Coherently, the highest Nitrogen dose answered positive to the highest leaf chlorophyll content in each of the three varieties, followed by doses N2 and N1, which had lower concentrations. For the PRD and STR varieties, the N1 rates were similar during the crop cycle, while the MTR variety indicate a higher Chl contents than STR during all evaluations, and PRD until 60 DAT, which demonstrate that this variety shows a great response for leaf nitrogen, regardless of the amount applied.

For all three varieties, MTR had the biggest Nitrogen doses applications response, keeping its chlorophyll readings always higher than other varieties, according to the SPAD-502 manual sensor reply. The official results and the research discussion will be available at <<https://w3.ual.es/GruposInv/nitrogeno/index.shtml>>, owned by the nitrogen and irrigation research group of the University of Almería, in Almería, Spain. The results obtained with the SPAD-502 transmittance sensor and the Crop Circle ACS-470 reflectance sensor, including comparisons between Vegetative Indexes calculated during this spring-summer crop, will be worked and compared with the data obtained in a second experiment, scheduled for the period between March and June 2018, with the same species and assessments, in order to guarantee a greater reliability to the results.

Figure 1. Chl readings of leaves of three cucumber varieties submitted to three doses of Nitrogen, evaluated as a function of time.