



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
PRODUÇÃO VEGETAL E BIOPROCESSOS ASSOCIADOS**

**COUVE-CRESPA HIDROPÔNICA: EFEITOS DE ESPAÇAMENTOS E NÚMERO DE  
PLANTAS POR CÉLULA**

**ENG. AGR. CAIO SALVADOR NOBOA**

**Araras**

**2021**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
PRODUÇÃO VEGETAL E BIOPROCESSOS ASSOCIADOS**

**COUVE-CRESPA HIDROPÔNICA: EFEITOS DE ESPAÇAMENTOS E NÚMERO DE  
PLANTAS POR CÉLULA**

**ENG. AGR. CAIO SALVADOR NOBOA**

ORIENTADOR: PROF. DR. FERNANDO CESAR SALA  
CO-ORIENTADOR: PROF. DR. LUIS FELIPE VILLANI PURQUERIO

Dissertação apresentada ao Programa de  
Pós-Graduação em Produção Vegetal e  
Bioprocessos Associados como requisito  
parcial à obtenção do título de MESTRE EM  
PRODUÇÃO VEGETAL E  
BIOPROCESSOS ASSOCIADOS

Araras

2021

Noboa, Caio Salvador

Couve-crespa hidropônica: efeitos de espaçamentos e número de plantas por célula / Caio Salvador Noboa -- 2021.  
94f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Araras, Araras

Orientador (a): Fernando César Sala

Banca Examinadora: Fernando César Sala, Simone da Costa Mello, Rodrigo Gazaffi

Bibliografia

1. Horticultura. 2. Hidroponia. 3. Couve-crespa. I. Noboa, Caio Salvador. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Helena Sachi do Amaral - CRB/8  
7083



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**

Centro de Ciências Agrárias

Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e Bioprocessos Associados

---

**Folha de Aprovação**

---

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Caio Salvador Noboa, realizada em 25/08/2021.

**Comissão Julgadora:**

Prof. Dr. Fernando César Sala (UFSCar)

Profa. Dra. Simone da Costa Mello (ESALQ/USP)

Prof. Dr. Rodrigo Gazaffi (UFSCar)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e Bioprocessos Associados.

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), código de financiamento 001, à Universidade Federal de São Carlos e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e Bioprocessos Associados;

Ao Prof. Dr. Fernando Cesar Sala pela orientação excepcional, pelas oportunidades, pelo companheirismo, pela confiança em mim e em meu trabalho;

Ao técnico Eduardo Amaral pelos constantes auxílios, recomendações e conselhos;

Ao Prof. Dr. Luis Felipe Villani Purquerio pela orientação excepcional e inspiração;

Aos meus colegas de pós-graduação, em especial à Bianca Machado de Lima e Gabriela Costa, pelo companheirismo, auxílios e por terem tornado essa jornada mais fácil e alegre;

Aos meus pais, Salvador Noboa Filho e Angela Maria Rettondini Noboa e meus irmãos, Milena Rettondini Noboa, Michele Rettondini Noboa e Caique Salvador Noboa, por serem minha luz, minha fonte de inspiração. Por me ensinarem e me amarem tanto;

À minha família não consanguínea, Jéssica Minami, Murilo Massari, Kiowa Russo, Marcos Ferreira, Vitor Marques, Natália Fernandes, Adélia Ornelas e Gustavo Quesada, por tornarem minha vida mais prazerosa, leve e encantadora;

À Patrícia Rettondini Torquato, pela admiração que  
eu sinto, por sempre estar disposta a me auxiliar,  
por me ouvir e me incentivar;

Ao amor, energia fundamental, que nos dá vida,  
nos nutre e nos transforma.

**Em memória de Salvador Noboa  
e Anderson Dominguez, que  
nos deixaram durante esta  
minha jornada.**

*Der Anfang ist das Ende und das Ende ist der Anfang.*

## SUMÁRIO

	Página
ÍNDICE DE TABELAS.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iii
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1. Geral.....	3
2.2. Específicos.....	3
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	4
3.1. Couve-crespa <i>kale</i> .....	4
3.2. Maço de plantas jovens.....	8
3.3. Espaçamentos e número de plantas por célula.....	9
3.4. Sistema hidropônico de cultivo.....	10
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	14
4.1. Descrição geral dos experimentos.....	14
4.2. Localização da área experimental.....	14
4.3. Produção das mudas.....	15
4.4. Caracterização do sistema de cultivo.....	15
4.5. Delineamento experimental e tratamentos.....	16
4.6. Características avaliadas.....	18
4.7. Forma de análise dos resultados.....	19
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
5.1. Cultivo de inverno.....	20
5.1.1. Dados climáticos.....	20
5.1.2. Dados das soluções de cultivo.....	21
5.1.3. Resultados das características avaliadas.....	23
5.1.3.1. Altura de plantas.....	28
5.1.3.2. Número e dimensões de folhas.....	30

5.1.3.3.	Massas e produtividade .....	40
5.1.3.1.	Índice de clorofila total.....	45
5.1.3.2.	Análise bromatológica e nutricional .....	47
5.2.	Cultivo de verão .....	51
5.2.1.	Dados climáticos .....	51
5.2.2.	Dados das soluções de cultivo.....	52
5.2.3.	Resultados das características avaliadas .....	53
5.2.3.1.	Altura de plantas .....	55
5.2.3.2.	Número e dimensões de folhas .....	57
5.2.3.3.	Massas e produtividade .....	65
5.2.3.4.	Índice de clorofila total.....	70
5.3.	Discussão das características avaliadas .....	71
5.3.1.	Clima .....	71
5.3.2.	Solução de cultivo.....	72
5.3.3.	Competição entre plantas .....	72
5.3.4.	Altura de plantas.....	74
5.3.5.	Número e dimensões de folhas .....	76
5.3.6.	Massas e produtividade .....	77
5.3.7.	Índice de clorofila total .....	79
5.3.8.	Análise bromatológica e nutricional .....	79
5.3.9.	Considerações gerais .....	81
6.	CONCLUSÕES.....	83
7.	LITERATURA CITADA .....	84
	APÊNDICE .....	90

## ÍNDICE DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Composição química de brássicas.....	7
Tabela 2. Resumo da análise de variância da altura de plantas (AP), número de folhas (NF), largura do limbo foliar (LLF), comprimento do limbo foliar (CLF), comprimento de pecíolos (CP), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), produtividade e índice total de clorofila (ICT) de couve-crespa ( <i>kale</i> ) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em diferentes espaçamentos e número de plantas por célula. UFSCar, Araras (SP), 2020. ....	24
Tabela 3. Resumo da análise de variância da análise bromatológica de couve-crespa ( <i>kale</i> ) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em diferentes espaçamentos e número de plantas por célula. UFSCar, Araras (SP), 2020. ....	25
Tabela 4. Resumo da análise de variância do teor de macronutrientes da análise nutricional de couve-crespa ( <i>kale</i> ) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em diferentes espaçamentos e número de plantas por célula. UFSCar, Araras (SP), 2020. ....	26
Tabela 5. Resumo da análise de variância do teor de micronutrientes da análise nutricional de couve-crespa ( <i>kale</i> ) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em diferentes espaçamentos e número de plantas por célula. UFSCar, Araras (SP), 2020. ....	27
Tabela 6. Análise bromatológica de couve-crespa ( <i>kale</i> ) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis e de número de plantas por célula, aos 27 dias após transplântio. UFSCar, Araras (SP), 2020. ....	48
Tabela 7. Análise nutricional de couve-crespa ( <i>kale</i> ) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis e de número de plantas por célula, aos 27 dias após transplântio. UFSCar, Araras (SP), 2020. ....	50
Tabela 8. Médias de teor de cálcio de couve-crespa ( <i>kale</i> ) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis e de número de plantas por célula, aos 27 dias após transplântio. UFSCar, Araras (SP), 2020. ....	51
Tabela 9. Resumo da análise de variância da altura de plantas (AP), número de folhas (NF), largura do limbo foliar (LLF), comprimento do limbo foliar (CLF), comprimento de pecíolos (CP), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), produtividade e índice total de clorofila (ICT) de couve-crespa ( <i>kale</i> ) cultivada durante verão em sistema hidropônico NFT em diferentes espaçamentos e número de plantas por célula. UFSCar, Araras (SP), 2021. ....	54
Tabela A.1. Modelos de regressão e coeficientes de determinação das características agrônômicas avaliadas, cuja interação entre os fatores espaçamento e número de plantas por célula foi não significativa. ....	90

Tabela A.2. Modelos de regressão e coeficientes de determinação das características agronômicas avaliadas, cuja interação entre os fatores espaçamento e número de plantas por célula foi significativa. ....	91
---	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Área experimental (A) e representação esquemática da distribuição espacial dos experimentos: quatro blocos experimentais (B); quatro parcelas, correspondentes a cada nível do fator espaçamento, que compuseram cada bloco (C); quatro subparcelas, correspondentes a cada nível do fator número de plantas por célula, que compuseram cada parcela, com 18 aberturas de perfil hidropônico em vermelho representando a bordadura e 12 em verde representando as plantas úteis (D). .....	17
Figura 2. Dados de temperatura registrados no interior da estufa durante o período de inverno de cultivo de couve-crespa ( <i>kale</i> ) hidropônica. UFSCar, Araras (SP), 2020. ....	21
Figura 3. Dados de condutividade elétrica (A) e pH (B) das soluções de cultivo de couve-crespa ( <i>kale</i> ) em sistema hidropônico NFT durante inverno. Cada reservatório abasteceu dois blocos experimentais. UFSCar, Araras (SP), 2020. ....	22
Figura 4. Médias de altura de couve-crespa ( <i>kale</i> ) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplântio. Médias de altura (com erro padrão) das diferentes plantas de uma mesma célula, em ordem decrescente (C). UFSCar, Araras (SP), 2020. ....	29
Figura 5. Couve-crespa ( <i>kale</i> ) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT. Ao lado esquerdo, parcela com espaçamento de 0,20 m e, ao lado direito, 0,07 m, ambas aos 27 dias após transplântio. UFSCar, Araras (SP), 2020.....	30
Figura 6. Couve-crespa ( <i>kale</i> ) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT. Heterogeneidade entre diferentes plantas de uma mesma célula, com quatro plantas por célula, aos 27 dias após transplântio. UFSCar, Araras (SP), 2020. ....	30
Figura 7. Médias de número de folhas de couve-crespa ( <i>kale</i> ) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplântio; dados com o somatório das folhas das plantas de uma mesma célula. Médias de número de folhas (com erro padrão) das diferentes plantas de uma mesma célula, em ordem decrescente (C). UFSCar, Araras (SP), 2020. ....	32
Figura 8. Médias de largura do limbo foliar de couve-crespa ( <i>kale</i> ) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplântio. Médias de largura do limbo foliar (com erro padrão) das diferentes plantas de uma mesma célula, em ordem decrescente (C). UFSCar, Araras (SP), 2020. ....	34
Figura 9. Médias de comprimento do limbo foliar de couve-crespa ( <i>kale</i> ) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A)	

e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplântio. Médias de comprimento do limbo foliar (com erro padrão) das diferentes plantas de uma mesma célula, em ordem decrescente (C). UFSCar, Araras (SP), 2020. ....	36
Figura 10. Médias de comprimento de pecíolos de couve-crespa ( <i>kale</i> ) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplântio. Médias de comprimento de pecíolos (com erro padrão) das diferentes plantas de uma mesma célula, em ordem decrescente (C). UFSCar, Araras (SP), 2020. ....	38
Figura 11. Maiores folhas por planta de couve-crespa ( <i>kale</i> ) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT. Folhas de diferentes espaçamentos entre perfis de, da esquerda para a direita, respectivamente, 0,07; 0,11; 0,15 e 0,20 m (A). Folhas de diferentes plantas por célula com, da esquerda para a direita, respectivamente, uma, duas, três e quatro plantas por célula (B), aos 27 dias após transplântio. UFSCar, Araras (SP), 2020.....	39
Figura 12. Médias de massa fresca da parte aérea de couve-crespa ( <i>kale</i> ) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplântio; dados com o somatório das massas das plantas de uma mesma célula. Médias de massa fresca da parte aérea (com erro padrão) das diferentes plantas de uma mesma célula, em ordem decrescente (C). UFSCar, Araras (SP), 2020. ....	42
Figura 13. Médias de massa seca da parte aérea de couve-crespa ( <i>kale</i> ) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplântio; dados com o somatório das massas das plantas de uma mesma célula. UFSCar, Araras (SP), 2020...	43
Figura 14. Médias de produtividade de couve-crespa ( <i>kale</i> ) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplântio. UFSCar, Araras (SP), 2020. ....	45
Figura 15. Médias de índice de clorofila total de couve-crespa ( <i>kale</i> ) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplântio. UFSCar, Araras (SP), 2020. ....	46
Figura 16. Dados de temperatura registrados no interior da estufa durante o período de cultivo de verão de couve-crespa ( <i>kale</i> ) hidropônica. UFSCar, Araras (SP), 2021.....	52
Figura 17. Dados de condutividade elétrica (A) e pH (B) das soluções de cultivo de couve-crespa ( <i>kale</i> ) em sistema hidropônico NFT durante verão. Cada reservatório abasteceu dois blocos experimentais. UFSCar, Araras (SP), 2021. ....	53

- Figura 18. Médias de altura de couve-crespa (*kale*) cultivada durante verão em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplântio. Médias de altura (com erro padrão) das diferentes plantas de uma mesma célula, em ordem decrescente (C). UFSCar, Araras (SP), 2021. .... 56
- Figura 19. Médias de número de folhas de couve-crespa (*kale*) cultivada durante verão em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplântio; dados com o somatório das folhas das plantas de uma mesma célula. Médias de número de folhas (com erro padrão) das diferentes plantas de uma mesma célula, em ordem decrescente (C). UFSCar, Araras (SP), 2021. .... 58
- Figura 20. Médias de largura do limbo foliar de couve-crespa (*kale*) cultivada durante verão em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplântio. Médias de largura do limbo foliar (com erro padrão) das diferentes plantas de uma mesma célula, em ordem decrescente (C). UFSCar, Araras (SP), 2021. .... 60
- Figura 21. Médias de comprimento do limbo foliar de couve-crespa (*kale*) cultivada durante verão em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplântio. Médias de comprimento do limbo foliar (com erro padrão) das diferentes plantas de uma mesma célula, em ordem decrescente (C). UFSCar, Araras (SP), 2021. .... 62
- Figura 22. Médias de comprimento de pecíolos de couve-crespa (*kale*) cultivada durante verão em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplântio. Médias de comprimento de pecíolos (com erro padrão) das diferentes plantas de uma mesma célula, em ordem decrescente (C). UFSCar, Araras (SP), 2021. .... 64
- Figura 23. Médias de massa fresca da parte aérea de couve-crespa (*kale*) cultivada durante verão em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplântio; dados com o somatório das massas das plantas de uma mesma célula. Médias de massa fresca da parte aérea (com erro padrão) das diferentes plantas de uma mesma célula, em ordem decrescente (C). UFSCar, Araras (SP), 2021. .... 66
- Figura 24. Médias de massa seca da parte aérea de couve-crespa (*kale*) cultivada durante verão em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplântio; dados com o somatório das massas das plantas de uma mesma célula. UFSCar, Araras (SP), 2021..... 68

Figura 25. Médias de produtividade de couve-crespa ( <i>kale</i> ) cultivada durante verão em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplântio. UFSCar, Araras (SP), 2021. ....	69
Figura 26. Médias de índice de clorofila total de couve-crespa ( <i>kale</i> ) cultivada durante verão em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplântio. UFSCar, Araras (SP), 2021. ....	71

## COUVE-CRESPA HIDROPÔNICA: EFEITOS DE ESPAÇAMENTOS E NÚMERO DE PLANTAS POR CÉLULA

**Autor:** ENG. AGR. CAIO SALVADOR NOBOA

**Orientador:** PROF. DR. FERNANDO CESAR SALA

**Co-orientador:** PROF. DR. LUIS FELIPE VILLANI PURQUERIO

### RESUMO

O consumo de couve-de-folhas é crescente no Brasil, sendo pouco difundida a couve-crespa (*kale*), que possui alto valor nutricional. As couves são comercializadas em maço de folhas adultas, contudo, há possibilidade de cultivo em maço de plantas jovens em sistema hidropônico, o qual possui vantagens diversas, porém, não foram testados adensamentos. Dessa forma, objetivou-se gerar informações sobre o cultivo hidropônico em NFT de couve-crespa em maço de plantas jovens, com estudo de espaçamentos (0,07; 0,11; 0,15 e 0,20 m) e números de plantas por célula (uma, duas, três e quatro), em diferentes épocas (inverno e verão), visando melhoria na produtividade, qualidade e homogeneidade das couves. No inverno, a altura de plantas foi maior com menor espaçamento; os teores de nutrientes, cinzas, fibras e lipídeos ficaram dentro dos relatos da literatura; os teores de umidade, proteínas e carboidratos totais foram inferiores aos reportados para couve-crespa, contudo, se assemelham aos reportados para couve-manteiga. No verão, não houve diferença estatística na altura de plantas. Em ambos os períodos, com o menor espaçamento maior foi a produtividade; com menos plantas por célula maiores foram as dimensões das folhas e mais homogêneas foram as diferentes plantas de uma mesma célula. Dessa forma, o produto desejado no cultivo de couve-crespa hidropônica em maços de plantas jovens é decisivo para escolha de espaçamentos e números de plantas por célula, visto que diferentes escolhas trazem diferentes produtividades, número e tamanhos de folhas. O sistema hidropônico é viável tecnicamente para produção de couve-crespa em todo o período do ano, proporcionando plantas de boa qualidade nutricional.

**Palavras-chave:** *Brassica oleracea* L. var. *acephala*, *kale*, hortalíça folhosa, hidroponia, NFT.

## HYDROPONIC KALE: EFFECTS OF SPACINGS AND NUMBER OF PLANTS PER CELL

**Author:** ENG. AGR. CAIO SALVADOR NOBOA

**Adviser:** PROF. DR. FERNANDO CESAR SALA

**Co-adviser:** PROF. DR. LUIS FELIPE VILLANI PURQUERIO

### ABSTRACT

The consumption of kale is increasing in Brazil, and curly kale, which has a high nutritional value, is not widespread. Kale is sold in bunches of adult leaves, however, there is the possibility of growing in bunches of young plants in a hydroponic system, which has several advantages, however, densities have not been tested. Thus, the aim was to generate information about the hydroponic cultivation in NFT of curly kale in bunches of young plants, with a study of spacing (0.07; 0.11; 0.15; and 0.20 m) and number of plants per cell (one, two, three, and four), in different seasons (winter and summer), aiming to improve the productivity, quality, and homogeneity of kale. In winter, plant height was higher with smaller spacing; nutrient, ash, fiber, and lipid contents were within normal limits; moisture, protein and total carbohydrate contents were lower than those reported for curly kale, but similar to those reported for collards. In summer, there was no statistical difference in plant height. In both periods, with the smaller spacing the higher was the productivity; with less plants per cell the larger were the leaf dimensions and the more homogeneous were the different plants of the same cell. Thus, the desired product in the cultivation of hydroponic kale in bunches of young plants is decisive for choosing spacing and numbers of plants per cell, since different choices bring different productivities, number and sizes of leaves. The hydroponic system is technically viable for curly kale production throughout the year, providing plants of good nutritional quality.

**Keywords:** *Brassica oleracea* L. var. *acephala*, curly kale, leafy vegetable, hydroponic system, NFT.

## 1. INTRODUÇÃO

A couve-crespa, ou *kale*, couve-de-folhas do grupo “crespas” (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) pertence à família botânica Brassicaceae e tem maior consumo nos Estados Unidos e países da Europa. Esta hortaliça é pouco difundida no mercado brasileiro, seja consumidor ou produtor, o qual está mais restrito às couves do grupo “manteiga”, cujas folhas são lisas, arredondadas e de coloração verde-clara (NOVO et al., 2010). Já *kale* possui folhas com alta crespicidade e coloração verde-escura (BEJO, 2021). Ambos os tipos de couves são fontes de sais minerais, proteínas e fibras, contudo, *kale* supera a couve-manteiga em 31; 48 e 16%, respectivamente (UNICAMP, 2011; USDA, 2016).

Devido às propriedades nutracêuticas e novas formas de uso na culinária, o consumo de couve-manteiga no Brasil vem aumentando. Somente no estado de São Paulo, houve uma expansão na produção de 27 mil toneladas em 2014, em uma área de 1.300 ha, para 69 mil toneladas em 2019, em 3.170 ha (IEA, 2020), uma taxa percentual de crescimento anual da produção de 20,5%, apresentando taxa semelhante em área plantada, de 19,5%, ou seja, houve aumento de produção sem aumento de produtividade (média de 2.130 g m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup>). Visto que maiores produções em menores áreas é uma demanda constante da sociedade, seja por questões ambientais, por custos ou outros motivos, a hidroponia se torna cada vez mais atrativa e sistemas hidropônicos do tipo NFT (fluxo laminar de nutrientes) são amplamente

utilizados para o cultivo de hortaliças folhosas, em que se enquadra *kale*. Inúmeros produtores têm aderido à hidroponia nas principais regiões produtoras devido às vantagens: maior produtividade em relação ao cultivo convencional; antecipação da colheita (menor ciclo); maior eficiência no uso de água e fertilizantes; inexistência de matocompetição; menor problema fitossanitário; melhor comercialização devido a plantas mais limpas; menor necessidade de mão de obra (PURQUERIO et al., 2018).

As couves-crespas, apesar de serem comuns em outros países, são pouco difundidas no mercado brasileiro, cujo mercado consumidor tem apresentado uma busca por alimentos mais nutritivos e diferenciados, como a *kale*. A produção hidropônica desta folhosa proporciona um aumento de produtividade entre 2 a 18 vezes em relação ao cultivo convencional quando cultivada em maço de plantas jovens (média de  $4.460 \text{ g m}^{-2} \text{ mês}^{-1}$ , híbrido Darkibor; NOBOA et al., 2019), contudo, há espaço para aperfeiçoar o seu cultivo hidropônico com, por exemplo, alteração na densidade populacional de plantas. O modelo de cultivo hidropônico de couve proposto por Noboa et al. (2019), produção em maço de plantas jovens (comum para rúcula, agrião, salsa, cebolinha, almeirão e outras), diverge do modo convencional da produção em campo (maço de folhas adultas), possibilitando uma inovação no sistema de cultivo desta folhosa com plantas de menores tamanho e, possivelmente, mais atrativas ao consumidor.

As hortaliças folhosas são produzidas e comercializadas em diferentes formas, seja individualizada, como a alface, ou na forma de maços de plantas, como a rúcula. Essa distinção causa modificação também no manejo da cultura. Enquanto na alface utiliza-se uma planta por célula, na rúcula utiliza-se mais de uma. Para uma maior produtividade, utiliza-se o adensamento, onde se altera os espaçamentos entre linhas e/ou entre plantas e, no caso de maçaria como a rúcula, pode-se alterar a quantidade de plantas por célula. Portanto, em função da nova forma de produção de couve (maços de plantas jovens), busca-se gerar informações acerca de tecnologias adequadas de cultivo, onde se insere o estudo de espaçamentos e números de plantas por célula, em diferentes épocas, visando melhoria na produtividade e qualidade das couves-crespas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Geral**

Objetivou-se gerar informações acerca de tecnologias adequadas de cultivo hidropônico em NFT de couve-crespa, com estudo de espaçamentos e números de plantas por célula, em diferentes épocas, visando melhoria na produtividade e qualidade das couves.

### **2.2. Específicos**

a) Determinar produtividade, qualidade e homogeneidade dos maços de plantas em função do espaçamento entre linhas (0,07; 0,11; 0,15 e 0,20 m) e número de plantas por célula (uma, duas, três e quatro);

b) Avaliar as características agronômicas em diferentes épocas do ano (verão e inverno) em sistema hidropônico do tipo NFT.

### 3. REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1. Couve-crespa *kale*

A couve-de-folhas é uma hortaliça-folhosa pertencente à família botânica Brassicaceae, são plantas perenes, podendo viver dez anos ou mais, com centro de origem no continente europeu e ampla dispersão pelo mundo através de atividades humanas (BALKAYA; YANMAZ, 2005; CHRISTENSEN et al., 2011). As couves já são utilizadas pelo Homem há milênios, havendo registro já no século IV a.C., na Grécia Antiga (AMOURETTI, 1998), mas apenas nas últimas décadas as couves se popularizaram e isso se deve à busca por alimentos mais nutritivos, que aumentem o bem-estar das pessoas e que previnam doenças (ŠAMEC; URLIĆ; SALOPEK-SONDI, 2019).

A couve-crespa (*kale*), couve-de-folhas do grupo “crespas” (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) possui como órgão de consumo as folhas crespas, onduladas e de coloração verde-escura (BEJO, 2021). Não há imbricamento das folhas, como no repolho (*B. oleracea* var. *capitata*) e couve-de-bruxelas (*B. oleracea* var. *gemmifera*), e não produz flores comestíveis, igual a couve-brócolo (*B. oleracea* var. *italica*) e couve-flor (*B. oleracea* var. *botrytis*). Apesar de serem plantas perenes, são produzidas como anuais e com colheitas múltiplas. Contudo, nos Estados Unidos, em âmbito comercial, costuma-se fazer colheita única, retirando-se toda a planta do

campo, prosseguindo com embalagem ou processamento das folhas (KADAM; SHINDE, 1998). A área de cultivo de *kale* nos Estados Unidos passou de 3.994 ac (1.616 ha) em 954 propriedades, em 2007, para 6.256 ac (2.532 ha) em 2.500 propriedades, em 2012, e para 15.325 ac (6.202 ha) em 8.066 propriedades, em 2017, um aumento de 284% na área colhida e de 745% no total de propriedades envolvidas em dez anos (USDA, 2014, 2019).

Assim como couve-manteiga, *kale* é consumida de diferentes formas, seja com folhas frescas em saladas e em sucos, refogadas em diferentes pratos ou secas como *chips*. Além das folhas, algumas partes da planta podem ser usadas para conservas e o óleo de sementes para pães e bolos. Além do consumo, há uso medicinal, como uso para alívio de sintomas de gastrite e úlceras, além do tratamento de obesidade, diabetes, reumatismo e anemia, por exemplo (ŠAMEC; URLIĆ; SALOPEK-SONDI, 2019).

A couve-crespa possui o potencial de oferecer variados sais minerais e em quantidades expressivas. Em um estudo para determinar a composição nutricional de 25 genótipos de *kale* cultivadas no estado americano da Carolina do Sul, Thavarajah et al. (2016) encontraram que 100 g de massa fresca de *kale* fornecem quantidades significativas de potássio (488 mg), cálcio (106 mg), magnésio (44 mg), ferro (1,1 mg), zinco (0,7 mg), manganês (0,8 mg), cobre (55 µg) e selênio (2,3 mg). Os autores também destacam *kale* como uma boa fonte para micronutrientes, pois os valores encontrados representam mais de 10% da ingestão diária recomendada (*Recommended Dietary Allowances*, RDA, em inglês). Cerca de 50% destes genótipos fornecem ao menos 10% da RDA de todos os nutrientes analisados em 100 g de massa fresca desta folhosa.

De acordo com Hagen et al. (2009), a *kale* possui maiores teores de vitamina C em relação a outros vegetais. Em estudo sobre o efeito da armazenagem a 1 °C e da colheita tardia, os autores perceberam que o teor dessa vitamina decresceu tanto com a armazenagem quanto com a colheita tardia. O valor máximo encontrado foi de 969 mg 100 g<sup>-1</sup> de massa seca na colheita padrão (sem ser tardia) e sem a armazenagem. Equivalente a 156 mg 100 g<sup>-1</sup> de massa fresca, este valor é inclusive superior ao RDA, que corresponde a 90 mg para homens e 75 mg para mulheres acima de 19 anos (ODS, 2019). O menor valor encontrado foi na colheita tardia em seis semanas, em que houve redução de 50% na quantidade de vitamina C (465 mg 100 g<sup>-1</sup> de massa

seca). Mesmo este menor valor ultrapassa o RDA com 100 g de massa fresca, a qual possui 98 mg de vitamina C.

A composição química de alimentos depende de muitos fatores, entre eles, espécie, variedade, região produtora, manejos culturais e clima. *Kale* é retratada como um super alimento, sendo uma ótima fonte de vitaminas e minerais essenciais, especialmente potássio, cálcio, magnésio, ferro e cobre, onde *B. oleracea* var. *acephala* possui teores mais elevados em relação à outras brássicas (Tabela 1); contudo, considerando também outros compostos nutricionais, não há evidências de que o grupo *acephala* seja mais nutritivo do que outros grupos, mas sim que as brássicas no geral são nutritivas e promovem diversos benefícios à saúde humana (ŠAMEC; URLIĆ; SALOPEK-SONDI, 2019). Sabe-se que as couves-crespas apresentam altos valores nutricionais, no entanto não há informações em relação àquelas produzidas no Brasil.

Tabela 1. Composição química de brássicas.

	Couve-crespa ( <i>kale</i> )			Couve-manteiga			Outras brássicas				
	1	2	3	4	5	6	7	1	Brócolis <sup>1</sup>	Couve-flor <sup>1</sup>	Repolho <sup>1</sup>
Composição bromatológica (g 100 g <sup>-1</sup> de massa fresca)											
Umidade	84,0	82,9				89,8	90,9	89,62	89,3	92,07	92,18
Cinzas	2,0	2,1					1,3	1,32	0,87	0,76	0,64
Proteínas	4,3	4,2	4,2				2,9	3,02	2,82	1,92	1,28
Fibras	3,6	8,4					3,1	4	2,6	2	2,5
Lipídeos	0,9	0,7					0,5	0,61	0,37	0,28	0,1
Carboidratos	8,8	10,1					4,3	5,42	6,64	4,97	5,8
Minerais (mg 100 g <sup>-1</sup> de massa fresca)											
P	92			105	49,2		49	25	66	44	26
K	491	440,2	488	416	315,4	712	403	213	316	299	170
Ca	150	384,8	106	180	234,0	286	131	232	47	22	40
Mg	47	34,9	44	92	42,9	51	35	27	21	15	12
S					113,1						
Fe	1,47		1,1	0,9	0,50	0,4	0,5	0,47	0,73	0,42	0,47
Mn	0,66	0,86	0,8	0,4	1,16	0,3	1,02	0,658	0,21	0,155	0,16
Cu	1,50	0,05	0,055	0,04	0,04	0,04	0,06	0,046	0,049	0,039	0,019
Zn	0,56	0,83	0,7	0,7	0,26	0,29	0,4	0,21	0,41	0,27	0,18
B					0,54						

<sup>1</sup> USDA (2016);<sup>2</sup> Sikora e Bodziarczyk (2012);<sup>3</sup> Thavarajah et al. (2016);<sup>4</sup> Pathirana et al. (2017);<sup>5</sup> Metallo et al. (2018);<sup>6</sup> Kawashima e Soares (2003);<sup>7</sup> UNICAMP (2011).

### 3.2. Maço de plantas jovens

O mercado de hortaliças busca sempre por novidades para se reinventar e a diversificação da oferta e inovações podem estimular maior consumo. Hortaliças de tamanho reduzido, como as mini-hortaliças, as folhosas *baby leaf* e as *microgreens* vêm ganhando cada vez mais espaço e apresentam um mercado bastante promissor por trazerem uma maior atratividade visual e diversificação de sabores. Podem auxiliar também na diminuição da obesidade, sobretudo a infantil, uma vez que são produtos que conquistam maior simpatia dos consumidores (PURQUERIO et al., 2018; PURQUERIO; MELO, 2011; SALA; COSTA, 2012).

O mercado de plantas miniaturizadas apresenta tendências de crescimento e são constituídos dos brotos, *microgreens*, *baby leafs* e mini-hortaliças. Brotos são plantas em estágio inicial, com germinação das sementes, porém com ausência tanto de folhas cotiledonares quanto da exposição à luz; 4 a 10 dias de cultivo. As *microgreens* ou micro-verdes são plântulas com folhas cotiledonares desenvolvidas, com ou sem primeiras folhas definitivas e há exposição à luz; 7 a 28 dias de cultivo. As *baby leafs* são hortaliças com até oito folhas definitivas e colhidas antecipadamente ao método convencional, ou seja, são hortaliças comuns, mas com antecipação de colheita e cultivo adensado ficam com folhas menores, não totalmente expandidas; 20 a 40 dias de cultivo. Já as mini-hortaliças são menores pela característica genética ou por processamento, como as mini-cenouras (DI GIOIA; RENNA; SANTAMARIA, 2017; PURQUERIO et al., 2018).

Além de maior atratividade visual, as hortaliças em miniatura tendem a ser ricas nutricionalmente. Ao estudarem diferentes espécies em estágio de *microgreens* e adultas, Johnson et al. (2021) relataram que *microgreens* possuem uma extensa e diversa quantidade de metabólitos e minerais e que muitas, mas não em todas as espécies, foram superiores em relação às plantas adultas. Resultados semelhantes em relação aos sais minerais foram obtidos por Yadav et al. (2019) ao também estudarem diferentes espécies em estágio de *microgreens* e adultas, contudo, o teor de antioxidantes foi superior nas adultas.

As couves-de-folhas são comercializadas em maços de folhas já desenvolvidas. Noboa et al. (2019) propuseram o conceito de maço de plantas jovens de couve-de-folhas, onde toda a planta seria colhida e comercializada, fazendo-se maços, da mesma forma como é feito com rúcula e agrião, por exemplo. Semelhante

às *baby leafs*, faz-se modificações no manejo com antecipação de colheita e adensamento, aumentando o número de plantas por célula e diminuindo espaçamentos entre plantas e entre linhas. O número de folhas é variado e o período de cultivo é em torno de 60 dias, de quatro a cinco semanas para a preparação da muda e de três a quatro semanas para colheita após o transplante. Dessa forma, há oportunidade de couve-de-folhas em forma de maço de plantas jovens serem inseridas no crescente mercado de hortaliças de menor tamanho e no crescente mercado de alimentos mais saudáveis.

### **3.3. Espaçamentos e número de plantas por célula**

O fenótipo da planta é resultado do genótipo mais o ambiente. Sendo assim, as características das plantas para melhor produção e/ou melhor atratividade visual ao consumidor podem ser obtidas por melhoramento genético e/ou manejo. A densidade, população de plantas por área, é uma característica de manejo que resulta em mudanças na arquitetura da planta, nas dimensões de folhas, na qualidade e na produtividade. É possível alterar população por unidade de área por três diferentes formas, alterando espaçamentos entre linhas, entre plantas e/ou número de plantas por célula. Em forma geral, maiores populações resultam em plantas com menores dimensões, contudo com maiores produtividades (PURQUERIO et al., 2007).

Ao estudarem *kale*, cultivo convencional, em diferentes espaçamentos, Naik e Gupta (2010) encontraram maiores teores de clorofila e vitamina C, altura de plantas, área foliar, número de folhas, comprimento de pecíolo e massa de folhas por planta no maior espaçamento. Contudo, melhor produtividade e rendimento econômico foram encontrados com o menor espaçamento.

Em estudo com rúcula, Reghin et al. (2005) observaram maior produtividade, 3.500 g m<sup>-2</sup>, com o menor espaçamento e maior quantidade de mudas por cova. Já o maior espaçamento e a menor quantidade de mudas trouxeram a menor produtividade, 1.400 g m<sup>-2</sup>. Entretanto, o primeiro caso trouxe menor quantidade de folhas e plantas menores.

Purquerio et al. (2007) obtiveram resultados semelhantes em um estudo com diferentes espaçamentos entre plantas (0,05; 0,07 e 0,10 m) em rúcula. No maior espaçamento os autores relataram médias de área foliar e massa fresca e seca 21; 35 e 29%, respectivamente, maior do que no menor espaçamento. Contudo, houve

decréscimo de 30% na produtividade em relação ao menor espaçamento. Os autores mencionam que em um mercado exigente em folhas maiores, adensa-se menos e em um menos exigente, adensa-se mais para maior produtividade. Para hortaliças comercializadas em maçaria, a maior produtividade apresenta vantagens quando não há um padrão de tamanho de plantas ou folhas.

Uma densidade de plantas adequada pode maximizar a produção, no entanto, quanto maior a densidade, maior a competição entre as plantas, podendo deixar de ser comercialmente vantajoso. Noboa et al. (2019), ao testarem variedades de couves (três couves-crespas e uma couve-manteiga) em maço de plantas jovens, com quatro plantas por célula, observaram variação de tamanho entre as plantas de *kale* de uma mesma célula, sendo uma planta maior, duas medianas e uma menor. Dessa forma, visto que não há estudos com espaçamento e número de plantas por célula para maço de plantas jovens de couve-de-folhas, por ser uma técnica recente para couve, estudos nesta área podem orientar o manejo conforme a necessidade de produção, seja para maximizar a produtividade, para produção de plantas maiores ou produção de plantas mais homogêneas.

#### **3.4. Sistema hidropônico de cultivo**

O cultivo sem solo teve início no final do século XVI e esteve voltado ao meio científico relacionado às pesquisas sobre nutrição mineral de plantas. A primeira literatura sobre o tema data de 1600, momento em que o belga Jan Van Helmont trouxe evidências de que a obtenção de nutrientes pelas plantas se dá através da água. No final do século XVII, em 1699, o inglês John Woodward demonstrou a necessidade de certas substâncias na água, provenientes do solo, para desenvolvimento vegetal, contudo, pela limitação de equipamentos da época, seu progresso foi pequeno. No século XIX, a partir de avanços tecnológicos, ocorreram maiores progressos, como o entendimento, em 1804, pelo suíço Nicolas De Saussure, da dependência das plantas por compostos químicos obtidos da água, solo e ar. Em 1851, o francês Jean Boussingault trouxe a possibilidade de desenvolvimento vegetal em substratos como areia, quartzo e carvão vegetal, com fornecimento de solução nutritiva. E em 1860-61, dois cientistas alemães, Julius von Sachs e Wilhelm Knop, permitiram a eliminação do substrato, sendo o cultivo apenas a partir de soluções nutritivas (DOUGLAS, 1987; MARTINEZ, 2005; RESH, 2013).

Apenas no século XX, a partir da década de 1920, o norte-americano William Gericke percebeu possibilidade comercial na produção de plantas com ausência de solo. Gericke denominou a esse cultivo o termo hidroponia, do grego “*hydro*”, que significa água e “*ponos*”, trabalho, sendo, literalmente, “trabalho em água” e produziu tomate, beterraba, rabanete, cenoura, batata, cereais, frutas, plantas ornamentais e, assim, iniciou a popularização dessa técnica. A primeira produção em larga escala ocorreu durante a Segunda Grande Guerra (1939-1945), quando foram estabelecidas unidades hidropônicas em ilhas rochosas no oceano Pacífico para cultivo de alimentos aos soldados norte-americanos, ou seja, a hidroponia possibilita cultivo de plantas em ambiente onde a agricultura convencional é impraticável. Contudo, as próximas décadas seguiram com difícil aceitação, em 1955, havia um hectare de cultivo hidropônico em todo o mundo. Em 1959, a Sociedade Internacional de Cultivo sem Solo (ISOSC - *International Society for Soilless Culture*) não foi permitida participação em reuniões com a recém-estabelecida Sociedade Internacional de Ciências Horticólicas (ISHS - *International Society for Horticultural Science*), o argumento era de que não fazia sentido o cultivo sem solo, ninguém se interessaria por tal técnica (JONES, 1982; MARTINEZ, 2005; RESH, 2013; RODRÍGUEZ-DELFÍN, 2012; SCHWARZ, 2001).

Contudo, houve os que persistiram e, a partir da década de 1960, o inglês Allen Cooper lançou bases de um novo método que viabilizou o cultivo sem solo em escala comercial, o NFT (*Nutrient Film Technique*), a técnica de fluxo laminar de nutrientes. Em 1978, foi publicada a primeira edição do livro “*Hydroponic Food Production*”, por Howard Resh, livro de considerável importância até os dias atuais, tendo tido sua sétima edição lançada em 2013. Na década de 1980, o sistema hidropônico foi incluído nas pesquisas aeroespaciais da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), Estados Unidos, para suportar vida humana no espaço ou em superfície planetária (MACELROY; SMERNOFF; KLEIN, 1984). Ainda na década de 1980, apesar de publicações sobre o tema e vislumbre de possibilidades futuras, a hidroponia era vista com cautela, considerada limitada a culturas de alto valor agregado e com seu destino julgado controverso e incerto (JONES, 1982; MARTINEZ, 2005; RESH, 2013; RODRÍGUEZ-DELFÍN, 2012).

Assim como na Segunda Grande Guerra, momento em que a hidroponia possibilitou produção de plantas em ambientes inóspitos, na Antártica, no ano de 2015, existiam nove instalações hidropônicas em diferentes estações de pesquisa,

como nas australianas (*Casey, Davis e Mawson*), chinesa (*Great Wall*), japonesa (*Syowa*), sul-coreanas (*King Sejong e Jang Bogo*), neozelandesa (*Scott Base*) e norte-americana (*Amundsen-Scott South Pole Station*). Em adição, a busca por alimentos frescos na Antártica é antiga, já no início do século XX, durante a Expedição Antártica Nacional Britânica (1901-04), ou também conhecida como Expedição *Discovery*, houve produção de mostarda e agrião em flanela com adição de solução nutritiva, podendo ser considerada um cultivo hidropônico rudimentar, além de cebolas, rabanetes, nabos e alfaces em caixas contendo solo antártico, sendo estes os primeiros alimentos frescos da tripulação em 13 meses (BAMSEY et al., 2015; CAFFIN, 1980). Atualmente, pelo menos uma instalação hidropônica foi adicionada à lista das nove mencionadas, a alemã *Neumayer Station III*, a partir do projeto EDEN ISS (*International Space Station*) da União Europeia, cujo objetivo foi desenvolver tecnologias de controle ambiental para cultivo vegetal com aplicação na exploração espacial (EDEN-ISS, 2020).

A hidroponia apresenta algumas desvantagens em relação ao cultivo convencional de hortaliças, como: alto custo inicial com a instalação, além de custos com manutenções; dependência do sistema com energia elétrica; exigência de mão de obra especializada. Apesar disso, tal técnica tem conquistado cada vez mais espaço no mercado de produção de hortaliças devido às suas vantagens: maior produtividade; antecipação da colheita (menor ciclo); maior eficiência no uso de água e fertilizantes; inexistência de matocompetição; menor problema fitossanitário; melhor comercialização devido a plantas mais limpas; menor necessidade de mão de obra (PURQUERIO et al., 2018).

Em relação à qualidade da hortaliça produzida em hidroponia, Beninni, Takahashi e Neves (2005) compararam a concentração e acúmulo dos macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) em alface hidropônica e em alface convencional (campo). Os autores observaram o cultivo em hidroponia gerar alfaces com média de teor de sais minerais 60% maior em relação à alface em campo. Silva et al. (2011), também com alface nesses diferentes sistemas de cultivo, não encontraram diferença no teor de ácido ascórbico, contudo, também estudaram o cultivo orgânico de alface, o qual obteve maior quantidade desta vitamina. Quanto ao rendimento, Ohse et al. (2003) relataram maior produção de massa fresca em hidroponia (276,75 g por planta contra 217,58 g por planta em campo) em um menor tempo (9 dias a menos).

Convencionalmente, as couves-de-folhas no Brasil são produzidas em campo com múltiplas colheitas, em que são retiradas folhas bem desenvolvidas (0,2 a 0,3 m de comprimento) e comercializadas em maço de folhas adultas (TRANI et al., 2015). O cultivo de couve em sistema hidropônico com múltiplas colheitas gera necessidade de alterações nas instalações com o uso de perfis de maior diâmetro ou vasos, ambas as soluções trazem dificuldades no cultivo, principalmente devido ao maior ciclo, onde aumenta-se o risco de perda de plantas tanto por possíveis falhas de energia elétrica quanto por expor as plantas por mais tempo às variações ambientais e às pragas agrícolas. A produção de maço de plantas jovens permite o uso de mesmas instalações hidropônicas utilizadas no cultivo de rúcula, uma das principais hortaliças produzidas em NFT e permite o aproveitamento das vantagens da hidroponia de forma mais abrangente. Enquanto Noboa et al. (2019) encontraram aumento de produtividade entre 2 a 18 vezes em relação ao cultivo convencional quando cultivada em maço de plantas jovens em hidroponia, Daryadar et al. (2019) encontraram aumento entre 1,5 e 1,8 vezes em relação ao cultivo convencional quando cultivada em múltiplas colheitas em hidroponia.

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Descrição geral dos experimentos**

Os experimentos foram realizados durante o período de inverno de 2020 e durante o verão de 2021 em sistema hidropônico de fluxo laminar de nutrientes (NFT). Avaliou-se produções e dimensões das plantas em função de espaçamentos entre perfis hidropônicos e número de plantas por célula. Outras análises como bromatológica e nutricional foram realizadas no cultivo de inverno.

### **4.2. Localização da área experimental**

A área experimental pertence ao Departamento de Biotecnologia e Produção Vegetal e Animal da Universidade Federal de São Carlos, no Centro de Ciências Agrárias, localizada em Araras-SP (22°18'30.8"S, 47°22'53.5"O). O clima do município, segundo a classificação climática de Köppen e Geiger, é Cwa, isto é, clima subtropical de inverno seco e verão quente (KOTTEK et al., 2006). A temperatura média anual histórica monitorada no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos é de 21,6 °C, oscilando entre 15,0 e 28,1 °C, com pluviosidade anual de 1.425,6 mm (UFSCAR, 2020).

### 4.3. Produção das mudas

O híbrido utilizado no experimento foi Darkibor de couve-crespa (*kale*) da empresa Bejo®. As mudas do híbrido foram produzidas em viveiro comercial (IBS Mudas), localizado no município de Piracicaba-SP (22°36'36.4"S, 47°35'36.3"W), em bandejas de 128 células, durante o período de 30 de junho a 6 de agosto de 2020 para o cultivo de inverno e durante o período de 15 de dezembro de 2020 a 21 de janeiro de 2021 para o cultivo de verão.

### 4.4. Caracterização do sistema de cultivo

As mudas foram transplantadas para bancadas hidropônicas com três folhas verdadeiras, no dia 6 de agosto de 2020 (inverno) e no dia 21 de janeiro de 2021 (verão). O cultivo se deu em NFT (fluxo laminar de nutrientes), no sistema HPM (hidroponia perfil móvel) da Hidrogood®, em ambiente protegido. Coletou-se, diariamente, temperatura máxima e mínima da estufa com termômetro com sensor a 1 m de altura (altura das plantas).

A estufa possui pé direito de 3,5 m, 15 m de comprimento e 7 m de largura, coberta com plástico difusor e laterais fechadas com malha de sombreamento ChromatiNet® Leno vermelha 20%. Os perfis de cultivo são de polietileno com 61 mm de largura e 40 mm de altura. O arranjo estrutural correspondeu a duas motobombas Dancor® modelo Pratika CP-4R, 0,5 cv, e dois reservatórios com capacidade para 1000 L. Cada reservatório alimentou dois blocos experimentais.

A solução nutritiva utilizada foi a de rúcula proposta por Furlani et al. (1999): 120 g 1000 L<sup>-1</sup> de MAP (fosfato monoamônico, N: 11% + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 60%, marca Ominia®); 500 g 1000 L<sup>-1</sup> de nitrato de cálcio (N: 15,5% + Ca: 19%, marca YaraLiva®); 650 g 1000 L<sup>-1</sup> de nitrato de potássio (N: 12% + K<sub>2</sub>O: 45%, S: 1,2%, marca DripSol®); 350 g 1000 L<sup>-1</sup> de sulfato de magnésio (Mg: 9% + S: 11,9%, marca Heringer®); 20 g 1000 L<sup>-1</sup> de coquetel de micronutrientes (B: 1,82% - Cu EDTA: 1,82% - Fe EDTA: 7,26% - Mn EDTA: 1,82% - Mo:0,3%, Ni: 0,335% - Zn EDTA: 0,73%, marca Conplant®); e 30 g 1000 L<sup>-1</sup> de FeQ48 - quelato de ferro (Fe: 16%, marca DripSol®). Para favorecer enraizamento, no início dos experimentos foi adicionado à solução de cultivo o fertilizante Rootex® (N: 7% + P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 47% + K<sub>2</sub>O: 6%, solúveis em água, marca Cosmocel®) na dose 30 g 1000 L<sup>-1</sup>.

Durante os experimentos foram realizadas medições diárias da condutividade elétrica da solução de cultivo, a qual foi mantida entre 1.400 e 1.800  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , por vezes sendo necessário adição de água e/ou fertilizantes, e de pH, mantido entre 5,5 e 6,5, com limite máximo de 7,5, sendo adicionado ácido fosfórico ( $\text{P}_2\text{O}_5$ : 52%, marca Plenar®) para diminuição do pH quando necessário, visto que a água do Centro de Ciências Agrárias possui caráter básico (pH em torno de 8,0). Durante o período das 06:00 às 19:15, o esquema de circulação da solução nutritiva foi alternado em intervalos de 15 min, isto é, 15 min ligado e 15 min desligado. Já no período noturno, houve circulação de solução de 30 min as 22:30h e as 03:00h.

#### 4.5. Delineamento experimental e tratamentos

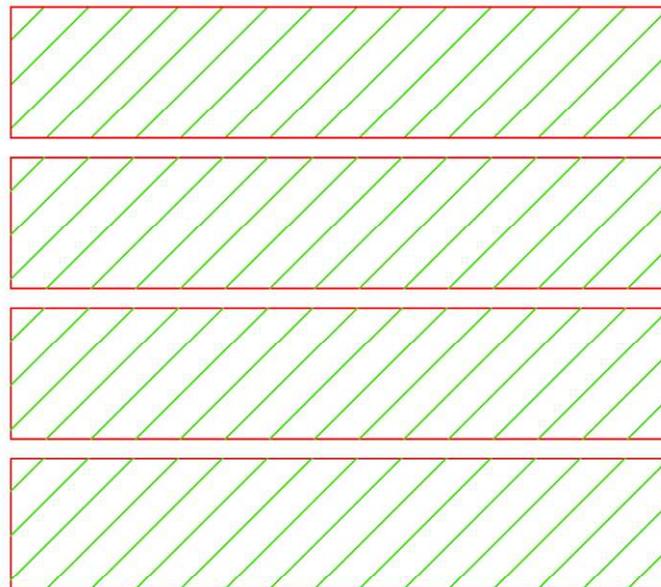
O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. O experimento realizado apresentou como tratamentos principais quatro espaçamentos entre linhas (0,07; 0,11; 0,15 e 0,20 m) e quatro tratamentos secundários, correspondentes a número de plantas por célula (uma, duas, três e quatro). Cada parcela foi constituída de quatro subparcelas, que por sua vez foram constituídas de 30 células, com seis perfis hidropônicos e cinco aberturas cada perfil. A bordadura foi composta pelas células mais externas, equivalendo a 18 em cada subparcela e as plantas úteis foram as outras 12 células internas (Figura 1). O espaçamento entre planta foi fixo e de 0,15 m. A partir dos estudos com rúcula de Reghin et al. (2005) e Purquerio et al. (2007), foram definidos os espaçamentos, os quais foram ajustados para o perfil hidropônico utilizado.



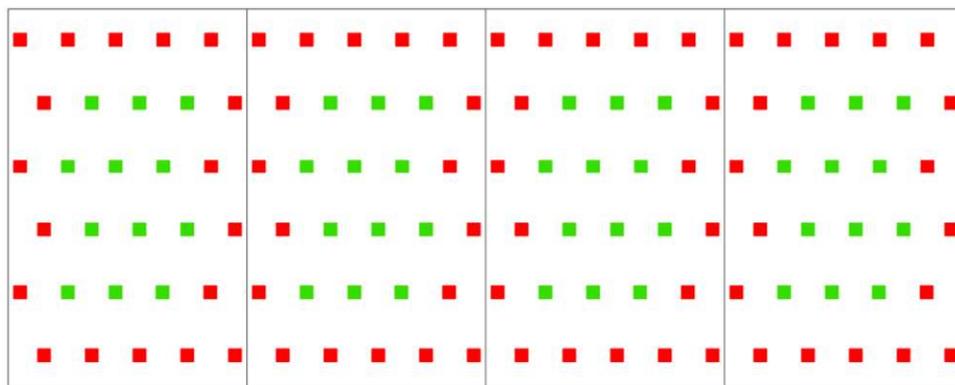
(A)



(B)



(C)



(D)

Figura 1. Área experimental (A) e representação esquemática da distribuição espacial dos experimentos: quatro blocos experimentais (B); quatro parcelas, correspondentes a cada nível do fator espaçamento, que compuseram cada bloco (C); quatro subparcelas, correspondentes

a cada nível do fator número de plantas por célula, que compuseram cada parcela, com 18 aberturas de perfil hidropônico em vermelho representando a bordadura e 12 em verde representando as plantas úteis (D).

#### **4.6. Características avaliadas**

Em ambos os cultivos, de inverno e verão, as análises agronômicas foram feitas aos 27 dias após o transplântio, 02 de setembro de 2020 e 17 de fevereiro de 2021, respectivamente.

No cultivo de inverno, utilizando duas células aleatórias de cada subparcela, mensurou-se: a) altura de plantas; b) número e dimensões de folhas de cada planta da célula (folhas maiores que 1 cm; largura e comprimento do limbo foliar e comprimento de pecíolos da maior folha de cada planta da célula); c) massa fresca e seca da parte aérea (para massa seca foi feita secagem em estufa com circulação de ar à temperatura de 60°C até atingir massa constante) e produtividade (razão entre massa fresca e o produto do espaçamento fixo entre plantas (0,15 m) pelo equivalente espaçamento entre perfis); d) índice total de clorofila pelo equipamento SPAD-502-PLUS (MINOLTA CORP, 2007).

Cinco células por subparcela foram utilizadas para compor uma amostra da análise bromatológica, com total de 64 amostras, realizadas no Laboratório de Análises e Simulação Tecnológica (LAST), pertencente ao Departamento de Tecnologia Agroindustrial e Sócio-Economia Rural da Universidade Federal de São Carlos, no Centro de Ciências Agrárias, Araras-SP. A partir das folhas, analisou-se em triplicata: a) teor de umidade, determinado em estufa entre 100 e 105 °C até massa constante (AOAC, 2012); b) teor de cinzas, pelo método de queima entre 600 e 650°C (AOAC, 2012); c) teor de proteínas, pelo método Kjeldahl (AOAC, 2012); d) teor de fibra, pelo método ANKOM (2017); e) teor de lipídios, feita com éter etílico, utilizando o equipamento Soxhlet (IUPAC, 1979); e) carboidratos totais, pela diferença entre porcentagem de água, proteína, lipídios, cinzas e fibra subtraída de 100.

Cinco células por subparcela foram utilizadas para compor uma amostra da análise nutricional, com total de 64 amostras, sendo feito enxágue das folhas e secagem (estufa com circulação de ar à temperatura de 60°C). Em seguida, foram feitas análises de macro e micronutrientes seguindo metodologia de Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) no Laboratório de Fertilidade do Solo do Instituto Agrônômico (IAC), Campinas-SP.

No cultivo de verão, utilizando seis células aleatórias de cada subparcela, mensurou-se: a) altura de plantas; b) número e dimensões de folhas de cada planta da célula (folhas maiores que 1 cm; largura e comprimento do limbo foliar e comprimento de pecíolos da maior folha de cada planta da célula); c) massa fresca e seca da parte aérea (para massa seca foi feita secagem em estufa com circulação de ar à temperatura de 60°C até atingir massa constante) e produtividade (razão entre massa fresca e o produto do espaçamento fixo entre plantas (0,15 m) pelo equivalente espaçamento entre perfis); d) índice total de clorofila pelo equipamento SPAD-502-PLUS (MINOLTA CORP, 2007).

#### **4.7. Forma de análise dos resultados**

Os dados obtidos para as características avaliadas foram analisados estatisticamente através da análise de variância e por meio do teste F. Quando a interação entre espaçamento e número de plantas por célula foi não significativa, foi feita análise de regressão para ambos os fatores. Quando a interação foi significativa, foram estudados os desdobramentos espaçamento dentro de cada nível de número de plantas por célula e número de plantas por célula dentro de cada nível de espaçamento. Para escolha do melhor modelo regressivo, analisou-se o desvio de regressão. Nos tratamentos sem diferença significativa foi traçada linha de tendência passando pela média, mantendo-se os pontos originais. Utilizou-se para as análises o *software* R (R CORE TEAM, 2020) e, para a construção dos gráficos, o *software* Origin (ORIGIN, 2020). Para estudo de homogeneidade entre plantas de uma mesma célula, ordenou-se as plantas de forma decrescente, em planta 1 (uma planta por célula); planta 1 e 2 (duas plantas por célula); planta 1, 2 e 3 (três plantas por célula); plantas 1, 2, 3 e 4 (quatro plantas por célula); sendo a planta 1 a maior delas e a  $n$ , a menor.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1. Cultivo de inverno**

#### **5.1.1. Dados climáticos**

Durante o cultivo hidropônico em NFT de couve-crespa no inverno de 2020, a temperatura máxima registrada no interior da estufa oscilou entre 20,2 e 36,4 °C, com média de 31,0 °C. Já a temperatura mínima oscilou entre 8,7 e 17,9 °C, com média de 13,4 °C. A média geral foi de 22,2 °C (Figura 2).

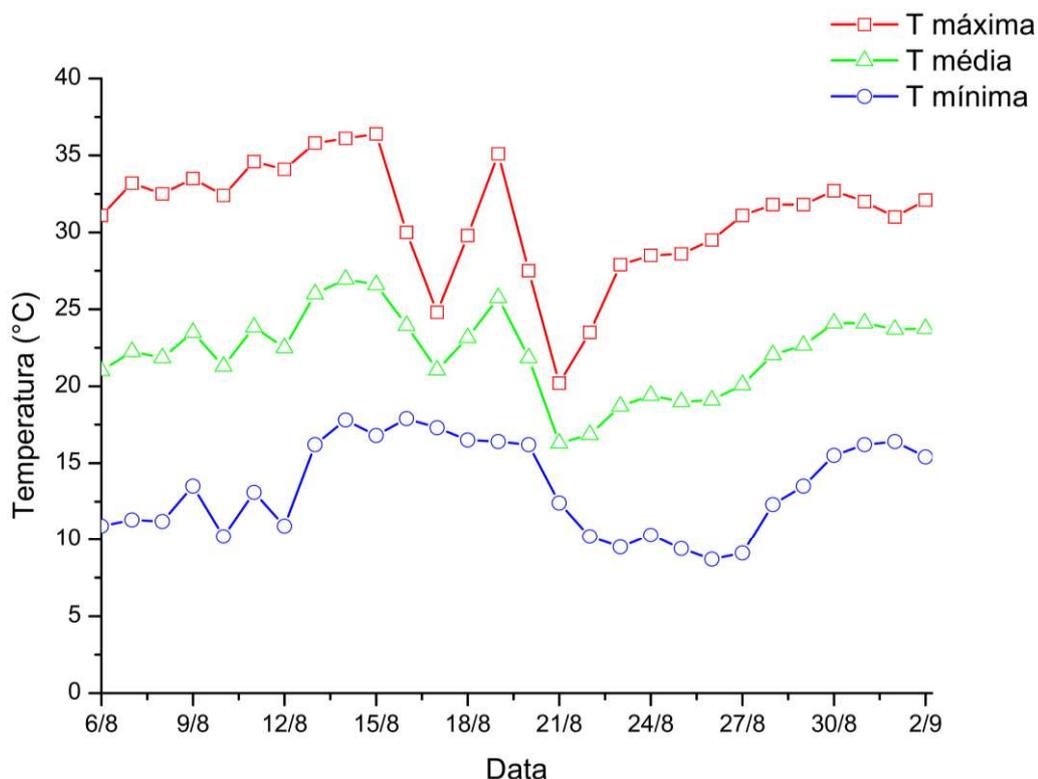
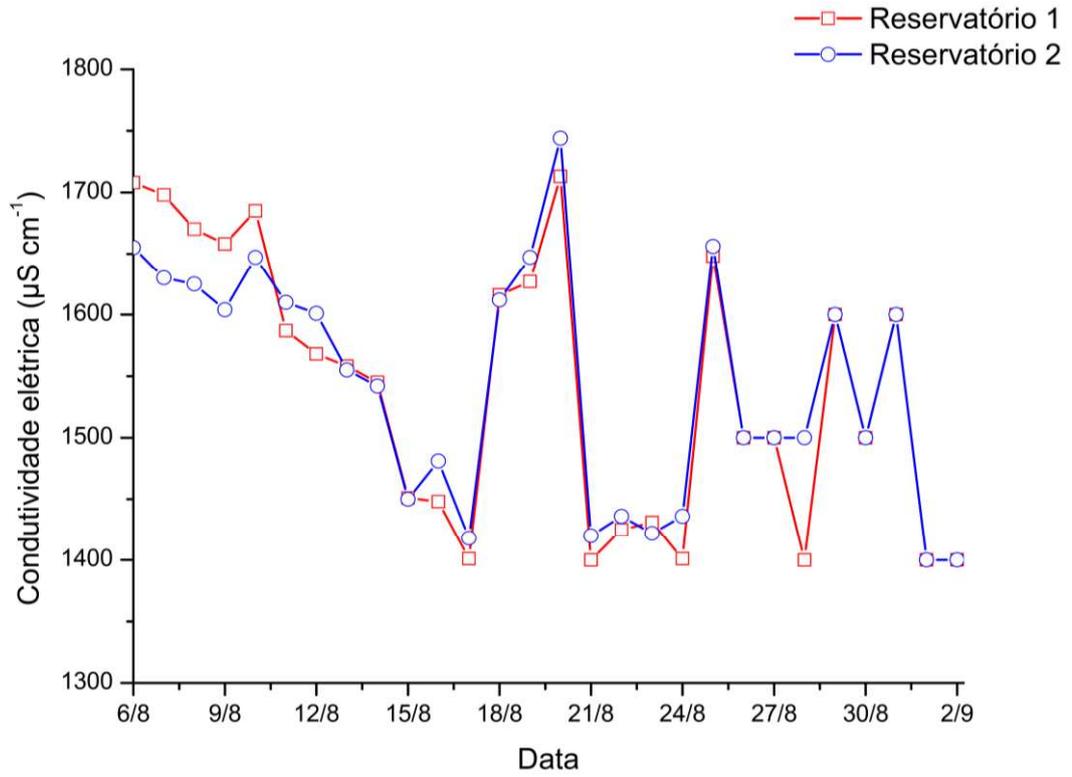


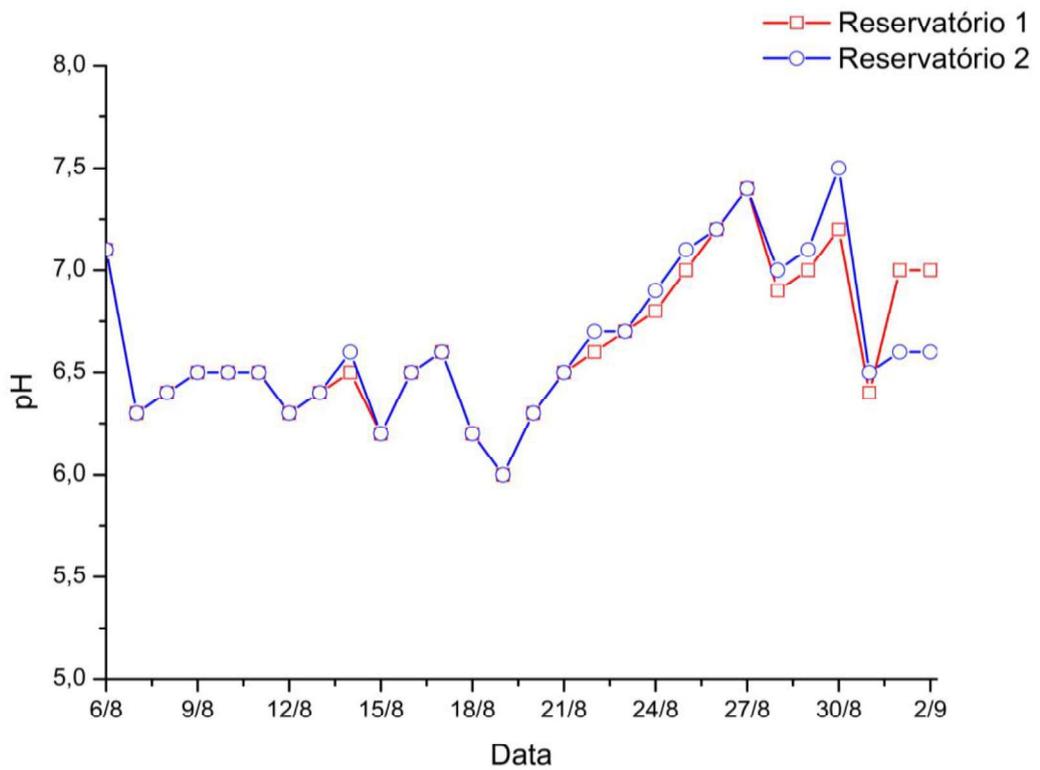
Figura 2. Dados de temperatura registrados no interior da estufa durante o período de inverno de cultivo de couve-crespa (*kale*) hidropônica. UFSCar, Araras (SP), 2020.

### 5.1.2. Dados das soluções de cultivo

A condutividade elétrica das soluções de cultivo de couve-crespa hidropônica dos reservatórios 1 e 2 oscilou entre 1.400 e 1.713  $\mu\text{S cm}^{-1}$  e entre 1.400 e 1.744  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , com médias de 1.541 e 1.543  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , respectivamente. Já o pH dos reservatórios 1 e 2 oscilou entre 6,0 e 7,4 e entre 6,0 e 7,5, com médias de 6,6 e 6,7, respectivamente (Figura 3).



(A)



(B)

Figura 3. Dados de condutividade elétrica (A) e pH (B) das soluções de cultivo de couve-crespa (*kale*) em sistema hidropônico NFT durante inverno. Cada reservatório abasteceu dois blocos experimentais. UFSCar, Araras (SP), 2020.

### **5.1.3. Resultados das características avaliadas**

Quanto às características agronômicas, para altura de plantas, comprimento do limbo foliar e de pecíolos não houve interação significativa entre os fatores espaçamentos e número de plantas por célula. Já para as demais características, número de folhas, largura do limbo foliar, massa fresca e seca da parte aérea, produtividade e índice total de clorofila, houve interação significativa (Tabela 2).

Quanto à análise bromatológica, para todas as características avaliadas não houve interação significativa entre os fatores espaçamentos e número de plantas por célula (Tabela 3). Já com relação à análise nutricional, apenas para cálcio houve interação significativa (Tabela 4 e Tabela 5).

Tabela 2. Resumo da análise de variância da altura de plantas (AP), número de folhas (NF), largura do limbo foliar (LLF), comprimento do limbo foliar (CLF), comprimento de pecíolos (CP), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), produtividade e índice total de clorofila (ICT) de couve-crespa (*kale*) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em diferentes espaçamentos e número de plantas por célula. UFSCar, Araras (SP), 2020.

Causas de variação		Quadrado médio									
GL	AP	NF	LLF	CLF	CP	MFPA	MSPA	Produtividade	ICT		
Espaçamentos (E)	3	202,5 ***	122,7 ***	1,2 ns	15,0 ***	67,0 ***	163,2 ns	6,9 **	40558574,0 ***	487,4 ***	
Blocos	3	48,6 ***	16,8 ns	0,4 ns	6,9 **	12,0 **	1374,0 ***	16,0 ***	4796582,7 **	311,4 **	
Resíduo (a)	9	2,8	5,3	1,0	0,8	1,5	75,8	1,0	508240,0	22,8	
(Parcelas)	15										
Número de plantas por célula (NPC)	3	85,5 ***	3770,3 ***	44,2 ***	193,5 ***	2,9 ns	328,5 **	2,3 *	1668902,0 **	33,5 **	
Interação E x NPC	9	5,8 ns	14,3 **	2,1 *	3,5 ns	1,3 ns	174,5 *	1,4 *	950514,6 **	20,7 ***	
Resíduo (b)	100	3,0	5,2	1,0	7,1	1,1	72,6	0,6	305062,1	22,1	
CV Parcela (%)		6,57	8,27	13,57	9,13	13,56	18,29	22,17	26,07	11,05	
CV Sub-parcela (%)		6,90	8,24	13,92	16,00	11,88	17,90	17,70	20,20	5,77	

“\*\*\*” Significativo a 0,001% de probabilidade; “\*\*” significativo a 0,01% de probabilidade; “\*” significativo a 0,05% de probabilidade; “ns” não significativo pelo teste F. “GL” graus de liberdade; “CV” coeficiente de variação.

Tabela 3. Resumo da análise de variância da análise bromatológica de couve-crespa (*kale*) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em diferentes espaçamentos e número de plantas por célula. UFSCar, Araras (SP), 2020.

Causas de variação	GL	Quadro médio						
		Umidade	Cinzas	Proteína	Fibra	Lípídeos	Carboidratos totais	
Espaçamentos (E)	3	5,053 ***	0,008 ns	0,383 ***	1,590 ***	0,028 ns	2,767 ***	
Blocos	3	2,713 ***	0,012 ns	0,087 ***	0,737 *	0,051 *	2,062 ***	
Resíduo (a)	9	0,072	0,008	0,005	0,114	0,009	0,099	
(Parcelas)	15							
Número de plantas por célula (NPC)	3	0,510 *	0,003 ns	0,019 ns	0,049 ns	0,010 ns	0,411 ***	
Interação E x NPC	9	0,118 ns	0,008 ns	0,014 ns	0,141 ns	0,003 ns	0,088 ns	
Resíduo (b)	100	0,043	0,002	0,006	0,045	0,002	0,020	
CV Parcela (%)		0,30	4,87	2,52	9,08	16,48	6,48	
CV Sub-parcela (%)		0,39	4,20	4,73	9,48	14,13	4,80	

“\*\*\*” Significativo a 0,001% de probabilidade; “\*\*” significativo a 0,01% de probabilidade; “\*” significativo a 0,05% de probabilidade; “ns” não significativo pelo teste F. “GL” graus de liberdade; “CV” coeficiente de variação.

Tabela 4. Resumo da análise de variância do teor de macronutrientes da análise nutricional de couve-crespa (*kale*) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em diferentes espaçamentos e número de plantas por célula. UFSCar, Araras (SP), 2020.

Causas de variação	GL	Quadrado médio						
		N	P	K	Ca	Mg	S	
Espaçamentos (E)	3	22782,33 ***	14,43 ns	4599,00 ns	4354,67 *	153,49 *	59,60 ns	
Blocos	3	5446,67 **	477,93 ns	35512,00 *	614,67 ns	200,03 *	969,43 ns	
Resíduo (a)	9	512,78	245,79	5123,11	1051,89	33,35	265,06	
(Parcelas)	15							
Número de plantas por célula (NPC)	3	637,00 ns	1,03 ns	3053,00 ns	728,33 ns	7,65 ns	157,10 ns	
Interação E x NPC	9	643,89 ns	18,69 ns	2729,44 ns	974,67 *	13,25 ns	42,83 ns	
Resíduo (b)	100	242,11	13,71	708,16	154,39	3,40	25,72	
CV Parcela (%)		4,13	20,24	18,83	12,31	10,81	15,20	
CV Sub-parcela (%)		4,74	7,97	11,67	7,86	5,75	7,89	

“\*\*\*” Significativo a 0,001% de probabilidade; “\*\*” significativo a 0,01% de probabilidade; “\*” significativo a 0,05% de probabilidade; “ns” não significativo pelo teste F. “GL” graus de liberdade; “CV” coeficiente de variação.

Tabela 5. Resumo da análise de variância do teor de micronutrientes da análise nutricional de couve-crespa (*kale*) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em diferentes espaçamentos e número de plantas por célula. UFSCar, Araras (SP), 2020.

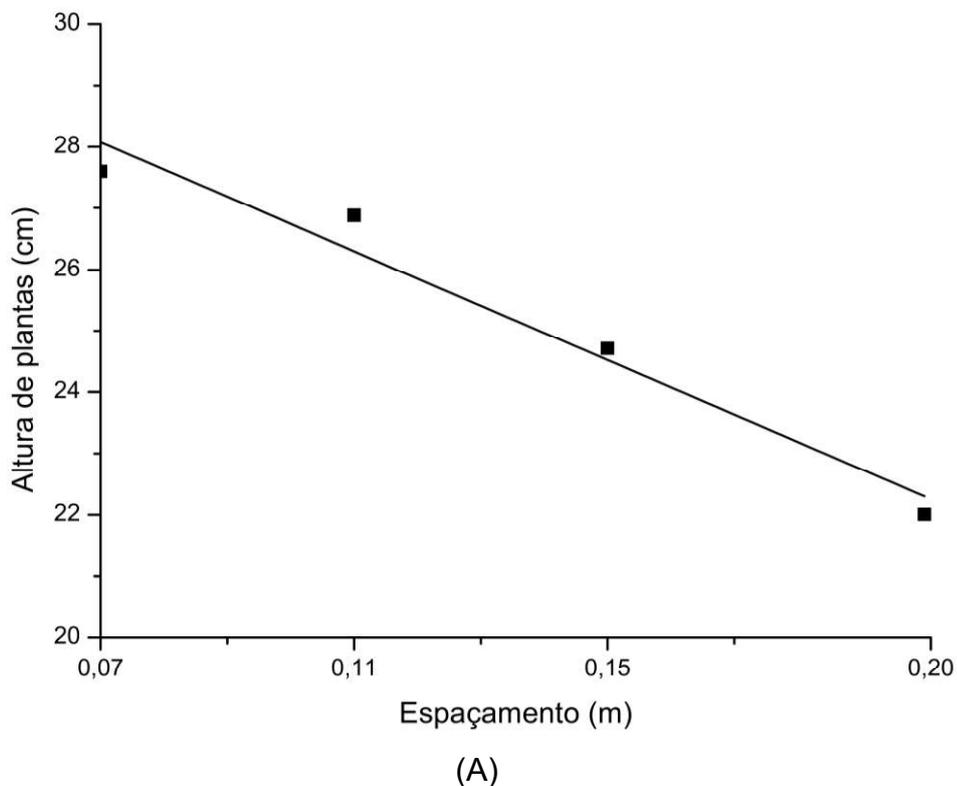
Causas de variação	GL	Quadrado médio				
		Fe	Mn	Cu	Zn	B
Espaçamentos (E)	3	0,07450 ns	0,00059 ns	0,00016 *	0,00573 ns	0,00350 ns
Blocos	3	5,74077 ***	0,09927 *	0,00007 ns	0,02915 ns	0,01458 ns
Resíduo (a)	9	0,06316	0,01877	0,00002	0,00908	0,00504
(Parcelas)	15					
Número de plantas por célula (NPC)	3	0,01600 ns	0,00655 ns	0,00009 *	0,00027 ns	0,00043 ns
Interação E x NPC	9	0,03243 ns	0,00415 ns	0,00004 ns	0,00058 ns	0,00084 ns
Resíduo (b)	100	0,01560	0,00224	0,00001	0,00039	0,00030
CV Parcela (%)		18,21	17,81	19,74	26,72	18,47
CV Sub-parcela (%)		15,08	10,26	20,67	9,20	7,48

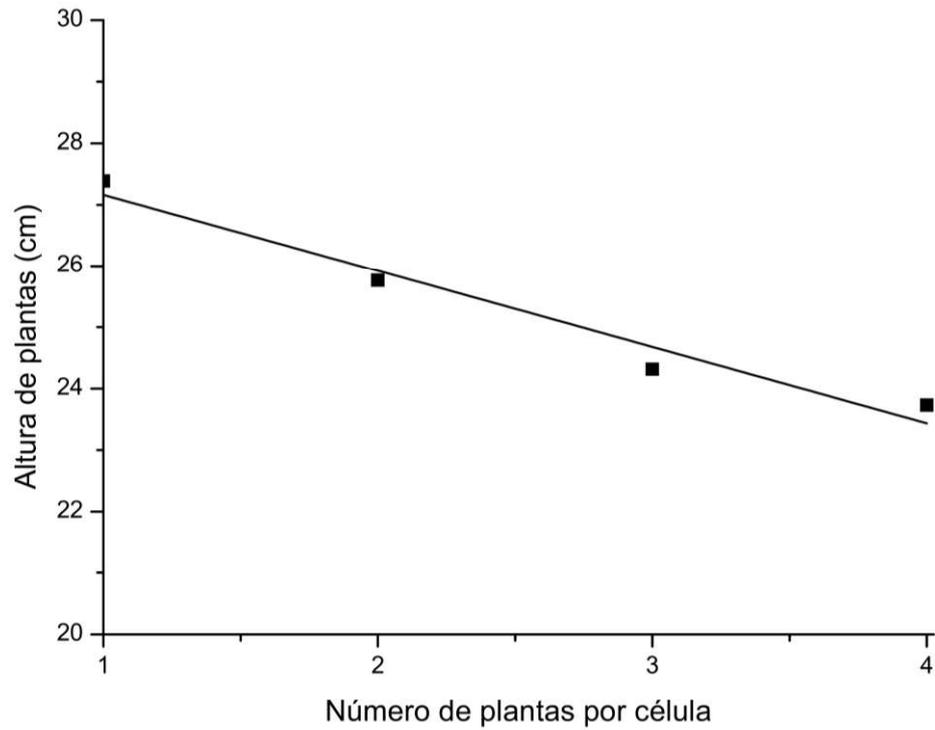
“\*\*\*” Significativo a 0,001% de probabilidade; “\*\*” significativo a 0,01% de probabilidade; “\*” significativo a 0,05% de probabilidade; “ns” não significativo pelo teste F. “GL” graus de liberdade; “CV” coeficiente de variação.

### 5.1.3.1. Altura de plantas

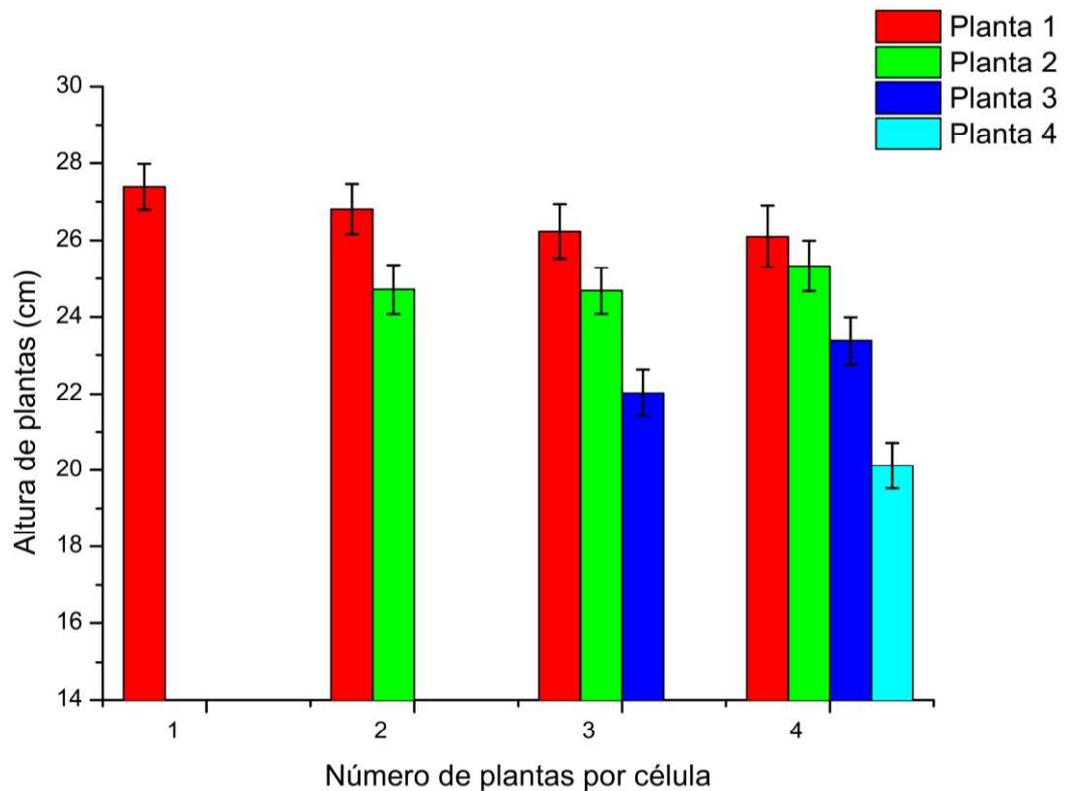
O aumento do espaçamento e do número de plantas por célula proporcionou diminuição linear da altura de plantas (Figura 4). A altura máxima registrada, em função do espaçamento, foi 27,6 cm no menor espaçamento (0,07 m) e a mínima foi 22 cm no maior espaçamento (0,20 m). Já em função do número de plantas por célula, a altura máxima registrada foi 27,39 cm, com uma planta, e a altura mínima foi 23,73 cm, com quatro plantas por célula.

Durante o cultivo hidropônico, em termos visuais, a diferença das alturas das plantas em diferentes espaçamentos foi ampla e perceptível (Figura 5). Apesar da diminuição linear encontrada estatisticamente em função do número de plantas por célula, a diferença na altura não foi perceptível visualmente e isso se deve à grande heterogeneidade encontrada nas plantas dentro de uma mesma célula (Figura 4 e Figura 6). A diminuição linear ocorreu devido à média de todas as plantas de uma mesma célula, porém, com maior número de plantas, maior foi a diferença entre elas, maior foi a heterogeneidade. Ao observarmos apenas a altura das maiores plantas de cada célula, constatamos o porquê do aspecto visual de alturas semelhantes.





(B)



(C)

Figura 4. Médias de altura de couve-crespa (*kale*) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplante. Médias de altura (com erro padrão) das diferentes plantas de uma mesma célula, em ordem decrescente (C). UFSCar, Araras (SP), 2020.



Figura 5. Couve-crespa (*kale*) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT. Ao lado esquerdo, parcela com espaçamento de 0,20 m e, ao lado direito, 0,07 m, ambas aos 27 dias após transplante. UFSCar, Araras (SP), 2020.



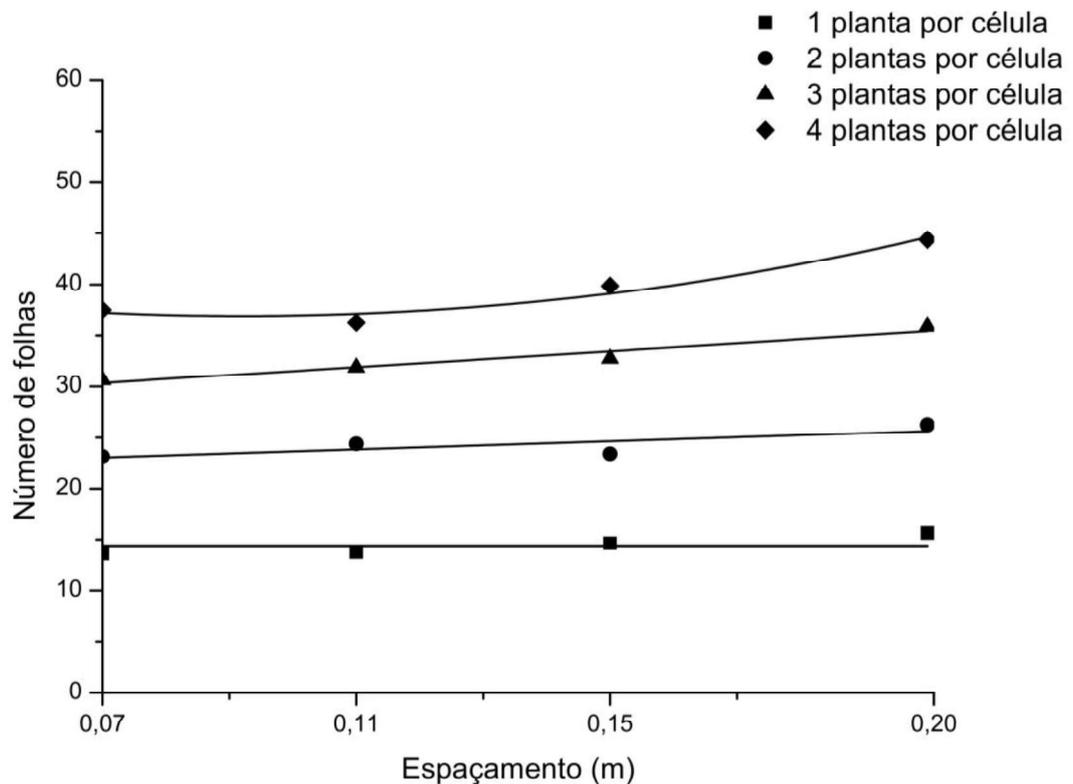
Figura 6. Couve-crespa (*kale*) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT. Heterogeneidade entre diferentes plantas de uma mesma célula, com quatro plantas por célula, aos 27 dias após transplante. UFSCar, Araras (SP), 2020.

#### 5.1.3.2. Número e dimensões de folhas

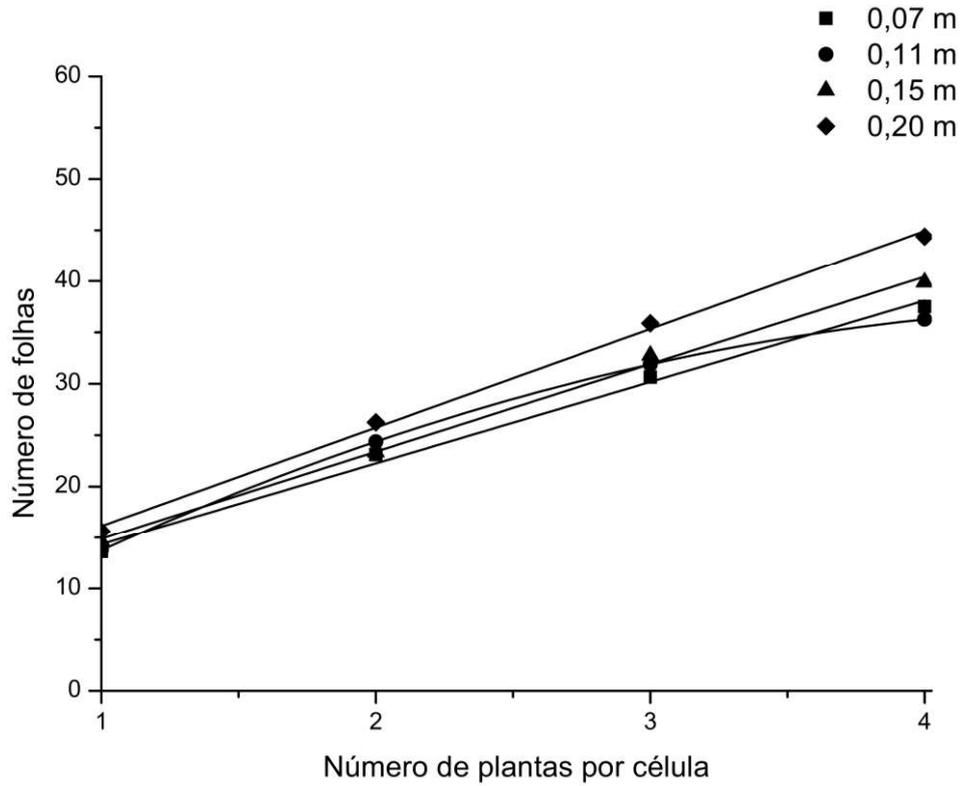
A interação entre espaçamento e número de plantas por célula foi significativa nas características número de folhas e largura do limbo foliar. Dessa forma, os desdobramentos geraram, ao todo, oito modelos regressivos para cada uma dessas características.

Quanto ao número de folhas (Figura 7), em função do espaçamento, não houve diferença estatística com uma planta por célula (média de 14,41 folhas); com duas e

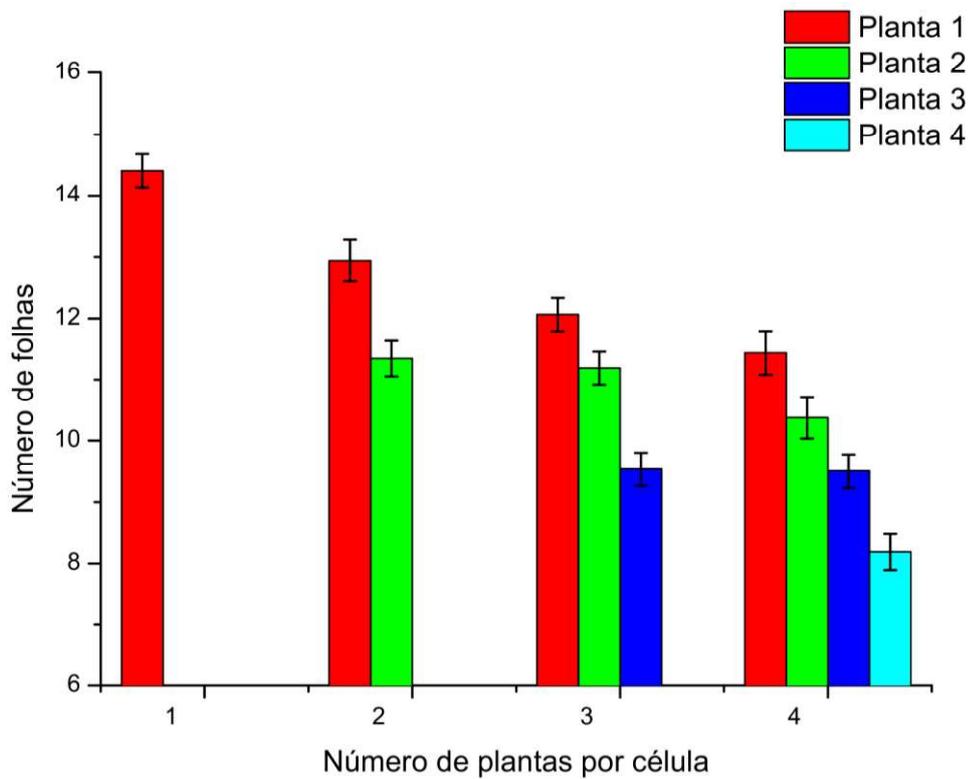
três plantas por célula, houve aumento linear do número de folhas, com valores máximos registrados de 26,25 e 35,88 folhas, respectivamente (espaçamento de 0,20 m); com quatro plantas por célula, o aumento foi polinomial quadrático, com valor máximo de 44,38 folhas (0,20 m). Já em função do número de plantas por célula, o número de folhas aumentou linearmente nos espaçamentos 0,07; 0,15 e 0,20 m, com valores máximos registrados de 37,50; 39,88 e 44,38 folhas, respectivamente (com quatro plantas por célula); no espaçamento 0,11 m o aumento foi polinomial quadrático, com valor máximo de 36,25 folhas (quatro plantas por célula). Apesar do maior somatório de folhas com maior número de plantas por célula, as plantas, individualmente, tiveram desempenho inferior com relação ao menor número de plantas por célula.



(A)



(B)

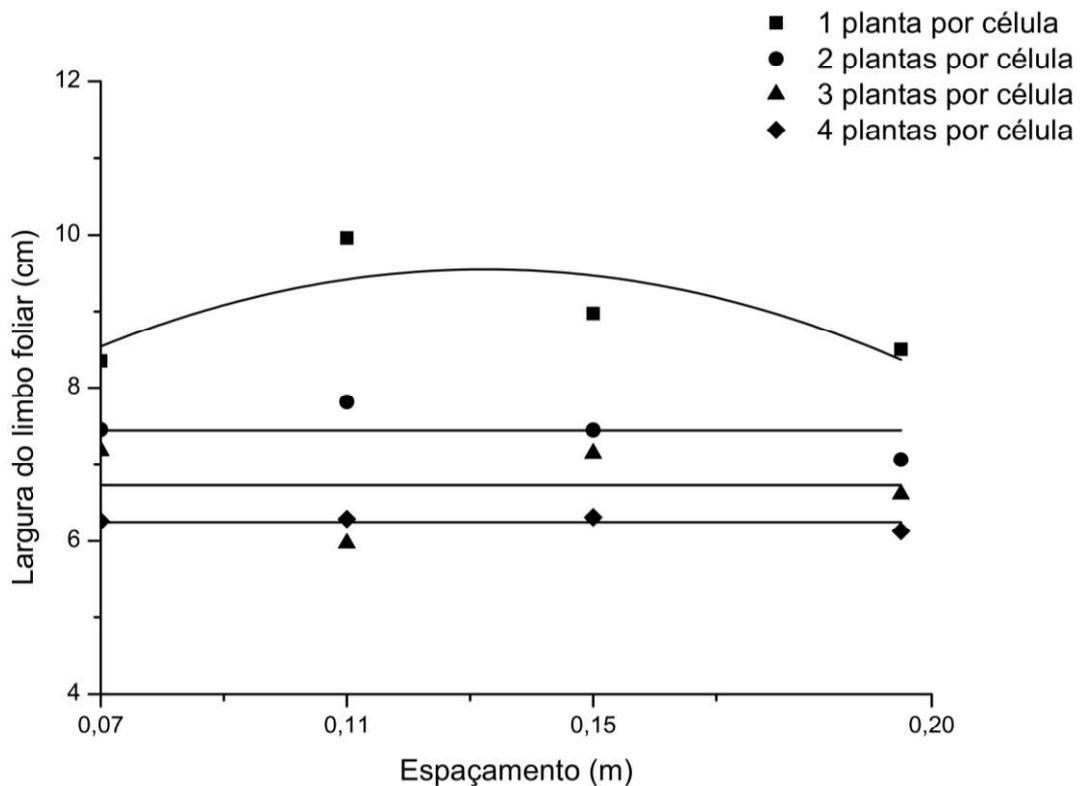


(C)

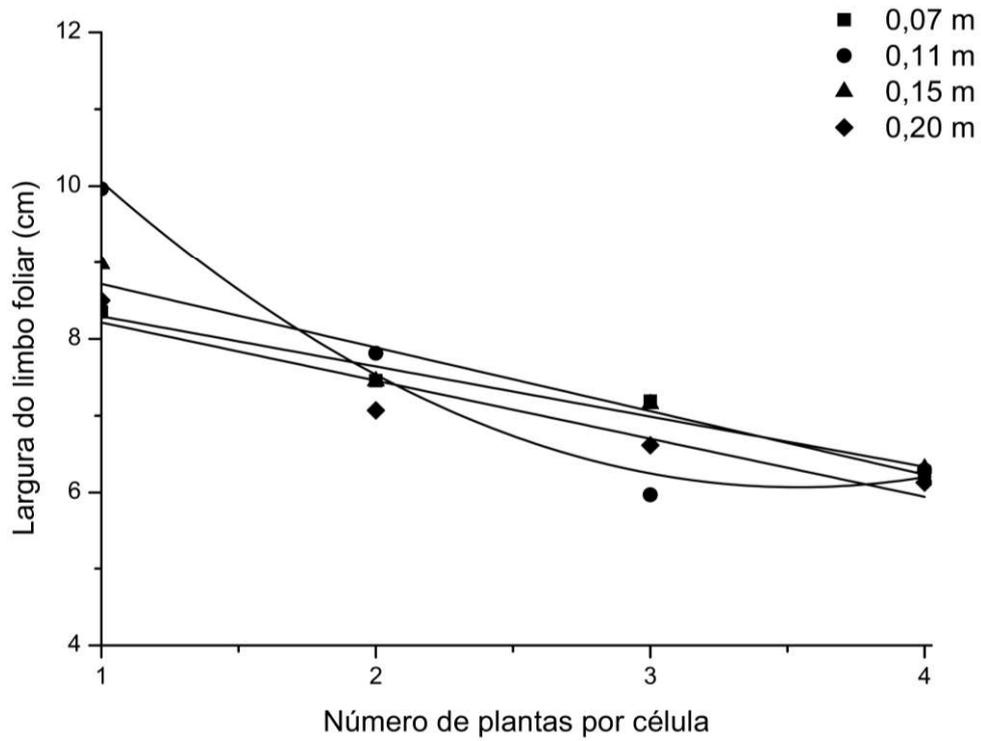
Figura 7. Médias de número de folhas de couve-crespa (*kale*) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplante; dados com o somatório das folhas das plantas de uma mesma célula. Médias de número de folhas (com erro padrão)

das diferentes plantas de uma mesma célula, em ordem decrescente (C). UFSCar, Araras (SP), 2020.

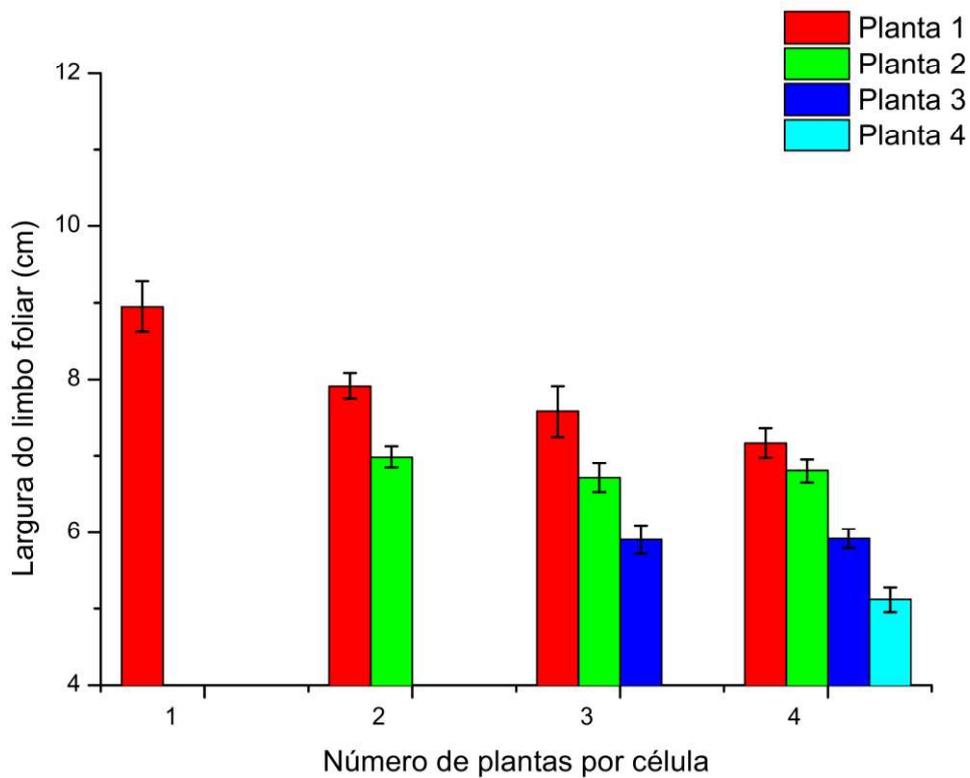
Quanto à largura do limbo foliar (Figura 8), em função do espaçamento, houve curva quadrática com uma planta por célula, cujo valor aumenta até espaçamento estimado de 0,13 m, com largura estimada de 9,55 cm, e diminui a partir deste ponto; com duas, três e quatro plantas por célula, não houve diferenças significativas, com médias de 7,45; 6,73 e 6,25 cm, respectivamente. Já em função do número de plantas por célula, a largura diminuiu linearmente nos espaçamentos 0,07; 0,15 e 0,20 m, com valores máximos registrados de 8,35; 8,98 e 8,50 cm, respectivamente (com uma planta por célula); no espaçamento 0,11 m a diminuição foi polinomial quadrática, com valor máximo de 9,96 cm (uma planta por célula). Considerando as diferentes plantas de uma mesma célula de forma individual, assim como em altura de plantas e número de folhas, também é possível perceber heterogeneidade, principalmente com quatro plantas por célula.



(A)



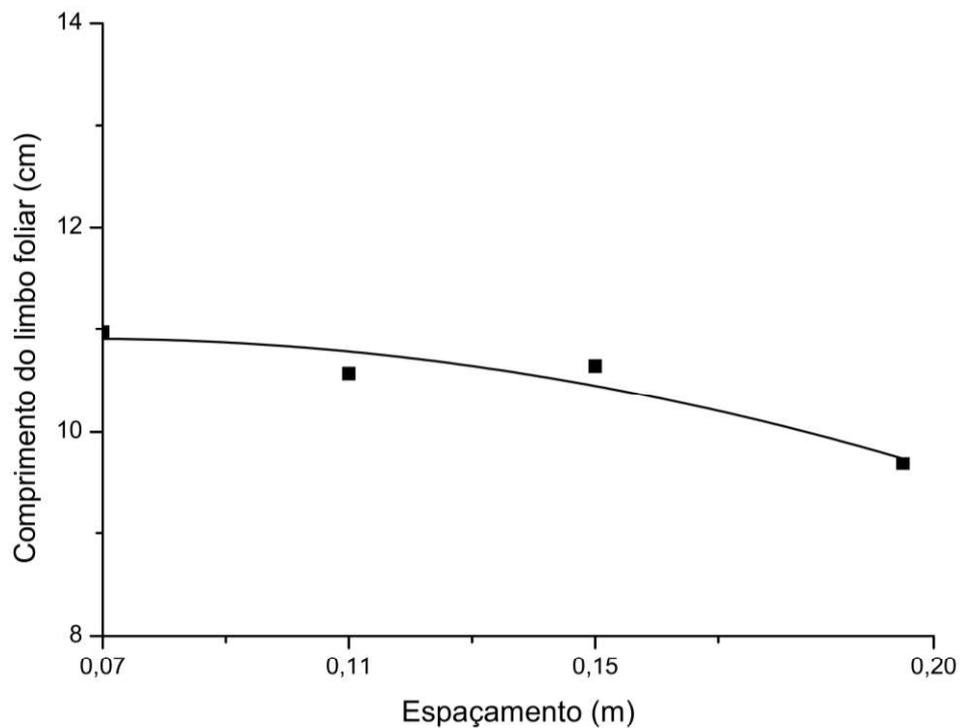
(B)



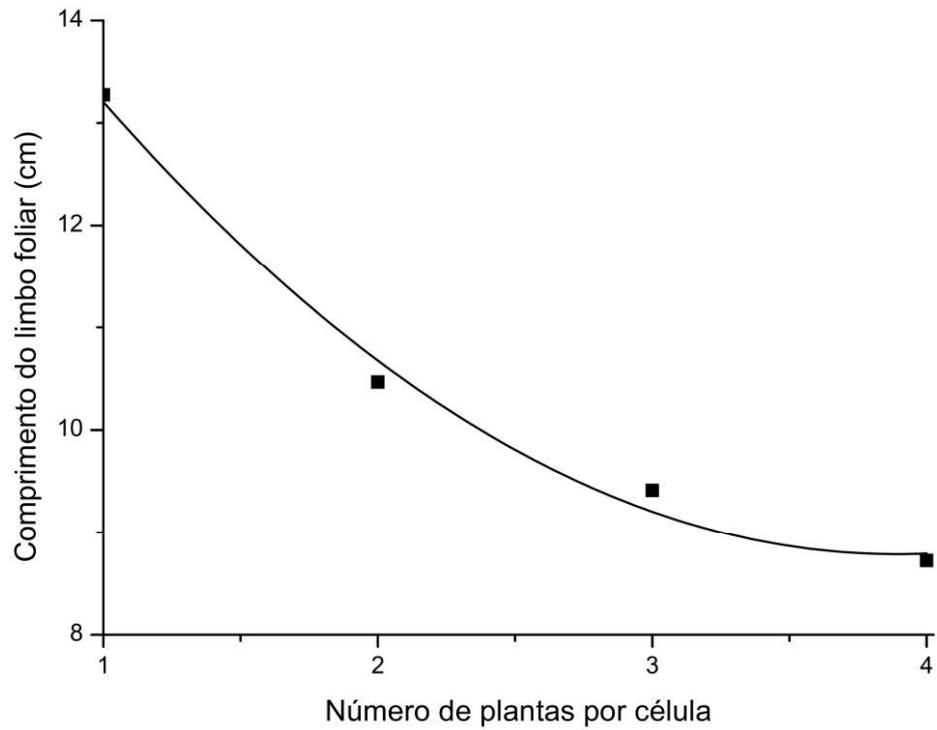
(C)

Figura 8. Médias de largura do limbo foliar de couve-crespa (*kale*) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplante. Médias de largura do limbo foliar (com erro padrão) das diferentes plantas de uma mesma célula, em ordem decrescente (C). UFSCar, Araras (SP), 2020.

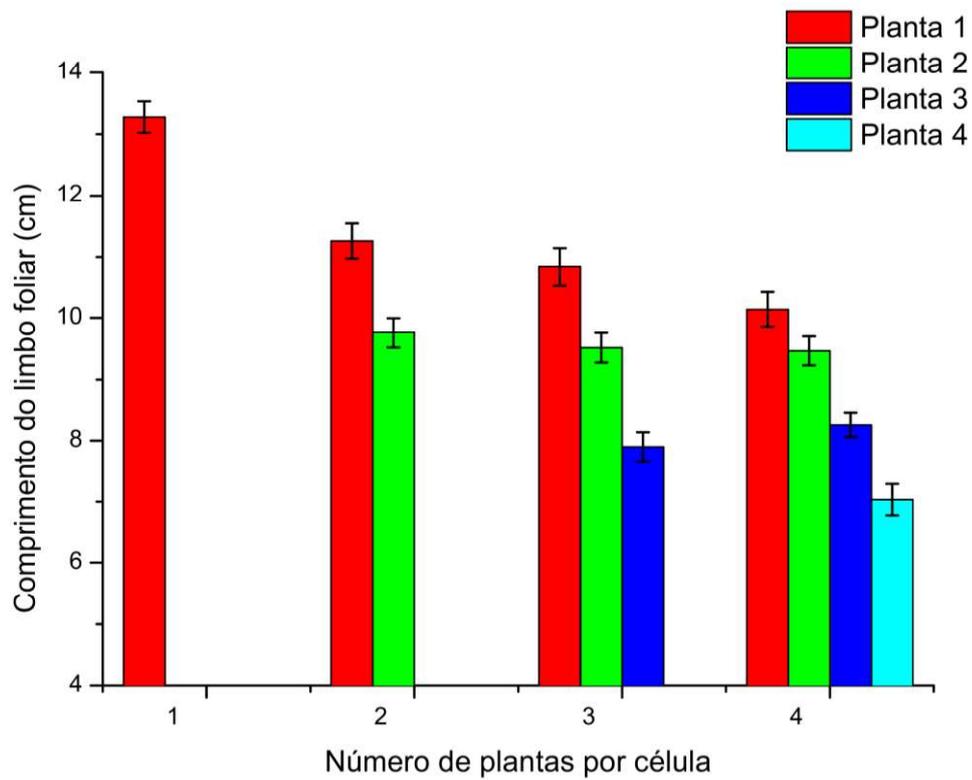
O aumento do espaçamento e do número de plantas por célula proporcionou diminuição quadrática do comprimento do limbo foliar (Figura 9). O comprimento máximo registrado, em função do espaçamento, foi 10,98 cm no menor espaçamento (0,07 m) e o mínimo foi 9,73 cm no maior espaçamento (0,20 m). Já em função do número de plantas por célula, o comprimento máximo registrado foi 13,28 cm, com uma planta, e o mínimo foi 8,72 cm, com quatro plantas por célula. Considerando as plantas de uma mesma célula de forma individual, é perceptível tanto a heterogeneidade entre plantas de uma mesma célula quanto a diminuição do comprimento em função do número de plantas por célula, contudo, vale ressaltar que o modelo regressivo exposto (diminuição quadrática) se refere à média das diferentes plantas de uma mesma célula.



(A)



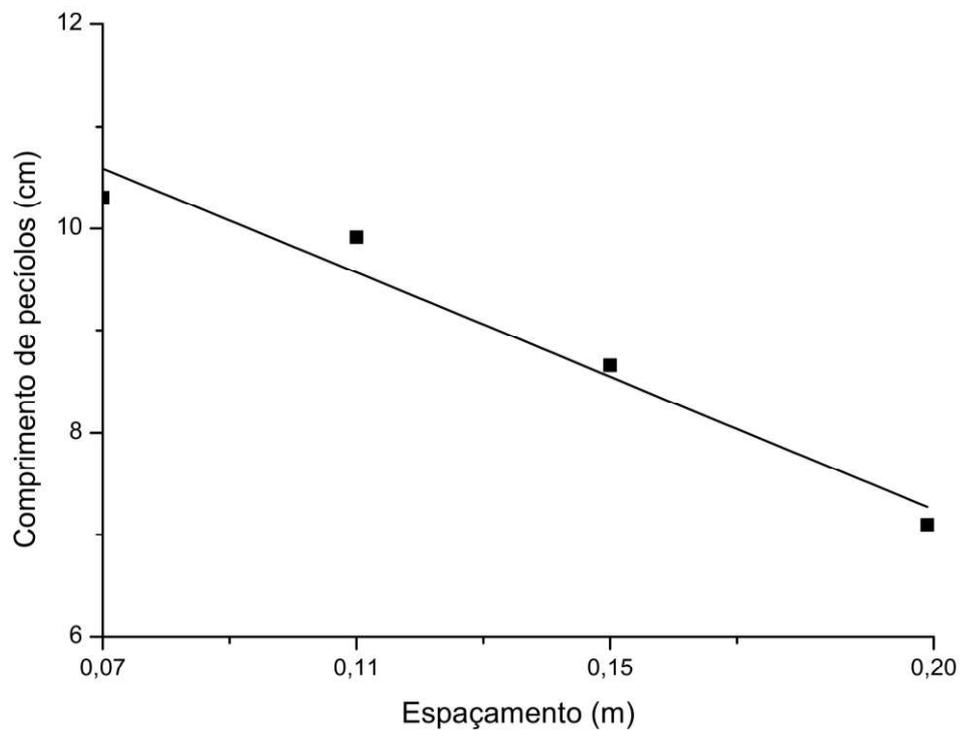
(B)



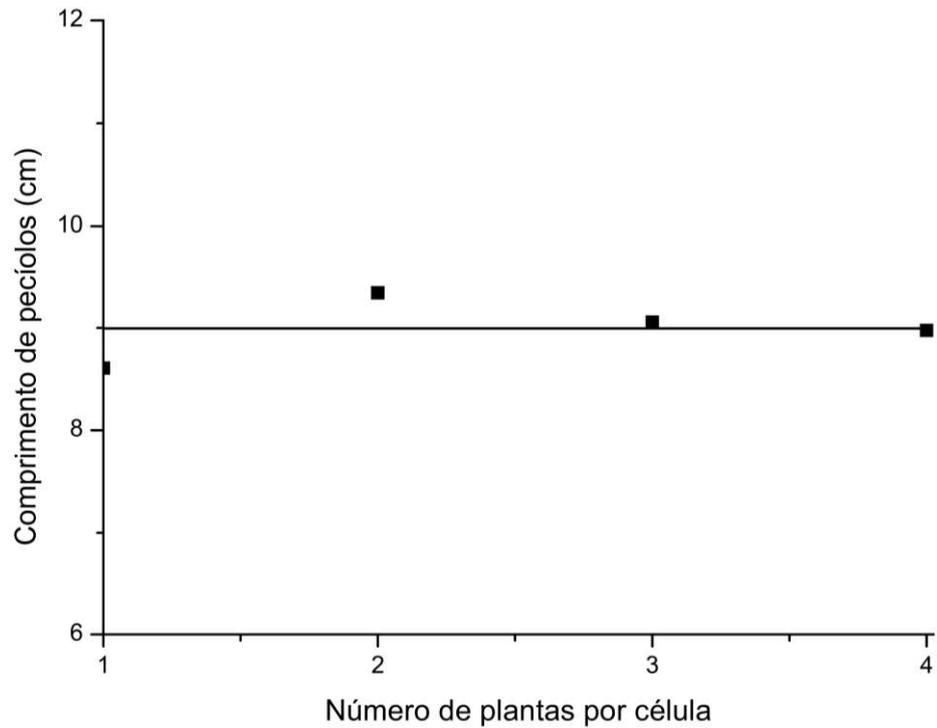
(C)

Figura 9. Médias de comprimento do limbo foliar de couve-crespa (*kale*) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplante. Médias de comprimento do limbo foliar (com erro padrão) das diferentes plantas de uma mesma célula, em ordem decrescente (C). UFSCar, Araras (SP), 2020.

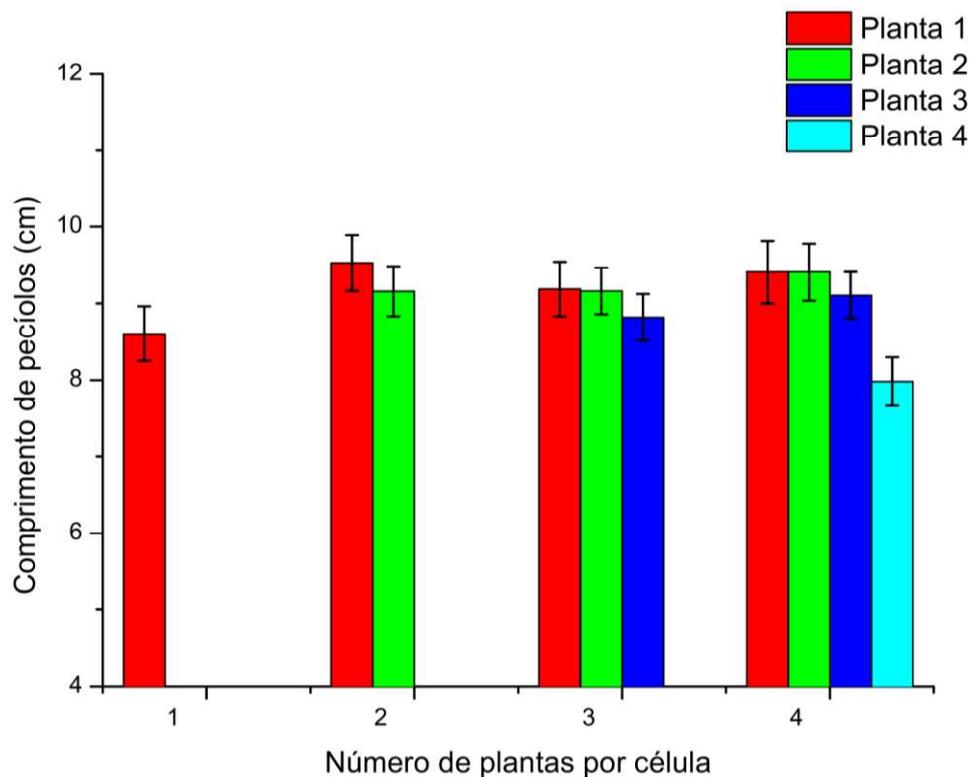
O aumento do espaçamento proporcionou diminuição linear do comprimento de pecíolos, com comprimento máximo registrado de 10,31 cm no menor espaçamento (0,07 m) e o mínimo de 7,10 cm no maior espaçamento (0,20 m) (Figura 10). Já em função do número de plantas por célula, não houve diferenças estatísticas, com valor médio de 8,99 cm. A característica comprimento de pecíolos foi a única cuja heterogeneidade, ao considerarmos individualmente diferentes plantas de uma mesma célula, não foi ampla e discrepante, sendo também nessa análise perceptível a não diferença estatística encontrada na média dessas plantas em função do número de plantas por célula.



(A)



(B)



(C)

Figura 10. Médias de comprimento de pecíolos de couve-crespa (*kale*) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplântio. Médias de comprimento de pecíolos (com erro padrão) das diferentes plantas de uma mesma célula, em ordem decrescente (C). UFSCar, Araras (SP), 2020.

Em suma, observou-se diferentes número e dimensões de folhas de acordo com espaçamentos e número de plantas por célula. Maior número de folhas (exceto com uma planta por célula), com menor comprimento do limbo foliar e de pecíolos foi obtido em maior espaçamento e, também, certa estabilidade na largura do limbo foliar (Figura 11). Já quanto mais plantas por célula, observou-se plantas com menor número individual de folhas, contudo, com maior somatório de folhas, menor comprimento e largura do limbo foliar e sem diferenças no comprimento de pecíolos.



(A)



(B)

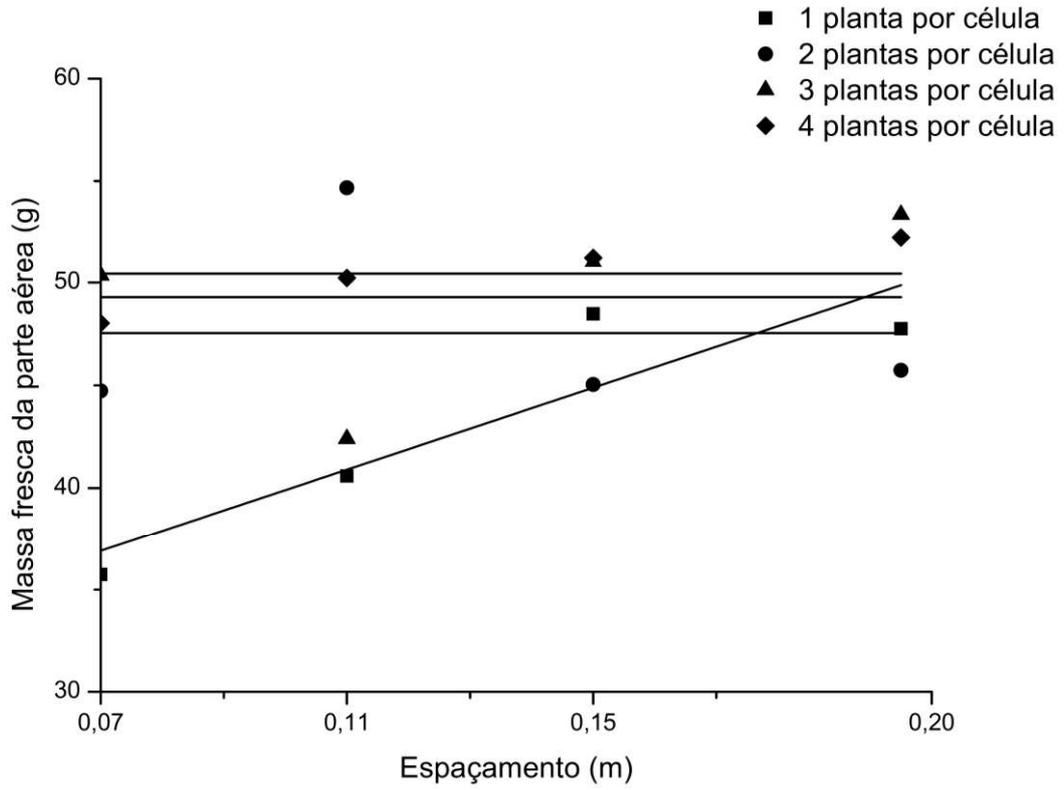
Figura 11. Maiores folhas por planta de couve-crespa (*kale*) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT. Folhas de diferentes espaçamentos entre perfis de, da esquerda para a direita, respectivamente, 0,07; 0,11; 0,15 e 0,20 m (A). Folhas de diferentes plantas por célula com, da esquerda para a direita, respectivamente, uma, duas, três e quatro plantas por célula (B), aos 27 dias após transplantio. UFSCar, Araras (SP), 2020.

### 5.1.3.3. Massas e produtividade

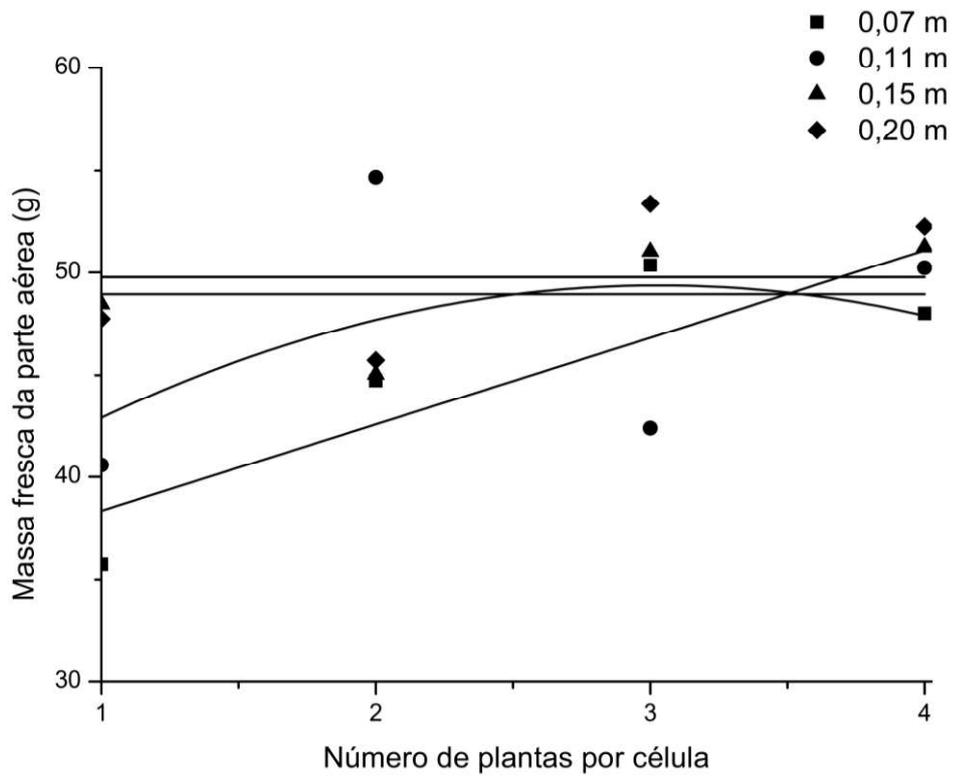
A interação entre espaçamento e número de plantas por célula foi significativa nas características massa fresca e seca da parte aérea e produtividade. Dessa forma, os desdobramentos geraram, ao todo, oito modelos regressivos para cada uma dessas características.

Em relação à massa fresca da parte aérea (Figura 12), em função do espaçamento, com uma planta por célula houve aumento linear, com valor máximo registrado de 48,48 g (0,15 m); com duas, três e quatro plantas por célula não houve diferença estatística, com valores médios de 47,54; 49,28 e 50,44 g, respectivamente. Já em função do número de plantas por célula, a massa aumentou linearmente no espaçamento de 0,07 m, com valor máximo de 50,35 g (com três plantas por célula); no espaçamento 0,11 m o aumento foi polinomial quadrático com valor máximo estimado de 49,37 g (com 3,03 plantas por célula); nos espaçamentos de 0,15 e 0,20 m não houve diferença estatística, com valores médios de 48,95 e 49,77 g, respectivamente.

Assim sendo, ainda em função do número de plantas por célula, o somatório das massas frescas das diferentes plantas de uma mesma célula gerou diferenças estatísticas em alguns casos (0,07 e 0,11 m) e em outros não (0,15 e 0,20 m). Contudo, com maior número de plantas por célula, as diferentes plantas, individualmente, tiveram desempenho inferior com relação às do menor número de plantas por célula e discrepância entre si. A maior planta da célula com quatro plantas atingiu, em média, 19,34 g e a menor, 6,37 g. Já com uma planta por célula, a média foi 43,14 g.



(A)



(B)

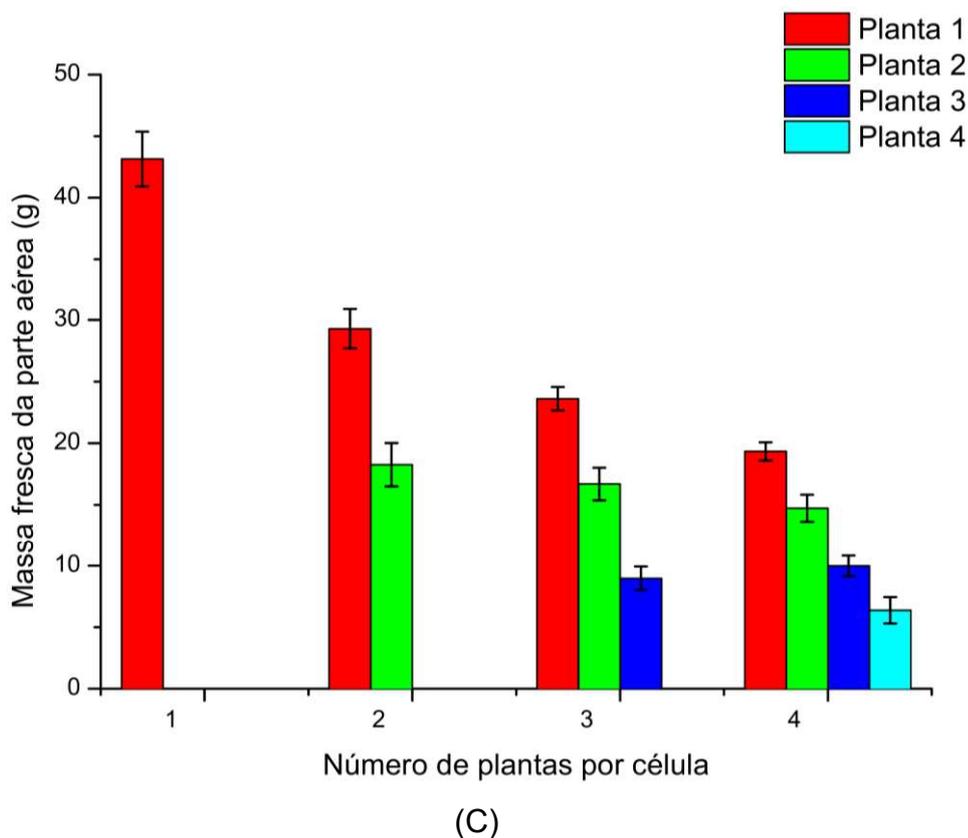
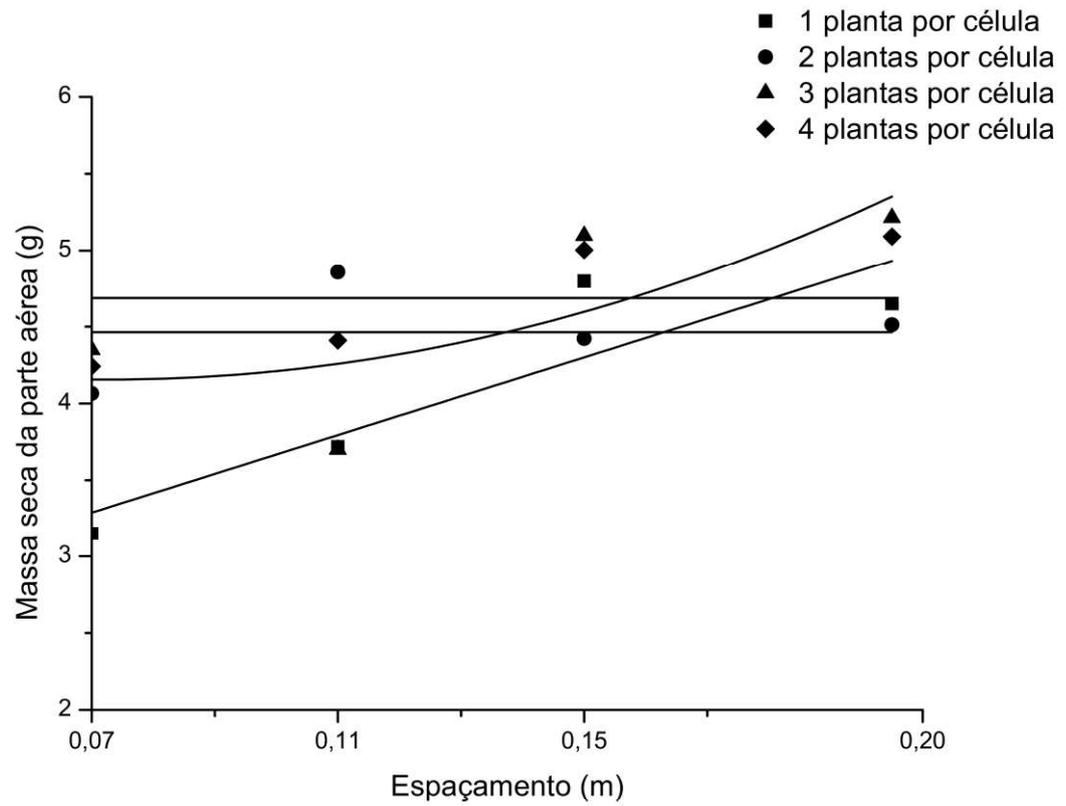
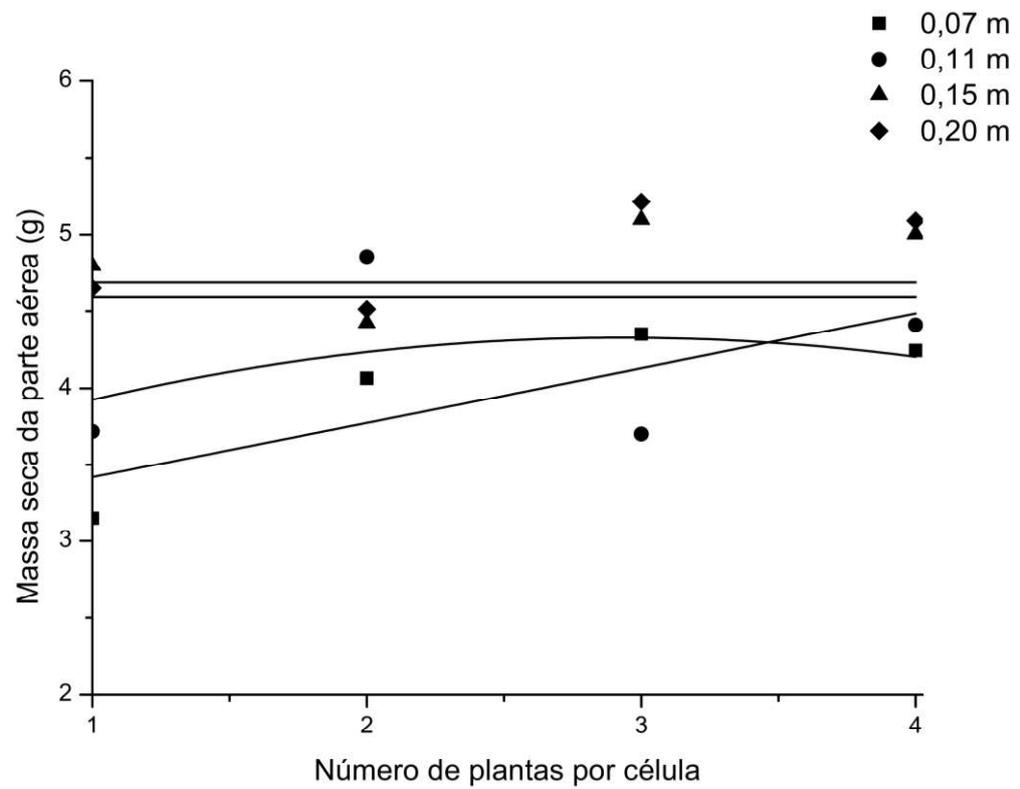


Figura 12. Médias de massa fresca da parte aérea de couve-crespa (*kale*) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplante; dados com o somatório das massas das plantas de uma mesma célula. Médias de massa fresca da parte aérea (com erro padrão) das diferentes plantas de uma mesma célula, em ordem decrescente (C). UFSCar, Araras (SP), 2020.

Em relação à massa seca da parte aérea (Figura 13), em função do espaçamento, com uma planta por célula houve aumento linear, com valor máximo registrado de 4,80 g (0,15 m); com duas e quatro plantas por célula não houve diferença estatística, com valores médios de 4,46 e 4,69 g, respectivamente; com três plantas por célula, o aumento foi polinomial quadrático, com valor máximo registrado de 5,21 g (0,20 m). Já em função do número de plantas por célula, a massa aumentou linearmente no espaçamento de 0,07 m, com valor máximo de 4,35 g (com três plantas por célula); no espaçamento 0,11 m o aumento foi polinomial quadrático com valor máximo estimado de 4,33 g (com 2,93 plantas por célula); nos espaçamentos de 0,15 e 0,20 m não houve diferença estatística, com valores médios de 4,83 e 4,87 g, respectivamente.



(A)

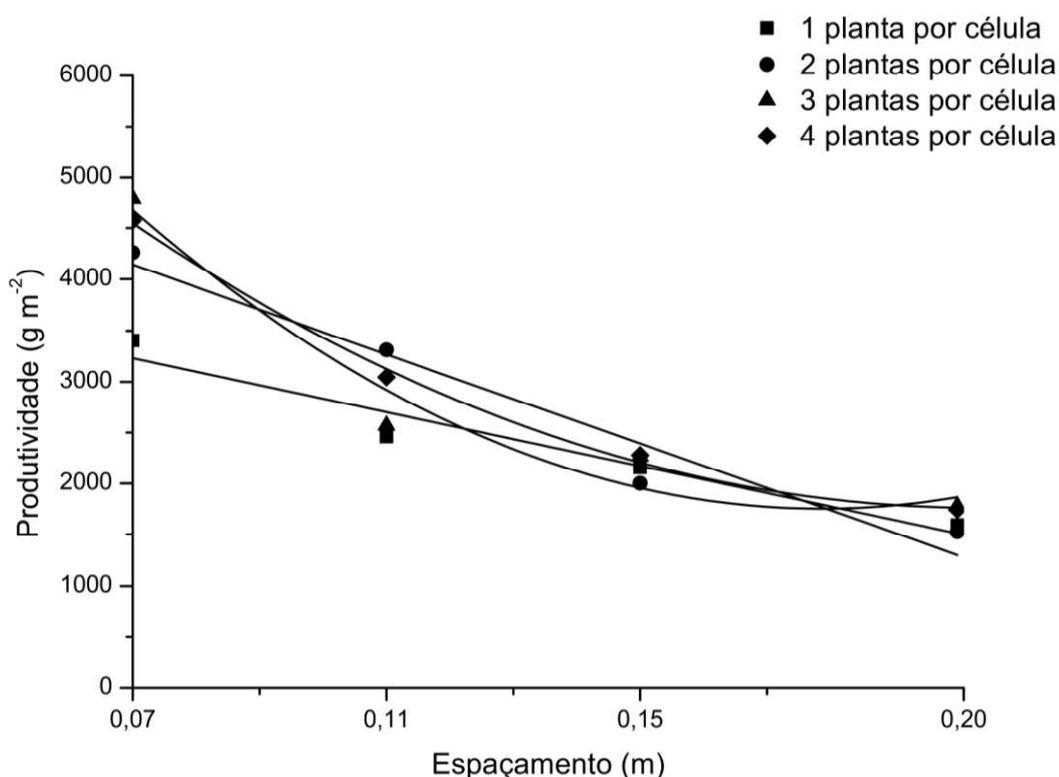


(B)

Figura 13. Médias de massa seca da parte aérea de couve-crespa (*kale*) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A)

e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplante; dados com o somatório das massas das plantas de uma mesma célula. UFSCar, Araras (SP), 2020.

Quanto à produtividade (Figura 14), em função do espaçamento, com uma e duas plantas por célula houve diminuição linear, com valores máximos registrados de 3.403,49 e 4.259,64 g m<sup>-2</sup>, respectivamente (0,07 m); com três e quatro plantas por célula houve diminuição polinomial quadrática, com valores máximos de 4.795,18 e 4.573,35 g m<sup>-2</sup>, respectivamente (0,07 m). Já em função do número de plantas por célula, a produtividade aumentou de forma polinomial quadrática nos espaçamentos de 0,07 e 0,11 m, com valores máximos estimados de, respectivamente, 4.746,61 (3,25 plantas por célula) e 2.992,06 g m<sup>-2</sup> (3,03 plantas por célula); nos espaçamentos de 0,15 e 0,20 m não houve diferença estatística, com valores médios de 2.175,41 e 1.659,13 g m<sup>-2</sup>, respectivamente.



(A)

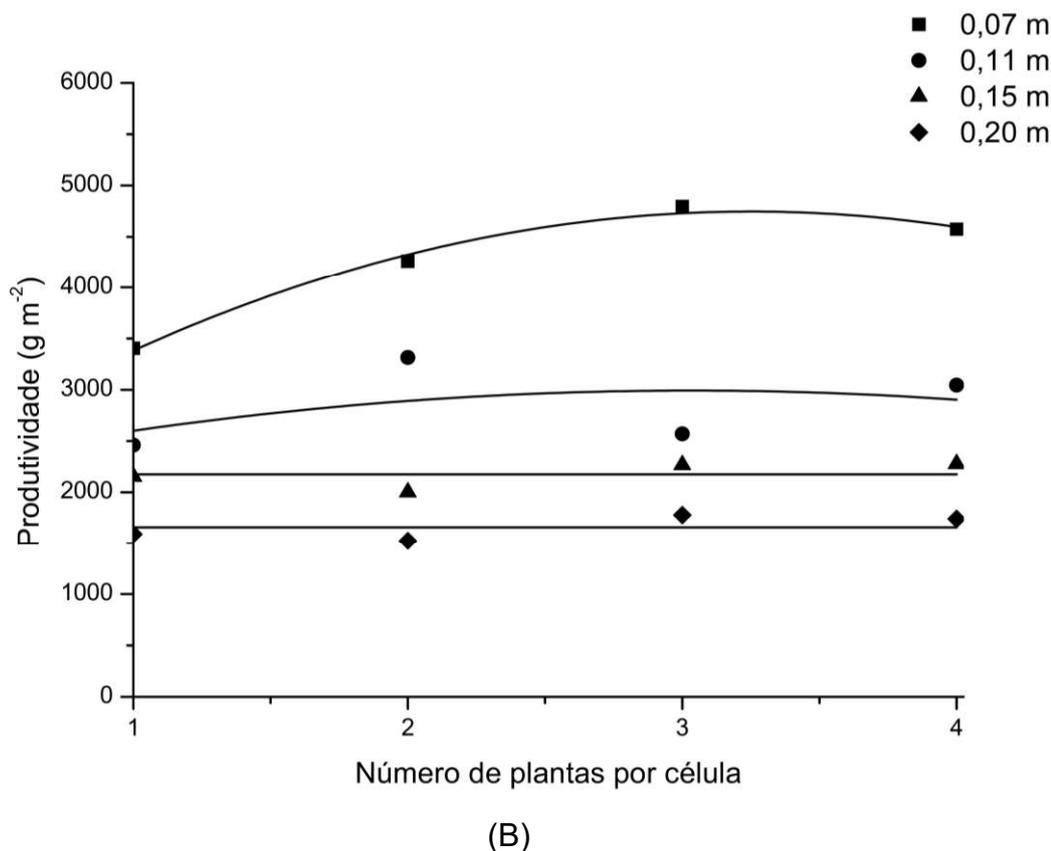
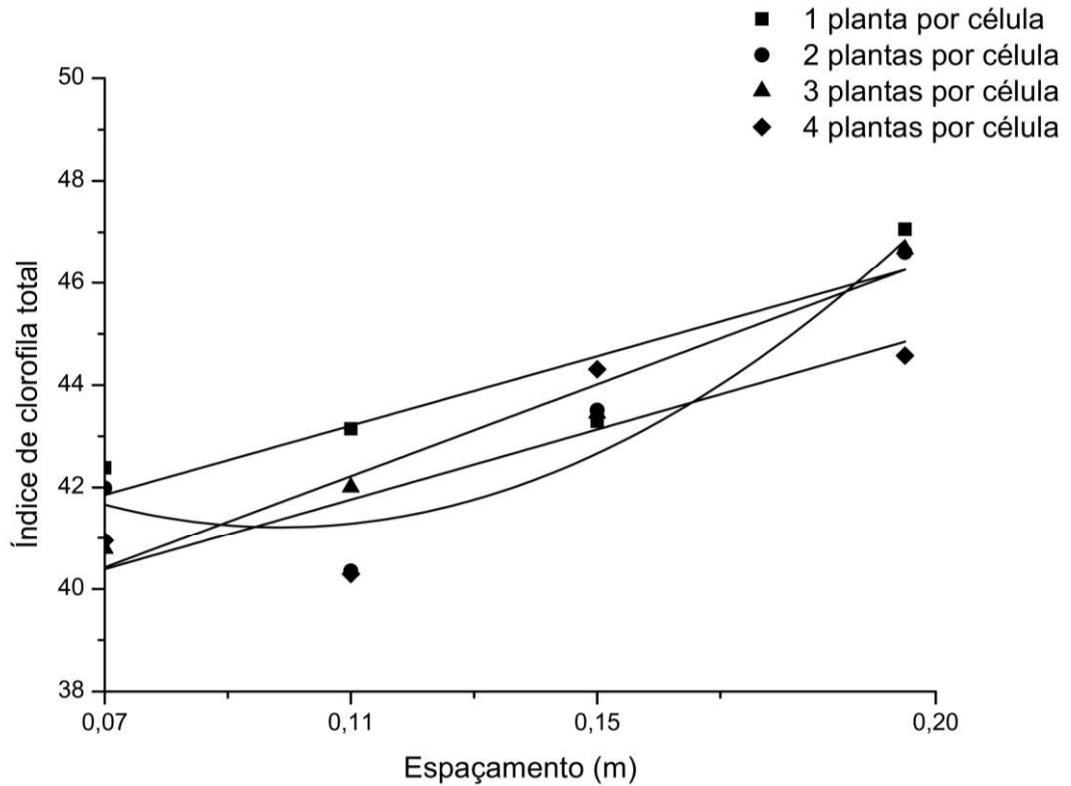


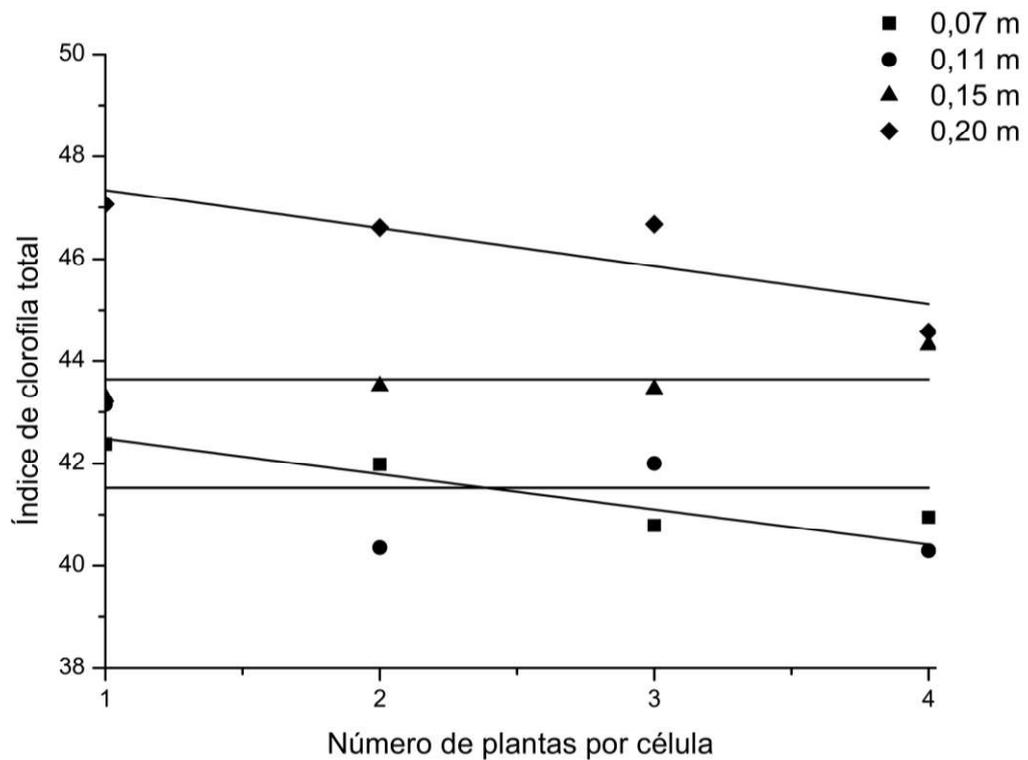
Figura 14. Médias de produtividade de couve-crespa (*kale*) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplante. UFSCar, Araras (SP), 2020.

#### 5.1.3.1. Índice de clorofila total

O índice de clorofila total (Figura 15), em função do espaçamento, com uma, três e quatro plantas por célula aumentou linearmente, com valores máximos registrados de 47,06; 46,67 e 44,58, respectivamente (0,20 m); com duas plantas por célula houve aumento polinomial quadrático, com valor máximo de 46,61 (0,20 m). Já em função do número de plantas por célula, não houve diferença estatística no índice de clorofila total nos espaçamentos de 0,07 e 0,15 m com valores médios de 41,53 e 43,64, respectivamente; nos espaçamentos de 0,11 e 0,20 m houve diminuição linear, com valores máximos de 43,15 e 47,06, respectivamente (com uma planta por célula).



(A)



(B)

Figura 15. Médias de índice de clorofila total de couve-crespa (*kale*) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplante. UFSCar, Araras (SP), 2020.

### 5.1.3.2. Análise bromatológica e nutricional

Quanto aos resultados da análise bromatológica (Tabela 6), em função do espaçamento, o teor de umidade foi superior nos espaçamentos de 0,07 e 0,11 m, atingindo valores 1,27% superior ao do espaçamento de 0,20 m, o qual obteve menor resultado; os teores de proteínas, fibra e carboidratos totais foram superiores no espaçamento de 0,20 m, atingindo valores 11,42, 14,87 e 18,49%, respectivamente, superior ao dos espaçamentos de 0,07 e 0,11 m (e 0,15 m no caso de fibra), os quais obtiveram menores resultados. Os teores de cinzas e lipídeos não diferiram estatisticamente tanto em função do espaçamento quanto do número de plantas por célula, com médias de 1,86 e 0,58 g 100 g<sup>-1</sup> de massa fresca, respectivamente. Já em função do número de plantas por célula, a umidade foi superior com quatro plantas por célula, cujo valor foi 0,47% maior em relação ao de menor resultado, com uma planta por célula; o teor de carboidratos totais foi superior com uma, duas e três plantas por célula, atingindo valores 6,40% superior ao com quatro plantas por célula, o qual obteve menor resultado; os teores de proteína e fibra não diferiram estatisticamente com médias de 2,80 e 3,71 g 100 g<sup>-1</sup> de massa fresca, respectivamente.

Tabela 6. Análise bromatológica de couve-crespa (*kale*) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis e de número de plantas por célula, aos 27 dias após transplantio. UFSCar, Araras (SP), 2020.

Espaçamento (m)	Análise bromatológica (g 100 g <sup>-1</sup> )						
	Umidade	Cinzas	Proteína	Fibra	Lipídeos	Carboidratos Totais	
0,07	90,49 a	1,84	2,64 c	3,34 b	0,60	4,43 c	
0,11	90,21 a	1,84	2,71 c	3,69 b	0,62	4,63 c	
0,15	89,72 b	1,86	2,87 b	3,71 b	0,53	5,01 b	
0,20	89,21 c	1,89	2,98 a	4,11 a	0,56	5,37 a	
Número de plantas por célula							
1	89,72 b	1,87	2,84	3,79	0,55	5,02 a	
2	89,84 ab	1,87	2,81	3,68	0,58	4,90 a	
3	89,93 ab	1,84	2,78	3,72	0,57	4,88 a	
4	90,14 a	1,84	2,77	3,66	0,61	4,64 b	

Valores baseados em massa fresca; médias seguidas de letras diferentes, na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Quanto aos resultados da análise nutricional (Tabela 7), em função do espaçamento, os teores de nitrogênio, magnésio e cobre foram superiores no espaçamento de 0,20 m, atingindo valores 14,29; 13,66 e 29,31% superior aos dos espaçamentos de 0,07 e 0,11 m (apenas no de 0,07 m para magnésio), os quais obtiveram menores resultados. Os teores de fósforo, potássio, enxofre, ferro, manganês, zinco e boro não diferiram estatisticamente tanto em função do espaçamento quanto do número de plantas por célula, com médias de 77,45; 380,07; 107,14; 1,380; 0,769; 0,357 e 0,384 mg 100 g<sup>-1</sup> de massa fresca, respectivamente. Já em função do número de plantas por célula, os teores de nitrogênio e magnésio não diferiram estatisticamente, com médias de 547,66 e 53,44 mg 100 g<sup>-1</sup> de massa fresca, respectivamente; o teor de cobre foi superior com uma planta por célula, atingindo valor 24,52% superior ao com quatro plantas por célula, o qual obteve menor resultado.

Quanto ao teor de cálcio (Tabela 8), a interação entre os fatores espaçamentos e número de plantas por célula foi significativa. Dessa forma, em relação ao desdobramento de espaçamentos dentro de cada nível do fator número de plantas por célula, houve diferenças estatísticas com uma e quatro plantas por célula; no primeiro caso, o maior teor de cálcio se deu no espaçamento de 0,20 m, atingindo valor 19,42% superior aos dos espaçamentos de 0,07; 0,11 e 0,15 m, os quais tiveram menores resultados; no segundo caso, o maior teor de cálcio se deu no espaçamento de 0,20 m, atingindo valor 22,04% superior ao do espaçamento de 0,07 m, o qual teve menor resultado; com duas e três plantas por célula não houve diferença estatística, com médias de 260,56 e 271,31 mg 100 g<sup>-1</sup> de massa fresca, respectivamente. Em relação ao desdobramento de número de plantas por célula dentro cada nível do fator espaçamentos, não houve diferenças estatísticas nos espaçamentos de 0,07; 0,11 e 0,15 m, com médias de 245,20; 255,90 e 270,11 mg 100 g<sup>-1</sup> de massa fresca, respectivamente; no espaçamento de 0,20 m, o teor de cálcio foi superior com uma planta por célula, atingindo valor 6,55% superior ao com quatro plantas por célula, o qual obteve menor resultado.

Tabela 7. Análise nutricional de couve-crespa (*kale*) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis e de número de plantas por célula, aos 27 dias após transplantio. UFSCar, Araras (SP), 2020.

Espaçamento (m)	Nutrientes (mg 100 g <sup>-1</sup> )												
	N	P	K	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B			
0,07	506,10	c	77,41	355,21	50,47	b	109,49	1,386	0,761	0,022	b	0,346	0,372
0,11	528,84	c	76,61	387,69	51,53	ab	107,63	1,291	0,771	0,022	b	0,338	0,373
0,15	564,29	b	77,01	384,32	54,40	ab	104,90	1,385	0,770	0,026	ab	0,362	0,387
0,20	591,41	a	78,79	393,04	57,36	a	106,53	1,457	0,775	0,029	a	0,381	0,404
Número de plantas por célula													
1	555,02		77,38	392,65	53,96		103,20	1,407	0,793	0,023	b	0,355	0,377
2	550,65		77,69	378,17	53,69		106,22	1,350	0,775	0,024	ab	0,361	0,386
3	543,66		77,62	388,01	53,69		108,73	1,408	0,765	0,025	ab	0,359	0,388
4	541,31		77,13	361,43	52,42		110,40	1,355	0,744	0,028	a	0,352	0,386

Valores baseados em massa fresca; médias seguidas de letras diferentes, na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Tabela 8. Médias de teor de cálcio de couve-crespa (*kale*) cultivada durante inverno em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis e de número de plantas por célula, aos 27 dias após transplante. UFSCar, Araras (SP), 2020.

Número de plantas por célula	Ca (mg 100 g <sup>-1</sup> )			
	Espaçamento (m)			
	0,07	0,11	0,15	0,20
1	256,87 b	256,54 b	248,97 b	303,48 aA
2	245,12	248,16	288,33	260,64 AB
3	245,40	270,97	285,84	283,03 AB
4	233,40 b	247,96 ab	257,29 ab	284,83 aB

Valores baseados em massa fresca; médias seguidas de letras diferentes minúsculas, na mesma linha, e maiúsculas, na mesma coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

## 5.2. Cultivo de verão

### 5.2.1. Dados climáticos

Durante o cultivo hidropônico em NFT de couve-crespa no verão de 2021, a temperatura máxima registrada no interior da estufa oscilou entre 26,0 e 41,8 °C, com média de 34,3 °C. Já a temperatura mínima oscilou entre 16,0 e 22,6 °C, com média de 19,6 °C. A média geral foi de 26,9 °C (Figura 16).

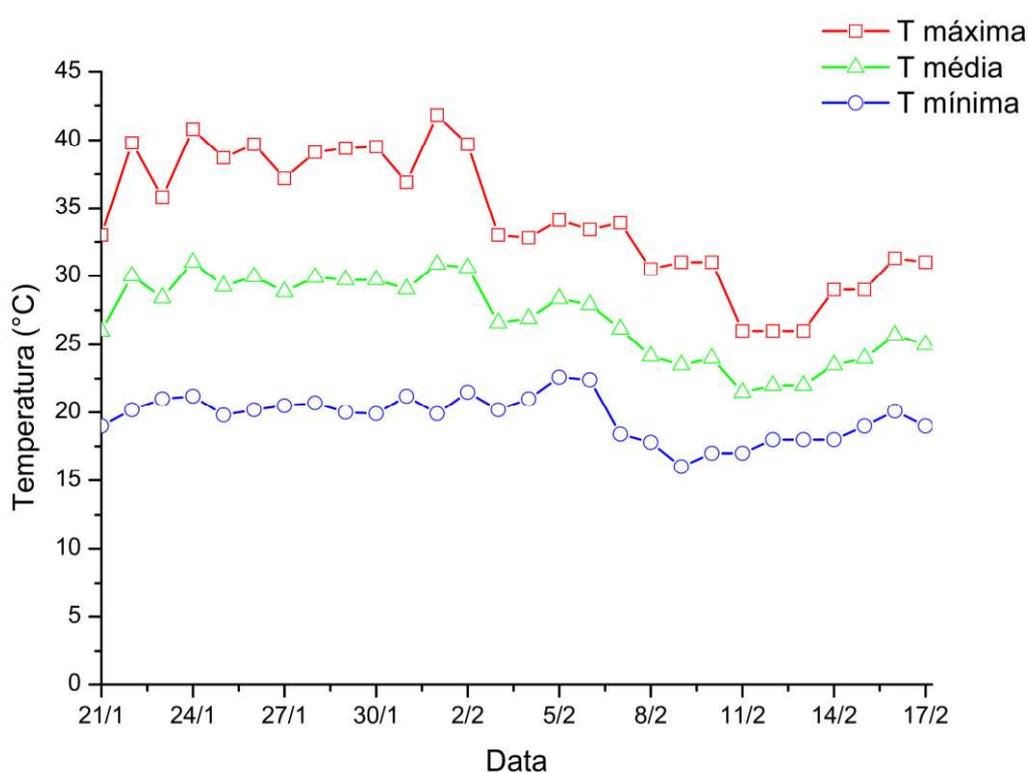
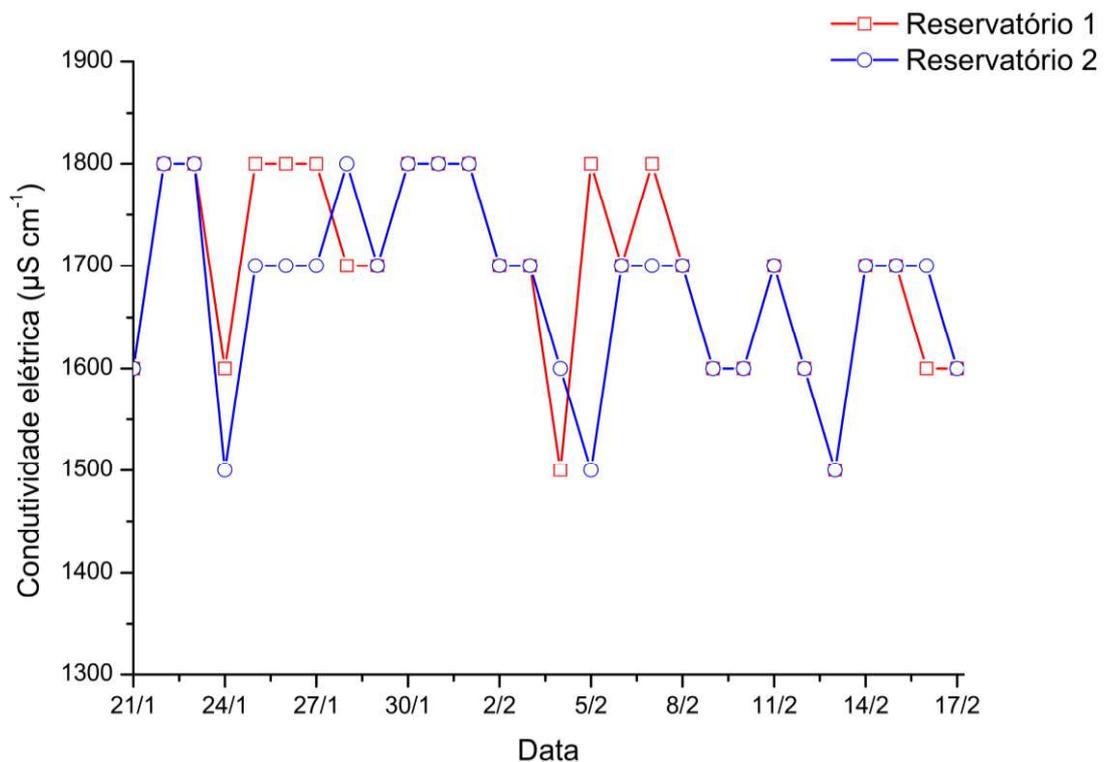


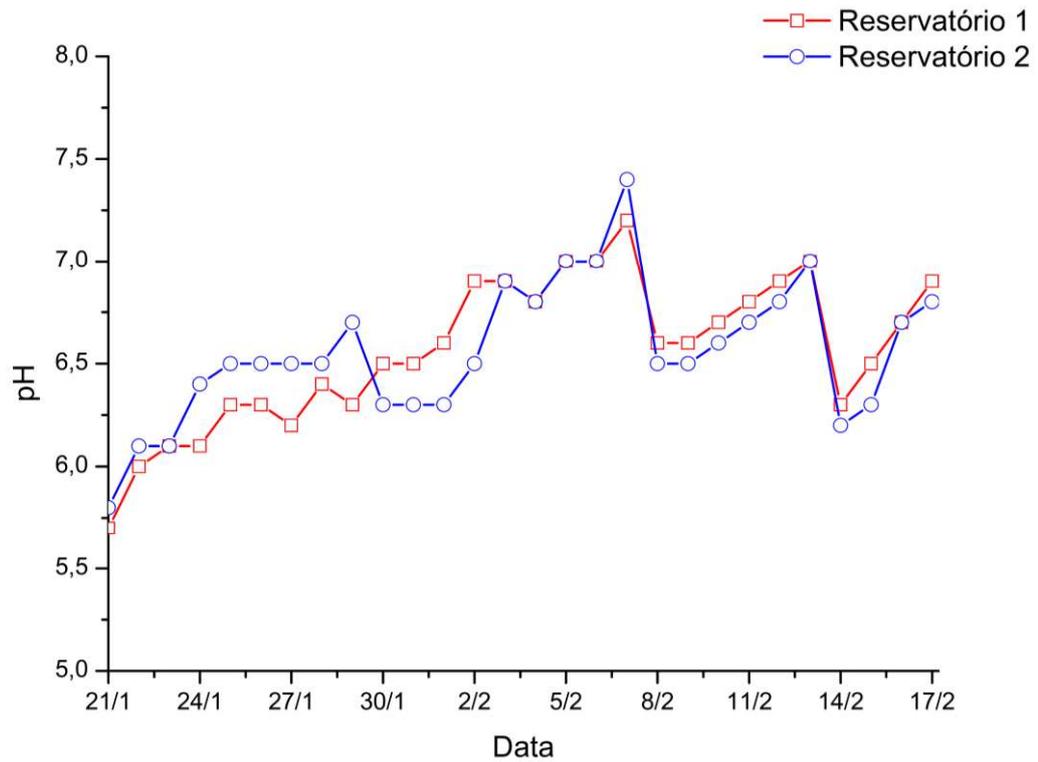
Figura 16. Dados de temperatura registrados no interior da estufa durante o período de cultivo de verão de couve-crespa (*kale*) hidropônica. UFSCar, Araras (SP), 2021.

### 5.2.2. Dados das soluções de cultivo

A condutividade elétrica das soluções de cultivo de couve-crespa hidropônica dos reservatórios 1 e 2 oscilou entre 1.500 e 1.800  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , com médias de 1.696 e 1.679  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , respectivamente. Já o pH dos reservatórios 1 e 2 oscilou entre 5,7 e 7,2 e entre 5,8 e 7,4, respectivamente, e ambos com médias de 6,6 (Figura 17).



(A)



(B)

Figura 17. Dados de condutividade elétrica (A) e pH (B) das soluções de cultivo de couve-crespa (*kale*) em sistema hidropônico NFT durante verão. Cada reservatório abasteceu dois blocos experimentais. UFSCar, Araras (SP), 2021.

### 5.2.3. Resultados das características avaliadas

Quanto às características agronômicas, para altura de plantas, largura e comprimento do limbo foliar, comprimento de pecíolos, massa fresca e seca da parte aérea e produtividade não houve interação significativa entre os fatores espaçamentos e número de plantas por célula. Já para as demais características, número de folhas e índice total de clorofila, houve interação significativa (Tabela 9).

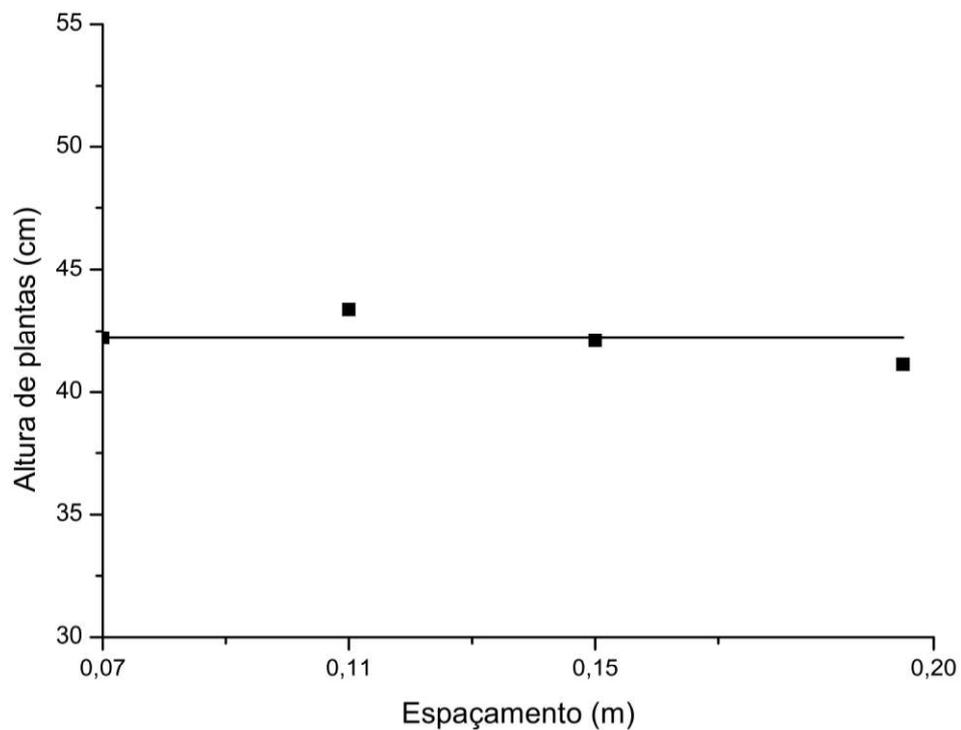
Tabela 9. Resumo da análise de variância da altura de plantas (AP), número de folhas (NF), largura do limbo foliar (LLF), comprimento do limbo foliar (CLF), comprimento de pecíolos (CP), massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA), produtividade e índice total de clorofila (ICT) de couve-crespa (*kale*) cultivada durante verão em sistema hidropônico NFT em diferentes espaçamentos e número de plantas por célula. UFSCar, Araras (SP), 2021.

Causas de		Quadrado médio									
variação	GL	AP	NF	LLF	CLF	CP	MFPA	MSPA	Produtividade	ICT	
		Espaçamentos (E)	3	71,0 ns	356,2 ***	20,7 *	52,1 *	28,6 ns	10890,7 *	94,8 **	140507319 ***
Blocos	3	1626,0 ns	12,1 ns	8,5 ns	34,8 *	312,9 *	9159,3 *	68,1 *	35640077 *	44,6 ns	
Resíduo (a)	9	432,9	15,3	4,7	7,8	72,9	1800,6	12,5	8280336	12,3	
(Parcelas)	15										
Número de											
plantas por célula	3	9069,0 ***	3481,9 ***	496,5 ***	1257,1 ***	864,5 ***	3994,3 ***	31,5 ***	14583260 ***	38,4 ***	
(NPC)											
Interação E x NPC	9	85,2 ns	52,4 ***	1,3 ns	2,6 ns	7,4 ns	438,4 ns	3,7 ns	3365501 ns	10,9 *	
Resíduo (b)	100	746,5	31,9	5,6	12,5	115,2	1793,9	14,5	7220317	18,2	
CV Parcela (%)		52,56	20,75	21,24	18,37	58,54	62,14	56,83	75,89	9,09	
CV Sub-parcela (%)		22,61	15,90	12,28	12,32	24,11	32,87	32,43	37,56	5,85	

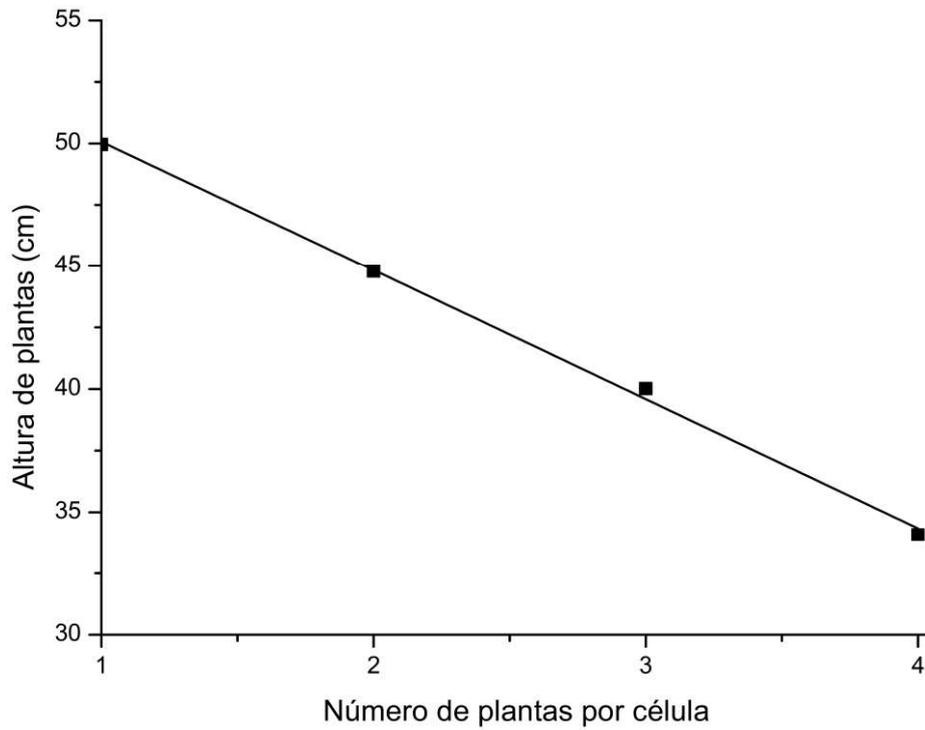
\*\*\*) Significativo a 0,001% de probabilidade; \*\*) Significativo a 0,01% de probabilidade; \*) Significativo a 0,05% de probabilidade; "ns" não significativo pelo teste F. "GL" graus de liberdade; "CV" coeficiente de variação.

### 5.2.3.1. Altura de plantas

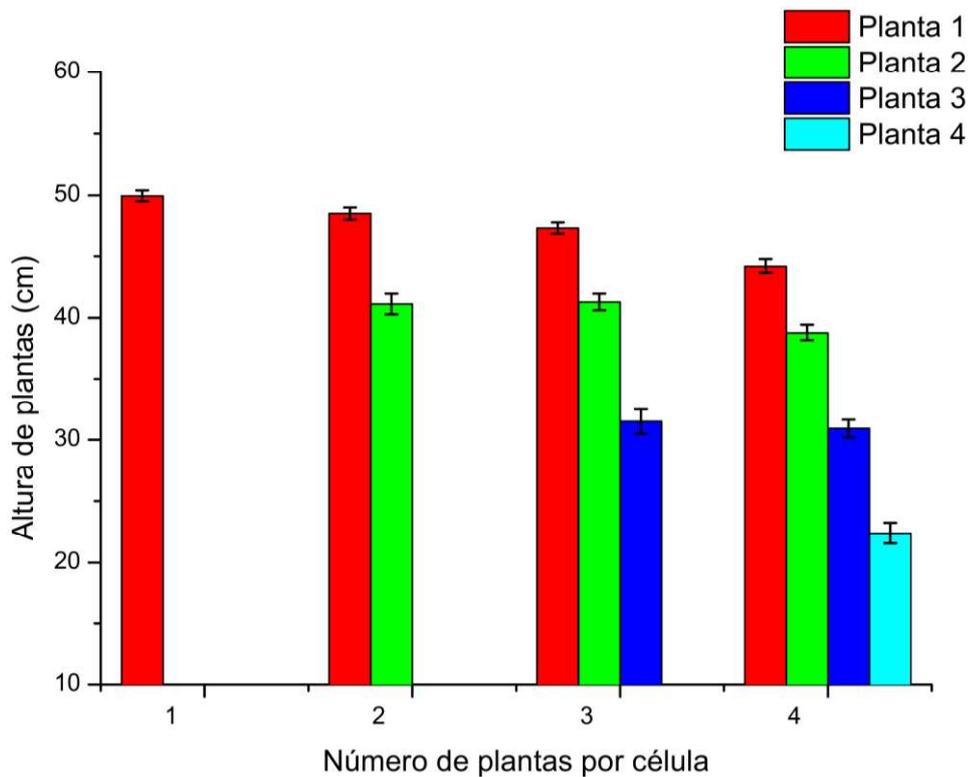
Em função do espaçamento, não houve diferenças estatísticas na altura de plantas, com valor médio de 42,21 cm (Figura 18). Já em função do número de plantas por célula, houve diminuição linear da altura, com valor máximo registrado de 49,96 cm, com uma planta, e mínimo de 34,08 cm, com quatro plantas por célula. Assim como no cultivo de inverno, nos resultados do período de verão, considerando as plantas de uma mesma célula de forma individual, é perceptível tanto a heterogeneidade entre plantas de uma mesma célula quanto a diminuição da altura em função do número de plantas por célula, contudo, vale ressaltar que o modelo regressivo exposto (diminuição linear) se refere à média das diferentes plantas de uma mesma célula.



(A)



(B)

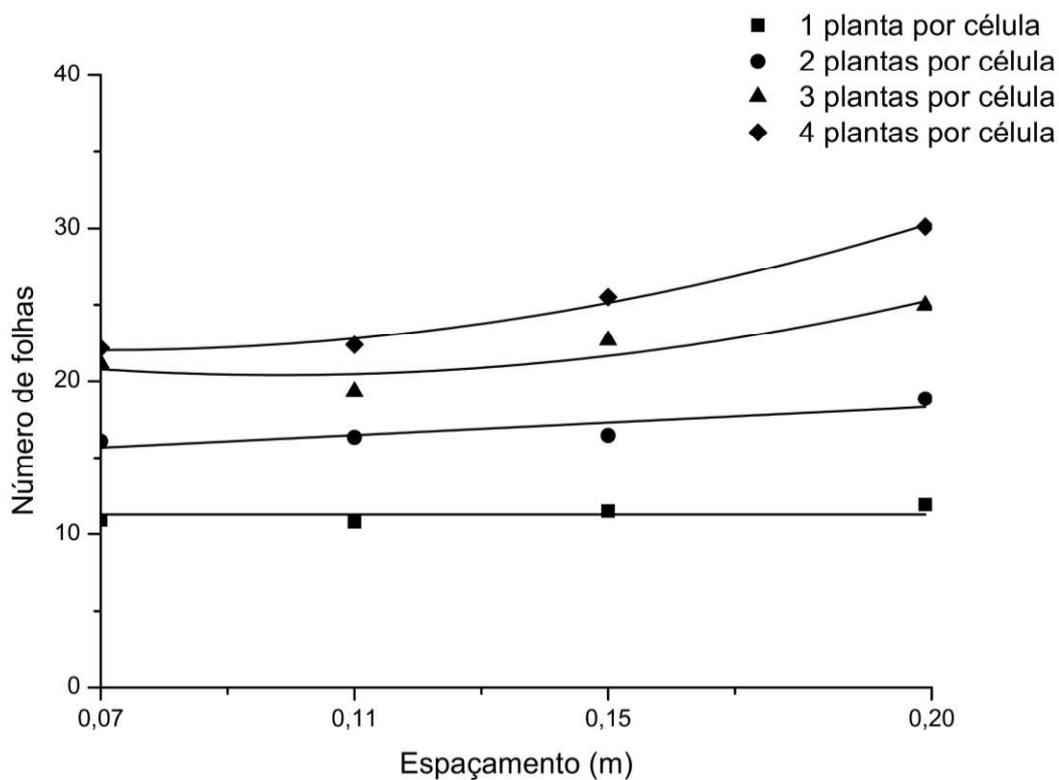


(C)

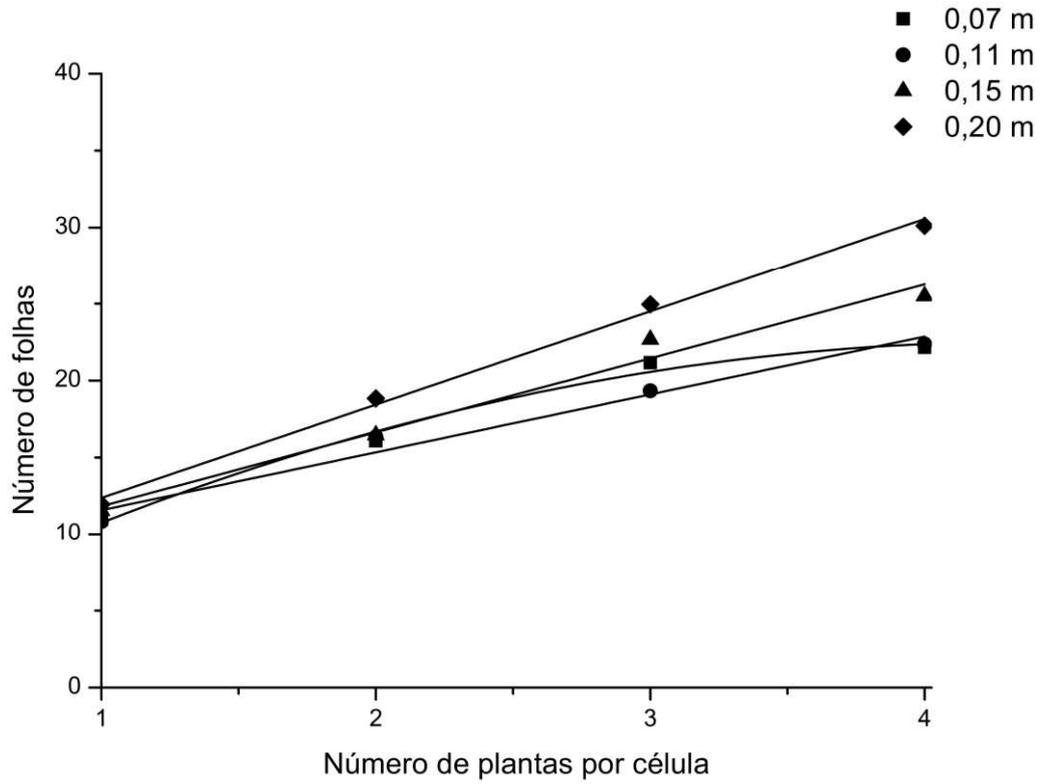
Figura 18. Médias de altura de couve-crespa (*kale*) cultivada durante verão em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplante. Médias de altura (com erro padrão) das diferentes plantas de uma mesma célula, em ordem decrescente (C). UFSCar, Araras (SP), 2021.

### 5.2.3.2. Número e dimensões de folhas

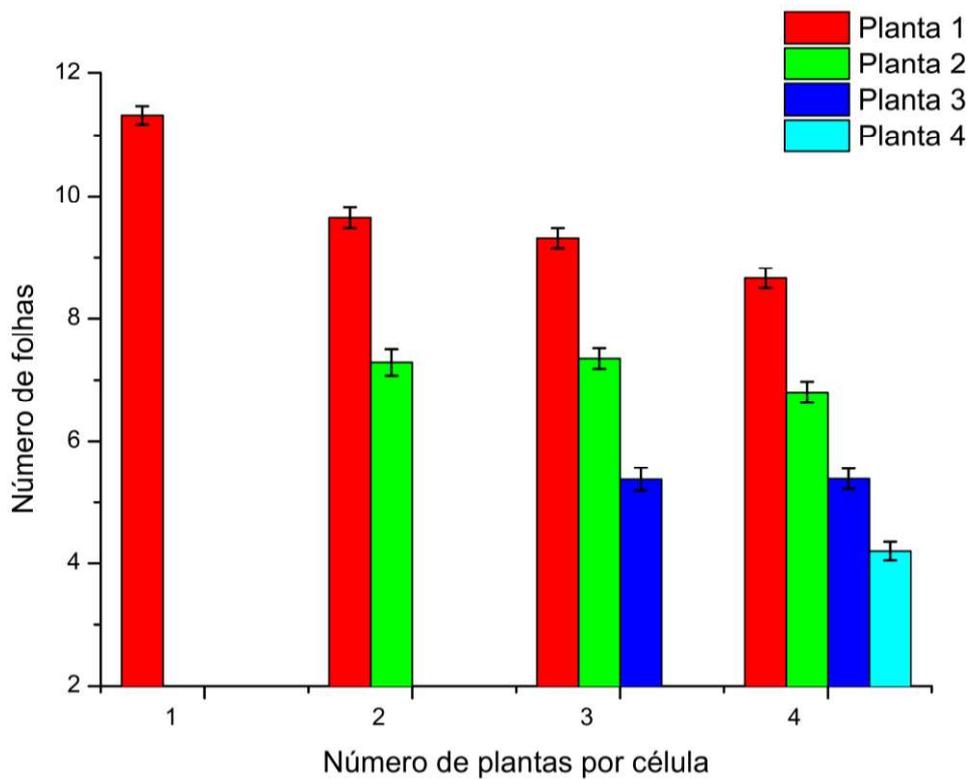
A interação entre espaçamento e número de plantas por célula foi significativa na característica número de folhas. Dessa forma, os desdobramentos geraram, ao todo, oito curvas (Figura 19). Em função do espaçamento, não houve diferença estatística com uma planta por célula (média de 11,32 folhas); com duas plantas por célula, houve aumento linear do número de folhas, com valor máximo registrado de 18,83 folhas (espaçamento de 0,20 m); com três e quatro plantas por célula, o aumento foi polinomial quadrático, com valores máximos de 24,96 e 30,13 folhas, respectivamente (0,20 m). Já em função do número de plantas por célula, o número de folhas aumentou de forma polinomial quadrática no espaçamento 0,07 m, com valor máximo de 22,17 folhas, (com quatro plantas por célula); nos espaçamentos 0,11; 0,15 e 0,20 m o aumento foi linear, com valores máximos de 22,38; 25,50 e 30,13 folhas, respectivamente (quatro plantas por célula). Apesar do maior somatório de folhas com maior número de plantas por célula, as plantas, individualmente, tiveram desempenho inferior com relação ao menor número de plantas por célula.



(A)



(B)

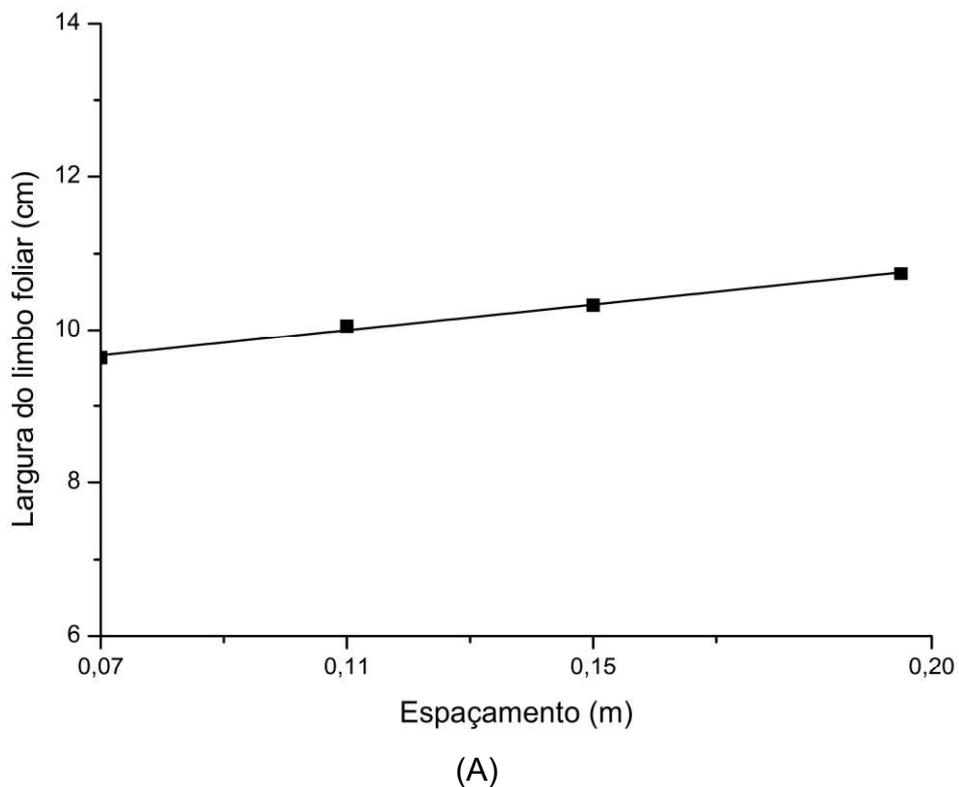


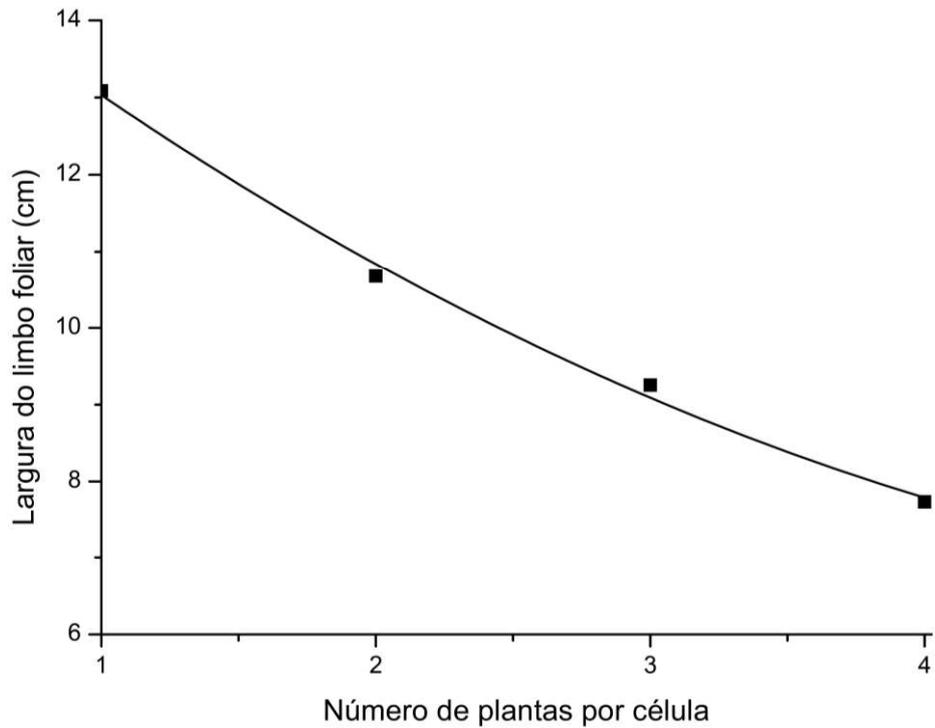
(C)

Figura 19. Médias de número de folhas de couve-crespa (*kale*) cultivada durante verão em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplante; dados com o somatório das folhas das plantas de uma mesma célula. Médias de número de folhas (com erro padrão)

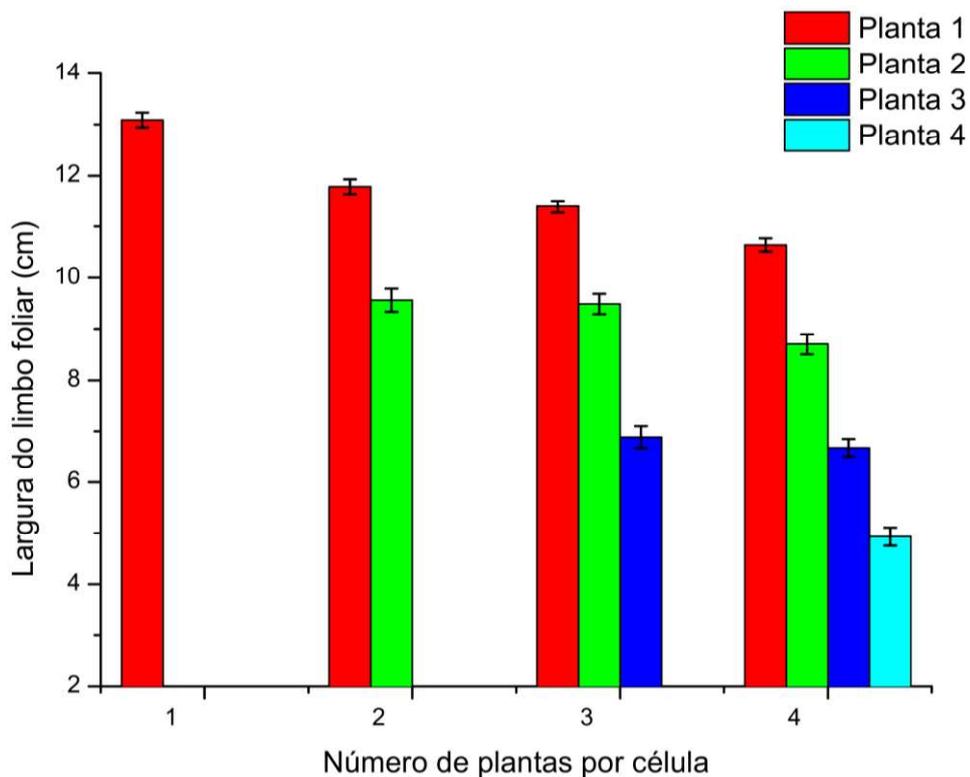
das diferentes plantas de uma mesma célula, em ordem decrescente (C). UFSCar, Araras (SP), 2021.

Quanto à largura do limbo foliar (Figura 20), houve aumento linear em função do espaçamento, com valor mínimo de 9,63 cm no menor espaçamento (0,07 m) e o máximo de 10,74 cm no maior espaçamento (0,20 m). Já em função do número de plantas por célula, a largura diminuiu de forma polinomial quadrática, com valor máximo de 13,09 cm, com uma planta, e mínimo de 7,74 cm, com quatro plantas por célula. Considerando as diferentes plantas de uma mesma célula de forma individual é possível perceber heterogeneidade entre elas, principalmente com quatro plantas por célula.





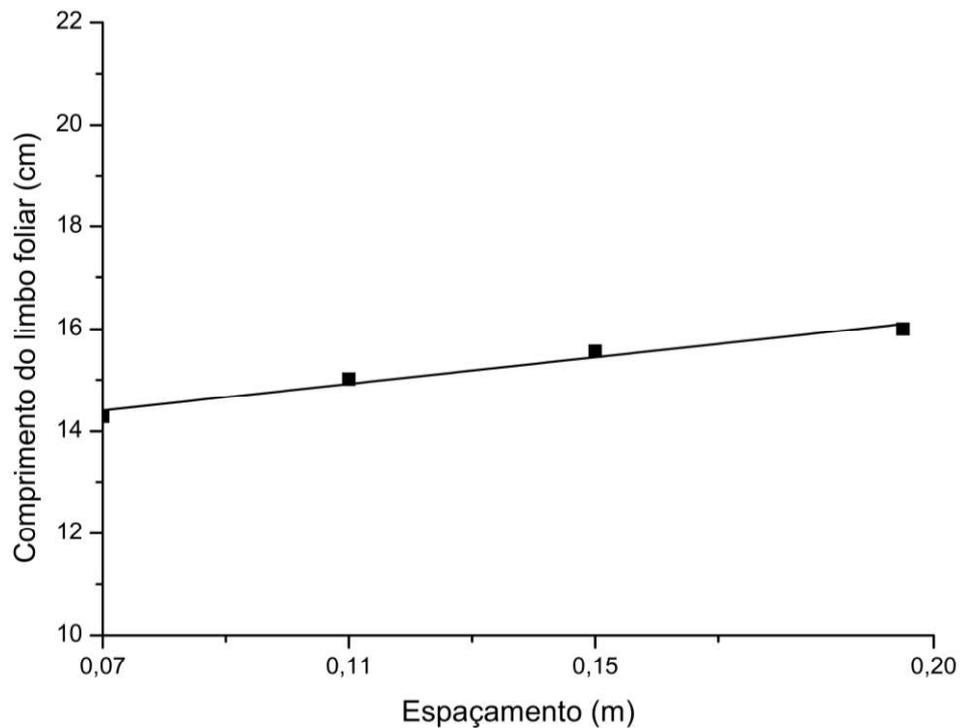
(B)



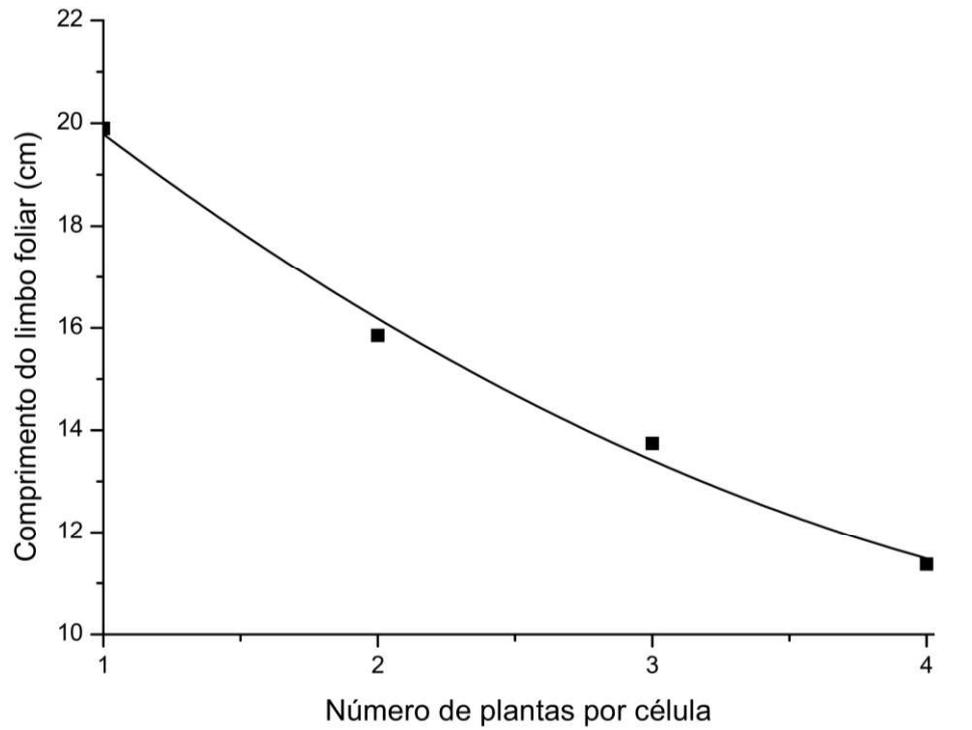
(C)

Figura 20. Médias de largura do limbo foliar de couve-crespa (*kale*) cultivada durante verão em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplântio. Médias de largura do limbo foliar (com erro padrão) das diferentes plantas de uma mesma célula, em ordem decrescente (C). UFSCar, Araras (SP), 2021.

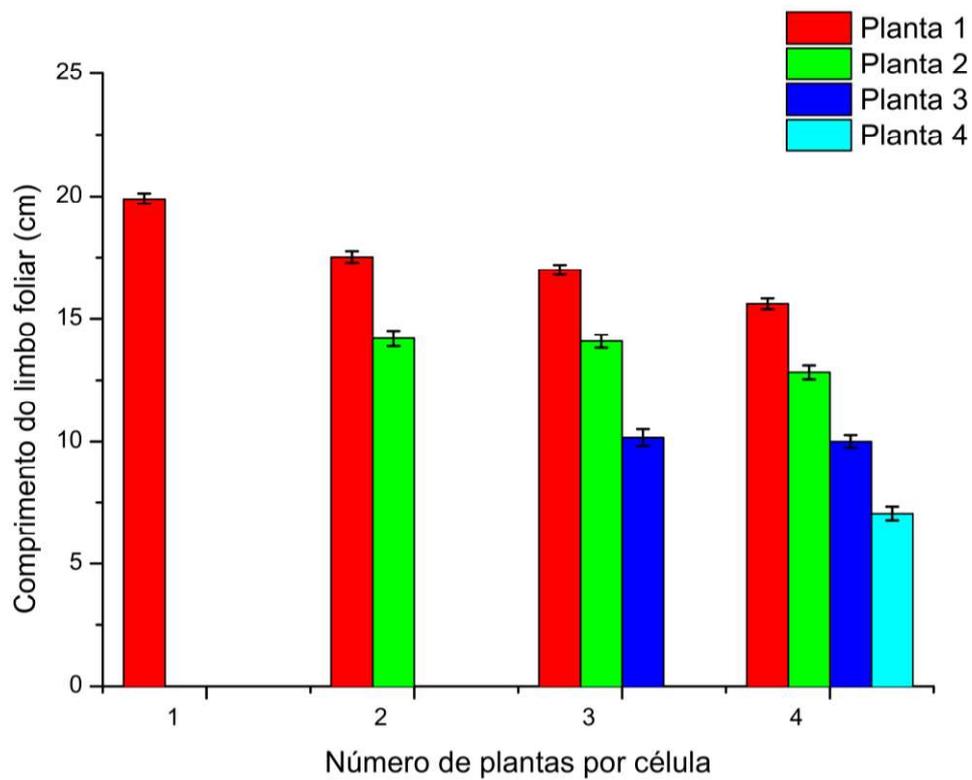
Quanto ao comprimento do limbo foliar (Figura 21), houve aumento linear em função do espaçamento, com valor mínimo de 14,29 cm no menor espaçamento (0,07 m) e o máximo de 16,00 cm no maior espaçamento (0,20 m). Já em função do número de plantas por célula, o comprimento diminuiu de forma polinomial quadrática, com valor máximo de 19,9 cm, com uma planta, e mínimo de 11,37 cm, com quatro plantas por célula. Considerando as plantas de uma mesma célula de forma individual, é perceptível tanto a heterogeneidade entre plantas de uma mesma célula quanto a diminuição do comprimento em função do número de plantas por célula, contudo, vale ressaltar que o modelo regressivo exposto (diminuição quadrática) se refere à média das diferentes plantas de uma mesma célula.



(A)



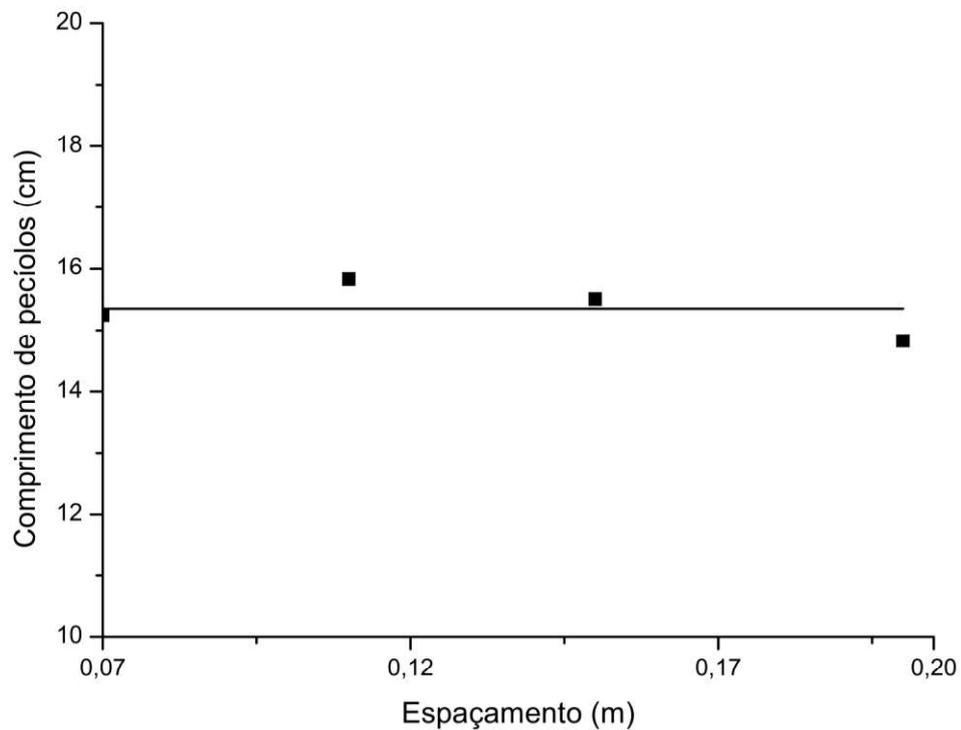
(B)



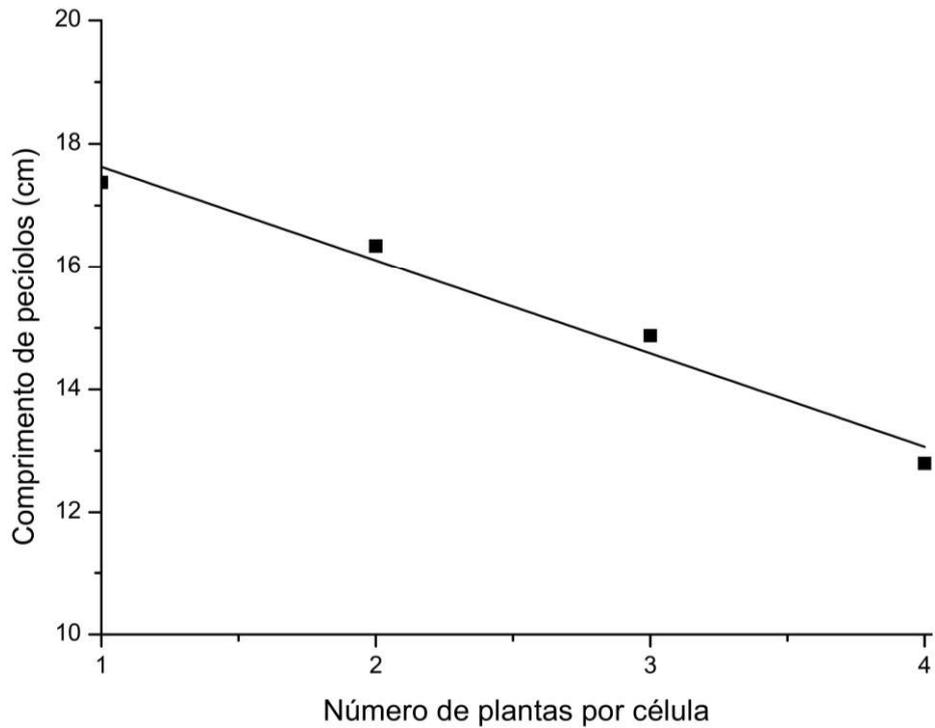
(C)

Figura 21. Médias de comprimento do limbo foliar de couve-crespa (*kale*) cultivada durante verão em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplante. Médias de comprimento do limbo foliar (com erro padrão) das diferentes plantas de uma mesma célula, em ordem decrescente (C). UFSCar, Araras (SP), 2021.

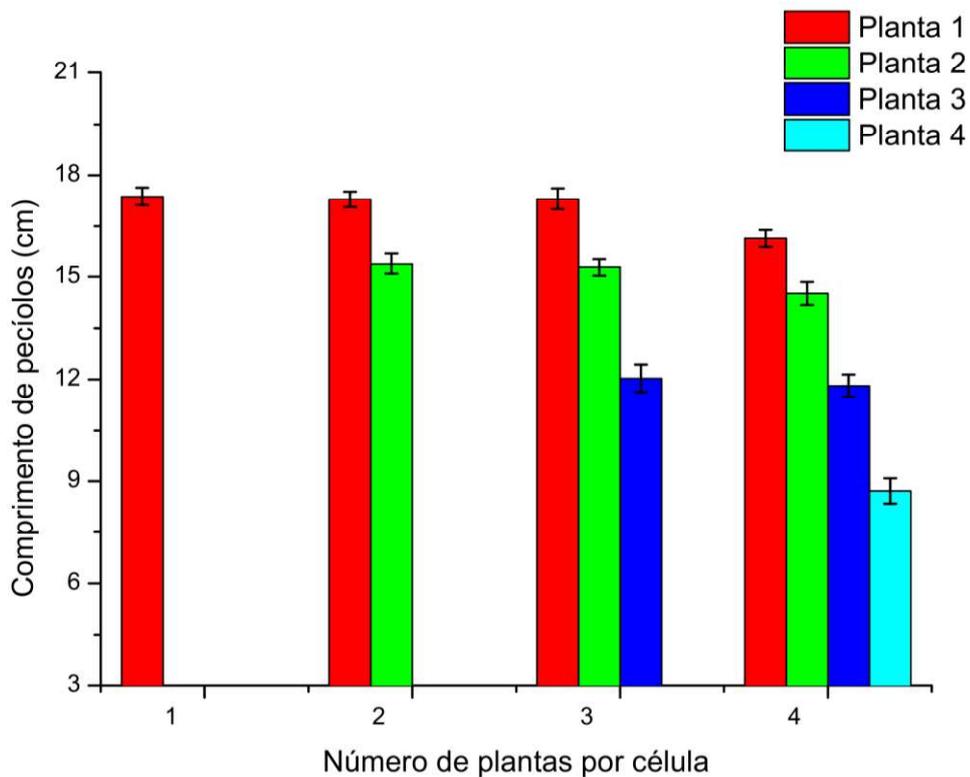
Em função do espaçamento, não houve diferenças estatísticas no comprimento de pecíolos, com valor médio de 15,35 cm (Figura 22). Já em função do número de plantas por célula, houve diminuição linear do comprimento, com valor máximo registrado de 17,38 cm, com uma planta, e mínimo de 12,80 cm, com quatro plantas por célula. Diferentemente do que ocorreu no cultivo de inverno, onde o comprimento de pecíolos não apresentou heterogeneidade ampla e discrepante, ao considerarmos individualmente diferentes plantas de uma mesma célula, no cultivo de verão o comportamento foi semelhante às demais características, como altura de plantas, número de folhas e largura e comprimento do limbo foliar.



(A)



(B)



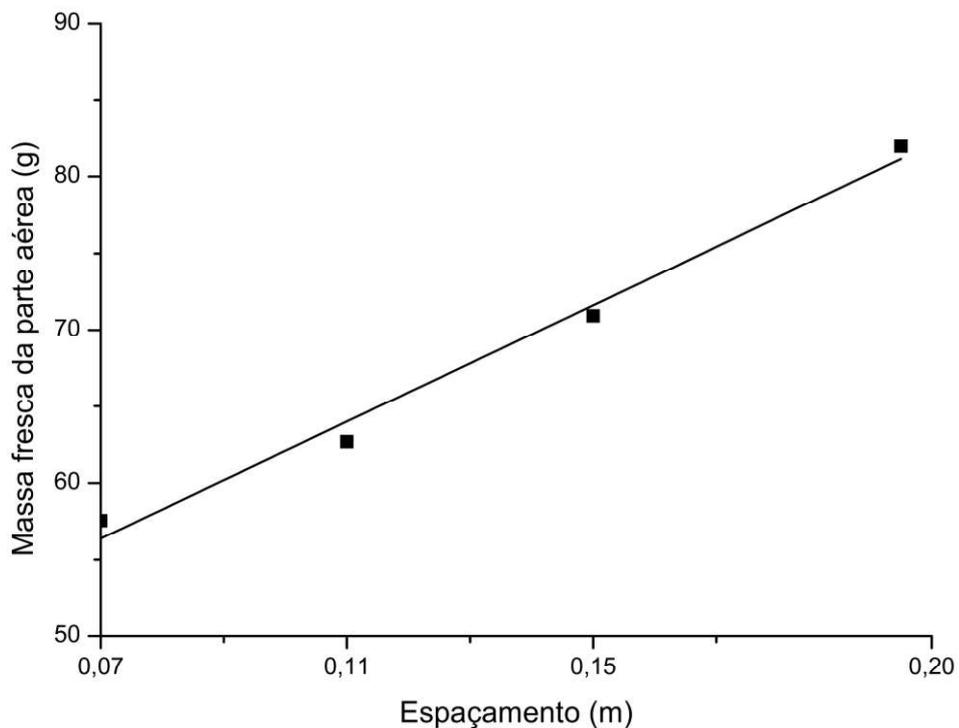
(C)

Figura 22. Médias de comprimento de pecíolos de couve-crespa (*kale*) cultivada durante verão em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplante. Médias de comprimento de pecíolos (com erro padrão) das diferentes plantas de uma mesma célula, em ordem decrescente (C). UFSCar, Araras (SP), 2021.

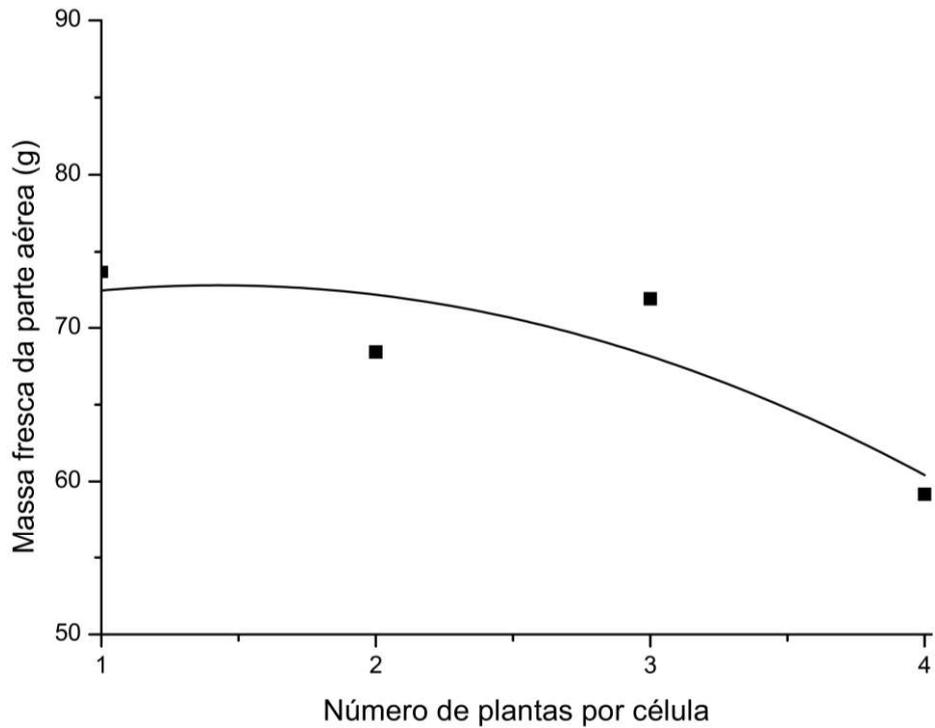
Em suma, observa-se maior número de folhas (exceto com uma planta por célula), com maior largura e comprimento do limbo foliar quanto maior o espaçamento e, também, igualdade do comprimento de pecíolos (Figura 11). Já quanto mais plantas por célula, observa-se plantas com menor número individual de folhas, contudo com maior somatório de folhas, menor comprimento e largura do limbo foliar e comprimento de pecíolos.

### 5.2.3.3. Massas e produtividade

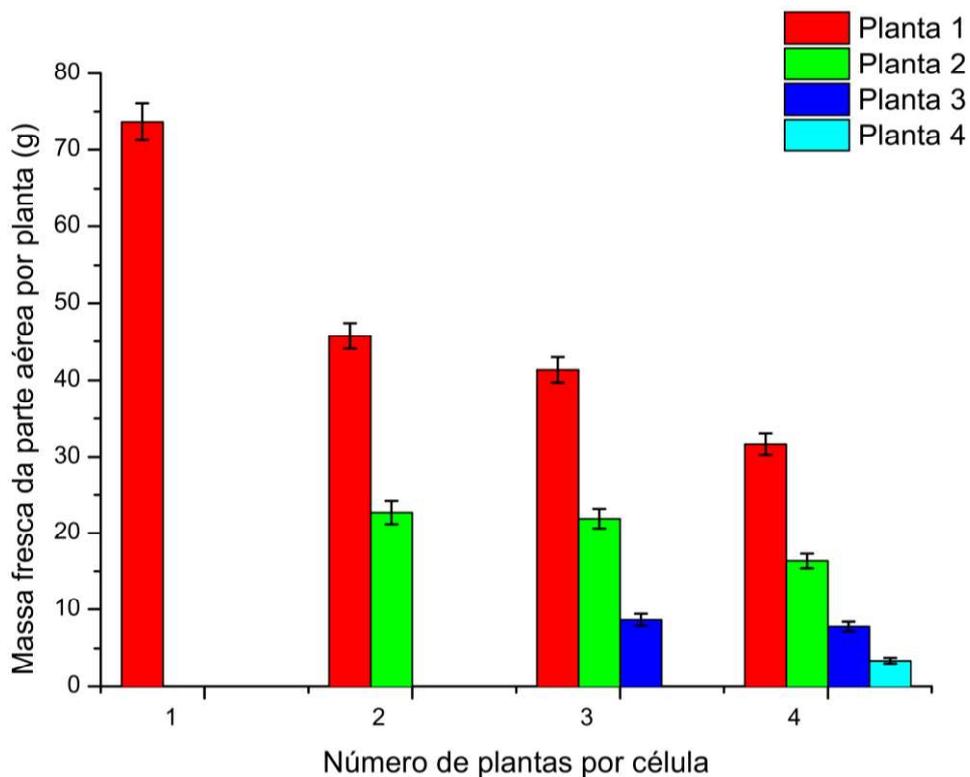
O aumento do espaçamento proporcionou aumento linear da massa fresca da parte aérea, com menor valor de 57,57 g no menor espaçamento (0,07 m) e maior de 81,96 g no maior espaçamento (0,20 m) (Figura 23). Já em função do número de plantas por célula, houve diminuição polinomial quadrática, com valor máximo registrado de 73,67 g, com uma planta, e mínimo de 59,18 g, com quatro plantas por célula. Considerando as diferentes plantas de uma mesma célula, individualmente, nota-se plantas menores com o aumento de plantas por célula. A maior planta da célula com quatro plantas atingiu, em média, 31,67 g e a menor, 3,40 g. Já com uma planta por célula, a média foi 73,67 g.



(A)



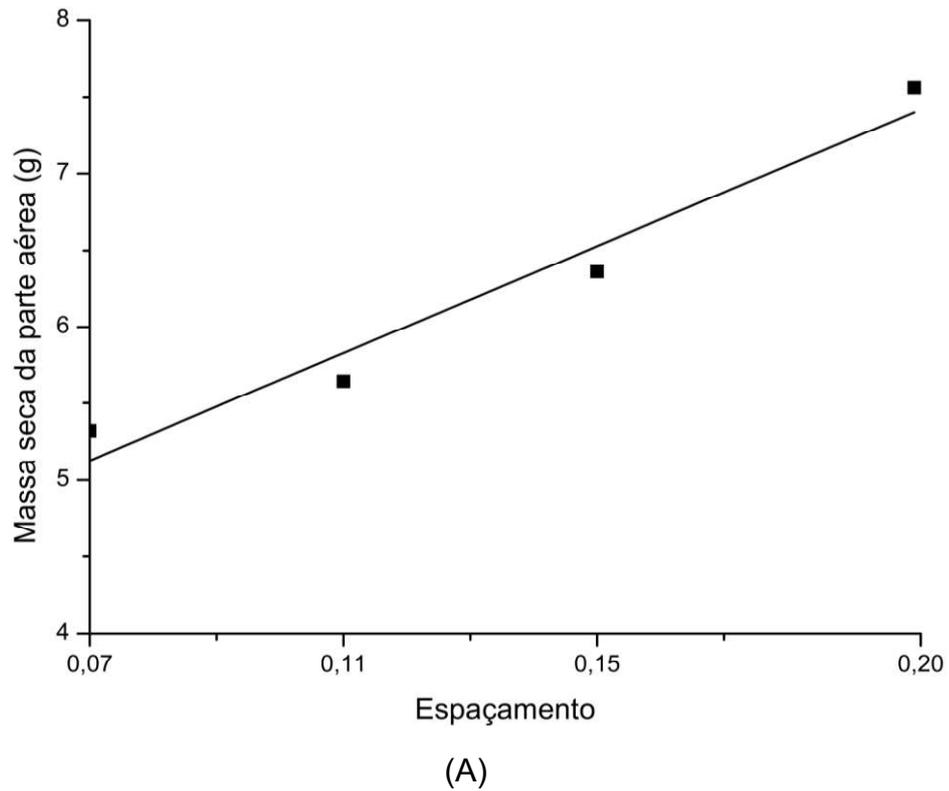
(B)



(C)

Figura 23. Médias de massa fresca da parte aérea de couve-crespa (*kale*) cultivada durante verão em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplântio; dados com o somatório das massas das plantas de uma mesma célula. Médias de massa fresca da parte aérea (com erro padrão) das diferentes plantas de uma mesma célula, em ordem decrescente (C). UFSCar, Araras (SP), 2021.

O aumento do espaçamento proporcionou aumento linear da massa seca da parte aérea, com menor valor de 5,32 g no menor espaçamento (0,07 m) e maior de 7,56 g no maior espaçamento (0,20 m) (Figura 24). Já em função do número de plantas por célula, houve diminuição linear, com valor máximo registrado de 6,79 g, com uma planta, e mínimo de 5,45 g, com quatro plantas por célula.



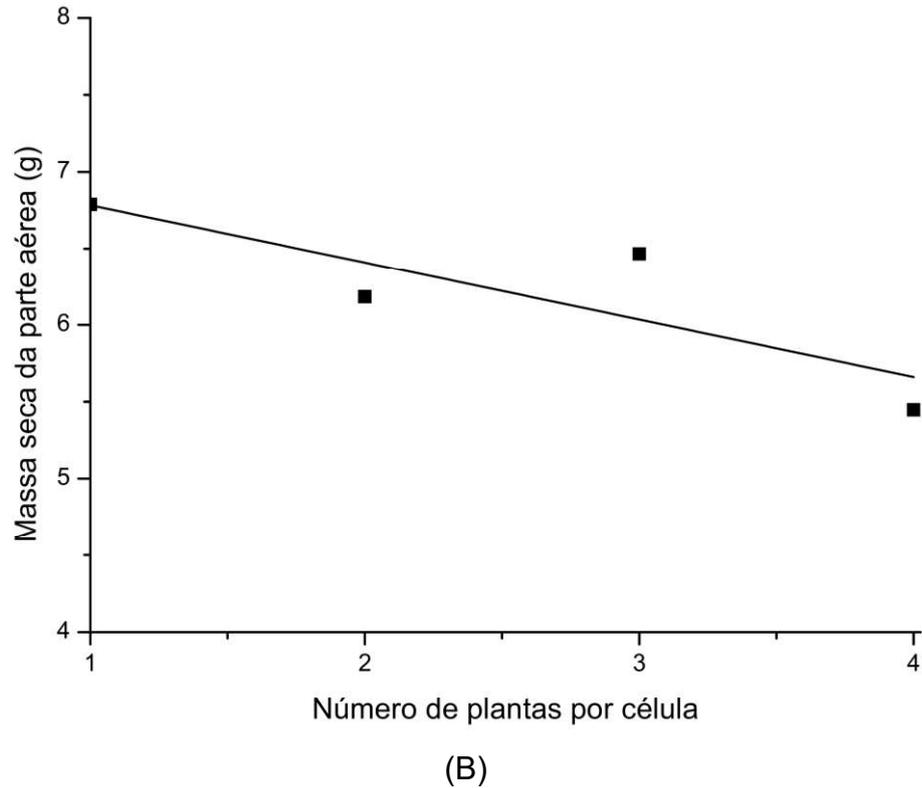
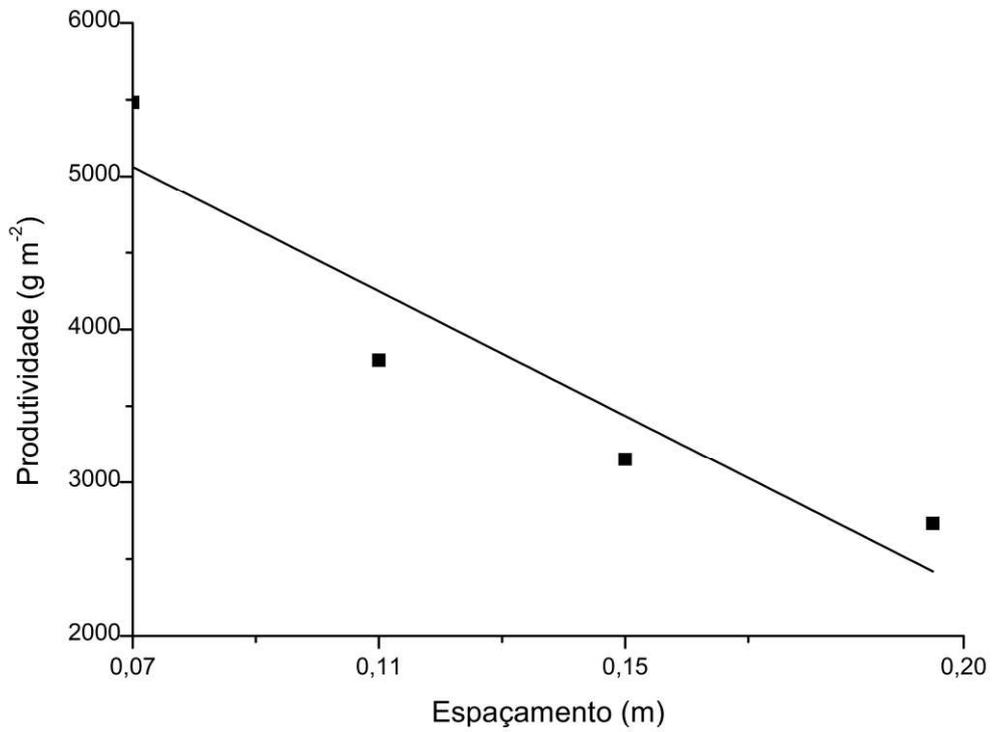
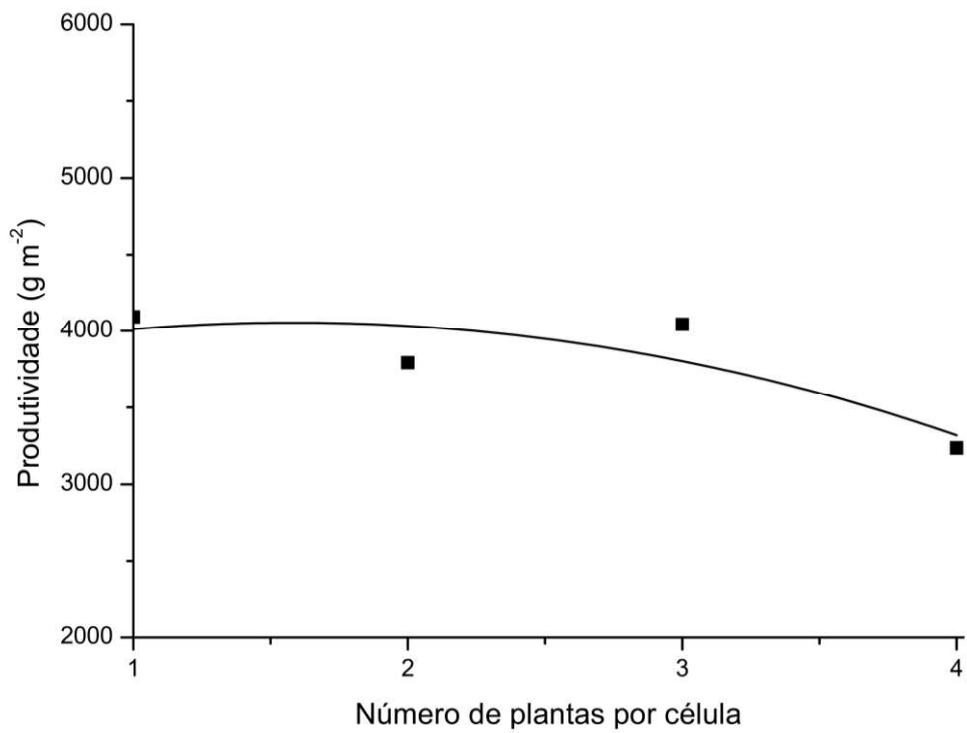


Figura 24. Médias de massa seca da parte aérea de couve-crespa (*kale*) cultivada durante verão em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplântio; dados com o somatório das massas das plantas de uma mesma célula. UFSCar, Araras (SP), 2021.

O aumento do espaçamento e do número de plantas por célula proporcionou diminuição linear e polinomial quadrática, respectivamente, da produtividade (Figura 25). O maior valor registrado, em função do espaçamento, foi 5.482,64 g m<sup>-2</sup> no menor espaçamento (0,07 m) e o menor foi 2.732,12 g m<sup>-2</sup> no maior espaçamento (0,20 m). Já em função do número de plantas por célula, o valor máximo foi 4.091,38 g m<sup>-2</sup>, com uma planta, e o mínimo foi 3.240,91 g m<sup>-2</sup>, com quatro plantas por célula.



(A)



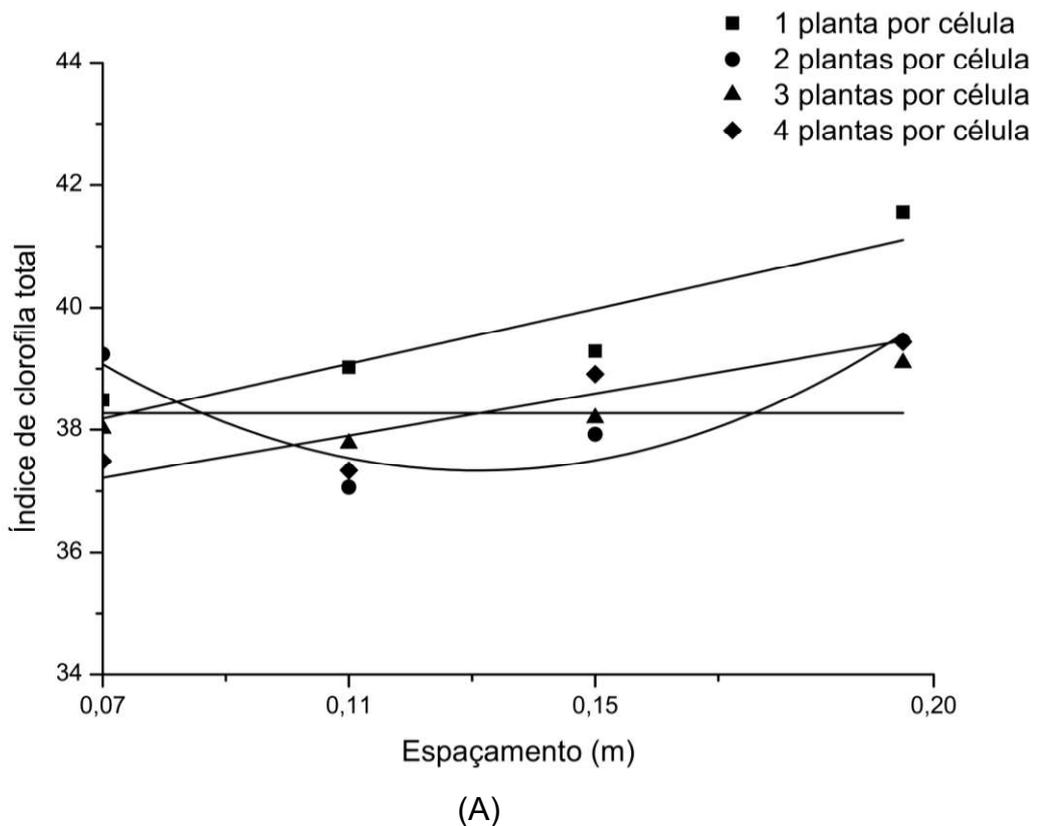
(B)

Figura 25. Médias de produtividade de couve-crespa (*kale*) cultivada durante verão em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função

de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplante. UFSCar, Araras (SP), 2021.

#### 5.2.3.4. Índice de clorofila total

O índice de clorofila total (Figura 26), em função do espaçamento, com uma e quatro plantas por célula aumentou linearmente, com valores máximos registrados de 41,55 e 39,44, respectivamente (0,20 m); com duas plantas por célula houve aumento polinomial quadrático, com valor máximo de 39,45 (0,20 m); com três plantas por célula não houve diferença estatística, com valor médio de 38,27. Já em função do número de plantas por célula, não houve diferença estatística no índice de clorofila total nos espaçamentos de 0,07 e 0,15 m com valores médios de 38,31 e 38,58, respectivamente; nos espaçamentos de 0,11 e 0,20 m houve diminuição polinomial quadrática, com valores máximos de 39,03 e 41,55, respectivamente (com uma planta por célula).



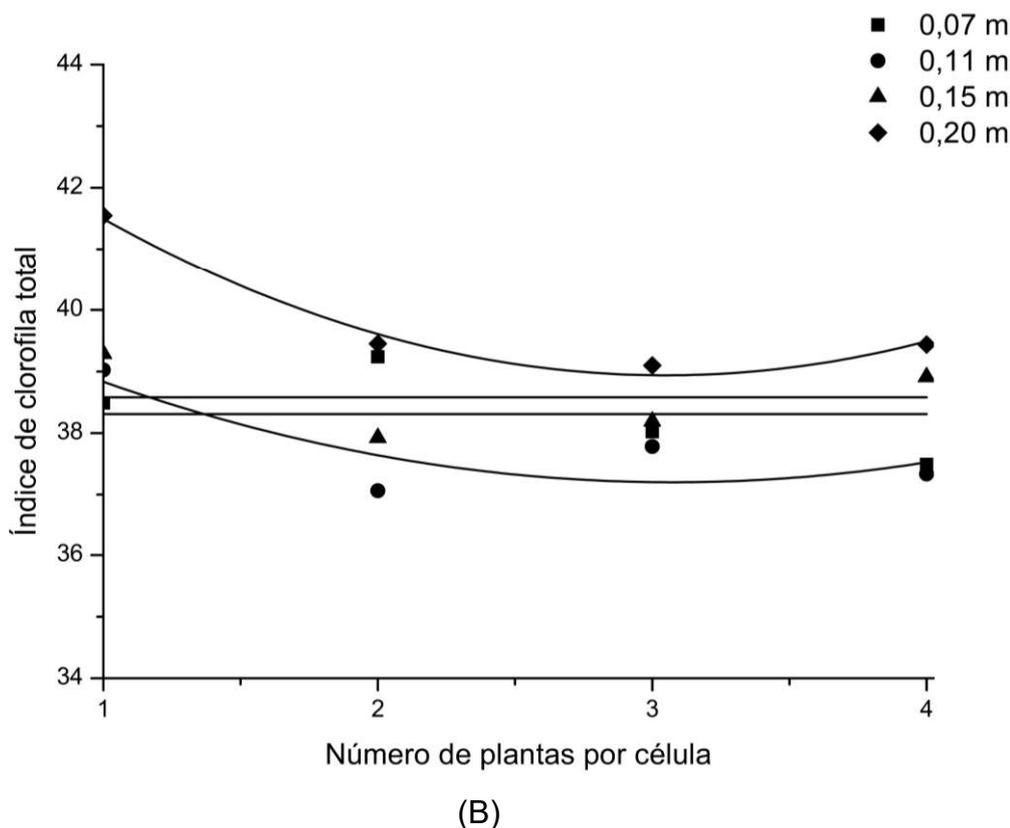


Figura 26. Médias de índice de clorofila total de couve-crespa (*kale*) cultivada durante verão em sistema hidropônico NFT em função de diferentes espaçamentos entre perfis (A) e em função de número de plantas por célula (B), aos 27 dias após transplante. UFSCar, Araras (SP), 2021.

### 5.3. Discussão das características avaliadas

#### 5.3.1. Clima

A temperatura do ambiente de cultivo é um fator primário no crescimento e desenvolvimento vegetal (FUJIWARA et al., 2004). A couve-de-folhas é, originalmente, uma cultura de outono-inverno, bastante resistente ao frio e geadas, contudo, é tolerante a temperaturas mais altas, possibilitando o cultivo em diversas regiões do Brasil e diferentes épocas do ano (FILGUEIRA, 2008). Apesar da couve-crespa ser comumente cultivada na América do Norte e Europa, regiões de climas diferentes em relação às condições brasileiras, o híbrido Darkibor é indicado para cultivo o ano todo no Brasil pela empresa produtora das sementes desta cultivar (BEJO, 2021) e mostrou crescimento acelerado com temperaturas mais altas, possibilitando colheita precoce. Além disso, Šamec, Urlic e Salopek-Sondi (2019) apontam a importância da promoção de *kale* pela tolerância às condições climáticas não favoráveis (salinidade, altas e baixas temperaturas e estresse hídrico),

principalmente com flutuações de temperatura cada vez mais extremas causadas por mudanças climáticas.

### **5.3.2. Solução de cultivo**

No presente trabalho, não foram notados sintomas de deficiência nutricional nas *kales*, sendo considerado adequado a composição da solução de cultivo e os níveis de condutividade elétrica (CE) e pH. O cultivo hidropônico exige monitoramento periódico e ajustes das condições das soluções nutritivas. O teor nutricional da solução foi mensurado de maneira indireta a partir da CE, cujo valor ótimo varia entre espécies, variedades, época do ano e estágio de desenvolvimento e, por exemplo, para alface, o valor ideal varia de 1.000 a 2.000  $\mu\text{S cm}^{-1}$  (MELLO; CAMPAGNOL, 2016), já Noboa et al. (2019) cultivaram *kale* em sistema hidropônico NFT com CE entre 1.400 e 1.800  $\mu\text{S cm}^{-1}$ . O valor ideal de pH está entre 5,5 e 6,5, com tolerância a variações entre 4,5 e 7,5, sem danos ao desenvolvimento das plantas. Valores inferiores a 4,5 ou superiores a 7,5 afetam as membranas celulares das plantas e causam indisponibilidade de ferro, fósforo, boro e manganês (FURLANI et al., 2009).

### **5.3.3. Competição entre plantas**

Dois efeitos originados da competição entre plantas foram observados nos resultados. A partir de alterações do espaçamento entre perfis houve respostas das plantas ao sombreamento. E, a partir de alterações do número de plantas por célula, houve efeito de dominância e supressão.

As plantas percebem intensidade e qualidade luminosa através de fotorreceptores e, a partir disso, podem sofrer alterações fenotípicas. Um exemplo de fotorreceptor são os fitocromos, moléculas que possuem uma forma para absorção de vermelho e outra para vermelho distante, contudo, ambas as formas convertem entre si dependendo das taxas de luz vermelho e vermelho distante recebidas pela planta, provocando respostas, como germinação de sementes, floração e alterações que permitem a planta evitar o sombreamento. A faixa de luz fotossinteticamente ativa é de 400 a 700 nm (sendo absorvidos mais o azul, 400 a 500 nm, e o vermelho, 600 a 700 nm), porém, após a absorção, as plantas transmitem ou refletem vermelho distante (700 a 800 nm), que, ao serem absorvidos por outras plantas, levam a um aumento de fitocromos de absorção de vermelho distante, aumentando atividade de fatores de interação do fitocromo (PIFs), os quais estão relacionados a toda a cadeia

metabólica da auxina, promovendo biossíntese, transporte e sensibilidade à auxina, gerando alongamento celular. Tais alterações possibilitam a planta evitar sombreamento, se refletindo em alongamento de caules, pecíolos, internódios, folhas mais eretas e podem reduzir a lâmina foliar e ramificações (IGLESIAS et al., 2018; MA; LI, 2019; SCHMITT; DUDLEY; PIGLIUCCI, 1999). Há relato da luz, principalmente o vermelho distante, induzir as alterações citadas em couve (MENG; KELLY; RUNKLE, 2019).

As respostas das plantas para evitar sombreamento podem ser observadas no presente trabalho e as alterações fenotípicas descritas pela literatura correspondem e explicam o maior comprimento de plantas, de limbo foliar e de pecíolos em menores espaçamentos no cultivo de inverno (Figura 4, Figura 9 e Figura 10). Já no verão, os resultados mostraram comportamentos diferentes, onde não houve diferença na altura e comprimento de pecíolos em função do espaçamento e houve menor comprimento de limbo foliar em menores espaçamentos (Figura 18, Figura 21 e Figura 22). A suposição é de que, como as plantas ficaram maiores do que as do cultivo de inverno (em média 66,84% maior altura e 43,46% maior massa fresca), as respostas ao sombreamento existiram por um momento, podendo ter havido um adiantamento da colheita em relação ao inverno, contudo, para o mesmo período de cultivo (27 dias após transplante), no momento da avaliação, pela precocidade das plantas, esse efeito ficou inexistente; as plantas nos maiores espaçamentos conseguiram ocupar esse maior espaço disponível (o que não ocorreu com as plantas no inverno), apresentando maior massa em relação às plantas dos menores espaçamentos e alturas iguais.

Estudos de dominância e supressão entre plantas é comum em outras áreas de ciências agrárias, como em silvicultura (CAMPOE et al., 2013; SOARES et al., 2020) e matologia (CHO et al., 2015), porém não foram encontrados trabalhos relacionando diretamente tal fenômeno em hortaliças. Contudo, é notável a heterogeneidade entre as plantas de uma mesma célula e pode ser explicada pela alta competição exercida entre as plantas, havendo dominância e supressão, onde algumas alcançaram melhor performance (dominantes) em detrimento de outras (suprimidas). De acordo com Forrester (2019), a desigualdade de tamanhos é influenciada por diversos fatores, como diferenças na absorção de luz, água e nutrientes, nas arquiteturas, nos processos fisiológicos, na fitossanidade e entre outros. Como o presente trabalho trata de uma única espécie, livre de plantas

infestantes, com plantas saudáveis e em sistema hidropônico, não tendo deficiência hídrica e nutricional, o fator mais provável para a desuniformidade entre plantas de uma mesma célula é diferenças na absorção de luz. A homogeneidade das plantas é uma característica relevante, pois além de ser uma atratividade ao consumidor (REGHIN et al., 2005; SABIO; VENTURA; CAMPOLI, 2013), representa uma otimização do uso de sementes, um insumo de participação considerável do custo de produção de hortaliças, representando cerca de 10% desse valor, variando pela tecnologia da semente, espécie e sistema de produção (DELEO; MENEGAZZO; TAPETTI, 2011; SOUZA; GARCIA, 2013).

#### **5.3.4. Altura de plantas**

No presente trabalho, em função do espaçamento, foram observadas duas situações, diminuição da altura de plantas no cultivo de inverno e sem diferenças estatísticas no cultivo de verão. Relatos da literatura evidenciam comportamentos diversos na altura de plantas de brássicas em função de espaçamento, como, sem diferenças em plantas de rúcula (REGHIN et al., 2005) e diminuição da altura de plantas de rúcula (GONÇALVES-TREVISOLI et al., 2017). Já em função do número de plantas por célula, houve diminuição da altura de plantas tanto no cultivo de inverno quanto no de verão. Relatos da literatura evidenciam diminuição na altura de plantas de brássicas em função de número de plantas por célula, como no cultivo de rúcula (REGHIN et al., 2005; REGHIN; OTTO; VINNE, 2004).

Quanto aos estudos citados com brássicas, maiores detalhes de cada um serão apresentados, para que sejam percebidas as diferenças ou semelhanças relatadas com o presente trabalho a partir do cultivo e dos tratamentos realizados. Em estudo com rúcula em função de espaçamento (0,05; 0,10; 0,15 e 0,20 m) e número de mudas por cova (duas e quatro) na estação de inverno em cultivo convencional, Reghin et al. (2005) observaram o espaçamento não exercer efeito sobre o comprimento da parte aérea, contudo, influenciar as demais características avaliadas. No maior espaçamento foram observados maior número de folhas, massa fresca e seca, entretanto, menor produtividade. Já em função de mudas por cova, com duas mudas houve maior comprimento da parte aérea, número de folhas, massa fresca e seca, contudo, menor produtividade. Os autores atribuem os menores valores encontrados em um maior número de plantas por cova à alta competição existente, gerando desuniformidade, tal comportamento também ocorreu no presente trabalho. De acordo

com os autores, “em densidades maiores, a irregularidade no desenvolvimento é mais fácil de ocorrer pois devido à competição, algumas plantas desenvolvem mais em detrimento de outras”. Reghin et al. (2005) defendem a finalidade do produto para a decisão do manejo, isto é, o tipo de produto desejado definirá os espaçamentos e número de mudas por cova a serem utilizados. Onde, se rúcula fosse comercializada por unidade, o uso de maior espaçamento com menor densidade de mudas seria uma boa opção, por promover plantas com maiores dimensões. Contudo, como rúcula é comercializada em maçaria, a maior produtividade gerada em menor espaçamento e maior densidade de mudas se torna mais interessante.

A desuniformidade notada por Reghin et al. (2005) entre as quatro plantas da mesma cova não foi mensurada, isto é, não mediram cada planta individualmente, contudo, o relato visual dos autores assemelha-se ao presente trabalho, onde houve estudo e constatação de tal desuniformidade. Maços comerciais de rúcula possuem entre 10 e 12 plantas por célula e as plantas são semelhantes entre si, tal relato de desuniformidade desperta a possibilidade de muitas plantas por célula forçarem tal competição que passe a não haver dominância e supressão. Se *kale* se comportar dessa mesma forma em altos número de plantas por célula, isso abriria outra possibilidade de comercialização para couve, contudo, seria necessário a utilização de variedades de polinização aberta e sementes nuas, pois as sementes de Darkibor possuem valor agregado por serem peletizadas e híbridas.

Gonçalves-Trevisoli et al. (2017) verificaram efeitos de espaçamentos entre plantas (0,05 e 0,10 m) e entre linhas (0,20; 0,25 e 0,30 m) no cultivo convencional de rúcula nas quatro estações do ano. O menor espaçamento entre plantas resultou em maior altura de rúculas em relação ao maior espaçamento. Os autores justificam tal resultado pela competição por luz, onde plantas atingiram maiores alturas para evitar o sombreamento. Também em função do espaçamento entre plantas, não houve diferenças na área foliar e foi observado maior produtividade no menor espaçamento. Já em função do espaçamento entre linhas, não houve diferenças na altura de plantas, área foliar e produtividade (estações de verão, outono e inverno; apenas na primavera o menor espaçamento resultou em maior produtividade).

Ao estudarem densidade de mudas por célula (uma, duas, três e quatro) em bandejas de 200 e 288 células, no cultivo convencional de rúcula, Reghin, Otto e Vinne (2004) observaram diminuição linear da altura das plantas, número de folhas e massa fresca e seca em função do número de mudas por célula. Os autores relacionam tais

resultados à pressão de competição promovida com o aumento do número de plantas. Já a produtividade aumentou linearmente, variando, em média, de 1.400 g m<sup>-2</sup> (uma muda por célula) para 6.400 g m<sup>-2</sup> (quatro mudas).

Outros estudos relacionaram altura de plantas à densidade de cultivo, onde, com o aumento de densidade de plantas, houve aumento da altura de plantas de brócolis tipo cabeça única (FRANCESANGELI; SANGIACOMO; MARTÍ, 2006) e de plantas de coentro (ALMEIDA et al., 2019), porém diminuição da altura de plantas de couve (BENNETT et al., 2013).

### **5.3.5. Número e dimensões de folhas**

No presente trabalho, em função do espaçamento, houve aumento do número de folhas (exceto para uma planta por célula) tanto no cultivo de inverno quanto no cultivo de verão. Relatos da literatura evidenciam aumento do número de folhas de brássicas em função de espaçamento, como em plantas de couve (NAIK; GUPTA, 2010) e de rúcula (REGHIN et al., 2005), contudo, também em cultivo de rúcula, Gonçalves-Trevisoli et al. (2017) relataram não diferença no cultivo de verão, outono e inverno, apenas no de primavera, com mais folhas no maior espaçamento entre plantas. Já em função do número de plantas por célula, houve aumento do número de folhas quando consideradas todas as plantas da célula, contudo, houve diminuição quando consideradas as plantas individualizadas tanto no cultivo de inverno quanto no cultivo de verão. Relatos da literatura evidenciam diminuição do número de folhas de plantas de brássicas em função de número de plantas por célula, como no cultivo de rúcula (REGHIN et al., 2005; REGHIN; OTTO; VINNE, 2004).

No presente trabalho, em função do espaçamento, foram observadas situações diferentes no inverno e no verão em relação às dimensões das folhas. A largura do limbo foliar foi, de certa forma, estável no inverno, mas aumentou no verão. O comprimento do limbo foliar diminuiu no inverno, mas aumentou no verão. O comprimento de pecíolos diminuiu no inverno e foi estável no verão. Relatos da literatura evidenciam aumento das dimensões de folhas de brássicas em função de espaçamento, como em plantas de couve (área foliar e comprimento de pecíolos; NAIK; GUPTA, 2010) e de rúcula (área foliar; PURQUERIO et al., 2007), contudo, também há relato de não influência de espaçamentos sobre área foliar de rúcula (GONÇALVES-TREVISOLI et al., 2017).

Naik e Gupta (2010) avaliaram espaçamento entre linhas (0,20; 0,30 e 0,40 m; espaçamento entre plantas fixo de 0,30 m) e doses de nitrogênio em couve “*Siberian*” e relataram maior área foliar, número de folhas, comprimento de pecíolos, massa de folhas (individuais e por planta) e teor de clorofila no maior espaçamento. Os autores justificam tais resultados devido a maior unidade de área por planta, onde houve menor competição por água, nutrientes e luz. Contudo, maior produtividade foi observada no menor espaçamento. Vale lembrar que o estudo citado se baseou no cultivo convencional de couve em campo e com múltiplas colheitas, tais características podem justificar diferentes comportamentos frente às competições entre as plantas.

Em cultivo de rúcula em campo e em ambiente protegido, nas estações de outono/inverno e verão, com diferentes doses de nitrogênio e espaçamentos (0,05; 0,07 e 0,10 m), Purquerio et al. (2007) observaram maior área foliar e massa seca no maior espaçamento. Os autores apontam a competição entre as plantas por radiação solar, água e nutrientes como causa desses resultados. Quanto à produtividade, o menor espaçamento resultou em valor 45% maior em relação ao maior espaçamento. É destacado a inexistência de padronização de tamanhos de folhas na comercialização de rúcula, onde certos mercados exigem maiores folhas e outros, menores. Dessa forma, a partir da exigência do mercado local, toma-se decisão do manejo, combinando melhores produtividades com tamanhos adequados de folhas.

Outros estudos relacionaram número e dimensões de folhas à densidade de cultivo, onde, com o aumento de densidade de plantas, houve aumento da área foliar de plantas de brócolis tipo cabeça única (FRANCESANGELI; SANGIACOMO; MARTÍ, 2006) e diminuição do número de folhas de plantas de coentro (ALMEIDA et al., 2019).

#### **5.3.6. Massas e produtividade**

No presente trabalho, em função do espaçamento, houve aumento da massa fresca e seca da parte aérea no cultivo de verão e com uma planta por célula no inverno (e com três plantas por célula na massa seca). Relatos da literatura evidenciam aumento da massa fresca e seca de brássicas em função de espaçamento, como em folhas de couve (NAIK; GUPTA, 2010) e plantas de rúcula (PURQUERIO et al., 2007; REGHIN et al., 2005), contudo, também em cultivo de rúcula, Gonçalves-Trevisoli et al. (2017) relataram não diferença no cultivo de verão, outono e inverno, apenas no de primavera, tendo tido maior massa fresca e seca no

maior espaçamento entre plantas. Já em função do número de plantas por célula, quando consideradas todas as plantas da célula, houve diminuição da massa fresca e seca da parte aérea no verão e, no inverno, aumento das massas em alguns casos (espaçamentos de 0,07 e 0,11 m) e estabilidade nos demais. Considerando a massa fresca das plantas individualizadas, houve diminuição em ambos os períodos. Relatos da literatura evidenciam diminuição da massa fresca e seca por planta em função de número de plantas por célula, como no cultivo de rúcula (REGHIN et al., 2005; REGHIN; OTTO; VINNE, 2004).

No presente trabalho, em função do espaçamento, houve diminuição da produtividade tanto no cultivo de inverno quanto no de verão. Relatos da literatura evidenciam diminuição da produtividade em função de espaçamento, como em plantas de couve (NAIK; GUPTA, 2010) e de rúcula (GONÇALVES-TREVISOLI et al., 2017; PURQUERIO et al., 2007; REGHIN et al., 2005). Já em função do número de plantas por célula, houve diminuição da produtividade no verão e, no inverno, aumento da produtividade em alguns casos (espaçamentos de 0,07 e 0,11 m) e estabilidade nos demais. Relatos da literatura evidenciam aumento da produtividade em função do número de plantas por célula, como em cultivo de rúcula (REGHIN; OTTO; VINNE, 2004); contudo, também com rúcula, Reghin et al. (2005) relataram tanto aumento da produtividade (estação de inverno) quanto não diferença estatística (estação de outono) em função do número de plantas por célula.

Os valores obtidos das características avaliadas foram compatíveis com os encontrados por Noboa et al. (2019), onde os autores estudaram, em cultivo hidropônico na estação de verão, três variedades de couve-crespa (Darkibor, Starbor e Redbor) e uma de couve-manteiga (Butter Green) em mesmo modelo do presente trabalho, isto é, maço de plantas jovens, com quatro plantas por célula. As médias de número, largura e comprimento de folhas, comprimento de pecíolos, massas frescas e secas da parte aérea e produtividade do híbrido Darkibor foram, respectivamente, 23,35 folhas, 9,73 cm, 14,89 cm, 14,83 cm, 93,73 g, 7,06 g e 4,46 kg m<sup>-2</sup> mês<sup>-1</sup>, valores relativamente mais próximos aos encontrados no cultivo de verão do presente trabalho. Em análise sensorial, houve igual preferência e intenção de compra entre as folhas das couves, evidenciando boa aceitação da couve-crespa como planta jovem pelo consumidor brasileiro. Os autores notaram variação de tamanho entre as plantas de uma mesma célula, contudo sem mensurar; tal característica foi confirmada pelo presente trabalho.

Outros estudos relacionaram massa fresca da parte aérea e produtividade à densidade de cultivo, onde, com o aumento de densidade de plantas, houve diminuição da massa vegetativa por planta, contudo, aumento de produção de sementes de couve (BENNETT et al., 2013); e com coentro houve comportamento quadrático de massa fresca e produtividade, onde ambas as características aumentaram até certo ponto (5,4 g de sementes m<sup>-1</sup>), havendo posterior decréscimo com o aumento da densidade de semeadura (ALMEIDA et al., 2019).

### 5.3.7. Índice de clorofila total

No presente trabalho, em função do espaçamento, houve aumento do índice de clorofila total no verão (exceto com 3 plantas por célula) e no inverno. Já em função do número de plantas por célula, em ambos os períodos, houve diminuição do índice nos espaçamentos de 0,11 e 0,20 m e estabilidade nos demais. Aumento de clorofila em função de espaçamento também foi relatado por Naik e Gupta (2010) com plantas de couve. Somando-se à clorofila, também avaliaram vitamina C, cujo teor também aumentou em função do espaçamento; os autores relacionam o aumento da qualidade das plantas em menor densidade devido à maior incidência de luz solar, água e nutrientes. Como as couves do atual trabalho foram cultivadas em sistema hidropônico, não havendo escassez ou limitação de água e nutrientes às plantas, a incidência de luz solar foi determinante nos resultados encontrados e há relato de influência de luz sobre clorofila em couve (NAZNIN et al., 2019). Em relação à outras culturas, estudos evidenciam aumento da clorofila em função do espaçamento, como em amendoim (*Arachis hypogaea*; MEENA; KUMAWAT; YADAV, 2011), espinafre-da-água (*Ipomoea reptans*; SARKAR; JANA; DATTA, 2014) e coentro (*Coriandrum sativum*; SHARMA; NARUKA; SHAKTAWAT, 2016).

### 5.3.8. Análise bromatológica e nutricional

Os valores de umidade, proteína e carboidratos totais da *kale* hidropônica do presente trabalho foram, em média, 89,9; 2,8 e 4,9 g 100 g<sup>-1</sup>, respectivamente, sendo valores diferentes em relação aos reportados para couve-crespa, os quais variam entre 82,9 e 84,0; 4,2 e 4,3; 8,8 e 10,1 g 100 g<sup>-1</sup>, respectivamente (SIKORA; BODZIARCZYK, 2012; USDA, 2016), contudo, se assemelham aos reportados para couve-manteiga, os quais variam entre 89,6 e 90,9; 2,9 e 3,0; 4,3 e 5,4 g 100 g<sup>-1</sup>, respectivamente (KAWASHIMA; SOARES, 2003; UNICAMP, 2011; USDA, 2016). Já

os valores de cinzas, fibra e lipídeos do presente trabalho foram, em média, 1,9; 3,7 e 0,6 g 100 g<sup>-1</sup>, respectivamente, sendo semelhantes aos reportados para couve-crespa, os quais variaram entre 2,0 e 2,1; 3,6 e 8,4; 0,7 e 0,9 g 100 g<sup>-1</sup>, respectivamente (SIKORA; BODZIARCZYK, 2012; USDA, 2016). Apesar da espessura foliar e análises sensoriais não terem sido realizadas, as folhas da *kale* hidropônica em maço de plantas jovens aparentam ser mais macias do que as couves-crespas de cultivo convencional, neste caso, a maior umidade encontrada em relação à literatura pode ser um fator de influência. A aparente maciez destacada pode ser um diferencial positivo para melhor aceitação deste produto, contudo, mais estudos são necessários.

Os teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro, manganês, cobre e zinco da *kale* hidropônica do presente trabalho foram, em média, 77,5; 380,1; 263,6; 53,4; 1,38; 0,77; 0,02 e 0,36 mg 100 g<sup>-1</sup>, respectivamente, sendo valores condizentes aos reportados na literatura para couve-crespa, os quais variam entre 49,2 e 105; 315,4 e 491; 106 e 384,8; 34,9 e 92; 0,5 e 1,47; 0,4 e 1,16; 0,04 e 1,5; 0,26 e 0,83 mg 100 g<sup>-1</sup>, respectivamente (METALLO et al., 2018; PATHIRANA et al., 2017; SIKORA; BODZIARCZYK, 2012; THAVARAJAH et al., 2016; USDA, 2016). Quanto aos teores de enxofre e boro, cujas médias foram 107,1 e 0,38 mg 100 g<sup>-1</sup>, respectivamente, foram inferiores aos valores da literatura, 113,1 e 0,54 mg 100 g<sup>-1</sup>, respectivamente (METALLO et al., 2018). Os teores de nitrogênio, magnésio, proteína e clorofila aumentaram em função do espaçamento; estes componentes estão relacionados, visto que proteína contém nitrogênio em suas moléculas e clorofila contém nitrogênio e magnésio (RESH, 2013; TAIZ; ZEIGER, 2013).

Waterland et al. (2017) estudaram *kale* (variedades Dwarf Blue Curled, Scarlet e Red Russian) em diferentes estádios de desenvolvimento. *Microgreens* foram cultivadas em bandejas, houve continuidade do cultivo destas plantas em bandeja para colheita de *baby leaf*s e, a partir disso, houve transplântio em vasos para colheita de plantas adultas. Ao todo, foram avaliados cinco diferentes estádios de desenvolvimento, *microgreens* 1 (folhas cotiledonares expandidas; avaliação de 8 a 9 dias após semeio – DAS), *microgreens* 2 (duas folhas verdadeiras; 13 a 16 DAS), *baby leaf* 1 (quatro folhas verdadeiras; 18 a 29 DAS), *baby leaf* 2 (seis folhas verdadeiras; 37 a 44 DAS) e adultas (mais que oito folhas verdadeiras; 89 DAS). A umidade diminuiu com o desenvolvimento das plantas, em torno de 95% em *microgreens*, 90% em *baby leaf*, semelhante ao presente trabalho, e 80% quando

adultas. O teor de minerais totais em base fresca foi igual, estatisticamente, em *microgreens* 1 e 2, *baby leaf* 2 e adultas, contudo, nas três variedades, o estágio de *baby leaf* 1 foi superior aos demais (no caso de Scarlet, inclui-se *baby leaf* 2). Dessa forma, ocorreu um aumento do teor de minerais e posterior diminuição durante o desenvolvimento das plantas. No presente trabalho, as *kales* foram avaliadas aos 64 DAS, período intermediário aos de *baby leaf* 2 e adultas dos autores mencionados e, de acordo com Di Gioia, Renna e Santamaria (2017), o período de *baby leaf* vai até completar oito folhas verdadeiras, por essa razão, o presente trabalho trata as *kales* produzidas como plantas jovens e não como *baby leaf*. Os teores de minerais das *kales* do presente trabalho foram semelhantes aos reportados para *kale* adulta na literatura, estando, assim, em concordância com Waterland et al. (2017).

#### 5.3.9. Considerações gerais

Em maneira geral, a decisão de espaçamento e número de plantas por célula dependem do produto desejado. Caso o objetivo seja folhas grandes, coloca-se menos plantas por célula, já se o objetivo for folhas pequenas e em alta quantidade, utiliza-se mais plantas por célula. Quanto aos menores espaçamentos, além de trazerem maiores produtividades, é possível observar potencial precocidade de colheita (Figura 5), o que possibilita mais ciclos por ano e, assim, maior lucratividade ao produtor. Uma das vantagens da hidroponia é o menor ciclo da cultura e isso ocorre devido à alta disponibilidade de nutrientes às plantas (MELLO; CAMPAGNOL, 2016). Quanto menos dias a hortaliça permanecer no sistema, mais ciclos serão feitos em um ano, gerando maior retorno financeiro ao produtor.

*Kale* é conhecida e comercializada como uma hortaliça para maçaria de folhas e não de plantas jovens. O modelo de produção de *kales* em maços de plantas jovens traz aumento de produtividade e precocidade, com plantas tão nutritiva quanto às adultas. Tal inovação traz desafios, mas também inúmeras possibilidades, tais quais aproveitar o mercado crescente das hortaliças de tamanhos reduzidos (PURQUERIO et al., 2018) e aproveitar estruturas hidropônicas e manejos já utilizados para outras hortaliças folhosas, como rúcula, sendo *kale* inclusive uma alternativa para cultivo de inverno, visto que o consumo de couve aumenta (DI FABIO et al., 2018). Algo a ser aprofundado são análises sensoriais e de intenção de compra entre folhas dos menores e maiores espaçamentos, pois apesar de não ter sido mensurado a espessura foliar, há impressões de menor espessura em menores espaçamentos, o

que tanto é possível ocorrer por ser uma das respostas das plantas ao sombreamento (IGLESIAS et al., 2018), quanto também pode impactar, positivamente ou não, a preferência pelo consumidor.

## **6. CONCLUSÕES**

O produto desejado no cultivo de couve-crespa hidropônica em maços de plantas jovens é decisivo para escolha de espaçamentos e números de plantas por célula. Objetivando-se folhas maiores, pode-se optar por menos plantas por célula. Objetivando-se folhas menores e em alta quantidade, pode-se optar por mais plantas por célula, contudo, essa decisão trará plantas heterogêneas podendo impactar a comercialização. A utilização de menores espaçamentos entre perfis hidropônicos traz maiores produtividades e potencial antecipação de colheita. Cultivo em temperaturas mais altas também causam encurtamento do ciclo. O sistema hidropônico é viável tecnicamente para produção de couves-crespas em todo o período do ano, proporcionando plantas de boa qualidade nutricional.

## 7. LITERATURA CITADA

ALMEIDA, B. C. et al. Desempenho agroeconômico do coentro em diferentes densidades de semeadura. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 62, p. 1–7, 2019.

AMOURETTI, M. C. Cidades e campos gregos. In: FLANDRIN, J.-L. et al. (Eds.). . **História da alimentação**. São Paulo: Estação Liberdade, 1998. p. 104–117.

ANKOM - ANKOM TECHNOLOGY. **Neutral detergent fiber in feed: filter bag technique (for A2000 and A2000I)**. Lelystad: Ankom Technology. Method 13.. Disponível em: <[https://www.ankom.com/sites/default/files/document-files/Method\\_13\\_NDF\\_A2000.pdf](https://www.ankom.com/sites/default/files/document-files/Method_13_NDF_A2000.pdf)>. 2017>.

AOAC - ASSOCIATION OF ANALITICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC International**. 19. ed. Washington: AOAC International, 2012.

BALKAYA, A.; YANMAZ, R. Promising kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) populations from Black Sea region, Turkey. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 33, n. 1, p. 1–7, 2005.

BAMSEY, M. T. et al. **Review of Antarctic greenhouses and plant production facilities: A historical account of food plants on the ice**. . In: 45TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENVIRONMENTAL SYSTEMS. Bellevue: 2015.

BEJO. **Couve Crespa Kale**. Disponível em: <[https://www.bejo.com.br/kale-couve-crespa?f%5B0%5D=field\\_organic%3A0](https://www.bejo.com.br/kale-couve-crespa?f%5B0%5D=field_organic%3A0)>. Acesso em: 1 fev. 2021.

BENINNI, E. R. Y.; TAKAHASHI, H. W.; NEVES, C. S. V. J. Concentração e acúmulo de macronutrientes em alface cultivada em sistemas hidropônico e convencional. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, n. 3, p. 273–282, 2005.

BENNETT, E. J. et al. Effects of planting density and nitrogen application on seed yield and other morphological traits of the leafy vegetable kale (*Brassica oleracea*). **Aspects of Applied Biology**, v. 119, p. 201–216, 2013.

CAFFIN, J. M. **Antarctic**. Christchurch: New Zealand Antarctic Society (Inc), 1980. v. 9.

CAMPOE, O. C. et al. Stem production, light absorption and light use efficiency between dominant and non-dominant trees of *Eucalyptus grandis* across a productivity gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 288, p. 14–20, 2013.

CHO, A. H. et al. Apical dominance and planting density effects on weed suppression by sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.). **HortScience**, v. 50, n. 2, p. 263–267, 2015.

CHRISTENSEN, S. et al. AFLP analysis of genetic diversity in leafy kale (*Brassica oleracea* L. convar. *acephala* (DC.) Alef.) landraces, cultivars and wild populations in Europe. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 58, p. 657–666, 2011.

DARYADAR, M. et al. Productivity of leafy green vegetable kale in soilless cultivation conditions. **Journal of Agricultural Science and Food Research**, v. 7, n. 3, p. 95–98, 2019.

DELEO, J. P. B.; MENEGAZZO, T. M.; TAPETTI, R. Gestão sustentável hortaliças. **Hortifruti Brasil**, v. 10, n. 102, p. 10–29, 2011.

DI FABIO, E. et al. Sazonalidades na comercialização de hortaliças da agricultura familiar na fronteira Brasil-Bolívia. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, n. 2, p. 1–10, 2018.

DI GIOIA, F.; RENNA, M.; SANTAMARIA, P. Sprouts, microgreens and “baby leaf” vegetables. In: YILDIZ, F.; WILEY, R. C. (Eds.). **Minimally processed refrigerated fruits and vegetables**. Food Engineering Series. Boston: Springer US, 2017. p. 403–432.

DOUGLAS, J. M. **Hidroponia: cultura sem terra**. 6. ed. São Paulo: Nobel, 1987.

EDEN-ISS - INTERNATIONAL SPACE STATION. **Ground demonstration of plant cultivation technologies for safe food production in space**. Disponível em: <<https://eden-iss.net/>>. Acesso em: 10 abr. 2020.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2008.

FORRESTER, D. I. Linking forest growth with stand structure: Tree size inequality, tree growth or resource partitioning and the asymmetry of competition. **Forest Ecology and Management**, v. 447, p. 139–157, 2019.

FRANCESANGELI, N.; SANGIACOMO, M. A.; MARTÍ, H. Effects of plant density in broccoli on yield and radiation use efficiency. **Scientia Horticulturae**, v. 110, n. 2, p. 135–143, 2006.

FUJIWARA, M. et al. Air temperature effect on leaf development in vegetative propagation of sweetpotato single node cutting under artificial lighting. **Scientia Horticulturae**, v. 99, p. 249–256, 2004.

FURLANI, P. R. et al. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1999.

FURLANI, P. R. et al. **Cultivo Hidropônico de Plantas: Parte 2 - Solução Nutritiva**, 2009. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/artigos/2009\\_2/hidroponiap2/index.htm](http://www.infobibos.com/artigos/2009_2/hidroponiap2/index.htm)>. Acesso em: 10 nov. 2020.

GONÇALVES-TREVISOLI, E. D. V. et al. Ambiência e desempenho produtivo de rúcula cultivada em diferentes espaçamentos. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 16, n. 2, p. 230–236, 2017.

HAGEN, S. F. et al. Effect of cold storage and harvest date on bioactive compounds in curly kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*). **Postharvest Biology and Technology**, v. 51, p. 36–42, 2009.

IEA - INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Estatística de produção paulista**. Disponível em: <[http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/subjetiva.aspx?cod\\_](http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/subjetiva.aspx?cod_)>. Acesso em: 10 nov. 2020.

IGLESIAS, M. J. et al. Multiple links between shade avoidance and auxin networks. **Journal of Experimental Botany**, v. 69, n. 2, p. 213–228, 2018.

IUPAC - INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY. **Standard methods for the analysis of oils, fats and derivatives**. 6. ed. Pergamon Press: Oxford, 1979.

JOHNSON, S. A. et al. Comprehensive evaluation of metabolites and minerals in 6 microgreen species and the influence of maturity. **Current Developments in Nutrition**, v. 5, n. 2, p. 1–12, 2021.

JONES, J. B. Hydroponics: Its history and use in plant nutrition studies. **Journal of Plant Nutrition**, v. 5, n. 8, p. 1003–1030, 1982.

KADAM, S. S.; SHINDE, K. G. Other crucifers. In: SALUNKHE, D. K.; KADAM, S. S. (Eds.). **Handbook of vegetable science and technology: Production, composition, storage and processing**. New York: Marcel Dekker Inc., 1998. p. 359–372.

KAWASHIMA, L. M.; SOARES, L. M. V. Mineral profile of raw and cooked leafy vegetables consumed in Southern Brazil. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 16, p. 605–611, 2003.

KOTTEK, M. et al. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 15, n. 3, p. 259–263, 2006.

MA, L.; LI, G. Auxin-dependent cell elongation during the shade avoidance response. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1–8, 2019.

MACELROY, R. D.; SMERNOFF, D. T.; KLEIN, H. P. **Controlled ecological life support system - Life support systems in space travel**. Moffett Field: National Aeronautics and Space Administration Ames Research Center, 1984.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira de Potassa e do Fósforo, 1997.

MARTINEZ, H. E. P. **Manual prático de hidroponia**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2005.

MEENA, B. P.; KUMAWAT, S. M.; YADAV, R. S. Effect of planting geometry and nitrogen management on groundnut (*Arachis hypogaea*) in loamy sand soil of Rajasthan. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 81, n. 1, p. 86–88, 2011.

MELLO, S. C.; CAMPAGNOL, R. **Olericultura: Cultivo hidropônico**. Curitiba: SENAR, 2016.

MENG, Q.; KELLY, N.; RUNKLE, E. S. Substituting green or far-red radiation for blue radiation induces shade avoidance and promotes growth in lettuce and kale. **Environmental and Experimental Botany**, v. 162, p. 383–391, 2019.

METALLO, R. M. et al. Influence of blue/red vs. white LED light treatments on biomass, shoot morphology, and quality parameters of hydroponically grown kale. **Scientia Horticulturae**, v. 235, p. 189–197, 2018.

MINOLTA CORP. **Precise Color Communication: color control from feeling to instrumentation**. Osaka: MINOLTA Corp. Ltda., 2007.

NAIK, I. A.; GUPTA, A. J. Effect of plant density and integrated nutrient management on growth, yield, quality and economics of kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) in temperate region. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 80, n. 1, p. 80–84, 2010.

NAZNIN, M. et al. Blue light added with red LEDs enhance growth characteristics, pigments content, and antioxidant capacity in lettuce, spinach, kale, basil, and sweet pepper in a controlled environment. **Plants**, v. 8, n. 4, p. 1–12, 2019.

NOBOA, C. S. et al. Produção hidropônica e análise sensorial de couve-de-folhas na forma de maço de plantas jovens. **Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente**, v. 9, p. 1–9, 2019.

NOVO, M. DO C. DE S. et al. Desenvolvimento e produção de genótipos de couve manteiga. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 3, p. 321–325, 2010.

ODS - OFFICE OF DIETARY SUPPLEMENTS. **Vitamin C: Fact sheet for health professionals**. Disponível em: <<https://ods.od.nih.gov/factsheets/VitaminC-HealthProfessional/>>. Acesso em: 21 mar. 2019.

OHSE, S. et al. Yield and nitrate content in cultivars of lettuce produced under different systems of cultivation. v. 32, p. 63–71, 2003.

**ORIGIN**. Massachusetts: OriginLab, 2020.

PATHIRANA, I. et al. Moisture deficit effects on kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) biomass, mineral, and low molecular weight carbohydrate concentrations. **Scientia Horticulturae**, v. 226, p. 216–222, 2017.

PURQUERIO, L. F. V. et al. Efeito da adubação nitrogenada de cobertura e do espaçamento sobre a produção de rúcula. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 3, p. 464–470, 2007.

PURQUERIO, L. F. V. et al. Bioeconomia: Promoção da horticultura urbana do século XXI. **O Agrônomo**, v. 70, p. 6–19, 2018.

PURQUERIO, L. F. V.; MELO, P. C. T. Hortaliças pequenas e saborosas. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 1, 2011.

**R CORE TEAM**. Áustria: R Foundation for Statistical Computing, 2020.

REGHIN, M. Y. et al. Efeito do espaçamento e do número de mudas por cova na produção de rúcula nas estações de outono e inverno. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 5, p. 953–959, 2005.

REGHIN, M. Y.; OTTO, R. F.; VINNE, J. V. D. Efeito da densidade de mudas por célula e do volume da célula na produção de mudas e cultivo da rúcula. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 2, p. 287–295, 2004.

RESH, H. M. **Hydroponic food production: A definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower**. 7. ed. Boca Raton: CRC Press, 2013.

RODRÍGUEZ-DELFÍN, A. Advances of hydroponics in Latin America. **Acta Horticulturae**, v. 947, p. 23–32, 2012.

SABIO, R. P.; VENTURA, M. B.; CAMPOLI, S. S. Mini e “baby” frutas e hortaliças. **Hortifruti Brasil**, v. 11, n. 120, p. 8–20, 2013.

SALA, F. C.; COSTA, C. P. DA. Retrospectiva e tendência da alfacultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 2, p. 187–194, 2012.

ŠAMEC, D.; URLIĆ, B.; SALOPEK-SONDI, B. Kale (*Brassica oleracea* var. *acephala*) as a superfood: Review of the scientific evidence behind the statement. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 15, p. 2411–2422, 2019.

SARKAR, R. K.; JANA, J. C.; DATTA, S. Effect of different sowing times and spacings on growth, yield and quality of water spinach (*Ipomoea reptans* Poir.) under terai region of West Bengal. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 6, n. 2, p. 489–494, 2014.

SCHMITT, J.; DUDLEY, S. A.; PIGLIUCCI, M. Manipulative approaches to testing adaptive plasticity: Phytochrome-mediated shade-avoidance responses in plants. **The American Naturalist**, v. 154, n. S1, p. S43–S54, 1999.

SCHWARZ, M. Opening remarks. **Acta Horticulturae**, v. 554, p. 23–25, 2001.

SHARMA, A.; NARUKA, I. S.; SHAKTAWAT, R. P. S. Effect of row spacing and nitrogen on growth and yield of coriander (*Coriandrum sativum* L.). **Journal of Krishi Vigyan**, v. 5, n. 1, p. 49–53, 2016.

SIKORA, E.; BODZIARCZYK, I. Composition and antioxidant activity of kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*) raw and cooked. **Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria**, v. 11, n. 3, p. 239–248, 2012.

SILVA, E. M. N. DA et al. Qualidade de alface crespa cultivada em sistema orgânico, convencional e hidropônico. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 2, p. 242–245, 2011.

SOARES, A. A. V. et al. Exploring the relationship between stand growth, structure and growth dominance in Eucalyptus monoclonal plantations across a continent-wide environmental gradient in Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 474, p. 1–9, 2020.

SOUZA, J. L.; GARCIA, R. D. C. Custos e rentabilidades na produção de hortaliças orgânicas e convencionais no estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 3, n. 1, p. 11–24, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 5. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 2013.

THAVARAJAH, D. et al. Mineral micronutrient and prebiotic carbohydrate profiles of USA-grown kale (*Brassica oleracea* L. var. *acephala*). **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 52, p. 9–15, 2016.

TRANI, P. E. et al. **Couve de folha: Do plantio à pós-colheita**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2015.

UFSCAR - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS. **Centro de Ciências Agrárias: Dados climatológicos**. Disponível em: <<https://www.cca.ufscar.br/pt-br/servicos/dados-climatologicos>>. Acesso em: 10 nov. 2020.

UNICAMP - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. Campinas: UNICAMP, 2011.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **2012 Census of agriculture**, 2014. Disponível em: <<https://www.nass.usda.gov/Publications/AgCensus/2012/>>. Acesso em: 10 nov. 2020

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **USDA National nutrient database for standard reference, release 28 (slightly revised)**, 2016. Disponível em: <<http://www.ars.usda.gov/nea/bhnrc/mafcl>>. Acesso em: 10 nov. 2020

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **2017 Census of agriculture**, 2019. Disponível em: <<https://www.nass.usda.gov/Publications/AgCensus/2017/index.php>>. Acesso em: 10 nov. 2020

WATERLAND, N. L. et al. Mineral content differs among microgreen, baby leaf, and adult stages in three cultivars of kale. **HortScience**, v. 52, n. 4, p. 566–571, 2017.

YADAV, L. P. et al. Antioxidant potentiality and mineral content of summer season leafy greens: Comparison at mature and microgreen stages using chemometric. **Agricultural Research**, v. 8, p. 165–175, 2019.

## APÊNDICE

Neste apêndice são apresentadas maiores informações sobre os resultados do presente trabalho. Em Tabela A.1 e Tabela A.2 são apresentados os modelos de regressão das curvas exibidas nos itens 5.1.3 e 5.2.3.

Tabela A.1. Modelos de regressão e coeficientes de determinação das características agronômicas avaliadas, cuja interação entre os fatores espaçamento e número de plantas por célula foi não significativa.

Inverno		
Altura de plantas		
Espaçamento	$f(x) = -44,412x + 31,183$	$R^2 = 0,9638$
Número de plantas por célula	$f(x) = -1,2423x + 28,404$	$R^2 = 0,9631$
Comprimento do limbo foliar		
Espaçamento	$f(x) = -60,853x^2 + 7,7594x + 10,66$	$R^2 = 0,8995$
Número de plantas por célula	$f(x) = 0,5193x^2 - 4,0716x + 16,764$	$R^2 = 0,9932$
Comprimento de pecíolos		
Espaçamento	$f(x) = -25,507x + 12,374$	$R^2 = 0,9613$
Número de plantas por célula	$\bar{x} = 8,99$	

<b>Verão</b>		
Altura de plantas		
Espaçamento	$\bar{x} = 42,21$	
Número de plantas por célula	$f(x) = -5,2411x + 55,31$	$R^2 = 0,9981$
Largura do limbo foliar		
Espaçamento	$f(x) = 8,3322x + 9,0835$	
Número de plantas por célula	$f(x) = 0,2233x^2 - 2,8633x + 15,671$	$R^2 = 0,9962$
Comprimento do limbo foliar		
Espaçamento	$f(x) = 13,075x + 13,483$	
Número de plantas por célula	$f(x) = 0,4196x^2 - 4,8671x + 24,236$	$R^2 = 0,9938$
Comprimento de pecíolos		
Espaçamento	$\bar{x} = 15,35$	
Número de plantas por célula	$f(x) = -1,521x + 19,149$	$R^2 = 0,9769$
Massa fresca da parte aérea		
Espaçamento	$f(x) = 190,34x + 43,065$	
Número de plantas por célula	$f(x) = -1,8633x^2 + 5,3148x + 68,973$	$R^2 = 0,7527$
Massa seca da parte aérea		
Espaçamento	$f(x) = 17,495x + 3,9035$	
Número de plantas por célula	$f(x) = -0,3743x + 7,1573$	$R^2 = 0,7126$
Produtividade		
Espaçamento	$f(x) = -20329,63x + 6485,175$	
Número de plantas por célula	$f(x) = -125,36x^2 + 396,63x + 3740,1$	$R^2 = 0,7191$

Tabela A.2. Modelos de regressão e coeficientes de determinação das características agronômicas avaliadas, cuja interação entre os fatores espaçamento e número de plantas por célula foi significativa.

<b>Inverno</b>		
Número de folhas		

Espaçamento: 1 planta por célula	$\bar{x} = 14,41$	
Espaçamento: 2 plantas por célula	$f(x) = 20,182x + 21,607$	$R^2 = 0,6252$
Espaçamento: 3 plantas por célula	$f(x) = 39,185x + 27,589$	$R^2 = 0,9467$
Espaçamento: 4 plantas por célula	$f(x) = 659,48x^2 - 121,29x + 42,464$	$R^2 = 0,9625$
Número de plantas por célula: 0,07 m	$f(x) = 7,9125x + 6,4375$	$R^2 = 0,9942$
Número de plantas por célula: 0,11 m	$f(x) = -1,5625x^2 + 15,313x - 10^{-13}$	$R^2 = 1$
Número de plantas por célula: 0,15 m	$f(x) = 8,5125x + 6,375$	$R^2 = 0,997$
Número de plantas por célula: 0,20 m	$f(x) = 9,5875x + 6,5625$	$R^2 = 0,9975$

#### Largura do limbo foliar

Espaçamento: 1 planta por célula	$f(x) = -258,55x^2 + 68,473x + 5,0128$	$R^2 = 0,6263$
Espaçamento: 2 plantas por célula	$\bar{x} = 7,45$	
Espaçamento: 3 plantas por célula	$\bar{x} = 6,73$	
Espaçamento: 4 plantas por célula	$\bar{x} = 6,25$	
Número de plantas por célula: 0,07 m	$f(x) = -0,6522x + 8,9453$	$R^2 = 0,9629$
Número de plantas por célula: 0,11 m	$f(x) = 0,6182x^2 - 4,3759x + 13,813$	$R^2 = 0,9827$
Número de plantas por célula: 0,15 m	$f(x) = -0,8274x + 9,5422$	$R^2 = 0,9257$
Número de plantas por célula: 0,20 m	$f(x) = -0,7558x + 8,9688$	$R^2 = 0,9122$

#### Massa fresca da parte aérea

Espaçamento: 1 planta por célula	$f(x) = 99,739x + 29,922$	$R^2 = 0,8304$
Espaçamento: 2 plantas por célula	$\bar{x} = 47,54$	
Espaçamento: 3 plantas por célula	$\bar{x} = 49,28$	
Espaçamento: 4 plantas por célula	$\bar{x} = 50,44$	
Número de plantas por célula: 0,07 m	$f(x) = 4,2474x + 34,09$	$R^2 = 0,7317$
Número de plantas por célula: 0,11 m	$f(x) = -1,5655x^2 + 9,493x + 34,979$	$R^2 = 0,1798$
Número de plantas por célula: 0,15 m	$\bar{x} = 48,95$	
Número de plantas por célula: 0,20 m	$\bar{x} = 49,77$	

#### Massa seca da parte aérea

---

Espaçamento: 1 planta por célula	$f(x) = 12,636x + 2,4041$	$R^2 = 0,8081$
Espaçamento: 2 plantas por célula	$\bar{x} = 4,46$	
Espaçamento: 3 plantas por célula	$f(x) = 73,974x^2 - 10,774x + 4,5478$	$R^2 = 0,5873$
Espaçamento: 4 plantas por célula	$\bar{x} = 4,69$	
Número de plantas por célula: 0,07 m	$f(x) = 0,3557x + 3,0623$	$R^2 = 0,7055$
Número de plantas por célula: 0,11 m	$f(x) = -0,1075x^2 + 0,6296x + 3,4033$	$R^2 = 0,0929$
Número de plantas por célula: 0,15 m	$\bar{x} = 4,83$	
Número de plantas por célula: 0,20 m	$\bar{x} = 4,87$	

#### Produtividade

Espaçamento: 1 planta por célula	$f(x) = -13252x + 4158,2$	$R^2 = 0,9448$
Espaçamento: 2 plantas por célula	$f(x) = -21873x + 5672,9$	$R^2 = 0,9529$
Espaçamento: 3 plantas por célula	$f(x) = 247797x^2 - 88520x + 9656,8$	$R^2 = 0,9548$
Espaçamento: 4 plantas por célula	$f(x) = 156759x^2 - 63740x + 8239,2$	$R^2 = 0,9972$
Número de plantas por célula: 0,07 m	$f(x) = -269,5x^2 + 1752x + 1899,2$	$R^2 = 0,9915$
Número de plantas por célula: 0,11 m	$f(x) = -94,881x^2 + 575,33x + 2119,9$	$R^2 = 0,1798$
Número de plantas por célula: 0,15 m	$\bar{x} = 2175,41$	
Número de plantas por célula: 0,20 m	$\bar{x} = 1659,13$	

#### Índice de clorofila total

Espaçamento: 1 planta por célula	$f(x) = 33,887x + 39,48$	$R^2 = 0,8072$
Espaçamento: 2 plantas por célula	$f(x) = 546,25x^2 - 107,66x + 46,522$	$R^2 = 0,9175$
Espaçamento: 3 plantas por célula	$f(x) = 44,889x + 37,28$	$R^2 = 0,9655$
Espaçamento: 4 plantas por célula	$f(x) = 34,315x + 37,985$	$R^2 = 0,7354$
Número de plantas por célula: 0,07 m	$\bar{x} = 41,53$	
Número de plantas por célula: 0,11 m	$f(x) = -0,6908x + 43,175$	$R^2 = 0,4161$
Número de plantas por célula: 0,15 m	$\bar{x} = 43,64$	
Número de plantas por célula: 0,20 m	$f(x) = -0,7387x + 48,075$	$R^2 = 0,7252$

---

#### Verão

---

Número de folhas		
Espaçamento: 1 planta por célula	$\bar{x} = 11,32$	
Espaçamento: 2 plantas por célula	$f(x) = 20,115x + 14,262$	$R^2 = 0,763$
Espaçamento: 3 plantas por célula	$f(x) = 467,86x^2 - 92,005x + 24,923$	$R^2 = 0,8504$
Espaçamento: 4 plantas por célula	$f(x) = 487,07x^2 - 68,386x + 24,422$	$R^2 = 0,9916$
Número de plantas por célula: 0,07 m	$f(x) = -1,0313x^2 + 9,0271x + 2,7604$	$R^2 = 0,9898$
Número de plantas por célula: 0,11 m	$f(x) = 3,7625x + 7,8125$	$R^2 = 0,9747$
Número de plantas por célula: 0,15 m	$f(x) = 4,8083x + 7,0208$	$R^2 = 0,9815$
Número de plantas por célula: 0,20 m	$f(x) = 6,0625x + 6,3125$	$R^2 = 0,996$
Índice de clorofila total		
Espaçamento: 1 planta por célula	$f(x) = 22,463x + 36,61$	$R^2 = 0,8585$
Espaçamento: 2 plantas por célula	$f(x) = 469,41x^2 - 122,95x + 45,38$	$R^2 = 0,8833$
Espaçamento: 3 plantas por célula	$\bar{x} = 38,27$	
Espaçamento: 4 plantas por célula	$f(x) = 17,254x + 36,007$	$R^2 = 0,8461$
Número de plantas por célula: 0,07 m	$\bar{x} = 38,31$	
Número de plantas por célula: 0,11 m	$f(x) = 0,3792x^2 - 2,3317x + 40,785$	$R^2 = 0,6739$
Número de plantas por célula: 0,15 m	$\bar{x} = 38,58$	
Número de plantas por célula: 0,20 m	$f(x) = 0,6094x^2 - 3,7148x + 44,599$	$R^2 = 0,9855$