

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS - CCR  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Juliete Araújo da Silva

**CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO E NITROGÊNIO NO  
CRESCIMENTO DA ALFACE EM CULTIVO SEM SOLO**

Santa Maria, RS  
2018

**Juliete Araújo da Silva**

**CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO E NITROGÊNIO NO CRESCIMENTO DA  
ALFACE EM CULTIVO SEM SOLO**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutora em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Jerônimo Luiz Andriolo

Santa Maria, RS  
2018

Silva, Juliete Araújo da Silva  
CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO E NITROGÊNIO NO CRESCIMENTO DA  
ALFACE EM CULTIVO SEM SOLO / Juliete Araújo da Silva  
Silva.- 2018.  
65 p.; 30 cm

Orientador: Jerônimo Luiz Andriolo Luiz Andriolo  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Agronomia, RS, 2018

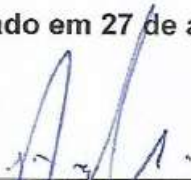
1. Lactuca sativa L. 2. Nutrição mineral 3. Solução  
nutritiva I. Luiz Andriolo, Jerônimo Luiz Andriolo II.  
Título.

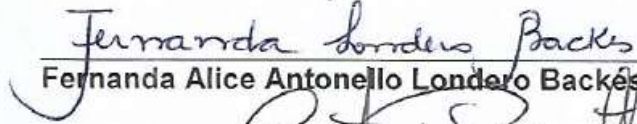
**Juliete Araújo da Silva**

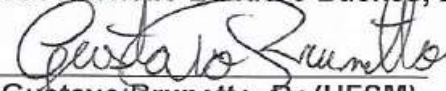
**CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO E NITROGÊNIO NO CRESCIMENTO DA  
ALFACE EM CULTIVO SEM SOLO**

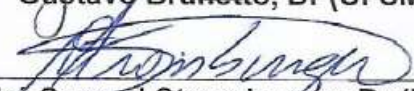
Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutora em Agronomia**.

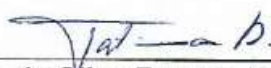
**Aprovado em 27 de abril de 2018:**

  
\_\_\_\_\_  
**Jerônimo Luiz Andriolo, Dr (UFSM)**  
(Presidente/orientador)

  
\_\_\_\_\_  
**Fernanda Alice Antonello Londero Backes, Dra (UFSM)**

  
\_\_\_\_\_  
**Gustavo Brunetto, Dr (UFSM)**

  
\_\_\_\_\_  
**André Samuel Strassburger, Dr (UFRGS)**

  
\_\_\_\_\_  
**Tatiana da Silva Duarte, Dra (UFRGS) - Parecer**

Santa Maria, RS  
2018

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais Edilma Gonçalves e Jurandi Suassuna, pela vida, pela educação, pelas orações, amor e carinho símbolos maior do amor que sempre me depositam.

Aos meus irmãos, grandes incentivadores, Jandiê Araújo da Silva, Jânio Cláudio de Araújo, e Juranildo Pedrosa.

A meu esposo, Járison Cavalcante Nunes, pelo grande incentivo, dedicação, companheirismo, carinho e amor durante esse período.

**Dedico este trabalho**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por me proporcionar a luz da vida, com muitas alegrias, desafios e conquistas, fazendo-me ser uma pessoa cada dia melhor.

Aos meus amados pais, **Edilma e Jurandi**, por me darem a vida e, sobretudo, todos os valores que me foram passados e pelo esforço que fizeram para que eu chegasse até este ponto da minha vida.

Aos meus irmãos, **Jandiê, Jânio Cláudio e Juranildo**, pelo carinho e apoio em todos os momentos.

Ao meu esposo **Járisson**, pelo companheirismo, carinho, incentivo e compreensão, me transmitido durante toda esta jornada e durante todos os dias de nossa união.

Ao meu orientador Prof. Dr. **Jerônimo Luiz Andriolo**, pelos momentos de paciência, orientação, profissionalismo e ensinamentos de extrema contribuição para minha conduta e formação profissional.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, agradeço pela oportunidade de realização do Doutorado, bem como ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos amigos e colegas do Grupo de Pesquisa pela amizade e colaboração na condução do trabalho.

A todos os colegas do curso de Pós-Graduação em Agronomia pela amizade e companheirismo durante o período de realização do curso.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a conclusão desta tese, e a todos que me incentivaram com palavras de otimismo.

A todos, **MUITO OBRIGADA!**

## RESUMO

### CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO E NITROGÊNIO NO CRESCIMENTO DA ALFACE EM CULTIVO SEM SOLO

AUTORA: JULIETE ARAÚJO DA SILVA  
ORIENTADOR: JERONIMO LUIZ ANDRIOLO

O objetivo do estudo foi avaliar concentrações de fósforo e nitrogênio no crescimento da alface em cultivo sem solo. Os experimentos foram desenvolvidos no interior de um abrigo de polietileno de baixa densidade localizado no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), durante os anos de 2015 a 2017. Na primeira etapa foram realizados experimentos em quatro épocas de cultivo, respectivamente, na primavera de 2015, outono de 2016, verão de 2017 e inverno de 2017, para determinar o efeito de concentrações baixas e altas de fósforo na solução nutritiva no crescimento e na produção comercial de plantas de alface. Nos experimentos de primavera e outono, os tratamentos foram constituídos por quatro concentrações altas de P (1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 mmol L<sup>-1</sup>) e duas cultivares de alface Stella e Veneranda. Nos experimentos de inverno e verão foram utilizadas cinco concentrações baixas de P (0,4; 0,8; 1,2; 1,6 e 2,0 mmol L<sup>-1</sup>) e duas cultivares (Stella e Veneranda). A segunda etapa foi constituída por dois experimentos conduzidos no interior de um abrigo de polietileno em 2017. No abrigo foram avaliadas concentrações de N e P, respectivamente, altas (NAPA), alta e baixa (NAPB), baixa e alta (NBPA) e baixas (NBPB) e a testemunha definida como a melhor concentração indicada nos experimentos anteriores e duas cultivares de alface (Stella e Veneranda) em duas épocas de cultivo (outono e outono-inverno). Em todos os experimentos o delineamento experimental empregado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial, com épocas de cultivo, concentrações e cultivares. Os resultados obtidos demonstraram que concentrações de P na solução nutritiva acima e abaixo de 2,1 mmol L<sup>-1</sup> de P na primavera/verão e de 2,37 mmol L<sup>-1</sup> no outono/inverno reduzem o crescimento da alface em cultivo sem solo, com efeito mais intenso nas concentrações acima desses valores. Não foram observadas interações antagônicas entre as concentrações de N e P na solução nutritiva, nas raízes e na parte aérea das plantas de alface. O máximo crescimento da parte aérea e acumulação de P nos tecidos ocorre com a concentração de P de 2,1 mmol L<sup>-1</sup> na solução nutritiva. Não ocorrem interações da concentração de P e de N na solução nutritiva com redução na acumulação dos demais nutrientes.

**Palavras-chave:** *Lactuca sativa* L. Nutrição mineral. Solução nutritiva.

## ABSTRACT

### PHOSPHORUS AND NITROGEN CONCENTRATIONS ON GROWTH AND IN SOILLESS LETTUCE PLANTS

AUTHOR: JULIETE ARAÚJO DA SILVA  
ADVISOR: JERONIMO LUIZ ANDRIOLO

The goal of this research was to evaluate phosphorus and nitrogen concentrations on growth and in soilless lettuce plants. Experiments were carried out inside a polyethylene greenhouse at Plant Science Department at the Santa Maria Federal University (UFSM) from 2015 to 2017. In the first step, four experiments were conducted in spring 2015, autumn 2016, summer 2017 and winter 2017, to determine the effect of low and high P concentrations in the nutrient solution on growth and commercial production of lettuce plants. In experiments spring and autumn treatments were high P concentrations (1.5; 3.0; 4.5 e 6.0 mmol L<sup>-1</sup>) and two cultivars Stella and Veneranda. In experiments summer and winter, five low concentrations were (0.4; 0.8; 1.2; 1.6 e 2.0 mmol L<sup>-1</sup>) and two cultivars (Stella and Veneranda). The second stage consisted of two experiments conducted inside a polyethylene greenhouse in 2017. At the shelter N and P concentrations, respectively, high (NHPH), high and low (NHPL), low and high (NLPH), low (NLPL) and control defined as the better concentration from previous experiments and two lettuce cultivars (Stella and Veneranda) at two growing seasons (autumn and autumn-winter). In all experiments, a factorial experimental randomized experimental design was used, with seasons, concentrations and cultivars. Results showed that P concentrations in nutrient solution above and below 2.1 mmol L<sup>-1</sup> in spring/summer and 2.37 mmol L<sup>-1</sup> in autumn/winter reduce lettuce growth in soilless culture, with stronger effect on concentrations above these values. Antagonistic interactions between N and P concentrations in the nutrient solution were not observed in roots and shoot. Maximum shoot growth and P accumulation in tissues is reached at 2.1 mmol L<sup>-1</sup> P concentration in the nutrient solution. There are any interactions between P and N in the nutrient solution with reduction in accumulation of other nutrients.

**Keywords:** *Lactuca sativa* L. Mineral nutrition. Nutrient solution.



## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO 1

- Tabela 1 - Massa fresca de parte aérea de plantas de alface cultivar Stella e Veneranda, cultivadas no inverno, verão, primavera e no outono, e fertirrigadas por gotejamento com concentrações entre 0,4 a 6,0 mmol L<sup>-1</sup> de fósforo na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2015/2017 .....28
- Tabela 2 - Massa seca de parte aérea de plantas de alface cultivar Stella e Veneranda, cultivadas no inverno, verão, primavera e no outono, e fertirrigadas por gotejamento com concentrações entre 0,4 a 6,0 mmol L<sup>-1</sup> de fósforo na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2015/2017 .....30
- Tabela 3 - Massa seca de raiz de plantas de alface cultivar Stella e Veneranda, cultivadas no inverno, verão, primavera e no outono, e fertirrigadas por gotejamento com concentrações entre 0,4 a 6,0 mmol L<sup>-1</sup> de fósforo na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2015/2017 .....32
- Tabela 4 - Teores de fósforo de plantas de alface cultivar Stella e Veneranda, cultivadas no inverno, verão, primavera e no outono, e fertirrigadas por gotejamento com concentrações entre 0,4 a 6,0 mmol L<sup>-1</sup> de fósforo na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2015/2017 .....34
- Tabela 5 - Teores de fósforo nas raízes de plantas de alface cultivar Stella e Veneranda, cultivadas no inverno, verão, primavera e no outono, e fertirrigadas por gotejamento com concentrações entre 0,4 a 6,0 mmol L<sup>-1</sup> de fósforo na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2015/2017 .....36

### ARTIGO 2

- Tabela 1 - Concentração iônica utilizadas nas diferentes soluções nutritivas nos experimentos. Santa Maria, UFSM, 2017. ....45
- Tabela 2 - Massa fresca da parte aérea de plantas de alface cv. Stella e Veneranda, na época de outono e outono-inverno, fertirrigadas com diferentes combinações de nitrogênio (N) e fósforo (P) na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2017. ....47
- Tabela 3 - Massa seca da parte aérea de plantas de alface cv. Stella e Veneranda, na época de outono e outono-inverno, fertirrigadas com diferentes combinações de nitrogênio e fósforo na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2017. ....49
- Tabela 4 - Massa seca de raízes de plantas de alface cv. Stella e Veneranda, na época de outono e outono-inverno, fertirrigadas com diferentes combinações de nitrogênio e fósforo na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2017. ....50

Tabela 5 - Teores de Nitrogênio nas folhas de alface cv. Stella e Veneranda, na época de outono e outono-inverno, fertirrigadas com diferentes combinações de nitrogênio e fósforo na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2017.....	51
Tabela 6 - Teores de Nitrogênio na raiz de plantas de alface cv. Stella e Veneranda, na época de outono e outono-inverno, fertirrigadas com diferentes combinações de nitrogênio e fósforo na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2017. ....	53
Tabela 7 - Teores de fósforo nas folhas de alface cv. Stella e Veneranda, na época de outono e outono-inverno, fertirrigadas com diferentes combinações de nitrogênio e fósforo na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2017.....	54
Tabela 8 - Teores de fósforo na raiz de plantas de alface cv. Stella e Veneranda, na época de outono e outono-inverno, fertirrigadas com diferentes combinações de nitrogênio e fósforo na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2017. ....	55

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Rendimento relativo da massa fresca da parte aérea (MFPA) de alface em relação à produção máxima obtida na primavera- verão (A), no inverno-outono (B) e em todos os experimentos (C), fertirrigadas com solução nutritiva nas concentrações de P entre 0,4 a 6,0 mmol L <sup>-1</sup> . Santa Maria, UFSM, 2015/2017 .....	37
--	----

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	15
2.1 A cultura da alface.....	15
2.2 Fósforo no manejo da solução nutritiva em sistema fechado.....	16
2.3 Interação nitrogênio e fósforo no crescimento e produtividade de plantas de alface.....	18
<b>3 ARTIGO 1 - CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO NO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE ALFACE EM CULTIVO SEM SOLO</b> .....	20
3.1 Introdução .....	22
3.2 Material e métodos.....	23
3.3 Resultados e discussão .....	27
3.4 Conclusões .....	38
3.5 Literatura citada.....	38
<b>4 ARTIGO 2 - CONCENTRAÇÕES DE NITROGÊNIO E FÓSFORO NA SOLUÇÃO NUTRITIVA NO CRESCIMENTO E ACUMULO DE NUTRIENTES DA ALFACE</b> ...	41
4.1 Introdução .....	43
4.2 Material e métodos.....	44
4.3 Resultados e discussão .....	46
4.4 Conclusão.....	56
4.5 Agradecimentos.....	56
4.6 Referências....	56
<b>5 DISCUSSÃO GERAL</b> .....	60
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	61
<b>7 REFERÊNCIAS</b> .....	61

## 1 INTRODUÇÃO

A produção de hortaliças no Brasil vem ganhando espaço e importância social e econômica para todas as regiões do país. Dentre as hortaliças de expressividade produzidas, destaca-se a alface como a principal hortaliça folhosa cultivada no Brasil (SALA; COSTA, 2012). Uma das tecnologias adotadas no sistema de produção de alface é o uso de sistemas fechados em cultivo sem solo (SAVVAS et al., 2013). O sistema de cultivo sem solo na cultura da alface é uma técnica que vem sendo bastante empregada nos últimos anos, pois é um sistema que proporciona vantagens ao produtor, ao consumidor e ao ambiente, sendo possível através dessa técnica a obtenção de produtos com alta qualidade, proporcionando maior crescimento e produtividade em menor período de tempo e com uso mais eficiente da água e dos nutrientes (PAULLUS et al., 2012; PÔRTO et al., 2012).

Apesar da expansão da área cultivada com a cultura da alface nos últimos anos, as informações científicas sobre a nutrição com (fósforo) P ainda são incipientes (GRANGEIRO et al., 2006). A possibilidade de adoção de tecnologias que proporcionem melhorias na nutrição faz-se necessário para melhorias na produtividade da alface. Portanto, pesquisas que demonstrem a importância da nutrição do P na solução nutritiva em cultivo sem solo são relevantes para o aumento da produtividade da cultura da alface.

Ao considerar as inúmeras funções do P na fisiologia das plantas, destacam-se participação no processo de transferência de energia e na divisão celular, afetando vários processos metabólicos como a síntese de proteínas e ácidos nucleicos (SIMPSON et al., 2011; TAIZ & ZEIGER, 2013). Em alface, foi demonstrada sua importância principalmente na fase final do período de produção da cultura (LANA et al., 2004). Esses autores mostraram que níveis adequados desse nutriente promovem melhores condições no ambiente radicular das plantas, resultando em maior crescimento e desenvolvimento. Moreira et al. (2001) estudando doses de P e Zn no crescimento da planta e produtividade da cultura da alface em solução nutritiva verificaram que altas concentrações de P foram prejudiciais no crescimento das plantas. Fonseca et al. (2013) estudando o crescimento e o teor de P da mesma cultura, concluíram que a deficiência de P reduz a massa fresca da parte aérea e raiz.

Uma possível alternativa para estudar a nutrição na cultura da alface, sem reduzir a produtividade em cultivo sem solo, é a identificação e exploração do chamado efeito sinérgico, sendo uma alternativa de elevar a produtividade da cultura, determinado como interações positivas de elementos que agem em conjunto, como o N e o P, nutrientes esses em concentrações adequadas promovem aumentos significativos na produção vegetal, maiores do que aqueles obtidos com aplicação de cada nutriente isoladamente (SATTARI et al., 2014; FAGERIA; BALIGAR, 2014). Entretanto, as informações ainda são pouco frequentes na literatura, em relação aos mecanismos de interações entre ambos os nutrientes e seus efeitos nas plantas de alface.

Com o intuito de avaliar as concentrações de P e suas interações com N no crescimento e acúmulo de nutrientes da alface em cultivo sem solo, a presente pesquisa teve por objetivos (1) determinar o efeito de concentrações baixas e altas de P na solução nutritiva no crescimento da planta e na produção comercial; (2) determinar a concentração ótima de P na solução nutritiva e a acumulação de P no tecido de alface; (3) determinar as interações entre as concentrações de N e P com os demais nutrientes e seus efeitos no crescimento; (4) inferir práticas de manejo para mitigar o efeito das concentrações elevadas desse nutriente no cultivo com reutilização da solução drenada.

A tese está dividida em dois artigos científicos. O primeiro, intitulado “Concentração de fósforo no crescimento e produção de alface em cultivo sem solo”. O segundo, “Concentrações de nitrogênio e fósforo na solução nutritiva no crescimento e acúmulo de nutrientes da alface”. O primeiro artigo foi submetido à revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária) e formatado conforme as normas da mesma, e o segundo artigo está formatado conforme as normas da revista Semina: Ciências Agrárias.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 A CULTURA DA ALFACE

A alface (*Lactuca sativa* L.) é originária do Sul da Europa e da Ásia Ocidental, é a espécie olerícola mais popular das hortaliças folhosas, conhecida mundialmente e sendo consumida principalmente “in natura” (SILVEIRA et al., 2015; ALMEIDA et al., 2011). Nos últimos anos, a cultura da alface vem apresentando nível considerável de evolução, constituindo como uma das hortaliças de expressiva importância socioeconômica no setor agrícola brasileiro. Apresenta alto valor nutricional, como fonte de sais minerais, principalmente de Ca e de vitaminas, especialmente a vitamina A. Devido ao baixo teor de calorias é recomendada para dietas alimentares ricas em fibras e de grande aceitação pelos consumidores, ocupando economicamente a 6ª posição entre as hortaliças (BATISTA et al., 2012).

É uma planta herbácea, pertencente à família Asteraceae, apresentando folhas lisas ou crespas, de coloração verde, arroxeada ou amarelada, podendo ou não formar “cabeça”. A cultura da alface se divide em diferentes grupos em relação a formação de cabeça e/ou coloração das folhas. A cultivar Stella do tipo lisa apresenta folhas lisas, coloração verde claro e, em determinado momento do ciclo, inicia a formação de “cabeça”, ficando as folhas internas sombreadas e compactadas pelas folhas externas. A cultivar Veneranda do tipo crespa apresenta o limbo foliar rugoso, com folhas soltas e sem formação de cabeça. São cultivares bastante utilizadas e apresentam boa aceitação no mercado Brasileiro.

A cultura é oriunda do mediterrâneo, de clima temperado, porém apresenta melhor desenvolvimento em épocas com temperaturas amenas e o fotoperíodo curto, atingindo maiores produções nessa época, devido às condições favoráveis ao desenvolvimento vegetativo (FILGUEIRA, 2008). No cultivo de verão apresenta menor qualidade, favorecendo a emissão do pendão floral, fenômeno conhecido como pendramento, e tornado os produtos com preços mais elevados (FERNANDES et al., 2002). Em geral, fatores como radiação e temperatura apresentam maior relação à iniciação de novos órgãos

reprodutivos e vegetativos, assim como o aparecimento de folhas (RICKMAN; KLEPPER, 1995). Plantas cultivadas em ambiente protegido apresentam maior número de folhas do que àquelas cultivadas no exterior de estufas, resultado das maiores temperaturas atingidas no interior dos abrigos (SEGOVIA et al., 1997). A alface apresenta grande sensibilidade aos fatores climáticos, sendo diferente, as necessidades energéticas de cada cultivar. Fatores como fotoperíodo, intensidade de luz, e temperatura influenciam, principalmente, no desenvolvimento da planta. Para a planta de alface, a iniciação da fase reprodutiva é antecipada quando ocorrem temperaturas acima de 20°C (SEGOVIA, et al.,1997). Sob condições de dias longos e temperaturas em elevação, este processo é ainda mais favorecido, inutilizando a planta para o consumo.

No Brasil, a área cultivada com alface é de aproximadamente 35 mil ha, sendo predominante o cultivo do tipo crespa (SALA; COSTA, 2012). Entre os anos de 1995 e 2007 a produção da alface no Brasil cresceu aproximadamente 56%. No ano de 2013 a produção dessa hortaliça no país aproximou-se de 526 t ano<sup>-1</sup> (HORTIBRASIL, 2013). O Estado de São Paulo é o maior produtor e é responsável por aproximadamente 25% da produção brasileira, com área em torno de 10 mil ha (IEA, 2012), tornando-se o maior mercado consumidor. No Rio Grande do Sul, em 2011 foram comercializados aproximadamente 6 mil toneladas de alface (CEASA RS, 2011).

## 2.2 FÓSFORO NO MANEJO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA EM SISTEMA FECHADO

O suprimento adequado de nutrientes em concentrações suficientes, pode influenciar tanto a qualidade quanto o desenvolvimento vegetal. Ao considerar as inúmeras funções do fósforo (P) na fisiologia das plantas, destacam-se a participação no processo de transferência de energia e na divisão celular, afetando vários processos metabólicos como a síntese de proteínas e ácidos nucléicos (TAIZ & ZEIGER, 2013). Porém, apesar da pequena exigência em termos de quantidade para a maioria das culturas, na cultura da alface o nutriente influencia o crescimento principalmente na fase final do período de produção. Assim, a aplicação de concentrações adequadas de P na solução nutritiva



promovem melhores condições no ambiente radicular das plantas, resultando em maior crescimento e desenvolvimento vegetal (LANA et al., 2004).

Plantas de alface deficientes em P ocasionam sintomas como coloração verde opaca das folhas velhas, má formação de cabeça, folhas com tonalidade vermelha bronze ou púrpura e comprometem seu potencial máximo de produtividade (KANO et al., 2012). Fonseca et al. (2013), ao analisarem o estado nutricional da alface, em resposta a aplicação de concentrações de P observaram significativa redução do conteúdo de P nas folhas em plantas deficientes em P, redução na produção de massa fresca da parte aérea e raízes. Quando presentes em altas concentrações mostram-se prejudiciais, pois diminuem a disponibilidade de zinco para a planta, sendo que o zinco se liga ao cátion acompanhante do P. Nessas condições, as plantas apresentam pequeno crescimento, com as raízes claras e as folhas mais velhas com clorose nos bordos (MOREIRA et al., 2001).

No cultivo da alface em sistemas sem solo, a composição e o manejo da solução nutritiva são questões fundamentais que determinam a disponibilidade hídrica e mineral da cultura ao longo do seu ciclo de desenvolvimento (ANDRIOLO et al., 2004). De acordo com Rover et al. (2016), o cultivo hidropônico da alface em sistema NFT (fluxo laminar de nutrientes) ocupa a maior fração dos cultivos hidropônicos no país, isso devido ao fácil manejo no sistema, como maior controle da nutrição das plantas, encurtamento do ciclo da planta e antecipação da colheita, estabilidade na produção e produção durante o ano todo, maior produtividade, rápido retorno econômico, melhores preços e melhor qualidade. Com essa técnica a solução nutritiva flui sobre os canais de cultivo, onde estão alojadas as raízes, irrigando-as e fornecendo oxigênio e nutrientes para as plantas (PÔRTO et al., 2012). O uso de soluções nutritivas com concentrações reduzidas de nutrientes como o P pode reduzir os custos, simplificar o manejo, sendo desta maneira uma boa alternativa de permitir a utilização da solução por períodos mais prolongados, com reduzidos riscos de desequilíbrio nutricional, ou seja, menos impactante ao meio ambiental.

### 2.3 INTERAÇÃO NITROGÊNIO E FÓSFORO NO CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE PLANTAS DE ALFACE

O suprimento inadequado de nutrientes às plantas é um fator que ocasiona baixos índices de produtividade (COIMBRA et al., 2013; LACERDA et al., 2015). Para hortaliças como alface uma possível alternativa para estudar a nutrição, sem reduzir a produtividade em cultivo sem solo, é a identificação e exploração do chamado efeito sinérgico. Esta é uma maneira de se elevar a produtividade da cultura, determinando-se como através de interações positivas de elementos que agem em conjunto, como o nitrogênio (N) e fósforo (P). Esses nutrientes em concentrações adequadas promovem aumentos significativos na produção vegetal, maiores do que aqueles obtidos com aplicação de cada nutriente isoladamente (SATTARI et al., 2014, FAGERIA; BALIGAR, 2014). Trabalhos como os de Nannetti (2001), Harpole et al., (2011) e Elser et al. (2007) demonstraram que a adição de ambos os nutrientes promove resposta superiores do que ambos fornecidos isoladamente às plantas.

O N é um elemento essencial para todos os vegetais e, de maneira geral, o nutriente mais exigido pelas culturas. Ao considerar as inúmeras funções do N na fisiologia das plantas, é essencial para o crescimento e o rendimento das culturas, sendo um dos elementos chave associados à alta atividade fotossintética e ao crescimento vegetativo, atuando na partição da massa seca entre os órgãos (MARIANO et al., 2017). O P fica é o segundo nutriente mais limitante nas produtividades das culturas (SETIYONO et al., 2010).

O resultado do crescimento da planta em situações de limitação de P acontece de maneira diferenciada em relação a limitação de N (GROOT et al., 2003). Este efeito de interação pode ser em virtude do diferente papel que ambos os elementos exercem nos mecanismos metabólicos das culturas. Em situações de P limitante, a concentração de N na planta diminui. O efeito da diminuição da concentração de N pode ser pela divisão da biomassa dos órgãos de alta concentração de N em órgãos de menor concentração (GROOT et al., 2003). Outra hipótese para este efeito pode estar relacionada na diminuição da absorção de N, principalmente, na forma de  $\text{NO}_3^-$ , por causa da inibição da absorção radicular nos canais pelo mecanismo ativo havendo o acúmulo do N nas raízes (GNIAZDOWSKA; RYCHTER, 1999). Como também essa diminuição

da absorção do N, pode ocorrer devido a diminuição da energia disponível pela menor concentração de ATP pelo menor crescimento vegetal ou pela menor atividade da ATPase (RUFTY et al., 1993; GNIAZDOWSKA; RYCHTER, 2000).

De acordo com Agren et al. (2012), em plantas conduzidas sobre condições de níveis adequados ou altos de P ocorre aumento da absorção e acúmulo de N, enquanto que, o incremento da dose de N estimula a absorção de P (AGREN et al., 2012). Como o N é um elemento essencial na formação estrutural e regula diversos processos nas plantas, em condições de baixa disponibilidade, um decréscimo no crescimento é observado, ocasionando baixa deposição de carboidratos na parte aérea, diminuindo a taxa de crescimento relativo das folhas, menor relação parte aérea e raízes, má formação da cabeça e amarelecimento de folhas, reduzindo ou limitando a absorção de P pela menor demanda deste elemento (RESENDE et al., 2012; KERBIRIOU et al., 2013). Por conseguinte, o N atuaria na regulação da quantidade ou demanda de P que será absorvida pelas plantas. A produção de matéria seca pelas plantas está diretamente relacionada ao N, quanto maior a adubação nitrogenada, e por consequência maior será a demanda de P para que ocorra o desenvolvimento da planta.

As altas concentrações de nutrientes a serem fornecidos para a demanda nutricional de uma hortaliça podem comprometer o crescimento e o desenvolvimento vegetal, como consequência proporcionar um maior risco ambiental pelo uso inadequado destes nutrientes. Desta maneira, é de fundamental importância os estudos que visem avaliar a dinâmica da interação P×N na solução nutritiva.

### **3 ARTIGO 1 - Concentração de fósforo no crescimento e produção de alface em cultivo sem solo**

Juliete Araújo da Silva; Jerônimo Luiz Andriolo

#### Resumo

O objetivo dessa pesquisa foi determinar o efeito de concentrações baixas e altas de fósforo na solução nutritiva no crescimento e na produção comercial de plantas de alface. Os experimentos foram conduzidos entre outubro de 2015 a agosto de 2017, em ambiente protegido de polietileno de baixa densidade localizado no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Foram realizados quatro experimentos, respectivamente, na primavera de 2015, outono de 2016, verão de 2017 e inverno de 2017. Nos experimentos de primavera e outono, os tratamentos foram constituídos por quatro concentrações altas de P (1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 mmol L<sup>-1</sup>) e duas cultivares de alface Stella e Veneranda. Nos experimentos de verão e inverno foram utilizadas cinco concentrações baixas de P (0,4; 0,8; 1,2; 1,6 e 2,0 mmol L<sup>-1</sup>) e duas cultivares de alface (Stella e Veneranda). Em todos os experimentos o delineamento experimental empregado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial, com épocas de cultivo, concentrações e cultivares. Concentrações de P na solução nutritiva acima e abaixo de 2,1 mmol L<sup>-1</sup> de P na primavera/verão e de 2,37 mmol L<sup>-1</sup> no outono/inverno reduzem o crescimento da alface em cultivo sem solo, com efeito mais intenso nas concentrações acima desses valores. No manejo da produção comercial de alface em cultivo sem solo com descarte reduzido de solução nutritiva, as concentrações de P devem ser manejadas de forma a não exceder esses limites.

Palavras-chave: nutrição mineral; *Lactuca sativa*; solução nutritiva

## **Phosphorus concentration on growth and production of soilless grown lettuce plants**

### **Abstract**

The goal of this research was to determine the effect of low and high P concentrations in the nutrient solution on growth and commercial production of lettuce plants. Experiments were conducted between October 2015 and August 2017, at Plant Science Department at the Santa Maria Federal University (UFSM). In the first step, four experiments were conducted in spring 2015, autumn 2016, summer 2017 and winter 2017. In experiments spring and autumn, treatments were high P concentrations (1.5; 3.0; 4.5 e 6.0 mmol L<sup>-1</sup>) and two cultivars Stella and Veneranda. In experiments summer and winter, five low concentrations were (0.4; 0.8; 1.2; 1.6 e 2.0 mmol L<sup>-1</sup>) and two cultivars (Stella and Veneranda). In all experiments, a factorial experimental randomized experimental design was used, with seasons, concentrations and cultivars. Concentrations of P in nutrient solution above and below 2.1 mmol L<sup>-1</sup> in spring/summer and 2.37 mmol L<sup>-1</sup> in autumn/winter reduce lettuce growth in soilless culture, with stronger effect on concentrations above these values. In the management of the commercial production of lettuce in cultivation without soil with reduced discard of nutrient solution, the concentrations of P must be managed in a way that does not exceed these limits.

**Key words:** mineral nutrition; *Lactuca sativa*; nutrient solution,

## INTRODUÇÃO

O cultivo sem solo cresce no Brasil e dentro desta modalidade de cultivo, para a cultura da alface, o sistema mais utilizado é o NFT – Nutrient Film Technique (Rover et al., 2016). Inúmeras vantagens são apontadas no uso desse sistema de cultivo em relação ao cultivo convencional no solo, como maior eficiência de uso das áreas disponíveis, redução no consumo de água e agrotóxicos, menor incidência de doenças e maior controle da nutrição das plantas, permitindo assim maior crescimento e qualidade da produção em períodos mais curtos de tempo entre o plantio e a colheita (Paullus et al., 2012; Pôrto et al., 2012). Embora seja um sistema fechado com recirculação da solução nutritiva drenada, o descarte é feito no ambiente externo ao final de cada período de cultivo. Pelo fato de não haver substrato em torno das raízes, volumes elevados de solução nutritiva são empregados de forma a manter nos canais de cultivo um fluxo entre 2 e 9 L m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> quando o sistema de fertirrigação é acionado (Savvas et al., 2013). O acionamento é geralmente feito de forma intermitente, exigindo reservatórios de solução com alta capacidade a fim de estocar o volume drenado dos canais de cultivo. Considerando o volume elevado de solução nutritiva a ser descartado e um número de oito a dez cultivos por ano, fica evidente o caráter poluidor desse sistema.

O manejo sustentável do cultivo sem solo exige a reutilização da solução nutritiva drenada com descarte reduzido ou nulo. Na literatura nacional resultados de pesquisas indicando ser possível empregar esse manejo sustentável por períodos de até oito meses ou mais no cultivo do morango em substrato (Schmitt et al., 2016). No entanto, resultados com alface não foram encontrados na literatura. Entretanto, essa prática vem sendo empregada em outros países como a Holanda (Savvas et al., 2013). O cultivo sem solo exige equipamentos sofisticados para a determinação da concentração de nutrientes na solução drenada, *softwares* para recálculo e correção automatizada da sua composição e também capacitação técnica dos produtores. Essas condições ainda são escassas entre os produtores brasileiros. O procedimento que pode ser adotado nas condições atuais consiste em restabelecer a condutividade elétrica original da solução nutritiva sempre que volumes adicionais de solução são adicionados ao reservatório. O cálculo das quantidades a adicionar de cada fertilizante que compõe a solução nutritiva pode ser feito por uma relação de proporcionalidade entre a condutividade elétrica da solução original e aquela da solução a ser corrigida. Como a concentração dos nutrientes na solução difere da

concentração de absorção, desbalanços nutricionais podem ocorrer com o passar do tempo, afetando o crescimento e o desenvolvimento das plantas.

Dentre as funções do P na fisiologia das plantas, destacam-se a participação no processo de transferência de energia e na divisão celular, afetando vários processos metabólicos como a síntese de proteínas e ácidos nucleicos (Simpson et al., 2011; Taiz & Zeiger, 2013). Em alface, foi demonstrada sua importância principalmente na fase final do período de produção da cultura (Lana et al., 2004). Esses autores mostraram que níveis adequados desse nutriente promovem melhores condições no ambiente radicular das plantas, resultando em maior crescimento e desenvolvimento. Moreira et al. (2001) estudando doses de P e Zn no crescimento da planta e produtividade da cultura da alface em solução nutritiva verificaram que altas concentrações de P foram prejudiciais ao crescimento por diminuir a disponibilidade de Zn na cultura, as quais apresentaram pequeno crescimento, com as raízes claras e as folhas mais velhas com clorose nos bordos. Fonseca et al. (2015), estudando o crescimento e o teor de P da mesma cultura, concluíram que a deficiência de P reduz a massa fresca da parte aérea e raiz. Segundo Kano et al. (2012) os sintomas da deficiência de P em alface ocorrem com coloração verde opaca das folhas velhas, má formação da cabeça, folhas com tonalidade vermelha bronze ou púrpura e baixa produtividade.

Para a reutilização da solução nutritiva com descarte reduzido ou nulo no cultivo sem solo da alface faz-se necessário determinar a amplitude de concentrações de P na solução nutritiva toleradas pelas plantas. O objetivo desse trabalho foi determinar o efeito de concentrações baixas e altas de P na solução nutritiva no crescimento e na produção comercial de plantas de alface.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Os experimentos foram conduzidos em cultivo sem solo, realizados em ambiente protegido de polietileno de baixa densidade, localizado na área experimental pertencente ao Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), situado no município de Santa Maria no Rio Grande do Sul (RS). O clima da região, conforme classificação de Köppen, pertence ao tipo "Cfa", que significa clima subtropical úmido sem estação seca definida, com precipitação pluviométrica anual superior a 1000 mm (Alvares et al., 2014).

Foram realizados quatro experimentos em condições de primavera entre 29 de outubro a 27 de novembro de 2015, no outono entre seis de maio a 30 de junho de 2016, no verão entre três de janeiro a 31 de janeiro de 2017 e no inverno entre 26 de julho a 30 de agosto de 2017. Durante o período dos experimentos a temperatura média do ar e radiação solar global acumulada foram registradas diariamente junto a Estação Meteorológica do mesmo Departamento, situada a aproximadamente 100 m da área onde foram conduzidos os experimentos.

Para o cultivo das plantas foram constituídas bancadas de concreto, a 0,80 m de altura do nível do solo. Em cada bancada, foram colocadas telhas de fibrocimento com 4,0 m de comprimento e 0,8 m de largura, instaladas com declividade de 1% que funcionou como canal de escoamento da solução nutritiva.

A superfície das telhas foi revestida com filme transparente de polietileno com espessura de 100 $\mu$ m, e os canais das telhas foram preenchidos com uma camada de brita basáltica média, para facilitar a drenagem da solução nutritiva excedente. As plantas foram cultivadas em vasos de polipropileno com capacidade de 3 dm<sup>3</sup>, de forma a individualizar o sistema radicular das plantas. Em cada bancada foram acondicionados 44 vasos, em quatro fileiras com espaçamento de 0,3 m entre fileiras e 0,25 m entre vasos, com uma densidade equivalente a 13,3 vasos m<sup>-2</sup> e uma planta por vaso. Os vasos foram preenchidos com areia fina lavada, com densidade de 1,6 kg dm<sup>-3</sup> e capacidade máxima de retenção de água de 0,243 L dm<sup>-3</sup>.

As plantas em cada bancada foram fertirrigadas com solução nutritiva completa armazenada em uma caixa de fibra de vidro com capacidade para 500 L. Em cada vaso foi realizado o plantio de uma muda de alface e a água e os nutrientes foram fornecidos diariamente através de fitas gotejadoras conectadas a uma bomba de aquário, 8W, com vazão de 520L h<sup>-1</sup>, instalada no interior de cada reservatório. Foram feitas até cinco fertirrigações ao dia com duração de 15 min, com um gotejador por planta e vazão média de 0,76L h<sup>-1</sup>. As fertirrigações foram programadas com base na transpiração potencial da cultura da alface, estimada em 500 mm dia<sup>-1</sup> (Nunes et al., 2009), radiação solar global e aérea foliar, com um coeficiente de drenagem de 30% em cada fertirrigação (Pardossi et al., 2011).

Nos quatro experimentos foram empregadas as cultivares de alface Stella, do tipo lisa, e Veneranda, do tipo crespa. A cultivar Stella do tipo lisa apresenta folhas lisas, coloração verde claro e, em determinado momento do ciclo, inicia a formação de “cabeça”. A cultivar Veneranda do tipo crespa apresenta o limbo foliar rugoso, com folhas soltas e



sem formação de cabeça. São cultivares bastante utilizadas em testes de avaliação, apresentando bons resultados e apresenta boa aceitação no mercado Brasileiro.

As concentrações de P utilizadas nos experimentos foram tomadas como referência a concentração mínima de P, qual seria a concentração ideal desse nutriente indicada na composição das soluções nutritivas para o cultivo sem solo de hortaliças, e posteriormente foram feitas concentrações abaixo e acima desse ideal para a cultura (Pardossi et al., 2011). Nos experimentos de primavera e outono, os tratamentos foram constituídos por quatro concentrações altas de P, (C1) 1,5; (C2) 3,0; (C3) 4,5 e (C4) 6,0 mmol L<sup>-1</sup>. Os demais nutrientes foram fornecidos nas concentrações em mmol L<sup>-1</sup> de, respectivamente, 8,95 de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; 1,15 de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; 4,8 de K<sup>+</sup>; 2,25 de Ca<sup>+2</sup>; 1,0 de Mg<sup>+2</sup> e 1,0 de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> na solução relativa a C1; de 8,73, de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; 2,13 de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; 5,3 de K<sup>+</sup>; 2,15 de Ca<sup>+2</sup>; 1,0 de Mg<sup>+2</sup> e 1,0 de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> na solução C2; de 8,83, de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; 2,23 de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; 5,8 de K<sup>+</sup>; 2,65 de Ca<sup>+2</sup>; 1,25 de Mg<sup>+2</sup> e 1,25 de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> na solução C3 ; de 8,83, de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; 2,73 de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; 6,8 de K<sup>+</sup>; 2,65 de Ca<sup>+2</sup>; 1,25 de Mg<sup>+2</sup> e 1,25 de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> na solução C4. Os micronutrientes foram fornecidos nas concentrações em mg L<sup>-1</sup> de, respectivamente, 0,03 de Mo; 0,26 de B; 0,06 de Cu; 0,50 de Mn; 0,22 de Zn e 1 Fe. Os fertilizantes empregados foram calculadas segundo Andriolo (1999), mantendo a relação K<sup>+</sup>/(Ca<sup>+2</sup> Mg<sup>+2</sup>) entre 0,74 a 0,87, para evitar o bloqueio entre os cátions, sendo que o adubo Calcinit foi adicionado por último, com finalidade de evitar precipitação por reação alcalina.

Nos experimentos de inverno e verão foram utilizadas as mesmas cultivares supracitadas nos experimentos anteriores e cinco concentrações de P fornecidas às plantas por meio de fertirrigação: (C1) 0,4; (C2) 0,8; (C3) 1,2; (C4) 1,6 e (C5) 2,0 mmol L<sup>-1</sup> de P. Os demais nutrientes foram fornecidos nas concentrações em mmol L<sup>-1</sup> de, respectivamente, 9,6 de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; 0,8 de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; 5,2 de K<sup>+</sup>; 2,0 de Ca<sup>+2</sup>; 1,0 de Mg<sup>+2</sup> e 1,0 de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> na solução relativa a C1; de 9,1 de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; 0,7 de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; 5,2 de K<sup>+</sup>; 2,0 de Ca<sup>+2</sup>; 1,0 de Mg<sup>+2</sup> e 1,0 de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> na solução C2; de 8,9 de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; 0,9 de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; 5,2 de K<sup>+</sup>; 2,0 de Ca<sup>+2</sup>; 1,0 de Mg<sup>+2</sup> e 1,0 de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> na solução C3 ; de 8,7 de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; 1,1 de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; 5,2 de K<sup>+</sup>; 2,0 de Ca<sup>+2</sup>; 1,0 de Mg<sup>+2</sup> e 1,0 de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> na solução C4; de 8,5 de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; 1,3 de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>; 5,2 de K<sup>+</sup>; 2,0 de Ca<sup>+2</sup>; 1,0 de Mg<sup>+2</sup> e 1,0 de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> na solução C5. Os micronutrientes foram fornecidos nas concentrações em mg L<sup>-1</sup> de, respectivamente, 0,03 de Mo; 0,26 de B; 0,06 de Cu; 0,50 de Mn; 0,22 de Zn e 1 Fe. Os fertilizantes empregados foram calculadas mantendo a relação K<sup>+</sup>/(Ca<sup>+2</sup> Mg<sup>+2</sup>) igual a 0,87 em todos os tratamentos (Andriolo,1999).

A condutividade elétrica e o pH das soluções contidas nos reservatórios foram aferidas três vezes por semana, onde pH da solução foi mantido na faixa de 5,5 a 6,5 mediante

adição de NaOH ou H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> na concentração de 1N sempre que necessário, com base em uma curva de titulação feita em laboratório. A condutividade elétrica (CE) da solução foi mantida entre (1,0 e 1,5 mS), sempre mantida próximo ao valor inicial do preparo das soluções, tolerando-se um desvio de 10%. Para suas possíveis correções foi utilizado adição de água ou alíquotas de nova solução nutritiva, conforme necessidade.

Ao final dos experimentos, quando as folhas abaxiais apresentaram sinais de senescência, considerado como critério de ponto de colheita, cinco plantas por tratamento foram coletadas e fracionadas para a determinação de massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raízes (MSR). Após o fracionamento das variáveis supracitadas, essas frações foram armazenadas em sacos de papel, levadas para estufa de circulação forçada de ar a temperatura de 60 °C onde permaneceram por um período de aproximadamente sete dias até que a massa se mantivesse constante. Posteriormente foi realizada a pesagem da massa seca nos diferentes tecidos da planta. Para a determinação do conteúdo de nutrientes na massa seca, as amostras foram moídas com auxílio de moinho tipo Willey. Para cada tratamento foram retiradas alíquotas de 0,5 g do material moído as quais foram digeridas em 5 mL de solução ácida composta por ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) e ácido perclórico (HClO<sub>4</sub>), na proporção volumétrica de 3:1 (Tedesco et al., 1995). As análises foram feitas no Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição de plantas do Departamento de Solos, utilizando um espectrofotômetro de absorção atômica UV-visível.

Com os dados dos experimentos de primavera/verão e outono/inverno foi ajustada uma relação entre o crescimento da parte aérea e a concentração de P na solução nutritiva. Foi calculado o ponto de máximo crescimento da MFPA em cada coleta. O quociente entre o crescimento obtido em cada uma das concentrações em cada um dos experimentos e o crescimento máximo no respectivo experimento foi empregado para determinar o rendimento relativo a fim de ajustar uma relação do efeito da concentração do P na solução nutritiva considerando as duas épocas. Esse critério foi adotado porque o crescimento potencial pode diferir entre as épocas em consequência da disponibilidade climática. Com os dados de todos os experimentos e suas respectivas produções relativas com relação à concentração de fósforo foi gerada uma equação de regressão para aferir a melhor concentração de P utilizada na solução nutritiva capaz de potencializar o máximo crescimento das plantas.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F, e as diferenças entre as médias das variáveis qualitativas foram comparadas pelo teste de

Tukey a 5% de probabilidade de erro e as quantitativas, por regressão polinomial, utilizando o software Sisvar (Ferreira, 2014).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A radiação solar global acumulada nos períodos de primavera, verão, outono e inverno foram respectivamente de 625,23 MJ m<sup>-2</sup>, 688,41 MJ m<sup>-2</sup>, 457,65 MJ m<sup>-2</sup> e 331,2 MJ m<sup>-2</sup>, e a temperatura média do ar foi de 21,34°C, 25,56°C, 15,8°C e 13,64°C, respectivamente.

A produção de massa fresca da parte aérea (MFPA), aumentou de forma quadrática com o aumento da concentração de P na solução, quando cultivadas no inverno (Tabela 1). Na época do verão uma relação linear crescente entre a (MFPA) e a concentração de P foi ajustada, com máxima produção estimada em 353,44 g planta<sup>-1</sup> na concentração de P de 2,0 mmol L<sup>-1</sup>. Nesta mesma época de cultivo a MFPA das cultivares diferiu, com maior produção na cultivar Veneranda. Ao relacionar os valores médios de 365,54 e 286,85 g planta<sup>-1</sup> na cultivar Veneranda e Stella, respectivamente, constata-se uma superioridade nos valores de MFPA da cultivar Veneranda de 27,43% (Tabela 1). Ao observar as diferenças na MFPA, os valores de 353,44 e 242,36 g planta<sup>-1</sup> entre o período do verão e inverno, respectivamente, constata-se que durante o período do inverno os valores de MFPA foram reduzidos em 31,42% (Tabela 1). Com concentrações elevadas entre 1,5 e 6,0 mmol L<sup>-1</sup> de P, relações lineares para as duas cultivares no período da primavera foram ajustadas (Tabela 1). A tendência decrescente foi similar nas duas cultivares, porém, o crescimento foi mais elevado para a cultivar Stella. O crescimento máximo da MFPA foi de 336,10 e 252,79 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente nas cultivares Stella e Veneranda, obtido na concentração de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> de P. O crescimento da MFPA do experimento de outono se comportou de maneira semelhante, mantendo a tendência dos dados, onde se percebe que a produção foi reduzida com o aumento das concentrações de P, atingindo a menor produção na concentração de 6,0 mmol L<sup>-1</sup> de P, com valor de 241,20 g planta<sup>-1</sup> (Tabela 1).

**Tabela 1** - Massa fresca de parte aérea de plantas de alface cultivar Stella e Veneranda, cultivadas no inverno, verão, primavera e no outono, e fertirrigadas por gotejamento com concentrações entre 0,4 a 6,0 mmol L<sup>-1</sup> de fósforo na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2015/2017

Época	Concentração (mmol L <sup>-1</sup> )	Cultivar	
		Stella	Veneranda
<b>Massa fresca da parte aérea (g planta<sup>-1</sup>)</b>			
<b>Inverno</b>	0,4	187,54	222,00
	0,8	206,64	207,18
	1,2	210,80	208,02
	1,6	194,65	196,48
	2,0	242,84	258,68
<b>Equação</b>		$\hat{y} = 234,1 - 76,01x + 40,07^{**}x^2$ <b>R<sup>2</sup> = 0,66</b>	
<b>Média</b>		<b>208,49</b>	<b>218,47</b>
<b>Verão</b>	0,4	264,25	328,57
	0,8	261,52	350,91
	1,2	295,17	369,73
	1,6	299,25	413,30
	2,0	314,09	365,18
<b>Equação</b>		$\hat{y} = 285,2 + 34,12^{**}x$ <b>R<sup>2</sup> = 0,77</b>	
<b>Média</b>		<b>286,85 B</b>	<b>365,54 A</b>
<b>Primavera</b>	1,5	336,66	263,01
	3,0	274,14	204,37
	4,5	304,04	196,52
	6,0	198,03	163,25
<b>Equação</b>		$\hat{y} = 374,7 - 25,73^{**}x$ <b>R<sup>2</sup> = 0,70</b>	$\hat{y} = 283,5 - 20,47^{**}x$ <b>R<sup>2</sup> = 0,91</b>
<b>Média</b>		<b>278,22</b>	<b>206,79</b>
<b>Outono</b>	1,5	357,20	338,09
	3,0	271,52	299,38
	4,5	267,32	282,73
	6,0	242,87	249,08
<b>Equação</b>		$\hat{y} = 367,38 - 21,029^{**}x$ <b>R<sup>2</sup> = 0,90</b>	
<b>Média</b>		<b>284,73</b>	<b>292,32</b>

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas (comparação das cultivares), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05)

Esses resultados são similares aos observados por Beninni et al. (2005), estudando a concentração e acúmulo de macronutrientes em alface cultivada em sistema hidropônico. Os resultados da literatura sobre o crescimento das plantas de alface com diferentes concentrações de P são variáveis. Observa-se que o aumento das concentrações de P acima de 2,0 mmol L<sup>-1</sup> na solução nutritiva influenciou de forma negativa, reduzindo o crescimento das plantas, e conseqüentemente, apresentando menor acúmulo de biomassa nas plantas para as duas cultivares de alface. Isto provavelmente é decorrente de que o fosfato monoamônico (MAP) apresenta alta solubilidade em água, sendo prontamente disponível para as plantas, tendo em vista que acima de certo ponto, os níveis de P podem ser prejudiciais, podendo provocar antagonismo nutricional ocasionando conseqüentemente queda na produtividade (Mota et al., 2003).

A massa seca da parte aérea (MSPA) no experimento de inverno com concentrações de P entre 0,4 a 2,0 mmol L<sup>-1</sup> mostrou interação significativa entre as concentrações. Contudo para a cultivar Stella, não houve diferenças significativas entre as concentrações de P. Para a cultivar Veneranda o aumento das concentrações de P estimulou a produção de MSPA até o valor máximo de 13,14 g planta<sup>-1</sup> na concentração máxima de 2,0 mmol L<sup>-1</sup>. As plantas quando cultivadas no verão apresentaram uma tendência linear crescente, com o aumento das concentrações de P, com produção de 12,14 g planta<sup>-1</sup> na concentração de 2,0 mmol L<sup>-1</sup>. Constatam-se também efeitos isolados das cultivares sobre a MSPA (Tabela 2). Ao relacionar os valores médios de 9,10 e 13,11, nas cultivares Stella e Veneranda, constata-se que a cultivar Veneranda superou a MSPA com 44,06 % a mais em relação a cultivar Stella.

Os dados de MSPA das plantas cultivadas na primavera e fertirrigadas com concentrações entre 1,5 e 6,0 mmol L<sup>-1</sup> de P apresentaram tendência linear decrescente. O valor máximo de MSPA foi de 14,55 g planta<sup>-1</sup>, na concentração de P na solução nutritiva de 1,5 mmol L<sup>-1</sup> e o valor mais baixo foi de 9,41 g planta<sup>-1</sup> obtido na concentração de 6,0 mmol L<sup>-1</sup> (Tabela 2). Nessa época, observa-se efeito isolado das cultivares, com valores de 12,72 e 11,25 g planta<sup>-1</sup> de MSPA, respectivamente nas cultivares Stella e Veneranda. De forma semelhante ao observado na época da primavera, as concentrações elevadas de P reduziram a MSPA das plantas cultivadas no outono, com produção máxima de 10,26 g planta<sup>-1</sup>, obtida na menor concentração de P (1,5 mmol L<sup>-1</sup>), com uma diferença de 15,49% entre a maior e menor concentração (Tabela 2). Neste período as cultivares utilizadas proporcionaram diferença na MSPA, com maior valor de 10,16 g

planta<sup>-1</sup> para a cultivar Veneranda, expressando incremento de 15,71 % em relação a cultivar Stella.

**Tabela 2** - Massa seca de parte aérea de plantas de alface cultivar Stella e Veneranda, cultivadas no inverno, verão, primavera e no outono, e fertirrigadas por gotejamento com concentrações entre 0,4 a 6,0 mmol L<sup>-1</sup> de fósforo na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2015/2017

Época	Concentração (mmol L <sup>-1</sup> )	Cultivar	
		Stella	Veneranda
<b>Massa seca da parte aérea (g planta<sup>-1</sup>)</b>			
<b>Inverno</b>	0,4	8,07	9,25
	0,8	7,37	8,15
	1,2	8,36	8,30
	1,6	8,12	8,48
	2,0	8,57	13,61
	<b>Equação</b>	NS	$\hat{y} = 13,09 - 11,13x + 5,579^{**}x^2$ <b>R<sup>2</sup> = 0,91</b>
<b>Média</b>	<b>8,10</b>	<b>9,56</b>	
<b>Verão</b>	0,4	8,63	11,47
	0,8	8,70	12,75
	1,2	8,83	12,72
	1,6	9,35	14,40
	2,0	9,97	14,20
	<b>Equação</b>	$\hat{y} = 9,536 + 1,304^{**}x$ <b>R<sup>2</sup> = 0,93</b>	
<b>Média</b>	<b>9,10 B</b>	<b>13,11 A</b>	
<b>Primavera</b>	1,5	15,91	13,12
	3,0	13,27	11,32
	4,5	12,99	11,73
	6,0	8,73	8,82
	<b>Equação</b>	$\hat{y} = 16,27 - 1,143^{**}x$ <b>R<sup>2</sup> = 0,86</b>	
<b>Média</b>	<b>12,72 A</b>	<b>11,25 B</b>	
<b>Outono</b>	1,5	9,79	10,81
	3,0	8,41	10,76
	4,5	8,97	9,86
	6,0	7,94	9,22
	<b>Equação</b>	$\hat{y} = 10,80 - 0,355^{**}x$ <b>R<sup>2</sup> = 0,94</b>	
<b>Média</b>	<b>8,78 B</b>	<b>10,16 A</b>	

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas (comparação das cultivares), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05)

Os valores de MSPA do presente estudo foram superiores ao encontrados por Moreira et al. (2001) que, avaliando o efeito de Zn e P em solução nutritiva em concentrações entre 0,1 e 6,0 mmol L<sup>-1</sup> de P em sistema sem solo similar ao presente trabalho obtiveram um valor de 9,01 g de massa seca de parte aérea, na concentração de 1,5 mmol L<sup>-1</sup>. Os resultados atuais também diferem daqueles obtidos por Moreira et al. (2001), os quais observaram que as maiores produções de MSPA foram alcançadas quando a solução

continha nível alto de P com  $6,0 \text{ mmol L}^{-1}$ , obtendo  $16,64 \text{ g}$  de massa seca de parte aérea na cultivar Regina.

As plantas cultivadas no inverno e fertirigadas com concentração de P entre  $0,4$  a  $2,0 \text{ mmol L}^{-1}$  apresentaram interação significativa entre os fatores concentração e cultivares para a MSR (Tabela 3). A MSR foi reduzida com o aumento das concentrações de P em ambas às cultivares estudadas. Houve efeito da concentração de P na solução nutritiva no crescimento da massa seca da raiz (MSR) das duas cultivares de alface cultivadas no verão. Em ambas as cultivares o efeito foi polinomial, com ponto de máxima produção na concentração de  $0,4 \text{ mmol L}^{-1}$  de P para a cultivar Veneranda. Na cultivar Stella a redução ocorreu somente acima  $1,06 \text{ mmol L}^{-1}$  de P. O aumento das concentrações de P inibiu linearmente a MSR das plantas de alface cultivada na primavera, com máximo crescimento estimado pela equação  $3,84 \text{ g planta}^{-1}$ , na concentração de  $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$ . Comportamento semelhante ao verificado MSR na época da primavera, também ocorreu com a MSR das plantas cultivadas no outono, tendo seus valores elevados com a concentração mais baixa de P (Tabela 3).

O maior crescimento radicular das plantas de alface da presente pesquisa é referente ao maior crescimento da parte aérea na época de primavera/verão, crescendo a raiz proporcionalmente em relação a parte aérea. A maior massa seca das raízes foi obtida no experimento de primavera ( $3,84 \text{ g planta}^{-1}$ ) e foi alcançada com uma concentração de  $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de P, produção maior que aquelas encontradas por Moreira et al. (2001), avaliando a aplicação de concentrações crescentes de fósforo em solução nutritiva, os quais mostraram que as plantas de alface atingiram  $1,26 \text{ g planta}^{-1}$  MSR com a concentração de  $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$  de P. Esses resultados corroboram com Moreira et al. (2001), ao concluir que o aumento das concentrações de P reduz a MSR das plantas de alface.

**Tabela 3** - Massa seca de raiz de plantas de alface cultivar Stella e Veneranda, cultivadas no inverno, verão, primavera e no outono, e fertirrigadas por gotejamento com concentrações entre 0,4 a 6,0 mmol L<sup>-1</sup> de fósforo na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2015/2017

Época	Concentração (mmol L <sup>-1</sup> )	Cultivar	
		Stella	Veneranda
<b>Massa seca de Raiz (g planta<sup>-1</sup>)</b>			
Inverno	0,4	2,01	2,27
	0,8	2,45	4,17
	1,2	2,38	2,78
	1,6	0,91	0,90
	2,0	0,66	0,65
	<b>Equação</b>	$\hat{y} = 1,573 + 1,903x - 1,235^{**}x^2$ <b>R<sup>2</sup> = 0,82</b>	
<b>Média</b>	<b>1,68</b>	<b>2,16</b>	
Verão	0,4	1,03	3,81
	0,8	2,45	3,54
	1,2	2,39	2,73
	1,6	0,96	0,91
	2,0	0,59	0,75
	<b>Equação</b>	$\hat{y} = -0,201 + 4,509x - 2,115^{**}x^2$ <b>R<sup>2</sup> = 0,71</b>	
<b>Média</b>	<b>1,49</b>	<b>2,54</b>	
Primavera	1,5	3,96	3,83
	3,0	3,38	2,82
	4,5	1,39	2,28
	6,0	1,05	1,97
	<b>Equação</b>	$\hat{y} = 4,685 - 0,560^{**}x$ <b>R<sup>2</sup> = 0,95</b>	
<b>Média</b>	<b>2,44</b>	<b>2,72</b>	
Outono	1,5	1,70	1,73
	3,0	1,16	1,51
	4,5	1,21	1,30
	6,0	1,25	1,23
	<b>Equação</b>	$\hat{y} = 2,2183 - 0,4055x + 0,0408^{**}x^2$ <b>R<sup>2</sup> = 0,97</b>	
<b>Média</b>	<b>1,33</b>	<b>1,44</b>	

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas (comparação das cultivares), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05)

O aumento das concentrações de P na solução nutritiva induziu maior acúmulo desse nutriente nos tecidos das plantas (Tabela 4). Em função das concentrações de P utilizadas nas plantas de alface quando cultivadas no inverno, observa-se comportamento quadrático nos teores de P foliar, onde a concentração de 1,35 mmol L<sup>-1</sup> de P na cultivar Veneranda produziu teor máximo de 6,97 g kg<sup>-1</sup>. Na cultivar Stella resultou um teor de 5,77 g kg<sup>-1</sup> de P foliar registrado na concentração de 1,28 mmol L<sup>-1</sup> de P. Nas plantas cultivadas no verão, os teores de P foliar aumentaram com as concentrações de P até o



valor de  $8,23 \text{ g kg}^{-1}$  na concentração máxima de P  $1,63 \text{ mmol L}^{-1}$ . O efeito isolado de cultivares sobre a os teores de P foliar resultou em teores superiores para a cultivar Stella, com teor de  $7,07 \text{ g kg}^{-1}$ .

Ao comparar os teores de P foliar das plantas cultivadas na primavera entre as cultivares de alface, observa-se que o teor foliar máximo na cultivar Stella com  $10,20 \text{ g kg}^{-1}$  na concentração de  $6,0 \text{ mmol L}^{-1}$ , enquanto o teor máximo foi de  $9,10 \text{ g kg}^{-1}$  na cultivar Veneranda com a concentração de P  $4,03 \text{ mmol L}^{-1}$ . Situação semelhante também foi apresentada por Moreira et al. (2001), ao constatarem aumentos dos teores de P foliar de  $7,4 \text{ g kg}^{-1}$  com concentrações de P na solução nutritiva de  $6,0 \text{ mmol L}^{-1}$  para a mesma cultura.

O aumento das concentrações de P proporcionou ajuste linear nos teores de P foliar das plantas cultivadas no outono. No entanto, com pouca diferença entre as concentrações de P, com valor máximo de  $7,27 \text{ g kg}^{-1}$  na concentração de  $6,0 \text{ mmol L}^{-1}$  de P na solução nutritiva (Tabela 4). Observa-se ainda que os teores de P foliar na mesma época de cultivo responderam ao efeito isolado para cultivares, com maior valor de  $7,35 \text{ g kg}^{-1}$  na cultivar Stella, expressando incremento de 13,07% em relação a cultivar Veneranda. Essas condições de teores alto de P nas folhas das plantas de alface podem ser explicadas pelas condições de cultivo realizados nos experimentos de primavera/verão, como a demanda evaporativa das plantas foi alta. Portanto, o maior acúmulo deste nutriente nas folhas pode ser consequência indireta do fluxo de água mais intenso decorrente da transpiração, favorecendo o transporte do P das raízes para as folhas.

**Tabela 4** - Teores de fósforo de plantas de alface cultivar Stella e Veneranda, cultivadas no inverno, verão, primavera e no outono, e fertirrigadas por gotejamento com concentrações entre 0,4 a 6,0 mmol L<sup>-1</sup> de fósforo na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2015/2017

Época	Concentração (mmol L <sup>-1</sup> )	Cultivar	
		Stella	Veneranda
<b>Fósforo na folha (g kg<sup>-1</sup>)</b>			
<b>Inverno</b>	0,4	4,30	3,52
	0,8	5,84	7,25
	1,2	6,30	6,91
	1,6	4,50	5,56
	2,0	5,46	6,30
	<b>Equação</b>	$\hat{y} = 3,271 + 3,914x - 1,527x^2$ <b>R<sup>2</sup> = 0,31</b>	$\hat{y} = 1,252 + 8,447x - 3,115x^2$ <b>R<sup>2</sup> = 0,56</b>
<b>Média</b>	<b>5,28</b>	<b>5,91</b>	
<b>Verão</b>	0,4	4,40	3,78
	0,8	6,63	6,56
	1,2	8,06	7,43
	1,6	8,58	7,70
	2,0	7,80	8,08
	<b>Equação</b>	$\hat{y} = 1,036 + 8,831x - 2,707x^2$ <b>R<sup>2</sup> = 0,99</b>	
<b>Média</b>	<b>7,07 A</b>	<b>6,66 B</b>	
<b>Primavera</b>	1,5	8,85	7,68
	3,0	9,19	9,31
	4,5	9,75	8,78
	6,0	10,22	8,46
	<b>Equação</b>	$\hat{y} = 8,3359 + 0,3115x$ <b>R<sup>2</sup> = 0,99</b>	$\hat{y} = 5,658 + 1,750x - 0,217x^2$ <b>R<sup>2</sup> = 0,80</b>
	<b>Média</b>	<b>9,50</b>	<b>8,56</b>
<b>Outono</b>	1,5	7,39	6,08
	3,0	6,17	6,23
	4,5	8,09	7,45
	6,0	7,74	6,24
	<b>Equação</b>	$\hat{y} = 6,341 + 0,155x$ <b>R<sup>2</sup> = 0,21</b>	
	<b>Média</b>	<b>7,35 A</b>	<b>6,50 B</b>

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas (comparação das cultivares), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05)

No inverno, com concentrações baixas na solução nutritiva, o aumento da concentração induziu aumento na acumulação de P nas raízes em ambas as cultivares (Tabela 5), porém com teores inferiores aqueles obtidos com as mesmas concentrações no verão, de 3,92 g kg<sup>-1</sup> na cultivar Stella e de 6,86 g kg<sup>-1</sup> na cultivar Veneranda. As quantidades de P acumuladas nas raízes das plantas de alface quando cultivadas no verão aumentaram linearmente em ambas as cultivares (Tabela 5). As quantidades máximas

acumuladas foram de  $11,87 \text{ g kg}^{-1}$  na cultivar Stella e de  $11,48 \text{ g kg}^{-1}$  na cultivar Veneranda referente a concentração de  $2,0 \text{ mmol L}^{-1}$  de P na solução nutritiva.

O efeito das concentrações de P sobre os teores de P nas raízes das plantas cultivadas na primavera resultou no ajustamento quadrático dos dados, com valor máximo de  $11,73$  e  $11,25 \text{ g kg}^{-1}$ , nas concentrações de P de  $4,05$  e  $5,44 \text{ mmol L}^{-1}$ , respectivamente nas cultivares Stella e Veneranda (Tabela 5). A aplicação das concentrações de P promoveu aumento linear nos teores de P nas raízes das plantas de alface cultivadas no outono com teores de  $6,89$  para  $8,78 \text{ g kg}^{-1}$  expressando um aumento de  $27,43\%$ , entre as plantas com a menor e com a concentração máxima de P de  $6,0 \text{ mmol L}^{-1}$ . Os teores de P nas raízes responderam ao efeito isolado em ambas as cultivares, com maiores teores nas raízes para a cultivar Stella, com  $8,34 \text{ g kg}^{-1}$ .

**Tabela 5** - Teores de fósforo nas raízes de plantas de alface cultivar Stella e Veneranda, cultivadas no inverno, verão, primavera e no outono, e fertirrigadas por gotejamento com concentrações entre 0,4 a 6,0 mmol L<sup>-1</sup> de fósforo na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2015/2017

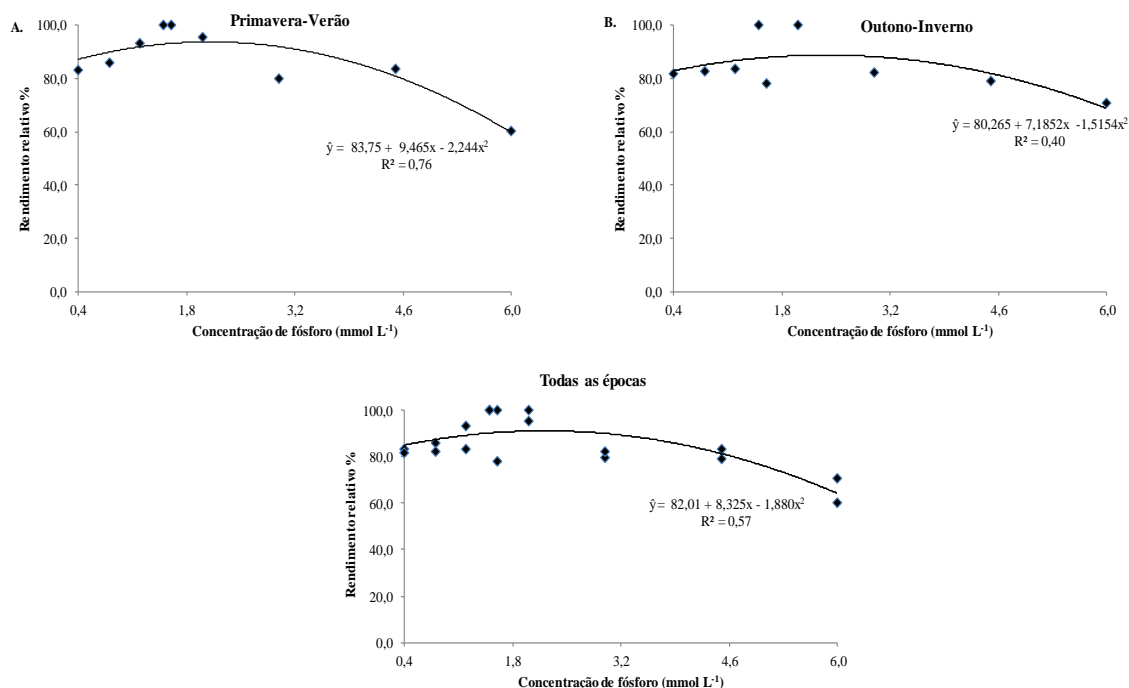
Época	Concentração (mmol L <sup>-1</sup> )	Cultivar	
		Stella	Veneranda
<b>Fósforo na raiz (g kg<sup>-1</sup>)</b>			
Inverno	0,4	1,49	0,21
	0,8	2,32	1,93
	1,2	2,30	2,81
	1,6	2,08	3,91
	2,0	4,28	6,54
	<b>Equação</b>	$\hat{y} = 2,155 - 1,371x + 1,127^{**}x^2$ <b>R<sup>2</sup> = 0,74</b>	$\hat{y} = - 0,2834 + 1,4614x + 0,9145x^2$ <b>R<sup>2</sup> = 0,97</b>
<b>Média</b>	<b>2,49</b>	<b>3,08</b>	
Verão	0,4	2,22	1,98
	0,8	4,72	5,90
	1,2	6,80	5,96
	1,6	11,49	10,83
	2,0	10,78	10,61
	<b>Equação</b>	$\hat{y} = 0,1108 + 5,8802^{**}x$ <b>R<sup>2</sup> = 0,91</b>	$\hat{y} = 0,3037 + 5,5884^{**}x$ <b>R<sup>2</sup> = 0,89</b>
<b>Média</b>	<b>7,17</b>	<b>7,01</b>	
Primavera	1,5	8,24	8,56
	3,0	12,55	11,64
	4,5	10,30	9,86
	6,0	10,39	11,63
	<b>Equação</b>	$\hat{y} = 4,027 + 3,807x - 0,470^{**}x^2$ <b>R<sup>2</sup> = 0,57</b>	$\hat{y} = 6,9282 + 1,5866x - 0,1456^{**}x^2$ <b>R<sup>2</sup> = 0,47</b>
	<b>Média</b>	<b>10,37</b>	<b>10,42</b>
Outono	1,5	6,26	6,38
	3,0	9,67	7,19
	4,5	9,10	7,02
	6,0	8,32	8,76
	<b>Equação</b>	$\hat{y} = 6,2624 + 0,42^{*}x$ <b>R<sup>2</sup> = 0,62</b>	
	<b>Média</b>	<b>8,34 A</b>	<b>7,34 B</b>

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas (comparação das cultivares), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (p < 0,05)

Esses valores estão próximos de 7,5 g kg<sup>-1</sup> apresentados por Almeida et al. (2011) estudando os teores de P na mesma cultura em soluções nutritivas. Os valores de P nas raízes estão acima da amplitude de 4 a 7 g kg<sup>-1</sup> recomendados por Trani e Raij (1997). No entanto, esses valores são altos para a alface, uma vez que Malavolta et al. (1997) indica valores da ordem de 3,5 g kg<sup>-1</sup>. Os teores de P altos nas raízes podem ser explicados pela maior disponibilidade desse nutriente às plantas, pois a fertirrigação disponibiliza os nutrientes diretamente na zona de absorção radicular e com pequena variação na concentração ao longo do dia.

Os resultados do crescimento relativo que leva em consideração o crescimento máximo obtido pelas cultivares em cada experimento envolvendo as diferentes épocas do ano indicou efeito diferente da concentração de P na solução nutritiva na primavera/verão e no outono/inverno (Figura 1).

**Figura 1** - Rendimento relativo da massa fresca da parte aérea de alface em relação à produção máxima obtida na primavera- verão (A), no outono -inverno- (B) e em todos os experimentos (C), fertirrigadas com solução nutritiva nas concentrações de P entre 0,4 a 6,0 mmol L<sup>-1</sup>. Santa Maria, UFSM, 2015/2017



Na primavera/verão o crescimento foi mais elevado na concentração de 2,10 mmol L<sup>-1</sup> de P e decresceu 59,75% na concentração de 6,0 mmol L<sup>-1</sup> (Figura 1A). No outono-inverno foi mais elevado na concentração de 2,37 mmol L<sup>-1</sup> com rendimento relativo de 88,78% e decresceu apenas 68,82 quando essa concentração foi elevada para 6,0 mmol L<sup>-1</sup> (Figura 1B). Isso significa que o excesso de P na solução nutritiva é mais prejudicial nos períodos quentes do ano. Para fins de manejo da solução nutritiva no cultivo sem solo da alface, o ajuste do crescimento relativo em função da concentração de P indicou a concentração ótima de 2,21 mmol L<sup>-1</sup> (Figura 1 C). Acima dessa concentração, a redução no crescimento é mais intensa do que nas concentrações inferiores.

## CONCLUSÕES

Concentrações de P na solução nutritiva acima e abaixo de 2,1 mmol L<sup>-1</sup> de P na primavera/verão e de 2,37 mmol L<sup>-1</sup> no outono/inverno reduzem o crescimento da alface em cultivo sem solo, com efeito mais intenso nas concentrações acima desses valores. No manejo da produção comercial de alface em cultivo sem solo com descarte reduzido de solução nutritiva, as concentrações de P devem ser manejadas de forma a não exceder esses limites.

## LITERATURA CITADA

Almeida, T.B.F.; Prado, R.M.; Correira, M.A.R.; Puga, A. P.; Barbosa, J.C. Avaliação nutricional da alface cultivada em soluções nutritivas suprimidas de macronutrientes. *Biotemas*, v.24, n.2, p.27-36, 2011. <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2011v24n2p27>.

Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J.L.M.; Sparovek, G. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n.6, p.711-728, 2014. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

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*, v.26, n.3, p.273-282, 2005. [www.redalyc.org/html/4457/445744077001/](http://www.redalyc.org/html/4457/445744077001/). 09 Mar. 201

Ferreira, D.F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia*, v.38, n.2, p.109-112, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>.

Fonseca, A.S.; Thomazini, A.; Bertossi, A.P.A.; Amaral, J.F.T. Análise de crescimento e absorção de fósforo em alface. *Nucleus*, v.10, n.2, p.233-238, 2015. <http://dx.doi.org/10.3738/1982.2278.895>.

Kano, C.; Cardoso, A.I.I.; Boas, R.L.V. Acúmulo de nutrientes e resposta da alface à adubação fosfatada. *Biotemas*, v.25, n.3, p.39-47, 2012. <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2012v25n3p39>.

Lana, R.M.Q.; Zanão Junior, L.A.; Luz, J.M.Q.; Silva, J.C. Produção de alface em função do uso de diferentes fontes de fósforo em solo de Cerrado. *Horticultura Brasileira*, v.22, n.3, p.525-528, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362004000300004>.

Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

Moreira, M.A.; Fontes, P.C.R.; Camargos, M.I. Interação zinco e fósforo em solução nutritiva influenciando o crescimento e a produtividade da alface. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, n.6, p.903-909, 2001. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2001000600008>.

Mota, J.H.; Yuri, J.E.; Resende, G.M.; Oliveira, C.M.; Souza, R.J.; Freitas, S.A.C.; Rodrigues Júnior, J.C. Produção de alface americana em função da aplicação de doses e fontes de fósforo. *Horticultura Brasileira*, v.21, n.4, p.620-622, 2003. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362003000400008>.

Nunes, A.L.; Bispo, N.B.; Hernandez R.H.; Navarini, L. Evapotranspiração e coeficiente de cultura da alface para a região sudoeste do Paraná. *Scientia Agraria*, v.10, n.5, p.397-402, Sept./Oct. 2009. <http://dx.doi.org/10.5380/rsa.v10i5.15198>.

Paulus, D.; Paulus, E.; Nava, G.A.; Moura, C.A. Crescimento, consumo hídrico e composição mineral de alface cultivada em hidroponia com águas salinas. *Rev. Ceres*, v.59, n.1, p.110-117, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2012000100016>.

Pardossi, A.; Carmassi, G.; Diara, L.; Maggini, R.; Massa, D. *Fertigation and Substrate Management in Closed Soilless Culture*. Pisa: University of Pisa, Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie. 2011.64p.

Pôrto, M.L.A.; Alves, J.C.; Souza, A.P.; Araújo, R.C.; Arruda, J.A.; Tompson Júnior, U.A. Doses de nitrogênio no acúmulo de nitrato e na produção da alface em hidroponia. *Horticultura Brasileira*, v.30, p.539-543, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362012000300030>.

Rover Suélin.; Oliveira, J.L. Barcelos.; Nagaoka, M.P.T. Viabilidade econômica da implantação de sistema de cultivo de alface hidropônica. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v.15, n.3, p.169-179, 2016. [10.22167/r.ipecege.2016.1.57](https://doi.org/10.22167/r.ipecege.2016.1.57). 57.

Savvas, D.; Gianquinto, G.; Tuzel, Y.; Gruda, N. Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops. Principles for mediterranean climate areas. *FAO-Plant production and protection paper*, 2013. 217. p. 303-354.

Schmitt, O.J.; Andriolo, J.L.; Schultz, E.; Lerner, M.A.; Souza, J.M.; Dal Picio, M. Produção de estolhos de cultivares de morangueiro em função da condutividade elétrica da solução nutritiva, *Horticultura Brasileira*. v.34, n.2, p.294-301, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620160000200022>.

Simpson, R.J., Oberson, A., Culvenor, R.A., Ryan, M.H., Veneklaas, E.J., Lambers, H., Lynch, J.P., Ryan, P.R., Delhaize, E., Smith, F.A., Smith, S.E., Harvey, P.R., Richardson, A.E., Strategies and agronomic interventions to improve the phosphorus-use efficiency of farming systems. *Plant Soil*, v.349, p.89–120,2011. <https://doi.org/10.1007/s11104-011-0880-1>.

Taiz, L.; Zeiger, E. *Fisiologia Vegetal*. 5.ed. Porto Alegre: Artemed. 2013. 719p.

Tedesco, M. J. *Análises de solo, plantas e outros materiais*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia. (Boletim Técnico de Solos, 5). 1995.174p.

Trani, P.E.; Raij, B. *Hortaliças*. In: Raij, B.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A.; Furlani, A.M.C. *Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo*. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo/ Fundação IAC.1997. p. 157-164.



**4 ARTIGO 2 - NITROGEN AND PHOSPHORUS CONCENTRATION IN THE  
NUTRIENT SOLUTION ON LETTUCE GROWTH AND NUTRIENT  
ACCUMULATION**

**CONCENTRAÇÕES DE NITROGÊNIO E FÓSFORO NA SOLUÇÃO NUTRITIVA NO  
CRESCIMENTO E ACUMULO DE NUTRIENTES DA ALFACE**

Juliete Araújo da Silva, Jerônimo Luiz Andriolo

**Abstract**

The goal of this research was to evaluate growth and nutrient accumulation of lettuce plants grown under in soilless culture the concentrations of phosphorus and nitrogen in the nutrient solution. Experiments were carried out inside a polyethylene greenhouse at Plant Science Department at the Santa Maria Federal University (UFSM) in 2017. In the greenhouse, concentrations tested in N and P, respectively, high (NHPH), high and low (NHPL), low and high (NLPH), low (NLPL) and control defined as the better concentration from previous experiments, supplied at plants by medium nutrient solution, using cultivars Stella (butterhead) and Veneranda (crisphead) in two growing periods, autumn and in autumn-winter a N and P concentrations, respectively, high (NHPH), high and low (NHPL), low and high (NLPH), low (NLPL) and control defined as the better concentration from previous experiments, supplied at plants by medium nutrient solution. In both experiments, a factorial experimental randomized experimental design was used, with seasons, concentrations and cultivars. Concentrations between 11.45 mmol L<sup>-1</sup> of N and 1.0 mmol L<sup>-1</sup> of P in the nutrient solution provide higher yield of fresh shoot mass in lettuce plants. Antagonistic interactions between N and P concentrations in the nutrient solution were not observed in roots and shoot. There are any interactions between P and N in the nutrient solution with reduction in accumulation of other nutrients.

**Key words:** Nutrient accumulation. *Lactuca sativa* L. Mineral nutrition

## Resumo

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o crescimento e acumulação de nutrientes com diferentes concentrações de fósforo e nitrogênio na solução nutritiva. Os experimentos foram desenvolvidos no interior de um abrigo de polietileno localizado no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) em 2017. No abrigo foram testadas concentrações de N e P, respectivamente, altas (NAPA), alta e baixa (NAPB), baixa e alta (NBPA), baixas (NBPB) e a testemunha definida como a melhor concentração indicada nos experimentos anteriores, fornecidas as plantas por meio de solução nutritiva, utilizando as cultivares Stella, do tipo lisa e Veneranda, do tipo crespa em duas épocas de cultivo (outono e no outono-inverno). Em ambos os experimentos o delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial, com épocas de cultivo, concentrações e cultivares. Concentrações entre 11,45 mmol L<sup>-1</sup> de N e 1,0 mmol L<sup>-1</sup> de P na solução nutritiva proporcionam maior produção de massa fresca de parte aérea em plantas de alface. Não foram observadas interações antagônicas entre as concentrações de N e P na solução nutritiva, nas raízes e na parte aérea das plantas de alface. Não ocorreram interações da concentração de P e de N na solução nutritiva com redução na acumulação dos demais nutrientes.

**Palavras-chave:** Acúmulo de nutrientes. *Lactuca sativa* L. Nutrição mineral.

## Introdução

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma hortaliça que vem ganhando espaço e importância econômica no Brasil, sendo considerada o vegetal de folhas mais comercializado, com produção correspondente a 40% do volume total de vendas (SALA; COSTA, 2012). A área cultivada no Brasil ocupa cerca de 35 mil ha, com o estado de São Paulo sendo o maior produtor, com uma área de 10 mil ha no ano de 2012 e uma produção de 490 toneladas. No Rio Grande do Sul (RS) a produção foi em torno de 8 toneladas no ano de 2009 (SALA; COSTA, 2012; CEASA RS, 2009; IEA, 2012).

No segmento da produção de hortaliças, o cultivo hidropônico na cultura da alface em sistema NFT (fluxo laminar de nutrientes), é uma tecnologia que ocupa a maior fração dos cultivos hidropônicos no país, isso devido ao fácil manejo no sistema, permite melhor qualidade do produto final, menor utilização de produtos fitossanitários e menor risco de perdas de produtos, já que esse sistema possibilita um satisfatório planejamento da produção (ROVER et al., 2016). Atualmente, cresce no mundo, a procura por adequações em que ainda devem ser feitas no manejo da solução nutritiva. Dentre as alternativas para mitigar os problemas associados ao cultivo de plantas em cultivo sem solo, se insere o uso do manejo sustentável, com o desenvolvimento de sistemas fechados de produção, capazes de restringir ou evitar o descarte da solução nutritiva drenada, e como também adaptação da solução nutritiva às diferentes condições de produção (SAVVAS et al., 2013).

Dentre as práticas culturais, a nutrição mineral é um fator que influencia diretamente no crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo os processos fisiológicos os primeiros a serem afetados pela nutrição inadequada (COIMBRA et al., 2013, LACERDA et al., 2015). O nitrogênio (N) é um nutriente essencial na formação de compostos estruturais, participando da síntese de componentes celulares como a molécula de clorofila, aminoácidos e proteínas importantes para as plantas (FREITAS et al., 2012). O nitrogênio é um elemento necessário para o crescimento das plantas de alface, pois demonstra efeitos diretos na produção, sendo sua deficiência capaz de acarretar um decréscimo no crescimento, ocasionando baixa deposição de carboidratos na parte aérea, diminuindo a taxa de crescimento das folhas, menor relação parte aérea e raízes, má formação da cabeça e amarelecimento de folhas (GRANGEIRO, et al. 2006; KERBIRIOU et al., 2013). O fósforo (P) é um mineral que desempenha funções vitais no desenvolvimento das plantas, participando nas atividades fotossintéticas, atua no processo de transferência de energia, na divisão celular, sendo assim indispensável para fotossíntese (TAIZ e ZEIGER, 2013).

Uma maneira de elevar a produtividade da cultura da alface em sistema sem solo tem sido por meio de identificação e exploração do chamado efeito sinérgico, sendo determinado como interações positivas de elementos que agem em conjunto, como o nitrogênio e fósforo, nutrientes esses que promovem aumentos significativos na produção vegetal, maiores do que aqueles

obtidos com aplicação de cada nutriente isoladamente (SATTARI et al., 2014, FAGERIA; BALIGAR, 2014). Trabalhos como os de Nannetti (2001), Harpole et al. (2011) e Elser et al. (2007) demonstraram que a adição de ambos os nutrientes aplicado em concentrações adequadas promovem aumentos na produção do vegetal muito maior do que ambos fornecidos isoladamente às plantas.

No cultivo sem solo as interações entre o N e P são afetadas também pela concentração desses nutrientes na solução nutritiva. Enquanto as concentrações de  $\text{N-NO}_3^-$  nas soluções nutritivas empregadas no cultivo sem solo de hortaliças variam entre 7,0 e 19,0  $\text{mmol L}^{-1}$ , aquelas do íon  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  variam entre 1,5 e 2,5  $\text{mmol L}^{-1}$ . As quantidades absorvidas desses nutrientes também diferem. As concentrações de N nos tecidos vegetativos variam entre 30 a 50  $\text{g kg}^{-1}$  enquanto aquelas do P variam entre 4 a 7  $\text{g kg}^{-1}$  (TRANI e RAIJ, 1997). No cultivo sem solo existe também a possibilidade de ocorrerem interações competitivas entre íons nutrientes como, o  $\text{NO}_3^-$  e o  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ .

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento e acumulação de nutrientes com diferentes concentrações de fósforo e nitrogênio na solução nutritiva.

## Material e métodos

Dois experimentos foram realizados no outono, entre 04 de março a 03 de abril e no outono-inverno, de 26 de maio a 06 de julho de 2017, ambos realizados no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em abrigo de polietileno de 115  $\text{m}^2$  (5m por 23m). O clima da região, conforme classificação de Köppen é do tipo "Cfa", classificado como subtropical úmido (ALVARES et al., 2014).

A radiação solar global acumulada e a temperatura média do ar durante o período experimental foram obtidas na Estação Meteorológica da UFSM, situada a aproximadamente 100 m da área onde foram conduzidos os experimentos.

As plantas foram cultivadas em vasos de polipropileno com capacidade de 3  $\text{dm}^3$  preenchidos com areia, com granulometria inferior a 0,03 m, densidade de 1,6  $\text{kg dm}^{-3}$  e capacidade máxima de retenção de água de 0,243  $\text{L.dm}^{-3}$ . As unidades experimentais foram apoiadas em bancadas com altura de 0,8m, em quatro fileiras com espaçamento de 0,3 m entre fileiras e 0,25m entre vasos, com uma densidade equivalente a 13,3 vasos  $\text{m}^{-2}$  e uma planta de alface por vaso. Em cada bancada, foram colocadas telhas de fibrocimento com 4,0 m de comprimento e 0,8 m de largura, instaladas com declividade de 1%, que funcionou como canal de escoamento da solução nutritiva para os reservatórios de fibra de vidro com capacidade para 500L que armazenou as soluções nutritivas. A superfície das telhas foi revestida com filme transparente de polietileno com espessura de 100 $\mu\text{m}$ , e os canais foram preenchidos com brita basáltica média (0,015m - 0,020m).

As soluções nutritivas foram fornecidas de forma individual, em cada uma das cinco bancadas, através de mangueiras gotejadoras. Foram feitas até cinco fertirrigações ao dia, com duração de 15 minutos cada, com um gotejador por planta com vazão média de 0,76L h<sup>-1</sup>, conforme descrito por Andriolo et al. (2010). Para tanto, cada reservatório de solução foi conectado a uma motobomba controlada por um programador horário (timer). Um coeficiente de drenagem não inferior a 30% foi empregado em cada fertirrigação, de forma a fornecer adequadamente o volume de água evapotranspirado pelas plantas, e o volume do reservatório foi repostado sempre que estava inferior a 50% da capacidade do reservatório (PARDOSSI et al., 2011).

Em cada experimento foram empregadas as duas cultivares de alface Stella, do tipo lisa, e Veneranda, do tipo crespa, e cinco combinações de concentrações altas e baixas de nitrogênio e fósforo fornecidas as plantas por meio de solução nutritiva, descritas na tabela 1. Os micronutrientes foram fornecidos nas concentrações em mg L<sup>-1</sup> de, respectivamente, 0,03 de Mo; 0,26 de B; 0,06 de Cu; 0,50 de Mn; 0,22 de Zn e 1 Fe (Andriolo,1999).

Diariamente foi realizada a quantificação da condutividade elétrica e o pH das soluções contidas nos reservatórios. O pH da solução nutritiva foi mantido na faixa de 5,5 e 6,5, adicionando NaOH ou H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1mol L<sup>-1</sup>, sempre que necessário. Em caso de alterações nos valores de condutividade elétrica, os mesmos foram corrigidos mediante adição de água ou de uma alíquota de solução nutritiva com concentração calculada de forma a restabelecer a CE inicial (variando de 1,0 a 1,5 mS).

Os tratamentos foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial (2 x 5 x 2), com duas épocas de cultivo, cinco combinações de níveis altos (A) e baixos (B) de nitrogênio (N) e fósforo (P): Testemunha, NAPA, NAPB, NBPA e NBPB, fornecidas por meio de solução nutritiva e duas cultivares de alface (Stella e Veneranda), estando as soluções de nutrientes nas parcelas e cultivares nas sub-parcelas, conforme a Tabela 1.

**Tabela 1** - Concentração iônica utilizadas nas diferentes soluções nutritivas nos experimentos. Santa Maria, UFSM, 2017.

Tratamentos	Concentração iônica (mmol L <sup>-1</sup> )						
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
Testemunha	8,5	2,1	2,0	2,6	5,2	4,0	2,0
NBPB	6,95	1,0	4,7	0,45	5,7	4,5	2,0
NBPA	6,75	4,5	2,0	0,45	6,3	4,5	2,0
NAPB	11,45	1,0	2,0	1,45	6,5	4,5	2,0
NAPA	9,45	4,5	2,0	2,95	6,5	4,5	2,0

Testemunha= Nitrogênio normal e fósforo normal; NBPB= Nitrogênio baixo e fósforo baixo; NBPA= Nitrogênio baixo e fósforo alto; NAPB= Nitrogênio alto e fósforo baixo; NAPA= Nitrogênio alto e fósforo alto.

Ao final de ambos os experimentos, quando as folhas abaxiais apresentaram sinais de senescência, considerado como critério de ponto de colheita, cinco plantas por tratamento foram coletadas, acondicionadas em caixas, e foram transportadas para o laboratório para o fracionamento e posteriormente foi feita a determinação de massa fresca da parte aérea (MFPA), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raízes (MSR), após secagem em estufa de 60°C até massa constante. As amostras de folhas e raízes da alface foram moídas com auxílio de um moinho tipo Willey. Foram preparadas amostras de cinco repetições por tratamento para posterior análise de teores de nitrogênio e fósforo, segundo metodologia proposta por TEDESCO et al. (1995). Em cada tratamento foram retiradas alíquotas de 0,5 g do material moído as quais foram digeridas em 5 mL de solução ácida composta por ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) e ácido perclórico (HClO<sub>4</sub>), na proporção volumétrica de 3:1 (TEDESCO et al., 1995). As análises foram feitas no Laboratório de Fertilidade do Solo e Nutrição de plantas do Departamento de Solos, utilizando um espectrofotômetro de absorção atômica UV-visível para a leitura dos teores de P, e o teor de N nos diferentes tecidos foram determinados pelo método Kjeldahl.

Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância pelo teste F e as médias foram comparadas pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico Sisvar (FERREIRA, 2014).

## Resultados e discussão

No experimento outono a radiação solar acumulada foi de 600,90 MJ m<sup>-2</sup>, e a temperatura média de 22,2 °C e no experimento outono-inverno a radiação solar acumulada foi de 431,94 MJ m<sup>-2</sup>, e a temperatura média de 15,88 °C.

As diferentes épocas de cultivo, concentrações e cultivares exerceram efeitos significativos sobre todas as variáveis analisadas em ambos os experimentos. A massa fresca da parte aérea (MFPA) foi influenciada pela interação época × concentração (Tabela 2). Nas condições de outono a interação N alto e P baixo (NAPB) proporcionou maior crescimento de massa fresca da parte aérea das plantas (MFPA), com produção máxima de 340,68 g planta<sup>-1</sup> na média das duas cultivares. Resultado semelhante foi observado no outono-inverno, com produção máxima obtida na mesma combinação, porém com valores inferiores (222,87g planta<sup>-1</sup>). Em todas as combinações, as máximas MFPA foram obtidas na época do outono (Tabela 2).

Observou-se ainda na tabela 2 que a MFPA das plantas de alface da cultivar Stella foram superiores quando cultivadas durante o outono. Ao relacionar os valores de 233,78 com 217,99 g planta<sup>-1</sup> observa-se uma superioridade nos dados de 7,24% quando cultivadas no outono. Resultados semelhantes foram observados para a cultivar Veneranda em que a maior MFPA das plantas foi registrada durante o cultivo de outono. Ao relacionar os valores de 240,47 com 130,46

g planta<sup>-1</sup> observa-se que a MFPA das plantas da cultivar Veneranda foram superiores 84,32 % quando cultivadas durante o período no outono. Ao relacionar as diferentes cultivares na mesma época de cultivo foi observado que houve diferença entre as cultivares durante o período do outono-inverno, com maior MFPA para a cultivar Stella (Tabela 2).

**Tabela 2** - Massa fresca da parte aérea de plantas de alface cv. Stella e Veneranda, na época de outono e outono-inverno, fertirrigadas com diferentes combinações de nitrogênio (N) e fósforo (P) na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2017.

ÉPOCA	Tratamento	Cultivar		Média
		Stella	Veneranda	
<b>Massa fresca da parte aérea (g planta<sup>-1</sup>)</b>				
Outono	Testemunha	219,02	217,05	218,04 bcA
	NBPB	157,91	219,96	188,94 cA
	NBPA	194,46	196,10	195,28 cA
	NAPB	350,20	331,15	340,68 aA
	NAPA	247,32	238,07	242,70 bA
Média do outono		233,78 $\alpha\alpha$	240,47 $\alpha\alpha$	237,12
Outono- Inverno	Testemunha	227,02	145,91	186,46 bB
	NBPB	196,86	125,60	161,24 bcB
	NBPA	178,56	99,48	139,02 cB
	NAPB	282,82	162,91	222,87 aB
	NAPA	204,69	118,37	161,53 bcB
Média outono-inverno		217,99 b $\alpha$	130,46 b $\beta$	174,22
Média Outono- Inverno	Testemunha	223,01 bA	181,48 bB	202,24
	NBPB	177,38 cA	172,78 bcA	175,06
	NBPA	186,50 cA	147,78 cB	167,14
	NAPB	316,51 aA	247,03 aB	281,77
	NAPA	226,00 bA	178,21 bcB	202,11
Média geral		225,89	185,46	205,67

Interação época  $\times$  concentração: Médias seguidas pela mesma letra minúsculas nas colunas, entre as diferentes concentrações na mesma época de cultivo, maiúsculas entre as diferentes épocas na mesma concentração, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

Interação época  $\times$  cultivar: Médias seguidas pela mesma letra minúsculas nas colunas, entre as diferentes épocas na mesma cultivar e grega entre as diferentes cultivares na mesma época, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

Interação concentração  $\times$  cultivar: Médias seguidas pela mesma letra minúsculas, nas colunas, entre as diferentes concentrações, maiúsculas entre as diferentes cultivares na mesma concentração, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

Testemunha= Nitrogênio normal e fósforo normal; NBPB= Nitrogênio baixo e fósforo baixo; NBPA= Nitrogênio baixo e fósforo alto; NAPB= Nitrogênio alto e fósforo baixo; NAPA= Nitrogênio alto e fósforo alto.

Quanto aos efeitos das concentrações  $\times$  cultivar para a MFPA (Tabela 2), observa-se que a interação NAPB, promoveu aumento na MFPA para ambas as cultivares. Para a cultivar Stella, a combinação NAPB, proporcionou maior MFPA (316,51 g planta<sup>-1</sup>). Comportamento semelhante foi constatado para a cultivar Veneranda, porém, com MFPA inferior de 247,03 g planta<sup>-1</sup>, indicando que as crescentes concentrações de N e P baixo na solução nutritiva, implicam

em aumento de produção das plantas de alface. Quando comparados às diferentes cultivares na mesma combinação, percebe-se que, exceto a combinação N baixo e P baixo (NBPB), todas as demais combinações proporcionaram produção máxima de MFPA na cultivar Stella.

Os resultados mostram que com pouca disponibilidade de N e alta concentração de P na solução nutritiva, o crescimento das plantas foi afetado de forma significativa, causando decréscimo na produção de massa fresca e seca das plantas de alface em ambos os experimentos. A tendência dos resultados corrobora com Almeida et al. (2011) e Resende et al. (2012) ao constatarem redução na produção da alface, devido a diminuição de concentração de N. Entretanto, esses autores não avaliaram o efeito do P, isolado ou em interação com o N. Com esses resultados observa-se que existe um efeito negativo de concentrações elevadas de P com N baixo na produção de alface. Esse fato pode estar relacionado, à exportação excessiva de triose-P da mitocôndria para o citosol provocada pelas elevadas concentrações de P na solução nutritiva, as quais prejudicam a regeneração da enzima RuBP e a fixação de CO<sub>2</sub> no processo fotossintético, conforme sugerido por Marschner (2002).

Durante a condução dos experimentos foi possível observar diferença no crescimento das plantas nas duas épocas de cultivo. Plantas que cresceram no inverno mostraram um crescimento mais lento, onde o período compreendido entre o plantio e a colheita foi de 42 dias. No outono, as plantas apresentaram um maior crescimento em um menor período entre o plantio e a colheita, 32 dias. Estas diferentes respostas estão relacionadas às questões ambientais em cada época de cultivo, ou seja, a temperatura e as diferentes quantidades de radiação interceptada pelas folhas das plantas. Fatores como radiação, temperatura e concentração de nutrientes no meio radicular, podem afetar o crescimento e o desenvolvimento da planta, que em condições de estresse provocam um desequilíbrio nos processos bioquímicos no interior das mesmas (ANDRIOLO et al., 2003).

Ao observar a tabela 3, percebeu-se que houve interação significativa entre as fontes de variação época × cultivar e concentração × cultivar na massa seca da parte aérea das plantas de alface (MSPA). Ao comparar as plantas da cultivar Stella nas diferentes épocas, verifica-se que a MSPA foi superior quando cultivadas no outono-inverno (10,08 g planta<sup>-1</sup>). Os valores de MSPA das plantas da cultivar Veneranda entre as diferentes épocas de cultivo não diferiram entre si. A MSPA das plantas da cultivar Stella cultivadas no outono-inverno (10,08 g planta<sup>-1</sup>) foi superior 40 %, em relação a cultivar Veneranda (7,19 g planta<sup>-1</sup>). Para a época do outono não houve diferença significativa na MSPA entre as cultivares estudadas. Independentemente da época de cultivo, a produção de MSPA representou uma situação semelhante a MFPA, com produção de 10,69 g MS planta<sup>-1</sup> na cultivar Stella com a combinação NAPB. Os valores das demais combinações não diferiram entre si (Tabela 3). Segundo Feltrin et al. (2009), comparando-se as melhores épocas do ano para o plantio dessa hortaliça, verifica-se que as plantas de alface



acumulam menos massa seca da parte aérea nas épocas mais quentes, devido ao estresse térmico por altas temperaturas.

**Tabela 3** - Massa seca da parte aérea de plantas de alface cv. Stella e Veneranda, na época de outono e outono-inverno, fertirrigadas com diferentes combinações de nitrogênio e fósforo na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2017.

ÉPOCA	Tratamento	Cultivar		Média
		Stella	Veneranda	
<b>Massa seca da parte aérea (g planta<sup>-1</sup>)</b>				
Outono	Testemunha	6,77	7,81	7,29
	NBPB	7,15	7,28	7,22
	NBPA	5,45	7,20	6,32
	NAPB	9,44	8,05	8,75
	NAPA	7,13	7,55	7,34
	Média do outono	7,19 b $\alpha$	7,58 a $\alpha$	7,38
Outono-Inverno	Testemunha	10,44	8,72	9,58
	NBPB	9,59	7,36	8,48
	NBPA	9,34	6,03	7,68
	NAPB	11,96	7,18	9,57
	NAPA	9,06	6,67	7,87
	Média outono-Inverno	10,08 a $\alpha$	7,19 a $\beta$	8,63
Média Outono-Outono-Inverno	Testemunha	8,60 bA	8,26 aA	8,43
	NBPB	8,36 bA	7,32 abB	7,84
	NBPA	7,39 bA	6,61 bA	7,00
	NAPB	10,69 aA	7,61 abB	9,15
	NAPA	8,09 bA	7,11 abB	7,60
	Média geral	8,63	7,38	8,01

Interação época  $\times$  cultivar: Médias seguidas pela mesma letra minúsculas, entre as diferentes épocas na mesma cultivar e grega entre as diferentes cultivares na mesma época, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

Interação concentração  $\times$  cultivar: Médias seguidas pela mesma letra minúscula, nas colunas, entre as diferentes concentrações na mesma cultivar e maiúsculas entre as diferentes cultivares na mesma concentração, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

Testemunha= Nitrogênio normal e fósforo normal; NBPB= Nitrogênio baixo e fósforo baixo; NBPA= Nitrogênio baixo e fósforo alto; NAPB= Nitrogênio alto e fósforo baixo; NAPA= Nitrogênio alto e fósforo alto.

Na época do outono, a interação N alto e P baixo (NAPB) proporcionou maior crescimento de massa seca de raízes (3,89 g planta<sup>-1</sup>). No outono-inverno não foi observada diferença significativa das diferentes combinações para a MSR (Tabela 4). Exceto para a testemunha e NBPB, as demais combinações proporcionaram maiores MSR quando cultivadas no outono. A MSR foi influenciada pelo efeito isolado das diferentes cultivares estudadas (Tabela 4). Independente da concentração e época de cultivo, o crescimento máximo de MSR foi atingido na cultivar Stella (1,58 g planta<sup>-1</sup>). Com o aumento das concentrações de N e P baixo na solução nutritiva o crescimento radicular aumentou na época do outono. Nessa estação as temperaturas e

radiação solar foram superiores do que no outono-inverno, o que implicou maior evapotranspiração das plantas e maior necessidade hídrica.

**Tabela 4** - Massa seca de raízes de plantas de alface cv. Stella e Veneranda, na época de outono e outono-inverno, fertirrigadas com diferentes combinações de nitrogênio e fósforo na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2017.

ÉPOCA	Tratamento	Cultivar		Média
		Stella	Veneranda	
<b>Massa seca de raízes (g planta<sup>-1</sup>)</b>				
Outono	Testemunha	0,96	0,91	0,94 cA
	NBPB	1,09	0,81	0,95 cA
	NBPA	1,46	1,52	1,49 bcA
	NAPB	4,64	3,13	3,89 aA
	NAPA	1,75	1,53	1,64 bA
	Média do outono	1,98	1,58	1,78
Outono- Inverno	Testemunha	1,21	0,72	0,97 aA
	NBPB	0,98	0,68	0,83 aA
	NBPA	1,17	0,59	0,88 aB
	NAPB	1,43	1,01	1,22 aB
	NAPA	1,13	0,71	0,92 aB
	Média outono-inverno	1,18	0,74	0,96
Média geral		1,58 $\alpha$	1,16 $\beta$	1,37

Médias seguidas pelas mesmas letras grega (comparação das cultivares), não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

Interação época  $\times$  concentração: Médias seguidas pela mesma letra minúsculas, nas colunas, entre as diferentes concentrações na mesma época de cultivo, maiúsculas entre as diferentes épocas na mesma concentração e grega entre as diferentes cultivares, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

Testemunha= Nitrogênio normal e fósforo normal; NBPB= Nitrogênio baixo e fósforo baixo; NBPA= Nitrogênio baixo e fósforo alto; NAPB= Nitrogênio alto e fósforo baixo; NAPA= Nitrogênio alto e fósforo alto.

Quando a demanda de transpiração é elevada, as plantas destinam uma fração maior de fotoassimilados para o crescimento de raízes, com a finalidade de aumentar a absorção de água e nutrientes (THORNLEY, 1998). Esses fatores explicam o crescimento radicular 85,41% mais elevado no outono em comparação com o outono-inverno. Resultados como esses indicam que no outono-inverno o crescimento da parte aérea foi favorecido simultaneamente pela menor demanda evaporativa da atmosfera e menor força de dreno das raízes e que o crescimento das raízes pode compensar a concentração mais baixa de P na solução nutritiva.

Não houve diferença significativa nas quantidades de N acumuladas no tecido das plantas de alface na época do outono entre as diferentes combinações na solução nutritiva. Nas condições de outono-inverno, os teores de N na folha (NF), com as combinações NBPB e NBPA não diferiram entre si, mas proporcionaram teores superiores aos valores das demais combinações. Exceto para a testemunha, todas as demais combinações proporcionaram maiores teores de NF

quando cultivadas no outono-inverno. O teor máximo de NF da cultivar Stella foi registrado no outono-inverno, com teor de 28,16 g kg<sup>-1</sup>.

**Tabela 5** - Teores de Nitrogênio nas folhas de alface cv. Stella e Veneranda, na época de outono e outono-inverno, fertirrigadas com diferentes combinações de nitrogênio e fósforo na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2017.

ÉPOCA	Tratamento	Cultivar		Média
		Stella	Veneranda	
<b>Nitrogênio na folha (g kg<sup>-1</sup>)</b>				
Outono	Testemunha	21,22	22,59	21,91 aA
	NBPB	21,03	21,16	21,09 aB
	NBPA	19,06	19,13	19,10 aB
	NAPB	20,45	21,53	20,99 aB
	NAPA	22,26	21,23	21,75 aB
	Média do outono	20,81 b $\alpha$	21,13 b $\alpha$	20,97
Outono- Inverno	Testemunha	21,38	22,92	22,15 cA
	NBPB	39,63	45,47	42,55 aA
	NBPA	33,86	52,96	43,41 aA
	NAPB	24,96	37,28	31,12 bA
	NAPA	20,98	25,19	23,08 cA
	Média outono-inverno	28,16 a $\beta$	36,76 a $\alpha$	32,46
Média geral		24,48	28,95	26,71

Interação época  $\times$  concentração: Médias seguidas pela mesma letra minúsculas nas colunas, entre as diferentes concentrações na mesma época de cultivo, maiúsculas entre as diferentes épocas na mesma concentração, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

Interação época  $\times$  cultivar: Médias seguidas pela mesma letra minúsculas, entre as diferentes épocas na mesma cultivar e grega entre as diferentes cultivares na mesma época, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $P \leq 0,05$ ).

Testemunha= Nitrogênio normal e fósforo normal; NBPB= Nitrogênio baixo e fósforo baixo; NBPA= Nitrogênio baixo e fósforo alto; NAPB= Nitrogênio alto e fósforo baixo; NAPA= Nitrogênio alto e fósforo alto.

A cultivar Veneranda apresentou uma situação semelhante a cultivar Stella, onde o teor de N foliar foi mais elevado quando cultivado no inverno (Tabela 5). Ao comparar os teores foliares de N nas folhas entre as diferentes cultivares na mesma época, constatou-se que na época do outono não houve diferença significativa entre as diferentes cultivares.

A acumulação de N nas folhas das plantas de alface cultivadas no outono-inverno foi maior na cultivar Veneranda. Os teores encontrados correspondentes às concentrações que proporcionaram o maior e o menor acúmulo do nutriente (Tabela 5) apresentam-se dentro do normal para alface conforme Trani e Raij (1997), que consideram bem nutridas plantas de alface com teor de N entre 30 a 50 g kg<sup>-1</sup>. Esses maiores teores de NF obtidos no outono-inverno podem ter sido atribuídos a uma menor radiação fotossintética das plantas, afetando o acúmulo e assimilação do nitrato nas folhas. Aquino et al. (2007), ao avaliarem os teores de nitrato em alface cultivada em sistemas hidropônico, constataram que plantas de alface que receberam baixa intensidade luminosa em suas folhas apresentaram maiores teores de nitrato, quando comparadas

àquelas em cultivo a céu aberto. Efeito inverso foi relatado por Beninni et al. (2002), que obteve plantas com baixos teores de nitrato quando cultivadas em alta intensidade luminosa. Essas quantidades de teores poderão sofrer alterações, dependendo da hora em que forem feitas as coletas e ainda da estação do ano em que estão sendo cultivadas (MANTOVANI et al., 2005; PRADO, 2008; (TAIZ e ZEIGER, 2013). Em condições de baixa radiação, a enzima nitrato redutase apresenta sua atividade reduzida. Isso ocorre pela falta de energia para a formação de  $\text{NADH}^+$ , ocasionando acúmulo de nitrato, e com isso reduzindo a atividade da enzima nitrato redutase (MANTOVANI et al., 2005; LUZ et al., 2008). Ao mesmo tempo, é reduzida a doação de elétrons à ferredoxina, responsável pela redução do nitrito (PRADO, 2008).

A utilização da combinação nitrogênio alto e fósforo baixo (NAPB) nas plantas cultivadas no outono, promoveu aumento nos teores de nitrogênio da raiz (NR) com valor máximo de  $14,37 \text{ g kg}^{-1}$  (Tabela 6). Verifica-se que no outono-inverno não houve diferença significativa nas combinações para teores NR. No entanto, ao comparar os teores NR entre as diferentes épocas com a mesma combinação, verifica-se que exceto a testemunha, as diferentes combinações na solução nutritiva promoveram diferença estatística nos valores de NR, com maiores teores obtidos no outono-inverno com as combinações NBPB ( $11,39 \text{ g kg}^{-1}$ ), NBPA ( $11,39 \text{ g kg}^{-1}$ ) e NAPA ( $11,25 \text{ g kg}^{-1}$ ), porém com valores inferiores ao obtido na combinação NAPB na época do outono com  $14,37 \text{ g kg}^{-1}$ .

Entre as diferentes épocas de cultivo, os teores de NR da cultivar Stella foram superior quando cultivadas no outono-inverno, apresentando valor de  $12,26 \text{ g kg}^{-1}$ . A cultivar Veneranda não sofreu influência das épocas de cultivo para os teores de NR. Ao relacionar os valores de  $8,77$  e  $10,65 \text{ g kg}^{-1}$ , nas cultivares na época do outono, respectivamente, constatou-se que a cultivar Veneranda promoveu incrementos de  $21,47\%$  nos teores de nitrogênio na raiz em relação a cultivar Stella. Comportamento inverso foi registrado nas diferentes cultivares na época do outono-inverno, em que o maior teor de nitrogênio na raiz, de  $12,26 \text{ g kg}^{-1}$ , foi obtido na cultivar Stella, indicando um decréscimo nos teores de nitrogênio na raiz em  $16,65\%$  nas plantas da cultivar Veneranda (Tabela 6).

Independentemente da época de cultivo, para a cultivar Stella, o maior teor de nitrogênio na raiz foi obtido na combinação NAPB (Tabela 6). Na cultivar Veneranda os maiores teores foram registrados na testemunha e nas combinações NAPB e NAPA. Resultados semelhantes aos obtidos nesta pesquisa foram relatados por Alvarenga et al. (2003) estudando teores e acúmulos de macronutrientes em alface americana em função da aplicação de nitrogênio, que constataram que em plantas submetidas a incremento de doses de nitrogênio ocorreu aumento da concentração de nitrogênio na raiz.

**Tabela 6** - Teores de Nitrogênio na raiz de plantas de alface cv. Stella e Veneranda, na época de outono e outono-inverno, fertirrigadas com diferentes combinações de nitrogênio e fósforo na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2017.

ÉPOCA	Tratamento	Cultivar		Média
		Stella	Veneranda	
<b>Nitrogênio na Raiz (g kg<sup>-1</sup>)</b>				
Outono	Testemunha	10,14	13,59	11,86 bA
	NBPB	7,31	6,43	6,87 dB
	NBPA	5,90	6,05	5,97 dB
	NAPB	14,48	14,27	14,37 aA
	NAPA	6,05	12,91	9,48 cB
Média do outono		8,77 bβ	10,65 aα	9,71
Outono- Inverno	Testemunha	13,25	11,00	12,12 aA
	NBPB	12,42	10,36	11,39 aA
	NBPA	13,04	9,73	11,39 aA
	NAPB	11,87	9,70	10,78 aB
	NAPA	10,74	11,77	11,25 aA
Média outono- inverno		12,26 aα	10,51 aβ	11,39
Média Outono Outono- Inverno	Testemunha	11,69 abA	12,29 aA	11,99
	NBPB	9,86 bcA	8,39 bA	9,12
	NBPA	9,46 cA	7,89 bB	8,67
	NAPB	13,17 aA	11,98 aA	12,57
	NAPA	8,39 cB	12,34 aA	10,36
Média geral		10,52	10,58	10,55

Interação época × concentração: Médias seguidas pela mesma letra minúsculas, nas colunas, entre as diferentes concentrações na mesma época de cultivo, maiúsculas entre as diferentes épocas na mesma concentração, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

Interação época × cultivar: Médias seguidas pela mesma letra minúsculas, entre as diferentes épocas na mesma cultivar e grega entre as diferentes cultivares na mesma época não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

Interação concentração × cultivar: Médias seguidas pela mesma letra minúsculas, nas colunas, entre as diferentes concentrações e mesma cultivar, maiúsculas entre as diferentes cultivares na mesma concentração, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (P < 0,05).

Testemunha= Nitrogênio normal e fósforo normal; NBPB= Nitrogênio baixo e fósforo baixo; NBPA= Nitrogênio baixo e fósforo alto; NAPB= Nitrogênio alto e fósforo baixo; NAPA= Nitrogênio alto e fósforo alto.

O elevado teor de N na raiz na época do outono com o uso das concentrações de N alto e P baixo na solução nutritiva, podem ser explicados pelas condições meteorológicas. Nutrientes como o N podem ser transportados, juntamente com a água, através do fluxo de massa (TAIZ e ZEIGER, 2013).

Portanto, a quantidade de nutrientes disponíveis às raízes depende do fluxo de água em direção às mesmas, que apresenta relação direta com a taxa transpiratória da planta (TAIZ e ZEIGER, 2013). Nas condições de cultivo neste experimento, no outono a demanda evapotranspirativa das plantas foi alta. Isto aconteceu em consequência das condições climáticas e pela maior arquitetura foliar da cultura. Assim, as altas concentrações de N no sistema radicular,

podem ser explicadas pela alta taxa transpiratória das plantas, que resultou no aumento do fluxo de massa aumentando o suprimento do nutriente às raízes. Segundo Taiz e Zeiger (2013), nutrientes como o N podem ser absorvidos por toda a superfície da raiz, o que pode também explicar a alta concentração do nutriente nos tecidos radiculares. Pelos resultados podemos observar que o fósforo não prejudicou a absorção de N, onde observa-se, em maior disponibilidade de fósforo, obteve mais acumulação N na raiz.

**Tabela 7** - Teores de fósforo nas folhas de alface cv. Stella e Veneranda, na época de outono e outono-inverno, fertirrigadas com diferentes combinações de nitrogênio e fósforo na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2017.

ÉPOCA	Tratamento	Cultivar		Média
		Stella	Veneranda	
<b>Fósforo na folha (g kg<sup>-1</sup>)</b>				
Outono	Testemunha	10,67	8,50	9,59 abA
	NBPB	8,49	8,72	8,63 bA
	NBPA	10,44	9,75	10,21 aA
	NAPB	9,36	8,64	9,00 abA
	NAPA	9,50	8,09	8,80 abA
Média do outono		9,69	8,64	9,17
Outono- Inverno	Testemunha	5,55	5,32	5,43 bB
	NBPB	6,37	5,34	5,85abB
	NBPA	5,84	5,57	5,70 bB
	NAPB	6,00	4,97	5,49 bB
	NAPA	8,50	6,06	7,28 aB
Média outono-inverno		6,45	5,45	5,95
Média geral		8,07	7,09	7,56

Interação época × concentração: Médias seguidas pela mesma letra minúsculas, nas colunas, entre as diferentes concentrações na mesma época de cultivo, maiúsculas entre as diferentes épocas na mesma concentração, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Testemunha= Nitrogênio normal e fósforo normal; NBPB= Nitrogênio baixo e fósforo baixo; NBPA= Nitrogênio baixo e fósforo alto; NAPB= Nitrogênio alto e fósforo baixo; NAPA= Nitrogênio alto e fósforo alto.

A interação época × concentração apresentou efeito significativo nos teores de P foliar das plantas de alface (Tabela 7). Na época do outono, a combinação NBPA na solução nutritiva elevou os teores de P foliar até o valor de 10,21 g kg<sup>-1</sup>. A combinação NBPB reduziu os teores de P foliar, passando de 10,21 g kg<sup>-1</sup> na combinação de NBPA para 8,63 g kg<sup>-1</sup> na combinação NBPB (Tabela 7). Salienta-se que os valores encontrados situam-se acima dos limites considerados normais para a planta de alface (TRANI e RAIJ,1997). No período do outono-inverno a quantidade máxima de P foliar acumulada foi de 7,28 g kg<sup>-1</sup>, obtida na combinação NAPA. Do ponto de vista nutricional, os valores encontrados se situam dentro da faixa adequada para a cultura de 4,0 a 7,0 g kg<sup>-1</sup> (TRANI e RAIJ,1997). Ao comparar as diferentes épocas nas mesmas combinações, percebe-se que o maior valor de P foliar foi obtido na época do outono (Tabela 7).

Observa-se nessa época que a interação NBPA facilitou a absorção de P foliar pelas plantas de alface, não havendo desequilíbrio das relações entre nutrientes, não afetando a absorção dos nutrientes pelas plantas.

Os dados da variável P na raiz demonstraram interação tripla significativa entre os fatores do experimento (Tabela 8). Para a cultivar Stella, houve diferença significativa entre as combinações na época do outono, a testemunha e NBPA não diferiram entre si, no entanto apresentaram maiores teores de P na raiz. Para a cultivar Veneranda na mesma época de cultivo a combinação NBPA proporcionou maior teor de P na raiz. Para a época do outono-inverno em ambas as cultivares o maior teor de P na raiz foi obtido na combinação NBPA, com valor de 16,01 g kg<sup>-1</sup> na cultivar Stella e 12,96 g kg<sup>-1</sup> na cultivar Veneranda. Na diferença entre as diferentes cultivares na mesma época de cultivo e concentração, a cultivar Veneranda apresentou diferença significativa apenas na combinação NAPA, com teor de 8,84 g kg<sup>-1</sup> no outono (Tabela 8). Na época do outono-inverno, na combinação NBPA, foi obtido o maior teor de P na raiz com valor de 16,01 g kg<sup>-1</sup> na cultivar Stella.

**Tabela 8** - Teores de fósforo na raiz de plantas de alface cv. Stella e Veneranda, na época de outono e outono-inverno, fertirrigadas com diferentes combinações de nitrogênio e fósforo na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2017.

ÉPOCA	Tratamento	Cultivar		Média
		Stella	Veneranda	
<b>Fósforo na Raiz (g kg<sup>-1</sup>)</b>				
Outono	Testemunha	10,31 aA $\alpha$	10,47 bA $\alpha$	10,39
	NBPB	4,60 cA $\beta$	3,74 eA $\alpha$	5,78
	NBPA	11,66 aA $\beta$	12,20 aA $\alpha$	11,84
	NAPB	5,55 cA $\alpha$	5,50 dA $\alpha$	5,53
	NAPA	7,56 bB $\beta$	8,84 cA $\alpha$	8,20
Média do outono		7,94	8,15	8,04
Outono- Inverno	Testemunha	10,80 bA $\alpha$	7,57 bB $\beta$	9,19
	NBPB	6,28 cA $\alpha$	3,74 dB $\alpha$	5,01
	NBPA	16,01 aA $\alpha$	12,96 aB $\alpha$	14,48
	NAPB	5,78 cA $\alpha$	5,72 cA $\alpha$	5,75
	NAPA	9,93 bA $\alpha$	8,49 bB $\alpha$	9,21
Média outono-inverno		9,76	7,70	8,73
Média geral		8,85	7,92	8,39

Interação época  $\times$  concentração  $\times$  cultivar: Médias seguidas pela mesma letra minúsculas, nas colunas, entre as diferentes concentrações na mesma cultivar e época de cultivo, e maiúsculas entre as diferentes cultivares na mesma época de cultivo e concentração, e grega entre as diferentes épocas na mesma cultivar e concentração, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

Testemunha= Nitrogênio normal e fósforo normal; NBPB= Nitrogênio baixo e fósforo baixo; NBPA= Nitrogênio baixo e fósforo alto; NAPB= Nitrogênio alto e fósforo baixo; NAPA= Nitrogênio alto e fósforo alto.

Ao compararmos a acumulação de P na raiz entre as diferentes épocas na mesma cultivar e mesma concentração, observa-se na cultivar Stella, as combinações NBPB, NBPA e NAPA apresentaram diferença significativa entre as épocas, com maior teor de P na raiz  $16,01 \text{ g kg}^{-1}$  na combinação NBPA, cultivadas no outono-inverno. Na cultivar Veneranda, na época do outono, a testemunha proporcionou maior teor de P na raiz de  $10,47 \text{ g kg}^{-1}$ . Nas demais combinações não houve diferença significativa entre as diferentes épocas, na mesma cultivar e mesma concentração. Observa-se tendência de maiores concentrações de N, quando associados a maiores concentrações de P aplicados nas plantas, proporcionarem os maiores acúmulos de P na raiz (Tabela 8). As quantidades acumuladas no presente estudo são superiores às encontradas por Almeida et al. (2011) estudando os teores de P na mesma cultura em soluções nutritivas, que registraram valores de  $7,5 \text{ g kg}^{-1}$ . As quantidades de P nas raízes estão acima da amplitude de 4 a  $7 \text{ g kg}^{-1}$  recomendado por Trani e Raij (1997).

Entretanto no presente estudo, não foram observadas relações claras das interações de N e P com outros macro e micronutrientes.

## **Conclusão**

No cultivo da alface em sistema sem solo o crescimento é favorecido por concentrações altas de N, de  $11,45 \text{ mmol L}^{-1}$  e concentrações baixas de P de  $1,0 \text{ mmol L}^{-1}$ . Não foram observadas interações antagônicas entre as concentrações de N e P na solução nutritiva, nas raízes e na parte aérea das plantas de alface.

## **Agradecimentos**

A Coordenação de aperfeiçoamento de Pessoal de nível Superior (CAPES) pelas bolsas concedidas.

## **Referências**

ALMEIDA T. B. F.; PRADO, R.M.; CORREIRA, M.A.R.; PUGA, A. P.; BARBOSA, J.C. Avaliação nutricional da alface cultivada em soluções nutritivas suprimidas de macronutrientes. *Biotemas*, v. 24, n. 2, p. 27-36, 2011.

ALVARENGA, M. A. R.; SILVA, E. C.; SOUZA, R. J. de; CARVALHO, J. G. de. Teores e acúmulos de macronutrientes em alface americana, em função da aplicação de nitrogênio no solo e de cálcio via foliar. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, p. 1569-1575, 2003.



- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728. 2014.
- ANDRIOLO, J. L.; JÄNISCH, D. S.; SCHMITT, O. J.; PICIO, M. D.; CARDOSO, F. L.; ERPEN, L. Doses de potássio e cálcio no crescimento da planta, na produção e na qualidade de frutas do morangueiro em cultivo sem solo. **Ciência Rural**, v. 40, n. 2, p. 267 - 272, 2010.
- ANDRIOLO, J.L.; ESPINDOLA, M.C.; STEFANELLO, M.O. Crescimento e desenvolvimento de plantas de alface provenientes de mudas com diferentes idades fisiológicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.1, p.35-40, 2003.
- AQUINO, L. A., PUIATTI, M.; ABAURRE, M. E. O.; CECON, P. R.; PEREIRA, P. R. G.; PEREIRA, F. H. F.; CASTRO, M. R. S. Produção de biomassa, acúmulo de nitrato, teores e exportação de macronutrientes da alface sob sombreamento. **Horticultura Brasileira, Brasília**, v. 25, n. 3, p. 381-386, 2007.
- BENINNI, E.R.Y.; TAKAHASHI, H.W.; NEVES, C.S.V.J.; FONSECA, I.C.B. Teor de nitrato em alface cultivada em sistemas hidropônico e convencional. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 2, p. 183-186, 2002.
- CEASA. Centrais de Abastecimento do Rio Grande do Sul S/A - **CEASA/RS**. Calendário de comercialização dos principais hortigranjeiros – 2009. Disponível em: <<http://www.ceasa.rs.gov.br> > Acesso em: 16 jan. 2018.
- COIMBRA, J. C.; BOTTEZINI, S. R.; MACHADO, C. P. 2013. Ostracoda (Crustacea) from the Archipelago of São Pedro and São Paulo, Equatorial Atlantic, with emphasis on a new Hemicytheridae genus. **Iheringia, Série Zoologia**, v. 103 n.3, p. 289-301, 2013.
- ELSER, J. J.; BRACKEN, M.E.; CLELAND, E. E.; GRUNER, D. S.; HARPOLE, W. S.; HILLEBRAND, H.; NGAI, J.T.; SEABLOOM, E. W.; SHURIN, J. B.; SMITH, J. E. Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. **Ecology Letters**, v.10, p.1135-1142, 2007.
- FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Macronutrient-Use Efficiency and Changes in Chemical Properties of an Oxisol as Influenced by Phosphorus Fertilization and Tropical Cover Crops, **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 35, p. 1227-1246, 2014.
- FELTRIN, A. L.; CECÍLIO FILHO, A. B.; REZENDE, B. L. A.; BRANCO, R. B. F. Produção de alface-crespa em solo e em hidroponia, no inverno e verão, em Jaboticabal - SP. **Científica, Jaboticabal**, v. 37, p. 9-15, 2009.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.
- FREITAS, J. C. O.; ALMEIDA, A. F.; IAGO, M. F.; SOUZA, M. M.; JUNIOR, J. O. S. Características morfofisiológicas de plantas clonais de *Passiflora alata* crescidas em diferentes doses de nitrogênio e níveis de sombreamento. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 3, p. 859-872, 2012.
- GRANGEIRO, L.C.; COSTA, K.R.; MEDEIROS, M.A.; SALVIANO, A.M.; NEGREIROS, M.Z.; BEZERRA NETO, F.; OLIVEIRA, S.L. Acúmulo de nutrientes por três cultivares de alface cultivadas em condições do Semiárido. **Horticultura Brasileira**, v.24, p. 190-194, 2006.

HARPOLE, W. S.; NGAI, J. T.; CLELAND, E. E.; SEABLOOM, E. W.; BORER, E. T.; BRACKEN, ME.; ELSER, J. J.; GRUNER, D. S.; HILLEBRAND, H.; SHURIN, J. B.; SMITH, J. E. Nutrient co-limitation of primary producer communities. **Ecology Letters**, v. 14, p. 852-862, 2011.

IEA, **Instituto de Economia Agrícola**. Banco de dados: Área cultivada e produção. Disponível em: < <http://www.iea.sp.gov.br/out/banco/menu.php>.> Acesso em: 03 abril de 2012.

KERBIRIOU, P.J.; STOMPH, T.J.; VAN DER PUTTEN, P.E.L.; LAMMERTS VAN BUEREN, E.T.; STRUIK P.C. Shoot growth, root growth and resource capture under limiting water and N supply for two cultivars of lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Plant Soil** v. 371, p.281-297, 2013.

LACERDA, J. J. J.; RESENDE, A. V.; NETO, A. E. F.; HICKMANN, C.; CONCEIÇÃO, O. P. Adubação, produtividade e rentabilidade da rotação entre soja e milho em solo com fertilidade construída. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 9, p. 769-778, 2015.

LUZ, G. L.; MEDEIROS, S.L.P.; MANFRON, P. A.; AMARAL, A.D.; MULLER, L.; TORRES, M.G.; MENTGES, L. A questão do nitrato em alface hidropônica e a saúde humana. **Ciência Rural**, v.38, n.8, 2008.

MANTOVANI, JR; FERREIRA, M.E; CRUZ, M.C.P. Produção de alface e acúmulo de nitrato em função da adubação nitrogenada. **Horticultura Brasileira**, 23: 758-762, 2005.

MARSCHENER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 2002. 889p.

NANNETTI, D.C. **Nitrogênio e potássio aplicados via fertirrigação na produção, nutrição e pós-colheita do pimentão**. 2001. 184p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PARDOSSI, A., CARMASSI, G., DIARA, C., INCROCCI, L., MAGGINI, R., MASSA, D. Fertilization and substrate management in closed soilless culture. **Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie**, 64p. 2011.

PRADO, R.M. **Nutrição de plantas**. São Paulo, Editora UNESP, 401 p., 2008.

RESENDE, G. M.; ALVARENGA, M, A. R.; YURI, J.E.; SOUZA, R, J. Rendimento e teores de macronutrientes em alface americana em função de doses de nitrogênio e molibdênio. **Horticultura Brasileira**, v.33, n.1, p. 153-163, 2012.

ROVER, SUÉLIN.; OLIVEIRA, J. L. BARCELOS.; NAGAOKA, M. P. T. Viabilidade econômica da implantação de sistema de cultivo de alface hidropônica. **Ciências Agroveterinárias**, v. 15, n. 3, p. 169-179, 2016.

SALA, F.C.; COSTA, C.P. Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, v.30, p.187-194, 2012.

SATTARI, S. Z.; VAN ITTERSUM, M, K.; BOUWMAN, A, F.; SMIT, A, L.; JANSSEN, B, H. Crop yield response to soil fertility and N, P, K inputs in different environments: Testing and improving the QUEFTS model. **Field Crops Research**, v.157, p.35-46, 2014.

SAVVAS, D.; GIANQUINTO, G.; TUZEL, Y.; GRUDA, N. Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops. Principles for mediterranean climate areas. **FAO-Plant production and protection paper**, n. 217, p. 303-354, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013, 820 p.

TEDESCO, M. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia. (Boletim Técnico de Solos, 5). 174p, 1995.

THORNLEY, J. H. M. Modelling shoot: root relations: the only way forward? **Annals of Botany**, n. 81, p. 167-171, 1998.

TRANI, P. E.; RAIJ, B. van. Hortaliças. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de são paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo/ Fundação IAC, 1997. p. 157-164. (Boletim técnico, 100).

## 5 DISCUSSÃO GERAL

Atualmente o cultivo de hortaliças em sistema sem solo vem aumentando no Brasil. No entanto, ainda há bastante dificuldades a serem enfrentadas com este tipo de sistema. Para a cultura da alface as recomendações que vêm sendo empregadas são de soluções com elevadas concentrações de nutrientes, com a justificativa que a redução das concentrações afetaria o crescimento e a qualidade dessa hortaliça, no entanto essas soluções são descartadas ao final de cada cultivo. O presente trabalho alerta para a necessidade de rever o manejo e descarte da solução nutritiva no cultivo da alface, com a possibilidade de empregar sistemas fechados com descarte zero de solução nutritiva. Existem na literatura resultados com o cultivo do morango em substrato onde foi aplicado o manejo sustentável, sendo possível realizar cultivos fechados, que se prolongam por períodos de até oito meses ou mais, com reposição e sem descarte da solução nutritiva (SCHMITT et al., 2016). No entanto, não foram encontrados na literatura, artigos científicos relacionados com a cultura da alface produzida nesse manejo sustentável.

Uma das alternativas a serem buscadas no cultivo dessa hortaliça em sistema sem solo é a utilização de equipamentos capazes de monitorar e ajustar a composição mineral das soluções nutritivas de acordo com a absorção pelas plantas. No entanto, esses equipamentos não são utilizados no Brasil, pois são equipamentos sofisticados e de custos elevados.

Os resultados do primeiro artigo indicaram as quantidades de P extraídas pelas plantas durante o período de crescimento da cultura para as diferentes épocas de cultivo. Essas quantidades foram confrontadas com aquelas fornecidas por cada uma das soluções nutritivas em cada um dos tratamentos desse experimento. Considerando a solução nutritiva na concentração de P de  $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$ , que foi aquela que induziu a concentração mais elevada de P nos tecidos na primavera, contida em um reservatório de 500 L, a máxima massa seca média das plantas foi de  $18,39 \text{ g planta}^{-1}$  e o teor médio de P acumulado foi de  $17,09 \text{ g kg}^{-1}$ . O reservatório supriu 44 plantas, as quais extraíram uma quantidade de P de 13,82 g. A quantidade de P existente no reservatório na concentração de  $1,5 \text{ mmol L}^{-1}$  foi de 23,227 g. Restaram ao final do cultivo 9,04 g de P no interior do reservatório na primavera. De acordo com os resultados

obtidos nos demais experimentos e épocas, pode-se observar que restaram no reservatório 17,95 g no inverno, 12,22 g no verão e 16,37 g no outono.

Para fins de manejo da solução nutritiva em sistema fechado e sem descarte na ausência de equipamentos de monitoramento e controle automáticos, os resultados indicam que nos cultivos de primavera o segundo cultivo com a mesma solução nutritiva poderia ser realizado com uma concentração de P reduzida a 50%. A concentração integral poderia ser empregada a cada dois cultivos. Nas outras épocas a adição de P na solução nutritiva não seria realizada no segundo cultivo e seria realizada integralmente no terceiro cultivo e assim sucessivamente. Com essa prática pode-se reduzir o risco de concentrações excessivas de P na solução reutilizada.

## 6 CONCLUSÕES

As concentrações de fósforo na solução nutritiva abaixo ou acima de 2,1 mmol L<sup>-1</sup> na primavera e no verão e de 2,37 mmol L<sup>-1</sup> no outono e no inverno reduzem o crescimento das plantas de alface em cultivo sem solo.

O máximo crescimento da parte aérea e acumulação de P nos tecidos ocorre com a concentração de 2,1 mmol L<sup>-1</sup> na solução nutritiva.

Não ocorrem interações da concentração de P e de N na solução nutritiva com redução na acumulação dos demais nutrientes.

A reposição do P na solução nutritiva em sistema fechado com reutilização da solução nutritiva na produção comercial da alface pode ser diferida entre os cultivos.

## REFERÊNCIAS

AGREN, G. I.; WETTERSTEDT, M.; BILLBERGE, M. F. Nutrient limitation on terrestrial plant growth – modeling the interaction between nitrogen and phosphorus. **New Phytologist**, v.194, p. 953–960, 2012.

ALMEIDA, T. B. F.; PRADO, R. M.; CORREIA, M. A. R.; PUGA, A.P.; BARBOSA, J. C. Avaliação nutricional da alface cultivada em soluções nutritivas suprimidas de macronutrientes. **Biotemas**, v. 24, n. 2, p. 27-36, 2011.

ANDRIOLO, J. L.; DA LUZ, G. L.; GIRALDI, C.; GODOI, R. S.; BARROS, G. T. Cultivo hidropônico da alface empregando substratos: uma alternativa a NFT. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 4, p. 794-798, 2004.

BATISTA, M. A. V.; VIEIRA, L. A.; SOUZA, J. P.; FREITAS, J. D. B.; BEZERRA NETO, F. Efeito de diferentes fontes de adubação sobre a produção de alface no município de Iguatu-CE. **Caatinga**, v. 25, n. 3, p. 8-11, 2012.

CEASA. Centrais de Abastecimento do Rio Grande do Sul S/A - **CEASA/RS**. Calendário de comercialização dos principais hortigranjeiros – 2009. Disponível em: < <http://www.ceasa.rs.gov.br> > Acesso em: 16 jan. 2017.

COIMBRA, J. C.; BOTTEZINI, S. R.; MACHADO, C. P. Ostracoda (Crustacea) from the Archipelago of São Pedro and São Paulo, Equatorial Atlantic, with emphasis on a new Hemicytheridae genus. **Iheringia, Série Zoologia**, v. 103, n.3, p. 289-301, 2013.

ELSER, J. J.; BRACKEN, M.E.; CLELAND, E. E.; GRUNER, D. S.; HARPOLE, W. S.; HILLEBRAND, H.; NGAI, J.T.; SEABLOOM, E. W.; SHURIN, J. B.; SMITH, J. E. Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. **Ecology Letters**, v.10, p.1135-1142, 2007.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Macronutrient-Use Efficiency and Changes in Chemical Properties of an Oxisol as Influenced by Phosphorus Fertilization and Tropical Cover Crops, **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 35, p. 1227-1246, 2014.

FERNANDES, A. A.; MARTINEZ, H. E. P.; PEREIRA, P. R. G.; FONSECA, C. M. M. Produtividade, acúmulo de nitrato e estado nutricional de cultivares de alface, em hidroponia, em função de fontes de nutrientes. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 2, p. 195-200, 2002.

FILGUEIRA, F. A. R. 2008. **Novo Manual de Olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: UFV. 421p.

FONSECA, A. S.; THOMAZINI, A.; BERTOSSI, A. P. A.; AMARAL, J. F. T. Análise de crescimento e absorção de fósforo em alface. **Nucleus**, v. 10, n. 2, p. 233-238, 2013.

GNIAZDOWSKA, A.; KRAWCZAK, A.; MIKULSKA, M. RYCHTER, A.M. Low phosphorus nutrition alters beans plants' ability to assimilate and translocate nitrate. **Journal of Plant Nutrition**, v. 22, p. 551–563, 1999.

GNIAZDOWSKA, A.; RYCHTER, A. M. Nitrate uptake by bean (*Phaseolus vulgaris* L.) roots under phosphate deficiency. **Plant Soil**, v. 226, p. 79-85, 2000.

GRANGEIRO, L. C.; COSTA, K. R.; MEDEIROS, M. A.; SALVIANO, A. M.; NEGREIROS, M. Z.; BEZERRA NETO, F.; OLIVEIRA, S. L. Acúmulo de

nutrientes por três cultivares de alface cultivadas em condições do Semiárido. **Horticultura Brasileira**, v. 24, p. 190-194, 2006.

GROOT, C. C., MARCELIS, L. F. M., VAN DEN BOOGAARD, R., KAISER, W. M. LAMBERS, H. Interaction of nitrogen on phosphorus nutrition in determining growth. **Plant Soil**, v. 248, p. 257-268, 2003.

HARPOLE, W. S.; NGAI, J. T.; CLELAND, E. E.; SEABLOOM, E. W.; BORER, E. T.; BRACKEN, ME.; ELSE, J. J.; GRUNER, D. S.; HILLEBRAND, H.; SHURIN, J. B.; SMITH, J. E. Nutrient co-limitation of primary producer communities. **Ecology Letters**, v. 14, p. 852-862, 2011.

HORTIBRASIL. 2013. **Alface em números**. Disponível em: <[http://www.hortibrasil.org.br/jnw/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1131:alface-em-numeros&catid=64:frutas-e-hortalicas-frescas&Itemid=82](http://www.hortibrasil.org.br/jnw/index.php?option=com_content&view=article&id=1131:alface-em-numeros&catid=64:frutas-e-hortalicas-frescas&Itemid=82)>. Acesso em: 10/02/2017.

IEA, **Instituto de Economia Agrícola**. Banco de dados: Área cultivada e produção. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/banco/menu.php>>. Acesso em: 03 abril de 2017.

KANO, C.; CARDOSO, A. I. I.; BOAS, R. L. V. Acúmulo de nutrientes e resposta da alface à adubação fosfatada. **Biotemas**, v. 25, n. 3, p. 39-47, 2012.

KERBIRIOU, P.; STOMPH, T.; PUTTEN, P.; LAMMERTS VAN BUEREN, E.; STRUIK, P. Shoot growth, root growth and resource capture under limiting water and N supply for two cultivars of lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Plant and Soil**, v. 371, p. 281-297, 2013.

LACERDA, J. J. J.; RESENDE, A. V.; NETO, A. E. F.; HICKMANN, C.; CONCEIÇÃO, O. P. Adubação, produtividade e rentabilidade da rotação entre soja e milho em solo com fertilidade construída. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 9, p. 769-778, 2015.

LANA, R. M. Q.; ZANÃO JUNIOR, L. A.; LUZ, J. M. Q.; SILVA, J. C. Produção de alface em função do uso de diferentes fontes de fósforo em solo de Cerrado. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 3, p. 525-528, 2004.

MARIANO, E.; OTTO, R.; MONTEZANO, Z. F.; Cantarella, H.; TRIVELIN, P. C. O. Soil nitrogen availability indices as predictors of sugarcane nitrogen requirements. **European Journal of agronomy**, v. 89, p. 25-37, 2017.

MOREIRA, M. A.; FONTES, P. C. R.; CAMARGOS, M. I. Interação zinco e fósforo em solução nutritiva influenciando o crescimento e a produtividade da alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 6, p. 903-909, 2001.

NANNETTI, D.C. **Nitrogênio e potássio aplicados via fertirrigação na produção, nutrição e pós-colheita do pimentão**. 2001. 184p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

PAULUS, D.; PAULUS, E.; NAVA, G. A.; MOURA, C. A.; Crescimento, consumo hídrico e composição mineral de alface cultivada em hidroponia com águas salinas. **Ceres**, Viçosa, v. 59, n. 1, p. 110-117, 2012.

PÔRTO, M. L. A.; ALVES, J. C.; SOUZA, A. P.; ARAÚJO, R. C.; ARRUDA, J. A.; TROMPSON JÚNIOR, U. A. Doses de nitrogênio no acúmulo de nitrato e na produção da alface em hidroponia. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 30 n. 3, p. 539-543, 2012.

RESENDE, G. M.; ALVARENGA, MAR.; YURI, J. E.; SOUZA, R. J. Rendimento e teores de macronutrientes em alface americana em função de doses de nitrogênio e molibdênio. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 3, p.373-378, 2012.

RICKMAN, R.W., KLEPPER, B.L. The phyllochron: where do we go in the future? **Crop Science**, n. 35, p.44-49, 1995.

ROVER, SUÉLIN.; OLIVEIRA, J. L. BARCELOS.; NAGAOKA, M. P. T. Viabilidade econômica da implantação de sistema de cultivo de alface hidropônica. **Ciências Agroveterinárias**, v. 15, n. 3, p. 169-179, 2016.

RUFTY, T. W., ISRAEL, D. W.; VOLK, R. J.; QIU, J.; AS, T. M. Phosphate regulation of nitrate assimilation in soybean. **Journal of Experimental Botany**, v. 44, p. 879- 891, 1993.

SALA, F. C.; COSTA, C. P. Retrospectiva e tendência da alfacecultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, v.30, p.187-194. 2012.

SANTI, A.; SCARAMUZZA, W. L. M. P.; NEUHAUS, A.; DALLACORT, R.; KRAUSE, W.; TIEPPO, R. C. Desempenho agrônômico de alface americana fertilizada com torta de filtro em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 2, p. 338- 343, 2013.

SATTARI, S. Z.; VAN ITTERSUM, M, K.; BOUWMAN, A, F.; SMIT, A, L.; JANSSEN, B, H. Crop yield response to soil fertility and N, P, K inputs in different environments: Testing and improving the QUEFTS model. **Field Crops Research**, v.157, p.35–46, 2014.

SAVVAS, D.; GIANQUINTO, G.; TUZEL, Y.; GRUDA, N. Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops. Principles for mediterranean climate areas. **FAO-Plant production and protection paper**, n. 217, p. 303-354, 2013.

SEGOVIA, J.F.O.; ANDRIOLO, J.L; BURIOL, G.A.; SCHNEIDER, F.M., Comparação do crescimento e desenvolvimento da alface (*Lactuca sativa* L.) no interior e no exterior de uma estufa de polietileno em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, v.27, n.1, p. 37-41, 1997.

SETIYONO, T. D., WALTERS, D. T., CASSMAN, K. G., WITT, C., DOBERMANN, A. Estimating maize nutrient uptake requirements. **Field Crops Research**, v. 118, p. 158-168, 2010.



SILVEIRA, P. D.; BRAZ, A. J. B. P.; KLIEMANN, H. J.; ZIMMERMANN, F. J. P. SILVEIRA, A. L.; NETO, A. P.; OLIVEIRA, A. R. C.; SOUZA, L. N.; OLIVEIRA CHARLO, H. C. Doses de fósforo para a produção de alface americana com e sem aplicação foliar de zinco. **Biotemas**, v. 28, n. 1, p. 31-35, 2015.

SIMPSON, R. J., OBERSON, A., CULVENOR, R. A., RYAN, M. H., VENEKLAAS, E. J., LAMBERS, H., LYNCH, J. P., RYAN, P. R., DELHAIZE, E., SMITH, F. A., SMITH, S. E., HARVEY, P. R., RICHARDSON, A. E., Strategies and agronomic interventions to improve the phosphorus-use efficiency of farming systems. **Plant Soil**, v. 349, p. 89-120, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artemed. 719p. 2013.