

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

Francieli Lima Cardoso

**NITROGÊNIO E ÁGUA NO CRESCIMENTO DE CULTIVARES DE  
ALFACE**

Santa Maria, RS, Brasil  
2016

**Francieli Lima Cardoso**

**NITROGÊNIO E ÁGUA NO CRESCIMENTO DE CULTIVARES DE ALFACE**

Tese apresentada ao Curso 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 grau de **Doutora em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Jerônimo L. Andriolo

Santa Maria, RS, Brasil  
2016

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Lima Cardoso, Francieli  
Nitrogênio e água no crescimento de cultivares de  
alface / Francieli Lima Cardoso.-2016.  
73 p.; 30cm

Orientador: Jerônimo Luiz Andriolo  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-  
Graduação em Agronomia, RS, 2016

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

---

© 2016

Todos os direitos autorais reservados a Francieli Lima Cardoso. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: R. João Franciscatto, nº 548, Bairro São José, Santa Maria, RS. CEP 97095-745

Endereço eletrônico: franci-lc@hotmail.com

**Francieli Lima Cardoso**

**NITROGÊNIO E ÁGUA NO CRESCIMENTO DE CULTIVARES DE ALFACE**

Tese apresentada ao Curso 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 grau de **Doutora em Agronomia**.

**Aprovado em 11 de março de 2016:**

---

**Jerônimo Luiz Andriolo; Dr (UFSM)**  
(Presidente/orientador)

---

**Denise Schmidt; Dra (UFSM)**

---

**Leandro Souza da Silva; Dr (UFSM)**

---

**Pedro Alexandre Varella Escosteguy; PhD (UPF)**

---

**Roberta Marins Nogueira Peil; Dra (UFPEL)**

**Santa Maria, RS**  
**2016**

## DEDICATÓRIA

“Aos meus grandes incentivadores,  
Pai, Mãe, Irmã e Marido...  
dedico.”

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço 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 pais, Francisco e Rosa Eli, e a minha irmã Andreza, pela vida, pela educação, pela amizade, pelo apoio em momentos difíceis e por tudo que sou.

Ao meu companheiro e amado marido Elenio, pela compreensão, incentivo, ajuda e amor, me transmitindo durante toda esta jornada e durante todos os dias de nossa união.

Ao meu orientador Prof. Dr. Jerônimo Luiz Andriolo, pelos ensinamentos, pelas conversas informais, amizade e confiança a mim conferida durante minha vida acadêmica.

Agradeço a Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós Graduação em Agronomia, pela formação que me proporcionou, bem como ao CNPq, pelo auxílio financeiro através da bolsa de doutorado.

Aos amigos e colegas do Grupo de Pesquisa pela ajuda nas tarefas e amizade.

Às colegas de doutorado Ritieli, Elizandra e Bruna, pela amizade, pelas nossas conversas semanais, onde compartilhamos nossas preocupações e anseios durante esta fase de nossas vidas.

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

Muito obrigada!

## RESUMO

### NITROGÊNIO E ÁGUA NO CRESCIMENTO DE CULTIVARES DE ALFACE

AUTORA: Francieli Lima Cardoso  
ORIENTADOR: Jerônimo Luiz Andriolo

O objetivo deste trabalho foi determinar relações entre a disponibilidade de nitrogênio (N) e água no crescimento de plantas de alface. Foram realizados experimentos em três etapas entre os anos de 2013 e 2015. Na primeira etapa foram realizados experimentos em dois períodos de cultivo, respectivamente no outono-inverno e primavera de 2013, para determinar o crescimento, desenvolvimento e acumulação de N em plantas das cultivares Stella e Veneranda fertirrigadas com concentrações de N na solução nutritiva de 5,72; 7,72; 9,72; 11,72 e 13,72 mmol L<sup>-1</sup>. Os resultados mostraram que a prática corrente de utilizar altas taxas de fertilizantes nitrogenados para maximizar o crescimento de plantas de alface tem de ser adaptada para as cultivares e épocas de cultivo. A segunda etapa foi constituída por dois experimentos conduzidos no interior de um abrigo em 2013 e no campo em 2014. No abrigo foram comparadas cinco concentrações de N na solução nutritiva (5,72; 7,72; 9,72; 11,72 e 13,72 mmol L<sup>-1</sup>) e duas cultivares (Stella e Veneranda) em duas épocas de cultivo. No campo foi feito o experimento de calibração com a cultivar Stella e quantidades de N na adubação estimadas por relações entre o crescimento da parte aérea e a acumulação de nitrogênio dos experimentos no abrigo. Determinaram-se relações entre a acumulação de N e o crescimento vegetativo da planta, a fim de ajustar a oferta de nitrogênio pela adubação com a demanda da planta. Foi elaborada uma tabela de parcelamento da adubação nitrogenada com base no número de folhas em duas épocas do ano. Concluiu-se que as relações entre o crescimento, o desenvolvimento e a acumulação de N podem ser empregadas para realizar o manejo parcelado da adubação durante o período de crescimento da alface. Na terceira etapa foram conduzidos dois experimentos, entre 13 de janeiro a quatro de fevereiro, no verão, e de 24 de abril a cinco de junho de 2015, no outono. Determinou-se o efeito do volume de substrato, da concentração de N e do método de fertirrigação no crescimento da alface. Os tratamentos foram dois tamanhos de vasos: 1,7 e 0,41 dm<sup>3</sup>; dois métodos de fertirrigação: gotejamento e subirrigação; e duas concentrações de N na solução nutritiva: 6,23 e 10,23 mmol L<sup>-1</sup>. A distribuição de água nas secções superior, central e inferior dos vasos grandes diferiu em ambos os métodos de fertirrigação. No verão um maior crescimento das plantas foi observado nas plantas com gotejamento. A concentração de N afetou o crescimento das raízes nos vasos pequenos, sendo menor o crescimento na concentração maior de N. Os resultados evidenciaram que a alta concentração de N aliada a um volume pequeno de meio radicular reduz o crescimento da parte aérea da planta. Concluiu-se que o manejo da adubação nitrogenada deve levar em conta a extração do nutriente pela planta durante seu crescimento e desenvolvimento, volumes de meio radicular adequados ao crescimento das raízes com distribuição uniforme da água e do nutriente.

**Palavras-chave:** *Lactuca sativa* L. Nutrição mineral. Adubação.

## ABSTRACT

### NITROGEN AND WATER AVAILABILITIES ON GROWTH OF LETTUCE CULTIVARS

AUTORA: FRANCIELI LIMA CARDOSO  
ORIENTADOR: JERÔNIMO LUIZ ANDRIOLO

The goal of this research was to determine relationships between nitrogen (N) and water availabilities and growth of lettuce plants. In the first chapter, experiments were conducted in autumn-winter and spring-summer 2013 to determine growth, development and N accumulation in plants of cv. Stella and Veneranda grown under N concentrations of 5.72; 7.72; 9.72; 11.72 and 13.72 mmol L<sup>-1</sup>. Results showed that the current practice of using high nitrogen fertilization rates to maximize growth of lettuce plants has to be adapted to cultivars and growing periods. The second chapter was composed by two experiments inside a polyethylene greenhouse in 2013 and a third calibration experiment in the field conducted in 2014. In the greenhouse, cv. Stella and Veneranda plants were supplied with nutrient solutions at N concentrations of 5.72; 7.72; 9.72; 11.72 and 13.72 mmol L<sup>-1</sup> in two growing periods. Relationships between the nitrogen accumulation and vegetative growth of plants were fitted, in order to adjust nitrogen fertilization to demand by plants. The field calibration experiment used the Stella cultivar and N fertilization estimated by those relationships. A nitrogen fertilization schedule was outlined based on the number of leaves for two growing periods. It was concluded that relationships among growth, development and nitrogen accumulation can be used for splitting nitrogen fertilization during growth of lettuce crops. In the third chapter, experiments were conducted from January 13 to February 4 in summer and from April 24 to June 5, 2015, in autumn, to search for relationships among substrate volume, N concentration and fertigation method on growth of lettuce plants. Treatments were two pot sizes, 1.7 (big) and 0.41 dm<sup>3</sup> (small), two methods of fertigation, drip and subirrigation, and two concentrations of N in the nutrient solution, 6.23 and 10.23 mmol L<sup>-1</sup>. The water distribution in the top, middle and bottom section of big pots differed in both fertigation methods. In summer higher growth of plants was recorded on drip fertigated plants. The N concentration affected root growth in small pots, being lower on plants supplied with the higher N concentration. Results showed that high N concentration in a small volume of rooting medium reduces shoot growth. It was concluded that the management of nitrogen fertilization should take into account the extraction of the nutrient during the plant growth and development period, suitable volume of root medium and uniform distribution of water and nutrients.

**Keyword:** *Lactuca sativa* L. Mineral nutrition. Fertilization.

## LISTA DE TABELAS

### Artigo 2

Tabela 1 – Quantidade de fertilizantes, em  $\text{mg L}^{-1}$ , utilizados nas soluções nutritivas nos experimentos no interior do abrigo. Santa Maria, UFSM, 2014. .... 45

Tabela 2 – Recomendação de quantidades de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) a serem fornecidas no plantio e em cobertura em função do número de folhas (NF) das plantas para o cultivo de alface das cultivares Veneranda e Stella, em duas épocas de cultivo. Santa Maria, UFSM, 2014 ..... 49

### Artigo 3

Tabela 1 – Massa seca total de raízes (MSR total) e distribuição de massa seca de raízes no perfil de vasos com volume de  $1,7 \text{ dm}^3$  (grande) e  $0,415 \text{ dm}^3$  (pequeno) no verão e no outono-inverno (Outono), e fertirrigadas por gotejamento ou subirrigação com concentrações de 6,23 ou 10,23  $\text{mmol L}^{-1}$  de nitrogênio na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2015..... 66

Tabela 2 – Massa fresca de parte aérea (MFPA), massa seca de raízes (MSR) e massa seca de parte aérea (MSPA) de plantas de alface da cultivar Veneranda, cultivadas no verão e no outono-inverno (Outono), dois volumes de vasos e fertirrigadas por gotejamento ou subirrigação com concentrações de 6,23 ou 10,23  $\text{mmol L}^{-1}$  de nitrogênio na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2015..... 67

Tabela 3 – Nitrogênio acumulado nos tecidos de folhas (N\_Folha) e raízes (N\_RAIZ) de plantas de alface cv. Veneranda, cultivadas no verão e no outono-inverno (Outono), em dois volumes de vasos e fertirrigadas por gotejamento ou subirrigação com concentrações de 6,23 ou 10,23  $\text{mmol L}^{-1}$  de nitrogênio na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2015..... 68

## LISTA DE FIGURAS

### Artigo 1

- Figura 1 – Average Leaf fresh (A) mass of cv. Stella and Veneranda in autumn-winter and spring, dry (B) mass of cv. Veneranda in autumn-winter, average total dry (C) mass and relative growth rate (RGR) (D) of cv. Stella and Veneranda in autumn-winter and in spring, grown under nitrogen concentrations from 5.72 to 13.72 mmol L<sup>-1</sup> in the nutrient solution. Santa Maria, UFSM, 2013. ....25
- Figura 2 – Stem dry mass of lettuce plants cv.Veneranda grown in autumn-winter (autumn) and spring (A) and average shoot:root ratio (B) of cv. Stella and Veneranda in autumn-winter and in spring, grown under nitrogen concentrations from 5.72 to 13.72 mmol L<sup>-1</sup> in the nutrient solution. Santa Maria, UFSM, 2013. ....26
- Figura 3 – Nitrogen concentrations in stem of cv. Veneranda (A) and Stella (B), average N concentration in leaves of both cultivars (C) grown in autumn-winter (autumn) and spring under nitrogen concentrations from 5.72 to 13.72 mmol L<sup>-1</sup> in the nutrient solution. Santa Maria, UFSM, 2013. ....27
- Figura 4 – Average water content in autumn-winter (autumn) and spring (A) of lettuce plants cv Stella and Veneranda; average leaf fresh mass at harvest and at fifteen days before harvest (DBH) (B) of cv. Stella and Veneranda in autumn-winter and in spring, grown under nitrogen concentrations from 5.72 to 13.72 mmol L<sup>-1</sup>. Santa Maria, UFSM, 2013. ....28

### Artigo 2

- Figura 1- Média da massa seca de parte aérea (MSPA) de plantas de alface cv. Stella e Veneranda na época de outono-inverno, fertirrigadas com solução nutritivas, cuja a concentração de N variou de 5,72 e 13,72 mmolL<sup>-1</sup>. Santa Maria, UFSM, 2013. ....45
- Figura 2 – Nitrogênio total acumulado nos tecidos das plantas de alface cv. Stella e Veneranda, no outono-inverno (A) e na primavera (B), fertirrigadas com 5,72 a 13,72 mmol L<sup>-1</sup> de nitrogênio na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2013. ....46
- Figura 3 – Relação da média da massa seca de parte aérea e da média de nitrogênio total acumulado nos tecidos das plantas de alface, cv. Stella (A) e Veneranda (B), no outono-inverno e na primavera. Santa Maria, UFSM, 2013. ....47

Figura 4 – Relação entre o máximo crescimento em cada coleta e o nitrogênio total acumulados nos tecidos das plantas de alface cv. Stella e Veneranda, no outono-inverno (A) e na primavera (B). Santa Maria, UFSM, 2013.....48

Figura 5 – Massa seca de parte aérea (MSPA) (A) e nitrogênio total acumulado nos tecidos das folhas (B) das plantas de alface cv. Stella no outono-inverno, cultivadas à campo com doses de zero a 98 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio na fertirrigação. Santa Maria, UFSM, 2014. ....50

### **Artigo 3**

Figura 1 – Volume de água retido e distribuição de água ao longo do perfil dos vasos de 1,7 dm<sup>3</sup> (grande) em dois métodos de irrigação. Santa Maria, UFSM 2015..... 64

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2.</b>	<b>ARTIGO 1 – REDUCING NITROGEN FERTILIZATION RATES IN THE PRODUCTION OF LETTUCE CROP .....</b>	<b>15</b>
2.1	INTRODUCTION .....	17
2.2	MATERIAL AND METHODS .....	18
2.3	RESULTS AND DISCUSSION .....	1920
2.4	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	23
<b>3</b>	<b>ARTIGO 2 – MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA DA ALFACE COM BASE NO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA PLANTA.....</b>	<b>29</b>
3.1	INTRODUÇÃO .....	31
3.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	32
3.3	RESULTADOS .....	36
3.4	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	42
<b>4</b>	<b>ARTIGO 3 – CRESCIMENTO DA ALFACE SOB RESTRIÇÕES NA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA E NITROGÊNIO .....</b>	<b>51</b>
4.1	INTRODUÇÃO .....	54
4.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	55
4.3	RESULTADOS .....	58
4.4	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	63
<b>5</b>	<b>DISCUSSÃO .....</b>	<b>69</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>71</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>72</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A produção de hortaliças no Brasil é realizada, em sua maioria, por propriedades familiares. Dentre as hortaliças folhosas, a de maior expressividade é a alface, ocupando 35 mil ha de área cultivada no Brasil (COSTA; SALA, 2005; SALA; COSTA, 2012).

Para o cultivo de hortaliças, o método de preparo do solo mais empregado no Brasil é o encanteiramento. Com esse método, a adubação e a irrigação são realizadas em uma camada superficial de aproximadamente 0,20 m confeccionada previamente para a implantação da cultura. Em alguns casos, o uso de cobertura do solo com polietileno (mulching) é empregado com o objetivo de reduzir ou evitar a erosão superficial e a lixiviação de nutrientes, bem como promover uma maior retenção de água. Nesse caso, a água e os nutrientes são fornecidos por fertirrigação através do gotejamento na superfície do solo (BOGIANI et al., 2008; KLAR et al, 2002; MEDEIROS et al., 2007; MONTEIRO et al., 2008;).

A literatura descreve que o crescimento de raízes ocorre em resposta ao balanço entre as concentrações de carbono e nutrientes na planta, especialmente nitrogênio (AËGREN; FRANKLIN, 2003; THORNLEY, 1998). Entretanto, esses resultados foram obtidos em plantas jovens e sob condições controladas. Em plantas cultivadas para fins agrônômicos, em condições de lavoura, o crescimento das raízes sofre também a influência da disponibilidade de água (SILVA et al., 2008). Dessa forma o preparo do solo pode afetar o aporte de água bem como os processos de absorção de água e nutrientes. Adicionalmente, o emprego de doses elevadas de fertilizantes, como vem sendo praticado no cultivo da alface, pode resultar no aumento da razão parte aérea/ raiz, limitando a absorção de água pelas plantas e aumentando a suscetibilidade a situações de seca (AGRËN; FRANKLIN, 2003; CARDOSO et al. 2015; FURLANI; PURQUERIO, 2010; SOARES et al., 2007; THORNLEY, 1998).

Os resultados obtidos por Cardoso et al. (2015) sugerem que altas doses de nitrogênio podem não ter o efeito esperado no crescimento das plantas de alface devido a limitações no crescimento das raízes. De forma semelhante, tem sido relatado que altas taxas de adubação podem resultar em um baixo crescimento das plantas, devido à alta condutividade elétrica da solução do solo e a salinização que dificultam a absorção de água pelas raízes. (FURLANI; PURQUERIO, 2010;

SOARES et al., 2007; WILLANDINO; CAMARA, 2010). O efeito da salinidade pode ser agravado com volumes menores de água disponíveis para a planta. Tem sido sugerido que a interação entre o teor de água no entorno das raízes e as concentrações de N pode ser a resposta para explicar a dinâmica do crescimento das raízes e suas relações com o crescimento da parte aérea das plantas (SILVA et al. 2008; KERBIRIOU et al., 2013).

O objetivo geral deste trabalho foi determinar relações entre a disponibilidade de nitrogênio e de água no crescimento de planta de alface.

Os objetivos específicos foram determinar:

- o crescimento das plantas, o desenvolvimento e a absorção de nitrogênio de duas cultivares de alface cultivadas com diferentes disponibilidades de nitrogênio em duas épocas;
- relações entre a absorção de nitrogênio e o crescimento vegetativo de plantas de alface a fim de inferir critérios fisiológicos de manejo da adubação nitrogenada;
- relações entre o crescimento, as concentrações de nitrogênio na solução nutritiva e o volume de substrato.

## 2. ARTIGO 1 – Nitrogen fertilization on lettuce crop production <sup>1</sup>

### Adubação nitrogenada sobre a produção de alface

Francieli Lima Cardoso\*; Jerônimo Luiz Andriolo

**Abstract** - The goal of this research was to determine plant growth, development and nitrogen uptake of lettuce grown in different availabilities of nitrogen and different cropping periods. Two experiments were conducted in autumn-winter from May, 6 to July, 11, and in spring from October, 28 to December, 12, 2013, at Departamento de Fitotecnia, UFSM, in a closed soilless growing system. Treatments were two cropping periods, five nitrogen concentrations in the nutrient solution and two lettuce cultivars (Stella and Veneranda) in a factorial (2 x 5 x 2) randomized experimental design, nutrient solutions in plots and cultivars in split-plot. Nitrogen concentrations were 5.72; 7.72; 9.72; 11.72; e 13.72. The nitrogen concentration in the nutrient solution increased linearly the leaves fresh mass (LFM) of both cultivars in the two growing seasons, without significant interactions among factors. While LFM was affected by nitrogen in the nutrient solution, only Veneranda plants leaves dry mass (LDM) was affected in autumn-winter. Nitrogen accumulation in tissues was linearly increased by the nitrogen concentration in the nutrient solution. Nitrogen stimulated growth by increasing the plant water content and changing partitioning of dry mass from roots to shoot. Results showed that the current practice of using high nitrogen fertilization rates to maximize growth of lettuce plants has to be adapted to cultivars and seasons.

**Keywords:** *Lactuca sativa*, Shoots:roots ratio; nitrogen

---

<sup>1</sup> Artigo submetido à revista Scientia Agricola e formatado conforme as normas da mesma.

\* Universidade Federal de Santa Maria, Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais. Av. Roraima, nº 1000, Campus Universitário, Bairro Camobi, CEP 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil. franci-lc@hotmail.com; jeronimoandriolo@gmail.com

**Resumo** - O objetivo desta pesquisa foi determinar o crescimento das plantas, o desenvolvimento e a absorção de nitrogênio em alface cultivada em diferentes disponibilidades de nitrogênio e diferentes épocas de cultivo. Os experimentos foram conduzidos no outono-inverno, de 06 de maio a 11 de julho, e na primavera, de 28 de outubro a 12 de dezembro de 2013, no Departamento de Fitotecnia da UFSM, em um sistema de cultivo sem solo fechado. Os tratamentos foram dois períodos de cultivo, cinco concentrações de nitrogênio na solução nutritiva e duas cultivares de alface (Stella e Veneranda) em esquema fatorial (2 x 5 x 2) em delineamento experimental inteiramente casualizado, estando as soluções de nutrientes nas parcelas e cultivares em sub-parcelas. As concentrações de nitrogênio foram 5,72; 7,72; 9,72; 11,72; e 13,72 mmol L<sup>-1</sup>. O aumento das concentrações de nitrogênio na solução nutritiva aumentou linearmente a massa fresca de folha (MFF) em ambas as cultivares e épocas de cultivo, sem interações significativas entre os fatores. Enquanto MFF foi afetada pelo nitrogênio na solução nutritiva, a massa seca de folhas (MSF) foi afetada somente em plantas da cv. Veneranda no outono-inverno. Acúmulo de nitrogênio nos tecidos foi linearmente aumentado pela concentração de nitrogênio na solução nutritiva. O Nitrogênio estimulou o crescimento através do aumento do teor de água da planta e da mudança da partição de massa seca de raízes para a parte aérea. Os resultados mostraram que a prática corrente de utilizar altas taxas de fertilizantes nitrogenados para maximizar o crescimento de plantas de alface tem de ser adaptada para as cultivares e épocas de cultivo.

Palavras-chave: *Lactuca sativa*; Relação parte aérea e raízes; Nitrogênio.

## 2.1 INTRODUCTION

It has been reported in the literature that high nitrogen fertilization rates have to be used to maximize yield and quality of lettuce crop (Silva et al. 2008; Mantovani et al. 2005, Resende et al. 2012). In Southern Brazil, six to eight cropping periods can be done in the field during the year and the crop specific nitrogen fertilization rate has been from 30 to 130 Kg ha<sup>-1</sup> (Trani et al., 2014; Filgueira, 2008). As a consequence, the amount of nitrogen supplied by growers can reach 1,040 kg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. The yearly average rainfall regime in this region is 1,720 mm (Alvares et al., 2014) and a great proportion of supplied nitrogen can be leached. In NFT facilities, nitrogen concentrations in the nutrient solution have been higher than 14 mmol L<sup>-1</sup> (Castelane and Araujo, 1995; Furlani, 1997, 1999) and it is discharged in the environment at the end of each cropping period. This is a harmful practice than can lead to nitrate leaching and water pollution.

Plant growth and dry mass partitioning between shoot and roots has been described as a function of nitrogen and carbon concentrations in both plant compartments (Greci et al. 2007; Nunes-Nei et al. 2010). At low nitrogen availability in the root medium, carbon is allocated preferentially to roots to stimulate its growth, and shoot growth is reduced or delayed (Seginer et al., 2004). It has been reported that high nitrogen availability increases the shoot:root ratio by simultaneously stimulating leaf growth and reducing root growth (Soares et al., 2007). It can be an advantage in lettuce crop production, leading to earlier and bigger plants. Nevertheless, a small root system keeps plants more susceptible to variations in water availability in the root medium, especially in soil grown field crops. In this production system, planting is done in the upper soil layer of 0.15 m-0.20m of raised beds made up by rotary cultivators while in the NFT system roots grow inside channels. In both systems, nitrogen is supplied near roots either by fertilization or by the nutrient solution. It is not clear in the literature if a bigger and spread rooting system can compensate lower nitrogen

availability. Results of Kerbiriou et al. (2013), reported different morphological and physiological responses in lettuce plants grown in a resource-limited environment by drought or nitrate shortage. Thus, it can be hypothesized that plants grown at low nitrogen availability can reach similar yield to those at high availabilities, provided crop managing practices should be adapted.

The goal of this research was to determine plant growth, development and nitrogen uptake of two lettuce cultivars grown at different nitrogen availabilities and two cropping seasons.

## 2.2 MATERIAL AND METHODS

Two experiments were conducted from May, 6 to July, 11 in autumn-winter and from October, 28 to December, 12, 2013, in spring-summer, inside a polyethylene greenhouse at Departamento de Fitotecnia, UFSM. The climate of this location is subtropical wet, “Cfa” formula according to the Köppen system (Alvares et al., 2014). Daily global solar radiation and air temperature inside the greenhouse were recorded. Daily cumulated global solar radiation inside the greenhouse during experimental periods was 536.32 MJ m<sup>-2</sup> in autumn-winter and 825.13 MJ m<sup>-2</sup> in spring and average air temperature was 14.75°C and 21.54 °C, respectively.

Plants were grown in 3 dm<sup>3</sup> pots filled with sand, 0.00-0.03 m gauge, 1.6 kg dm<sup>-3</sup> bulk density and 0.243 L dm<sup>-3</sup> maximum water retention capacity. Pots were placed 0.30m apart in lines and 0.20m between lines, over 0.80m height benches. Water and nutrients were supplied by drip fertigation five times a day for 15 min, at a dripper flow rate of 1.3 L h<sup>-1</sup>. Fertigation scheduling was determined considering the lettuce diurnal potential transpiration of 500 mm day<sup>-1</sup> (Gallardo et al. 1996, Nunes et al., 2009), solar radiation and estimated leaf area growth,

As mudas foram produzidas em bandejas de polipropileno com 200 células e o plantio feito na fase de cinco folhas definitivas. O espaçamento entre plantas foi de 0,30m na fileira e 0,30m entre plantas, na densidade de 11 plantas m<sup>-2</sup>.

As quantidades de nitrogênio a serem fornecidas foram a partir das quantidades extraídas estimadas pelas relações entre o crescimento da parte aérea e a acumulação de nitrogênio anteriormente ajustadas durante o período de crescimento e desenvolvimento das plantas no outono-inverno do ano anterior. A testemunha foi a quantidade de N extraída por planta e ajustada para o número de plantas existente na parcela, igual a 7,77 g m<sup>-2</sup>. Os demais tratamentos foram as doses de zero, 1,61; 3,66; 5,72; 7,77 e 9,83 g m<sup>-2</sup>. Foi empregado o delineamento experimental de blocos ao acaso, em canteiros com quatro fileiras de plantas, sendo as duas fileiras centrais consideradas como área útil. Cada parcela foi formada por um canteiro, com quatro repetições e 40 plantas por parcela.

A adubação nitrogenada foi fracionada segundo o desenvolvimento da planta, a partir da relação ajustada anteriormente entre o crescimento da planta e o número de folhas (Tabela 2). As quantidades totais de N fornecidas por fertirrigação em cada tratamento foram parceladas de acordo com a extração estimada pela tabela na proporção de 32,23%, 22,59% e 45,18% do total absorvido durante o ciclo, o que coincidiu quando as plantas apresentaram 10, 20 e 30 folhas, respectivamente, empregando uréia (45% de N). A colheita foi feita ao serem observados os primeiros sinais de senescência nas folhas velhas plenamente desenvolvidas.

No dia 14 de agosto de 2014, aos 92 DAP foram coletadas cinco plantas por parcela, totalizando 20 plantas por tratamento, para determinar o número de folhas (NF), massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa seca da parte aérea (MSPA), após secagem em estufa a 60°C até massa constante. A massa seca das plantas foi moída e a conteúdo de nitrogênio nos tecidos determinado pelo método de Kjeldahl. Os dados foram submetidos a ANOVA utilizando o software Statistics®. 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.

### 3.3 RESULTADOS

No outono-inverno houve efeito da concentração de nitrogênio na solução nutritiva no crescimento da massa seca da parte aérea das duas cultivares (Figura

with a drainage coefficient of 30% (Pardossi et al., 2011). Nutrient solutions were prepared in 300L fiberglass tanks and supplied to plants in a closed system by submersible pumps and drip tubings.

Treatments were two cropping periods, five nitrogen concentrations in the nutrient solution, and two lettuce cultivars in a factorial (2 x 5 x 2) randomized experimental design, nutrient solutions in plots and cultivars in sub-plots, with eleven plants per sub-plot. Nitrogen concentrations (C1) 5.72 (4.36 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> / 1.36 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>); (C2) 7.72 (6.36 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> / 1.36 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>); (C3) 9.72 (7.86 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> / 1.86 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>); (C4) 11.72 (9.36 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> / 2.36 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>); e (C5) 13.72 (10.36 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> / 3.36 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). Concentrations of macronutrients were, in mmol L<sup>-1</sup>, 4.0 K<sup>+</sup>; 1.0 H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>; 2.0 Ca<sup>+2</sup>, 1.0 SO<sub>4</sub><sup>+2</sup>, 1.0 Mg<sup>+2</sup> mmol L<sup>-1</sup> and of micronutrients were, in mg L<sup>-1</sup>, 0.03 Mo; 0.26 B; 0.06 Cu; 0.50 Mn; 0.22 Zn and 1.0 Fe. The electrical conductivities (EC) were 0.92; 1.02; 1.12; 1.30 and 1.36 dS m<sup>-1</sup>, respectively, and were maintained by additions of water or aliquots of new nutrient solution at concentrations calculated to bring the EC to desired values, whenever necessary. The pH was in the range between 5.5 and 6.5, by addition of CaOH or H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1mol L<sup>-1</sup> aliquots whenever necessary.

Cultivars were Stella, of the butterhead type, and Veneranda, of the crisphead type. Transplants were produced in 200 cell trays with commercial substrate Golden Mix® and planted at the five-leaves stage, one plant per pot in a plant density of 11 plants m<sup>-2</sup>. Crops were made every two weeks in winter and weekly in the spring, totaling five crops. Experiments were ended at beginning senescence on older expanded leaves. Four plants of each treatment were harvested, number of leaves (NL), fresh (FML) and total dry mass (TDM) dry mass of leaves (DML), stem (DMS) and roots (DMR) were determined after drying at 60°C until constant mass between successive weighing was recorded. Dry tissues were grounded and tissue nitrogen concentration determined by the Kjeldahl method. Data were submitted to variance analysis using the Statistica Software®, at 5% probability (F-test).

The significance of differences among discrete variables means was determined by the Tukey's test at 5% probability and the quantitative ones by polynomial regression.

### 2.3 RESULTS AND DISCUSSION

All variables showed significant interactions between growing periods and cultivars. Dry mass of leaves (DML), stem (DMS) and stem nitrogen concentration (SNC) showed interactions among growing periods, cultivars and nitrogen concentration in the nutrient solution.

The nitrogen concentration in the nutrient solution increased linearly the fresh mass leaf (FML) on both cultivars and seasons (Figure 1A). While LFM was affected by nitrogen in the nutrient solution, the leaf dry mass (LDM) was affected only on Veneranda plants in autumn-winter (Figure 1B). Significant differences were not recorded between seasons and among nitrogen concentrations in the nutrient solution on Stella plants on both seasons and on Veneranda plants in spring. The nitrogen concentration in the nutrient solution was increased 240% between C1 and C5, but FML and TDM (Figure 1C) was enhanced only 29% and 14%, respectively, in average. In these plants, differences in leaf fresh mass were from the plant water content, not from nitrogen. It has been previously reported in the literature that increasing solar radiation enhances photosynthesis which in turn increases nitrogen uptake and assimilation by plants (Jin et al., 2015). It was not so in spring, suggesting that plants at the lowest nitrogen concentration in the nutrient solution had enough nitrogen available to sustain its growth and the amount of solar radiation received by plants reached saturation. In autumn-winter, the amount of solar radiation was higher in the beginning of the cropping period and decreased thereafter. In this case, high nitrogen availability might increase the plant photosynthetic efficiency. This hypothesis is supported by data of relative growth rate (RGR) (Figure 1D), which increases on plants grown in autumn-winter at different nitrogen

concentrations in the nutrient solution. Nevertheless, this effect was weak, a polynomial tendency was fitted and plants grown in this season did not reach similar growth of those grown in spring.

Three-way interactions were recorded on stem dry mass (SDM) of plants. The Stella cultivar did not differ significantly by effect of nitrogen concentration in the nutrient solution in both seasons, and averages were 1.08 g plant<sup>-1</sup> in autumn-winter and 2.35 g plant<sup>-1</sup> in spring. Nevertheless, on Veneranda plants the SDM increased linearly 74% in autumn-winter between the lowest and the highest nitrogen concentration in the nutrient solution (Figure 2A). In spring, it decreases linearly 43%. In spite of the opposite tendencies between seasons, stem growth was higher in spring. It increases 9.6 times at the lowest and 3.81 times at the highest nitrogen concentration in the nutrient solution. Such behavior highlights the environmental influence on lettuce plant growth. In autumn-winter solar radiation and temperature decreased during the plant growing period, while in spring both variables increased. Temperature is the main factor determining bolting in lettuce plants (Lopes et al., 2011). In the first case, nitrogen availability can stimulate stem growth while temperature is not in the range more favorable for bolting. In spring, temperature being favorable for it, nitrogen availability might act as a stressing factor, stimulating bolting at low nitrogen availability. In fact, it has been argued in the literature that nitrogen availability can act as a regulator, because plants have to face with environmental changes and take decisions between using nitrogen for synthesis of stress-induced compounds or for growth (Le Bot et al., 2009). Present data on lettuce plants seems to confirm such theoretical approach.

The shoot:root ratio was affected similarly by nitrogen concentration in the nutrient solution (Figure 2B) in both cultivars and seasons, as previously reported in the literature (Soares et al., 2007; Greci et al., 2007). It increased linearly on average 47% among the lowest and the highest nitrogen concentration. Root growth did not differ significantly among

nitrogen concentrations on both cultivars and cropping periods. Thus, high shoot:root was a consequence of shoot growth.

Nitrogen accumulation in tissues was linearly increased by the nitrogen concentration in the nutrient solution, confirming previous data of Lopes et al. (2011). In stem, three-way interactions were recorded (Figure 3A, B). Nitrogen concentration in stem was higher in autumn in both cultivars and Stella plants accumulated more than Veneranda. In leaves, accumulation was higher in autumn and it can be attributed to lower radiation, photosynthesis and nitrogen assimilation.

Present results showed that the current practice of using high nitrogen fertilization rates to maximize growth of lettuce plants in soilless systems and in the field has to be reviewed. This practice can be effective to reach that goal under low radiation levels, but it seems not to be under high radiation and temperature. Nitrogen stimulated growth by increasing the plant water content (Figure 4A) and changing partitioning of dry mass from roots to shoot. This effect can be a twice handicap in lettuce crop production, Firstly, high plant water content keeps plants more susceptible to wilting, either during the day warmer periods and also after harvesting, reducing the shelf life of plants. Secondly, a smaller root system keeps plants more susceptible to drought stress. In soilless systems where plants are fertigated several times a day, such effect might be minimized by reducing the nitrogen concentration in the nutrient solution. In lettuce field crops grown in soil using sprinkling irrigation, a reduction in soil water content between irrigations could increase nutrient concentrations and salinity in the soil solution, which in turn reduces water absorption and root growth in a negative feed-back effect. It seems that nitrogen fertilization schedules have to be adapted to cultivars and seasons. Using low nitrogen fertilization rates can reduce fresh growth rate of lettuce plants, but it can be compensated lasting plants growing more days before harvest (Figure 4B).

## 2.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

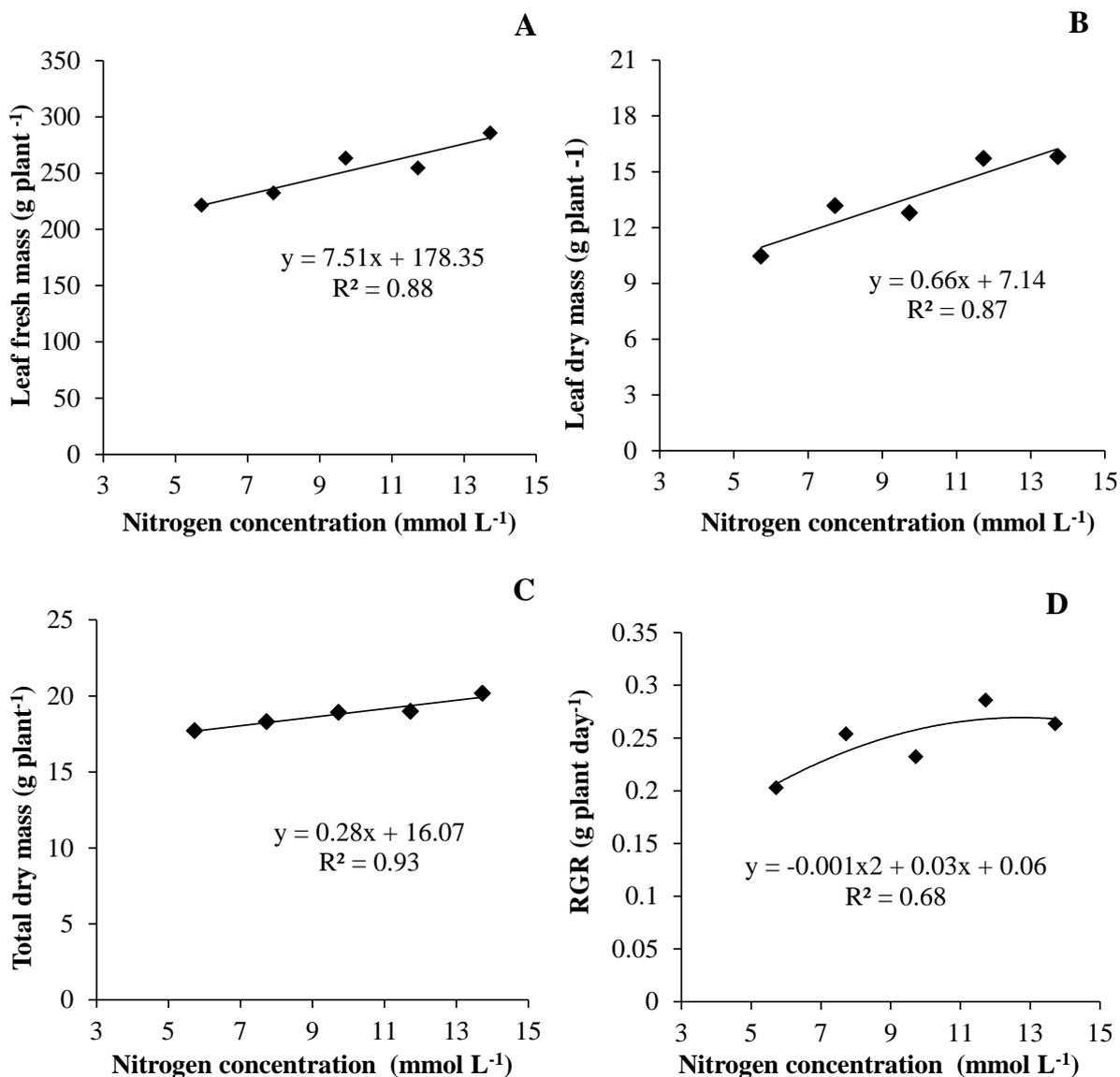
- Alvares, C.A.; Stape, J.L.; Sentelhas, P.C.; Gonçalves, J. L.M.; Sparovek, G. 2014. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22: 711–728.
- Castellane, P.D.; Araújo, J.A. 1995. *Cultivo sem solo: hidroponia*. 4. ed. Jaboticabal: Funep.
- Furlani, P.R. 1997. Instructions for the leaves of growing vegetables for -NFT hydroponics (Technical Bulletin 168). Instituto Agrônômico, Campinas, SP, Brasil. (In Portuguese)
- Furlani, P.R. 1999. Hydroponic vegetable production in Brazil. *Acta Horticult* 481:777-778.
- Gallardo, M.; Snyder, R. L.; Schulbach, K.; Jackson, L. E. 1996. Crop growth and water use model for lettuce. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 122:354- 359.
- Grechi, I.; Vivin, P.H.; Hilbert, G.; Milin, S.; Robert, T.; Gaudillère, J. P. 2007. Effect of light and nitrogen supply on internal C:N balance and control of root-to-shoot biomass allocation in grapevine. *Environmental Experimental Botany* 59:139-149.
- Jin, X.; Yang, G. Tan, c.; Zhao, C. 2015. Effects of nitrogen stress on the photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation, chlorophyll fluorescence, and sugar-nitrogen ratio in corn. *Scientific Reports* 5: 9311
- Kerbiriou P.J., Stomph T.J., Van Der Putten P.E.L., Lammerts Van Bueren E.T., Struik P.C. 2013. Shoot growth, root growth and resource capture under limiting water and N supply for two cultivars of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Plant Soil* 371:281-297.
- Le Bot, J; Benard C; Robin, C.; Bourgaud, F.; Adamowicz, S. 2009. The "trade-off" between synthesis of primary and secondary compounds in young tomato leaves is altered by nitrate nutrition: experimental evidence and model consistency. *Journal of Experimental Botany* 60: 4301-4314.
- Lopes, C.C.; Tsuruda, J. H.; Lanckievicz, A.; Basso, J.M.; Takahashi, H.W. 2011. Influence of the harvesting time in the level of nitrate in hydroponic lettuce. *Semina: Ciências Agrárias*, 32: 63-68. (in Portuguese, with abstract in English).
- Mantovani, J.R; Ferreira, M.E; Cruz, M.C.P. 2005. Lettuce growth and nitrate accumulation in relation to nitrogen fertilization, 23: 758-762. (in Portuguese, with abstract in English).
- Nunes-Nesi, A., Fernie, A.R.; Stitt, M. 2010. Metabolic and Signaling Aspects Underpinning the Regulation of Plant Carbon Nitrogen Interactions. *Molecular Plant* 3: 973-996.
- Pardossi, A., Carmassi, G., Diara, C., Incrocci, L., Maggini, R., Massa, D. 2011. Fertigation and substrate management in closed soilless culture. *Dipartimento di Biologia delle Piante Agrarie, Università di Pisa, Pisa*. 64p.
- Resende, G.M.; Alvarenga, M.A.R.; Yuri, J.E.; Souza R.J. 2012. Nitrogen and molybdenum rates on the yield and macronutrients content in crisphead lettuce, 30: 373-378. (in Portuguese, with abstract in English).

Seginer, I.; Bleyaert, P.; Breugelmans, M. 2004. Modelling otogenetic changes of nitrogen and water contente in lettuce. *Annals of Botany* 94: 393-404.

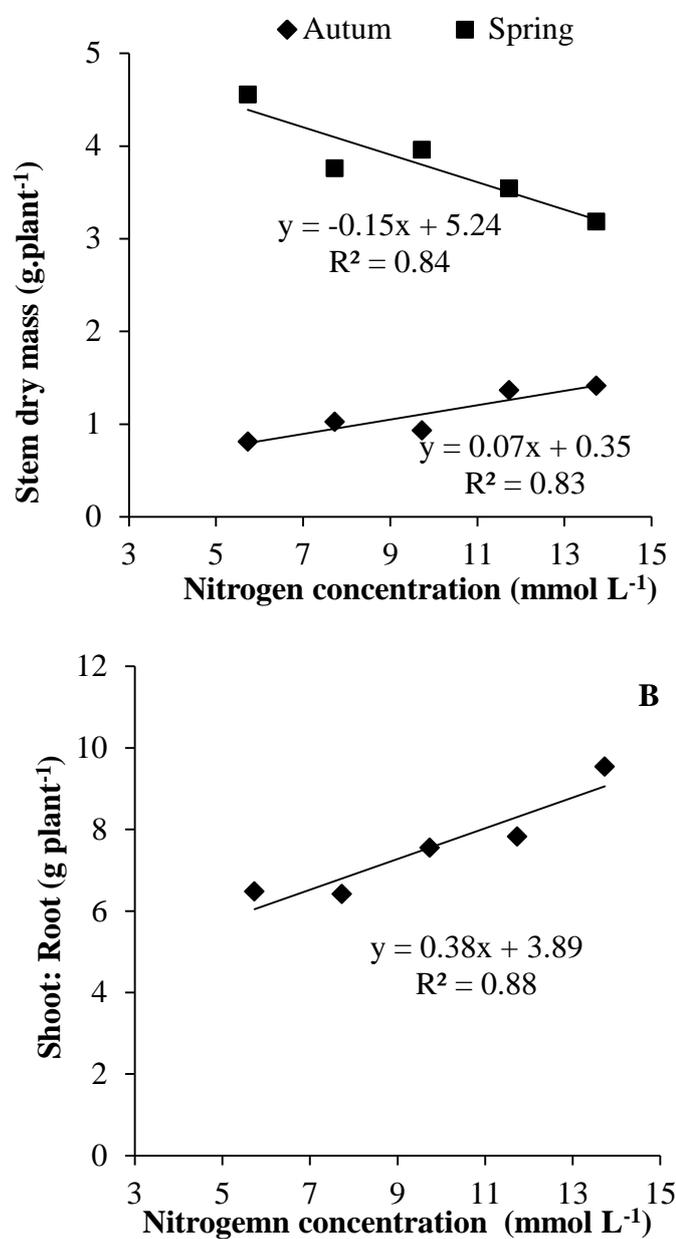
Silva, P.A. M.; Pereira, G.M.; Reis, R.P.; Lima, L. A.; Taveira, J.H. 2008. Response function of the crisphead lettuce under irrigation depths and nitrogen rates *Ciência Agrotecnologia, Lavras*, 32:1266-1271. (in Portuguese, with abstract in English)

Soares, T.M.; Silva, E.F.F.; Duarte, S.N.; Mélo, R. F.; Jorge, C.A.; Bonfim-Silva, E.M. 2007. Hydroponic lettuce production using saline Waters. *Irriga*, v.235-248. (in Portuguese, with abstract in English).

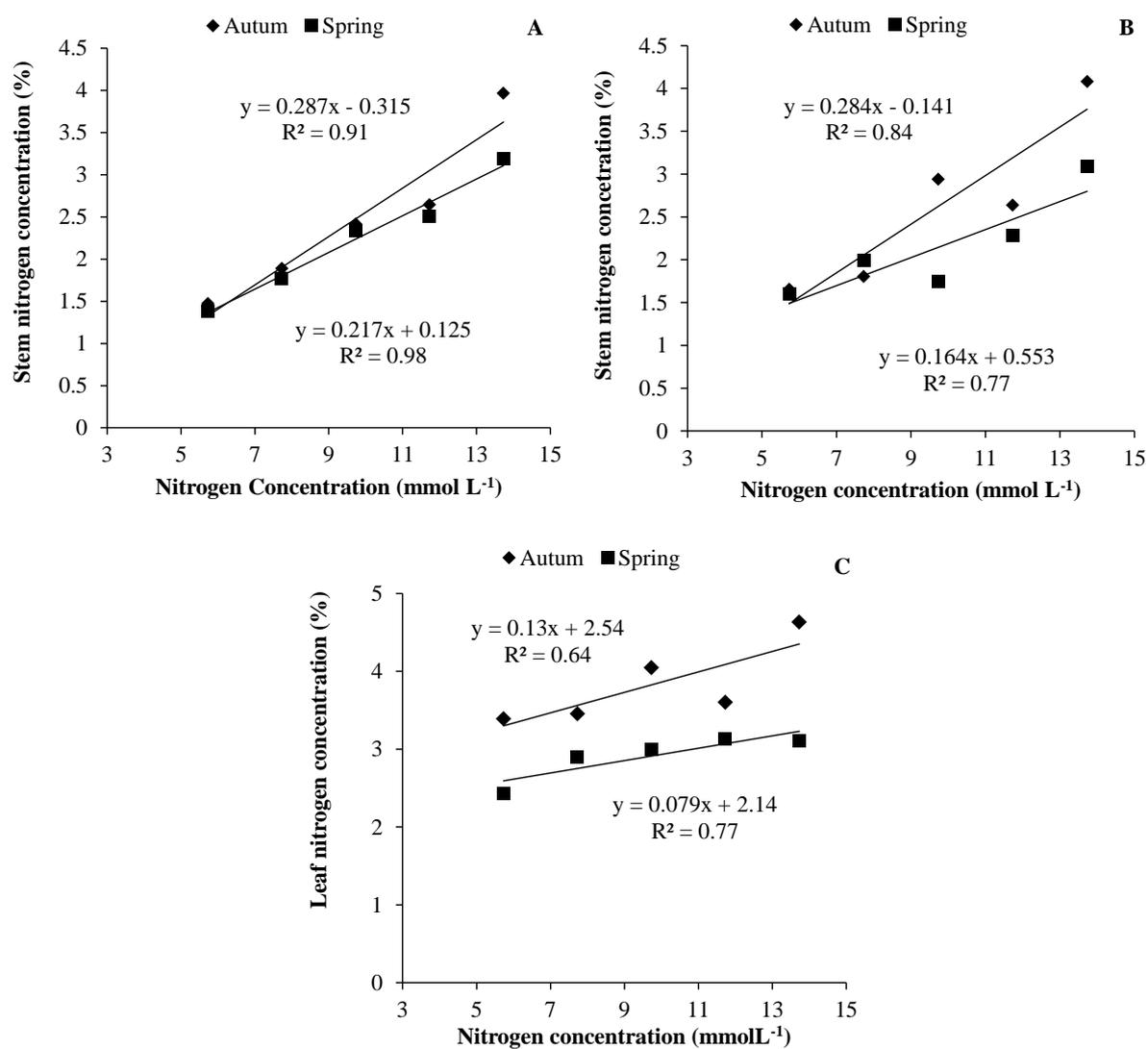
## ANEXOS



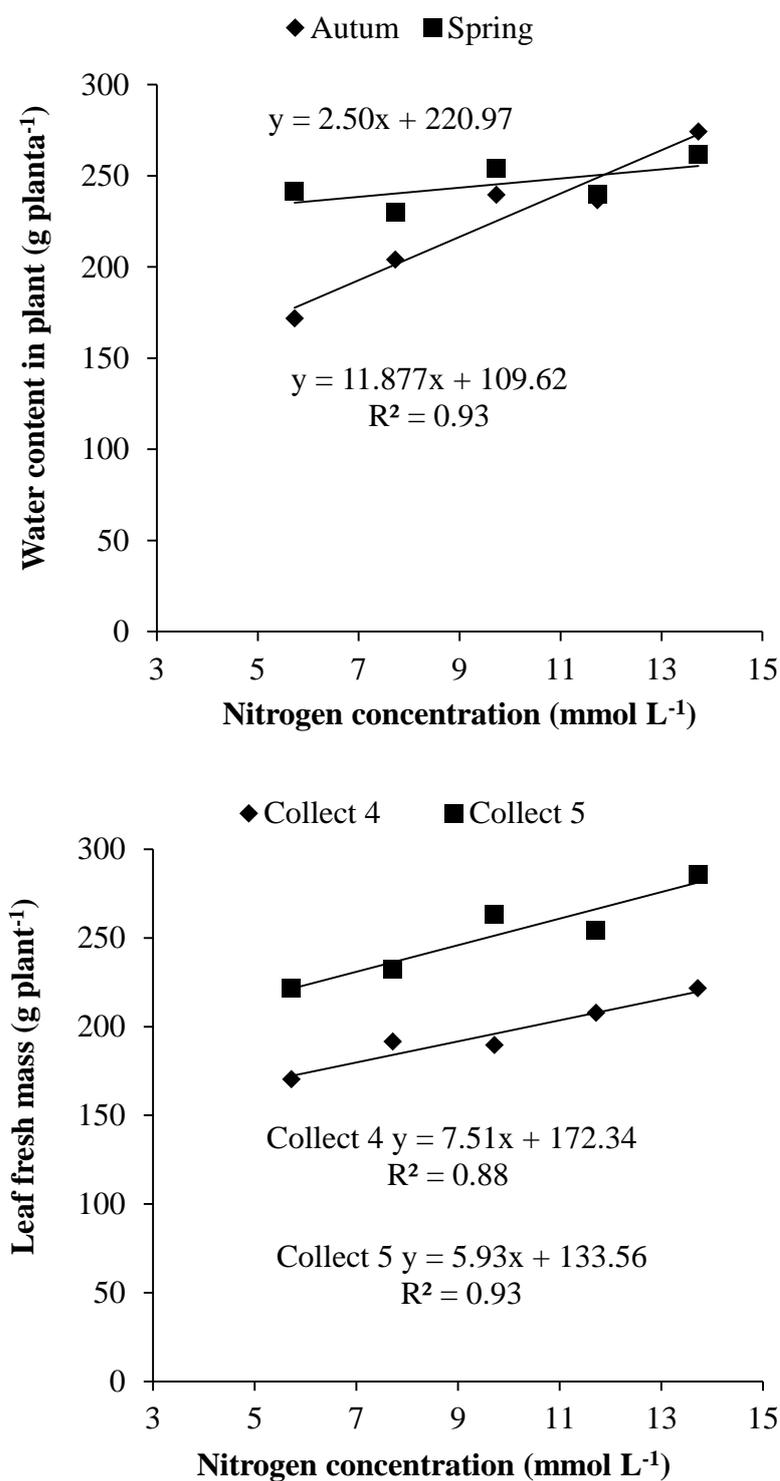
**Figure 1** - Average leaf fresh mass of cv. Stella and Veneranda in autumn-winter and spring-summer (A), dry mass of cv. Veneranda in autumn-winter (B), average total dry mass of cv. Stella and Veneranda in autumn-winter and in spring-summer (C), and relative growth rate (RGR) of cv. Stella and Veneranda in autumn-winter (D), grown under nitrogen concentrations from 5.72, 7.72, 9.72, 11.72 and 13.72 mmol L<sup>-1</sup> in the nutrient solution. Santa Maria, UFSM, 2013.



**Figure 2** - Stem dry mass of lettuce plants cv.Veneranda grown in autumn-winter (autumn) and spring (A) and average shoot:root ratio (B) of cv. Stella and Veneranda in autumn-winter and in spring, grown under nitrogen concentrations from 5.72 to 13.72 mmol L<sup>-1</sup> in the nutrient solution. Santa Maria, UFSM, 2013.



**Figure 3** - Nitrogen concentrations in stem of cv. Veneranda (A) and Stella (B), average N concentration in leaf both cultivars (C) grown in autumn-winter (autumn) and spring under nitrogen concentrations from 5.72 to 13.72 mmol L<sup>-1</sup> in the nutrient solution. Santa Maria, UFSM, 2013.



**Figura 4** - Average water content in autumn-winter (autumn) and spring (A) of lettuce plants cv Stella and Veneranda; average leaf fresh mass at harvest and at fifteen days before harvest (DBH) (B) of cv. Stella and Veneranda in autumn-winter and in spring, grown under nitrogen concentrations from 5.72 to 13.72 mmol L<sup>-1</sup>. Santa Maria, UFSM, 2013.

### 3. ARTIGO 2 – MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA DA ALFACE COM BASE NO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DA PLANTA<sup>2</sup>

#### MANAGEMENT OF NITROGEN FERTILIZATION IN LETTUCE BASED ON PLANT GROWTH AND DEVELOPMENT

Francieli Lima Cardoso; Jerônimo Luiz Andriolo

RESUMO – O objetivo dessa pesquisa foi determinar relações entre a acumulação de nitrogênio e o crescimento vegetativo de plantas de alface a fim de ajustar a oferta de nitrogênio pela adubação com a demanda da planta. Experimentos foram conduzidos em vasos com areia no interior de um abrigo de polietileno em 2013 e um experimento de calibração no campo em 2014. Foram empregadas as cultivares Stella, do tipo lisa, e Veneranda, do tipo crespa e cinco concentrações de nitrogênio em solução nutritiva: 5,72; 7,72; 9,72; 11,72 e 13,72 mmol L<sup>-1</sup>, com as mesmas concentrações dos demais nutrientes em todas as soluções. O experimento de calibração no solo empregou a cultivar Stella e quantidades de N calculadas com base nas quantidades extraídas estimadas por relações entre o crescimento da parte aérea e a acumulação de nitrogênio dos experimentos anteriores. Os resultados mostraram que a dinâmica do crescimento da parte aérea e da acumulação de nitrogênio diferiu nos cultivos de outono-inverno e de primavera e que o manejo da adubação nitrogenada deve ser feito de forma diferenciada nessas épocas. Foi elaborada uma tabela de parcelamento da adubação nitrogenada com base no número de folhas em duas épocas do ano. Concluiu-se que as relações entre o crescimento, o desenvolvimento e a acumulação de nitrogênio podem ser empregadas para realizar o manejo parcelado da adubação durante o período de crescimento da alface, maximizando a produção e reduzindo as perdas do nutriente.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L. Nutrição mineral. Nitrogênio.

---

<sup>2</sup> Artigo formatado conforme as normas do Manual de dissertações e teses da UFSM: estrutura e apresentação (2015).

ABSTRACT – The goal of this research was to determine relationships between the nitrogen accumulation and vegetative growth of lettuce plants, in order to adjust nitrogen fertilization to demand by plants. Two experiments were conducted in pots with sand inside a polyethylene greenhouse in 2013 and in the field as a calibration experiment in 2014, using Stella (butterhead) and Veneranda (crisphead) cultivars. In pots the, growth, development and nitrogen accumulation were determined in plants fertigated with five concentrations in nutrient solution: 5.72; 7.72; 9.72; 11.72 e 13.72 mmol L<sup>-1</sup>, while concentration of other nutrients were the same in all treatments. The field calibration experiment used Stella cultivar and N fertilization estimated from relationship between shoot growth and nitrogen accumulation in previous experiments. Results showed that the dynamics of shoot growth and nitrogen accumulation differed in the autumn-winter and spring crops and the management of nitrogen fertilization should be adapted to cropping periods. A nitrogen fertilization schedule was calculated based on number of leaves for two cropping periods. It was concluded that relationships among growth, development and nitrogen accumulation can be used for splitting nitrogen fertilization during growth of lettuce crops, maximizing production and reducing nutrient losses.

Keywords: *Lactuca sativa* L. Mineral nutrition. Nitrogen.

### 3.1 INTRODUÇÃO

A alface é a principal hortaliça folhosa cultivada no Brasil (SALA; COSTA, 2012). A maior parte da produção nacional provém do sistema convencional no solo. Nesse sistema são preparados canteiros antes de cada plantio e os fertilizantes minerais e/ou orgânicos são incorporados ao solo. Na região Sul do Brasil podem ser realizados de seis a oito cultivos anuais na mesma área. A parte aérea da planta sofre facilmente injúrias pelas intempéries e por isso vem crescendo no Brasil o cultivo protegido dessa cultura, principalmente em estufas de polietileno (SALA; COSTA, 2012). Nesse sistema predomina o plantio também realizado no solo, de forma similar ao sistema convencional, com os fertilizantes incorporados antes do plantio. A irrigação é feita predominantemente por gotejamento. Quando é empregada a cobertura da superfície do solo com filme de polietileno, técnica conhecida como *mulching*, o solo é preparado uma única vez ao ano e a água e os fertilizantes são fornecidos por fertirrigação no decorrer dos cultivos.

O nitrogênio é o segundo nutriente mais extraído pela planta de alface (BENINI et al., 2005; RESENDE et al. 2012) e está associado principalmente ao crescimento vegetativo (MALAVOLTA et al., 2006; MANTOVANI et al. 2005; SILVA et al. 2007). As recomendações de adubação nitrogenada para essa cultura no Sul do Brasil em cultivo no campo estão baseadas no teor de matéria orgânica do solo. Variam de 80 kg ha<sup>-1</sup> até 200 kg ha<sup>-1</sup> para solos com teores de matéria orgânica superiores a 5% ou iguais/inferiores a 2,5%, respectivamente, conforme recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (CQFS-RS/SC, 2004). São recomendadas três aplicações com 25% da quantidade total no transplante aos 15, 30 e 45 dias após o transplante. Entretanto, como o período de crescimento da planta entre o transplante e a colheita varia entre as épocas do ano e também entre as cultivares, esse parcelamento é difícil de ser realizado na produção comercial. Decorre que quando o fornecimento do nutriente pela adubação extrapola as necessidades da planta, as quantidades excedentes são perdidas, especialmente na região Sul do Brasil onde a precipitação pluviométrica anual situa-se em volumes médios acima de 1.000 mm anuais (ALVARES et al., 2014). Para outras regiões do Brasil tem sido recomendadas doses de 30 a 40 kg ha<sup>-1</sup> de N no plantio, mais 60 a 90 kg ha<sup>-1</sup> parcelados, com adição de 40 a 60 t ha<sup>-1</sup> de esterco de curral (FILGUEIRA, 2008;

TRANI et al., 2004; TRANI et al., 2014). Sendo a média de absorção estimada de apenas 60 Kg ha<sup>-1</sup> (GRANGEIRO et al. 2006), grande parte do nitrogênio fornecido pela adubação é perdida pelos processos de volatilização da amônia (NH<sub>3</sub>) e/ou lixiviação (CANTÚ, 2014). Segundo Engel et al. (2011), o processo de volatilização de NH<sub>3</sub> pode reduzir a disponibilidade do N para a planta dependendo das condições ambientais da região, resultando em perdas de mais de 50 % do N aplicado.

Não foram encontradas na literatura recomendações de adubação nitrogenada para o cultivo da alface em ambiente protegido baseadas em resultados de pesquisa. A maior parte dos produtores realiza o manejo da adubação nesse sistema da mesma forma como praticado no sistema convencional no campo. No interior das estufas de polietileno não ocorre precipitação pluviométrica sobre o solo. A irrigação por gotejamento concentra a água e os nutrientes na camada superficial e nas épocas chuvosas do ano pode ocorrer o fluxo ascendente da água através do perfil do solo, pois no ambiente externo o solo fica mais úmido do que no interior da estufa. Esses fatores estão associados à salinização do solo no interior das estufas (DIAS et al. 2005; SILVA et al., 2013), reduzindo a produtividade e/ou tornando esse solo inapto ao cultivo das hortaliças. Para prevenir ou retardar a salinização do solo nessas condições, a adubação deve ser feita com base em critérios que considerem o crescimento da planta, de forma a ajustar as quantidades fornecidas pela adubação à demanda das plantas. No cultivo convencional no campo feito na região Sul do Brasil, os riscos de salinização do solo decorrentes das quantidades de nitrogênio não absorvidas pelas plantas são minimizados principalmente pela lixiviação. Entretanto, as quantidades de N perdidas podem ser prejudiciais ao ambiente. Portanto, critérios desse tipo devem também ser ajustados para o cultivo convencional no campo, a fim de reduzir as perdas no decorrer do período de crescimento das plantas.

O objetivo dessa pesquisa foi determinar relações entre a acumulação de nitrogênio e o crescimento vegetativo de plantas de alface a fim de ajustar a oferta de nitrogênio pela adubação com a demanda da planta.

### 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Experimentos foram conduzidos no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria no interior de um abrigo de 115 m<sup>2</sup> (5m por

23m) coberto com polietileno aditivado anti-UV de 150 $\mu$ m de espessura no ano de 2013. Também, um experimento de calibração também foi realizado no campo em 2014. O clima da região é subtropical úmido "Cfa" de acordo com o sistema de Köppen (ALVARES et al., 2014). A radiação solar global e a temperatura diária do ar no interior do abrigo foram medidos por Registrador Eletrônico de Umidade e Temperatura - LogBox-RHT-LCD marca NOVUS®. Os valores dessas variáveis no exterior foram obtidas junto a Estação Meteorológica do mesmo Departamento, situada a aproximadamente 100 m da área onde foram conduzidos os experimentos.

### 3.2.1 Experimento em abrigo

A radiação solar global acumulada no interior do abrigo nos períodos de outono-inverno e primavera foi respectivamente de 536,32 MJ m<sup>-2</sup> e 825,13 MJ m<sup>-2</sup> e a temperatura média do ar foi de 15,29 °C e 22,78 °C, respectivamente.

No interior do abrigo as plantas de alface foram cultivadas em vasos de polipropileno com capacidade de 3 dm<sup>3</sup> contendo areia, com granulometria inferior a 0,03 m, densidade de 1,6 kg dm<sup>-3</sup> e capacidade máxima de retenção de água de 0,243 L.dm<sup>-3</sup>. Os vasos foram colocados sobre bancadas de 0,8m de altura, em quatro fileiras com espaçamento de 0,3 m entre fileiras e 0,25m entre vasos, com uma densidade equivalente a 13,3 vasos m<sup>-2</sup> e uma planta por vaso. A água e os nutrientes foram fornecidos diariamente por solução nutritiva através de fitas gotejadoras, por meio de uma bomba submersa localizada em reservatório de polipropileno de 350 L localizado ao final da bancada. Foram feitas até cinco fertirrigações ao dia com duração de 15 min, acionadas por um programador horário, 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 de alface, estimada em 500 ml dia<sup>-1</sup> (GALLARDO et al. 1996, NUNES et al., 2009), radiação solar global e aérea foliar, com um coeficiente de drenagem de 30% (PARDOSSI et al., 2011). O sistema funcionou em regime fechado, isto é, a solução nutritiva drenada após cada fertirrigação retornou ao reservatório de estocagem, no qual foram feitas as correções necessárias.

No interior do abrigo foram realizados dois experimentos. O primeiro foi feito no outono-inverno, entre seis de maio e 11 de julho e o segundo em condições de primavera, de 28 de outubro a 12 dezembro de 2013. Em cada experimento foram

empregadas as cultivares Stella, do tipo lisa, e Veneranda, do tipo crespa e cinco concentrações de nitrogênio na solução nutritiva: (S1) 5,72 (4,36 NO<sub>3</sub>/1,36 NH<sub>4</sub>); (S2) 7,72 (6,36 NO<sub>3</sub>/1,36 NH<sub>4</sub>); (S3) 9,72 (7,86 NO<sub>3</sub>/1,86 NH<sub>4</sub>); (S4) 11,72 (9,36 NO<sub>3</sub>/2,36 NH<sub>4</sub>) e (S5) 13,72 (10,36 NO<sub>3</sub>/3,36 NH<sub>4</sub>) mmol L<sup>-1</sup>. A concentração dos demais macro e dos micronutrientes foram idênticas em todos os tratamentos, em mmol L<sup>-1</sup>, 4,0 de K<sup>+</sup>; 1,0 H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>; 2,0 Ca<sup>+2</sup>, 1,0 Mg<sup>+2</sup> e 1,0 de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> e em mg L<sup>-1</sup>, 0,03 Mo; 0,26 B; 0,06 Cu; 0,50 Mn; 0,22 Zn e 1,0 Fe. A quantidade de fertilizantes utilizados em cada solução está descrita na tabela 1. A condutividade elétrica (CE) de cada solução foi 0,92 (S1); 1,02 (S2); 1,12 (S3); 1,30 (S4) e 1,36 (S5) dS m<sup>-1</sup>, respectivamente. A CE foi medida diariamente e quando os valores medidos situaram-se 10 % acima ou abaixo da condutividade inicial foi feita adição de água ou de uma alíquota de solução nutritiva com concentração calculada de forma a restabelecer a CE inicial, respectivamente. O pH foi mantido entre 5,5 e 6,5, adicionando NaOH ou H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1 mol L<sup>-1</sup> quando necessário.

Foi empregado o delineamento experimental casualizado em esquema trifatorial (2 x 5 x 2), com duas épocas de cultivo compondo a parcela principal, a concentração de nitrogênio nas subparcelas e as cultivares na sub-subparcelas. Foram empregadas 22 plantas por tratamento, sendo cada planta considerada uma unidade experimental. As plantas nas bordaduras não foram empregadas para realizar determinações.

Durante o período de ambos os experimentos foram realizadas cinco coletas de quatro plantas por tratamento para determinação do número de folhas (NF), massa fresca de folhas (MFF) e massa seca da parte aérea (MSPA), após secagem em estufa a 60°C até massa constante. Em função do ciclo as coletas foram realizadas, no outono-inverno aos 15, 24, 39, 53 e 66 dias após o plantio (DAP), e na primavera, aos 18, 24, 32, 39 e 46 DAP. A última coleta nos dois experimentos foi feita ao serem observados os primeiros sinais de senescência nas folhas velhas plenamente desenvolvidas, considerado como critério de ponto de colheita. A massa seca das plantas de cada coleta foi moída e o conteúdo de nitrogênio total (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) nos tecidos determinado pelo método de Kjeldahl. Os dados foram submetidos a ANOVA utilizando o software Statistics®. 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.

Com os dados de cada uma das coletas realizadas nos dois experimentos foi ajustada uma relação entre o crescimento da parte aérea e a acumulação de nitrogênio nas plantas que receberam as cinco concentrações de nitrogênio na solução nutritiva. Foi calculado o ponto de máximo crescimento da parte aérea em cada coleta e a correspondente acumulação de nitrogênio estimada pela relação. Os pontos de máximo crescimento em cada coleta foram empregados para ajustar uma relação entre a acumulação de nitrogênio, o crescimento e o desenvolvimento das plantas durante o período de cada experimento. Essa relação foi empregada para elaborar uma tabela de parcelamento da adubação nitrogenada para a cultura da alface com base no número de folhas da planta.

### **3.2.2 Experimento de calibração**

No experimento de calibração, com duração de 92 dias, a radiação solar global acumulada foi de 1119,51 MJ m<sup>-2</sup> e a temperatura média diária do ar foi de 15,15 °C. O índice pluviométrico no período foi de 883 mm, com volumes mais elevados de chuva nos meses de junho e julho.

O experimento de calibração da adubação nitrogenada no sistema convencional no solo foi instalado na área experimental do Departamento de Fitotecnia, no período entre 17 de maio e 14 agosto de 2014, utilizando a cultivar Stella, do tipo lisa, indicada para cultivo no outono-inverno. O solo da área pertence à Unidade de Mapeamento São Pedro, classificado no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999) como Argissolo Vermelho Distrófico Arênico. A análise do solo, antes do plantio, foi realizada no Laboratório de Análise de Solos da UFSM, e apresentou valores de pH (água) de 5,1; 19,9 mg dm<sup>-3</sup> de P; 128,0 mg dm<sup>-3</sup> de K; 14,1 mg dm<sup>-3</sup> de S; 5,2 cmolc dm<sup>-3</sup> de Ca; 1,9 cmolc dm<sup>-3</sup> de Mg; 6,2 cmolc dm<sup>-3</sup> de H + Al e 2,2% de matéria orgânica.

O solo foi preparado por lavração e encanteiramento. Duas fitas gotejadoras foram instaladas na superfície de cada canteiro, intercaladas entre quatro fileiras de plantas. A adubação de manutenção foi um dia antes do plantio, com base nos teores indicados pela análise do solo e na extração da planta (GRANGEIRO et al., 2006), fornecendo-se por fertirrigação 22,55 g m<sup>-2</sup> de fosfato monopotássico (MKP).

1A). Na cultivar Stella, o efeito foi polinomial, com ponto de máxima produção na concentração de N de 11,2 mmol L<sup>-1</sup>. Na cultivar Veneranda o efeito foi linear, com máximo crescimento na concentração mais elevada, de 13,72 mmolL<sup>-1</sup>. Entretanto, entre as duas concentrações mais elevadas comparadas entre si, a diferença não foi significativa (teste *t*, a  $p < 0,05$ ). Na primavera não foi observado efeito significativo da concentração de nitrogênio no crescimento da parte aérea de ambas as cultivares, porém as médias foram mais elevadas. No outono-inverno o crescimento máximo atingido pelas cultivares Stella e Veneranda foi de 15,72 e 17,22 g MS planta<sup>-1</sup>, respectivamente. Na primavera, foi de 22,21 e 26,85 g MS planta<sup>-1</sup>, respectivamente.

As quantidades de nitrogênio acumuladas pelas plantas aumentaram linearmente em ambas as cultivares e épocas (Figuras 2A, B). A quantidade máxima acumulada pela cultivar Stella no outono-inverno foi de 0,693 g planta<sup>-1</sup>, na concentração de N na solução nutritiva de 13,72 mmol L<sup>-1</sup>. Na cultivar Veneranda a quantidade máxima de N acumulado foi de 0,879 g planta<sup>-1</sup>, embora não tenha sido observada diferença significativa no crescimento com a concentração mais elevada (Figura 1A). Na primavera, o aumento da concentração de N na solução nutritiva induziu aumento na acumulação de N na planta, embora não tenha afetado significativamente o crescimento das plantas. Consequentemente, houve variação na acumulação do N nas plantas, o qual diminuiu de 0,693 g planta<sup>-1</sup> (38,8 gN kgMS<sup>-1</sup>) no outono-inverno para 0,618 g planta<sup>-1</sup> (33,5 gN kgMS<sup>-1</sup>) na primavera para a cultivar Stella e de 0,879 g planta<sup>-1</sup> (42,9 g N kgMS<sup>-1</sup>) para 0,773 g planta<sup>-1</sup> (30,81 gN kgMS<sup>-1</sup>) para a cultivar Veneranda no outono-inverno e primavera, respectivamente. O efeito da concentração do N na solução nutritiva na acumulação de N na planta indicado pelo coeficiente angular da regressão foi mais forte no outono-inverno, com valores mais elevados na cultivar Veneranda.

Uma relação linear entre a acumulação de nitrogênio e o crescimento da parte aérea foi ajustada para as duas épocas nas plantas da cultivar Stella e somente no outono-inverno na cultivar Veneranda (Figura 3A, B). Entretanto, mesmo com uma acumulação de N mais baixa, as plantas da cultivar Veneranda na primavera atingiram crescimento médio da parte aérea similar às plantas cultivadas no outono-inverno com a concentração mais elevada de N (Figura 3B).

Relações lineares para as duas cultivares nos dois períodos de cultivo foram ajustadas, a partir do máximo crescimento em cada coleta e sua correspondente concentração de N na planta (Figura 4A, B). No período de outono-inverno até os 39

DAP as plantas de ambas as cultivares não diferiram na produção de massa seca e no acúmulo de N nos tecidos. A partir dos 53 DAP o acúmulo de N na planta da cultivar Veneranda foi maior sem diferença significativa na produção de massa seca com relação a cultivar Stella. Na figura 4A observa-se que a cultivar Veneranda acumulou a quantidade de  $0.63 \text{ gN planta}^{-1}$  similar a quantidade da cultivar Stella aos 66 DAP (5º ponto). Porém, uma massa seca similar à cultivar Stella somente foi alcançada pela cultivar Veneranda com um acúmulo de N nos tecidos 39,7% maior. Na primavera ambas as cultivares apresentaram a mesma tendência de produção de massa seca e acúmulo de N nos tecidos, com quantidades mais elevadas na cultivar Veneranda (Figura 4B).

Os resultados mostram que a dinâmica do crescimento da parte aérea e da acumulação de nitrogênio difere nos cultivos de outono-inverno e de primavera. Conseqüentemente, o manejo da adubação nitrogenada deve ser feito de forma diferenciada nessas épocas. A estimativa das quantidades a serem fornecidas para repor as quantidades extraídas foi feita com as relações entre a acumulação de N e a massa seca da parte aérea (MSPA) (Tabela 2). A MSPA é uma variável de difícil identificação visual. Por isso foi convertida no número de folhas (NF), a partir da relação entre essas variáveis determinada com os dados de todas as coletas realizadas durante o período dos dois experimentos realizados em 2013 (Cv. Stella:  $NF=2,58MSPA+8,48$  e  $NF=0,0073MSPA^2+ 0.0068MSPA$ ; Cv, Veneranda:  $NF=2,04MSPA+7,04$  e  $NF=1,31MSPA+7,65$  no outono-inverno e na primavera, respectivamente). Os resultados das estimativas das quantidades de N a serem fornecidas durante o período de crescimento e desenvolvimento das duas cultivares e nas duas épocas encontram-se na Tabela 2.

Ao final do experimento de calibração, aos 92 DAP, o número médio de folhas por planta foi de 38,10; 40,05; 44,16; 44,70; 47,55 e 48 folhas  $\text{planta}^{-1}$ , nas doses de N equivalentes a 0; 16,15; 36,69; 57,24; 77,78 e 98,32  $\text{kg ha}^{-1}$ , respectivamente. A MSPA ajustou-se a um modelo polinomial, com ponto de máxima de  $13,03 \text{ g planta}^{-1}$  na dose de adubação de  $72 \text{ kg N ha}^{-1}$  (Figura 5A), enquanto a acumulação de N na planta aumentou de forma linear (Figura 5B).

Com os resultados de crescimento e acumulação de nitrogênio nas folhas no experimento de calibração foram calculadas as quantidades extraídas, as quais foram confrontadas com as quantidades fornecidas em cada um dos tratamentos desse experimento. As diferenças entre as quantidades fornecidas e aquelas

extraídas em cada tratamento foram consideradas perdas, que foram de 16,09%, 42,49% e 37,23% nos tratamentos que receberam as doses de nitrogênio equivalentes 57,24; 77,78 e 98,22 kg ha<sup>-1</sup>. Nas doses de 16,15 e 36,69 kg N ha<sup>-1</sup> as quantidades extraídas foram 98,22% e 14,05 % maiores do que aquelas fornecidas pela adubação. No experimento de calibração, a extração máxima de N das plantas foi de 61 Kg ha<sup>-1</sup> obtida no tratamento com a adubação de 98 Kg ha<sup>-1</sup>. As perdas foram, portanto de 37,23%. No trabalho realizado por Cantú (2014) no mesmo período de cultivo e na mesma localidade, dois anos antes, utilizando uma adubação de 175 kg N ha<sup>-1</sup>, o autor observou que as plantas de alface cultivar crespa Amanda, do mesmo grupo que Veneranda, atingiram uma extração de nitrogênio de 72 kg ha<sup>-1</sup>. No experimento desse autor, as perdas foram de 58,85%. Ao relacionar o conteúdo de N absorvido e a produção de massa seca produzida, as plantas da cultivar Amanda apresentaram 30,97 g de N para cada quilo de massa seca produzida, enquanto as plantas do experimento de calibração apresentaram 43,76 g de N para cada quilo de massa seca produzida. Esta diferença indica que a cultivar Amanda foi mais eficiente no uso do N, decorrente provavelmente de uma também maior eficiência de absorção da radiação solar. Outra diferença em relação ao experimento de Cantú (2014) pode ser a duração do período de crescimento das plantas no campo. No trabalho atual, a colheita das plantas foi realizada aos 98 DAT enquanto no trabalho de Cantú (2014) foi aos 65 dias. Essas diferenças podem ser explicadas pelas condições meteorológicas de cada ano de cultivo, as quais afetam o desenvolvimento da alface (LOPES et al. 2011). No atual experimento de calibração as médias diárias foram de 7,80 mm dia<sup>-1</sup> na precipitação e de 15,15°C na temperatura do ar, enquanto no experimento de Cantú (2014) a temperatura média diária do ar foi de 20°C.

Embora possa haver diferenças genotípicas no crescimento das cultivares Stella e Amanda, nesta empregada por Cantú (2014) o crescimento máximo foi de 14,54 g planta<sup>-1</sup> com uma adubação nitrogenada de 175 kg ha<sup>-1</sup> empregando ureia. No atual experimento de calibração o crescimento máximo estimado pela equação de regressão (Figura 5A) foi de 13,03 g planta<sup>-1</sup>, utilizando uma adubação de 72 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio. Ou seja, ao utilizar uma adubação 41,14% menor que a de Cantú (2014) conseguiu-se uma diferença de produção de apenas 10% no crescimento. Essas diferenças mostram a importância do manejo da adubação nitrogenada. A aplicação da uréia por Cantú (2014) também foi por fertirrigação, entretanto esse

autor realizou o parcelamento da adubação em quatro momentos: antes do plantio, no momento do plantio e as demais a cada 15 DAT. No presente trabalho, o parcelamento foi feito levando em consideração o desenvolvimento das plantas. O fornecimento do nitrogênio antes e no momento do plantio pode aumentar as perdas, tanto pela emissão de óxido nitroso ( $N_2O$ ) (SAGGAR et al., 2012) como por escoamento superficial, lixiviação ou percolação às águas subterrâneas (DAHAN et al., 2013; SMITH et al., 2011).

Os resultados da literatura sobre o crescimento das plantas de alface com diferentes doses de nitrogênio são variáveis. A maior massa fresca de folhas no experimento de calibração ( $393,85 \text{ g planta}^{-1}$ ) foi alcançada com uma adubação de  $92 \text{ Kg ha}^{-1}$  de nitrogênio, produção menor que aquelas encontradas por Resende et al. (2005; 2010) e Reis et al. (2012), e maior do que aquela de Silva et al. (2008) em casa de vegetação. No experimento de Reis et al. (2012), as plantas atingiram  $453,8 \text{ g}$  de massa fresca de parte aérea com somente uma adubação de base de  $347 \text{ Kg ha}^{-1}$  de nitrogênio e  $18,7 \text{ ton ha}^{-1}$  de esterco de aves. No experimento desse autor a quantidade de N ofertada para cada planta foi de  $3,16 \text{ g}$  de N no plantio. Isso representa 5,57 vezes a mais do que a quantidade extraída pelas plantas ao longo do período de crescimento, quando comparada com os resultados encontrados neste trabalho para plantas adubadas com  $98 \text{ kg ha}^{-1}$ . Essas diferenças indicam que quando é empregada adubação orgânica, as doses de N em cobertura podem ser reduzidas, confirmando as conclusões de Cantú (2014) que a adubação orgânica apresenta uma liberação do N mais sincronizada com a demanda de N pela cultura em relação à ureia.

Como a adubação orgânica tem também efeito sobre as características físicas do solo, ficam também confirmadas as conclusões de Cardoso et al. (2015) de que a eficiência de uso do N pela alface é afetada pelas condições de crescimento das raízes. Entretanto, Reis et al. (2012) recomendam uma adubação adicional de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N em cobertura aos 15 e 30 dias após o plantio, além de  $347 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio e  $18,7 \text{ ton ha}^{-1}$  de esterco de aves como adubação de base. Os resultados atuais indicam que essas doses seriam exageradas. Os resultados deste trabalho mostram que as recomendações de N podem ser reduzidas, principalmente quando a fertirrigação é empregada como método de fornecimento da adubação. O fornecimento dos nutrientes por fertirrigação facilita a absorção do nutriente e possibilita uma maior eficiência de utilização dos mesmos pela planta.

Em conclusão, a tabela com base no crescimento pode ser empregada para realizar o manejo parcelado da adubação nitrogenada da alface. Os resultados dessa pesquisa mostram a existência de uma relação entre o crescimento e a acumulação de nitrogênio pela planta de alface, a qual pode ser empregada para realizar o manejo parcelado da adubação durante o período de crescimento das plantas no solo em cultivo convencional ou protegido, maximizando a produção e reduzindo as perdas desse nutriente para o ambiente.

### 3.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

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

CANTÚ, R. R. **Acidificação de dejetos de suínos em compostagem automatizada: emissões gasosas de nitrogênio e resposta da alface à aplicação do composto no solo**. 2014, 92p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2014.

CARDOSO, F. L.; ANDRIOLO, J. L.; DAL PICIO, M.; PICCIN, M.; SOUZA, J. M. Nitrogen on growth and yield of lettuce plants grown under root confinement. **Horticultura Brasileira**, v.33, p. 422-427, 2015.

CQFS-RS/SC - COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO DOS ESTADOS DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 4. ed. Passo Fundo, SBCN – Núcleo Regional Sul/EMBRAPA – CNPT, 2004.

DAHAN, O.; BABAD, A.; LAZAROVITCH, N.; RUSSAK, E. E.; KURTZAMAN, D. Nitrate leaching from intensive organic farms to groundwater. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.18, p.333-341, 2014.

DIAS, N. S.; DUARTE, S.N., GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J.F.; SOARES, T. M. Manejo da fertirrigação e controle da salinidade do solo sob ambiente protegido, utilizando-se extratores de solução do solo. **Revista Brasileira de engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.4, p. 496-504, 2005.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos** (Rio de Janeiro, RJ). Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412p

ENGEL, R.; JONES, C.; WALLANDER, R. Ammonia volatilization from urea and mitigation by NBPT following surface application to cold soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.75, p.2348-2357, 2011.

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

GALLARDO, M.; SNYDER, R. L.; SCHULBACH, K.; JACKSON, L. E. Crop growth and water use model for lettuce. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, p. 354- 359, 1996.

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.

LOPES, C. C.; TSURUDA, J. H.; LANCKIEVICZ, A.; BASSO, J. M.; TAKAHASHI, H. W. Influência do horário de colheita no teor de nitrato em alface hidropônica. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, v. 32, n. 1, p. 63-68, 2011.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo. Editora Agronomia Ceres. 638p. 2006.

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

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**, Curitiba, v.10, n.5, p.397-402, 2009.

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

REIS, J. M. R., RODRIGUES, J. F.; REIS, M. A. comportamento da alface crespa em função do parcelamento da adubação de cobertura global. **Cience and Technology** v. 5, n.2, p. 24-30, 2012.

RESENDE, G. M.; ALVARENGA, M. A. R.; YURI, J. E.; MOTA, J. H.; SOUZA, R. J.; RODRIGUES JÚNIOR, J. C. Produtividade e qualidade pós-colheita da alface americana em função de doses de nitrogênio e molibdênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.4, p.976-981, 2005.

RESENDE, G. M.; ALVARENGA, M. A. R.; YURI, J. E.; SOUZA, R. J. Yield and postharvest quality of winter growing crisphead lettuce as affected by doses of nitrogen and molybdenum. **Horticultura Brasileira**, v.28, p 441-445, 2010.

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.

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

SAGGAR, S.; SINGH, J., GILTRAP, D.L., ZAMAN, M., LUO, J., ROLLO, M. ; KIM, D.-G.; RYS, G., WEERDEN, T.J. Quantification of reductions in ammonia emissions from fertiliser urea and animal urine in grazed pastures with urease inhibitors for agriculture inventory: New Zealand as a case study. **Scienc of the Total Environment**, v. 465, p136-146, 2012.

SILVA, J. M.; ONGARELLI, M. G.; AGUILA, J. S.; SASAKI, F. F.; KLUGE, R. A. Métodos de determinação de clorofila em alface e cebolinha minimamente

processadas. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, México, v.8, n.2, p. 53-59, 2007.

SILVA, P. A. M.; PEREIRA, G. M.; REIS, R.P.; LIMA, L. A.; TAVEIRA, J. H. S. função de resposta da alface americana aos níveis de água e adubação nitrogenada. **Ciência agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1266-1271, 2008.

SILVA, E. M.; LIMA, C. J.G.S.; DUARTE, S. N.; BARBOSA, F. S.; MASCHIO, R. Níveis de salinidade e manejo da fertirrigação sobre características da berinjela cultivada em ambiente protegido. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 150-158, 2013.

SMITH, R.; HARTZ, T.; HEINRICH, A. Summary of nitrification inhibitor trials. University California. **Crops Notes**, 610 p. , 2011.

TRANI, P. E.; NOVO, M. C. S. S.; CAVALLARO JUNIOR, M. L.; TELLES, L. M. G. Produção de mudas de alface em bandejas e substratos comerciais. **Horticultura Brasileira**, v 22, p. 290-294, 2004.

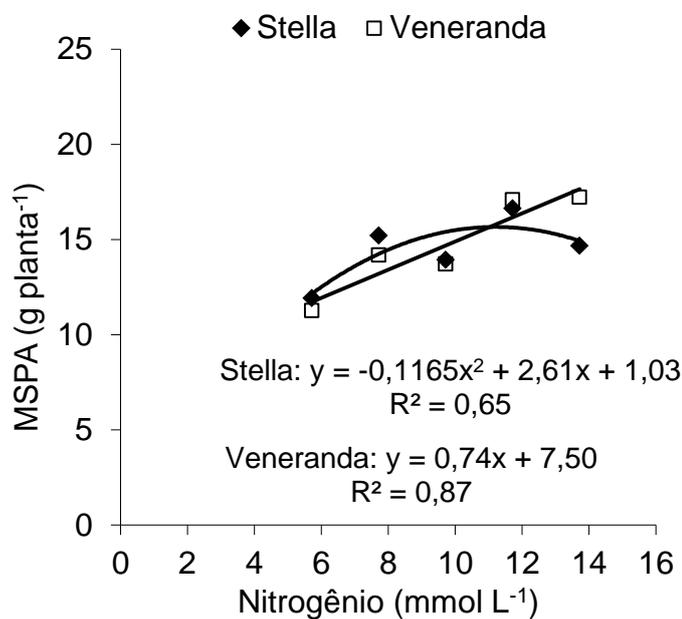
TRANI, P. E; TIVELLI, S. W.; PURQUERIO, L. F. V.; AZEVEDO FILHO, J. **Alface In: Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas** Campinas: IAC. (Boletim IAC 200). 452p. 2014.

## ANEXOS

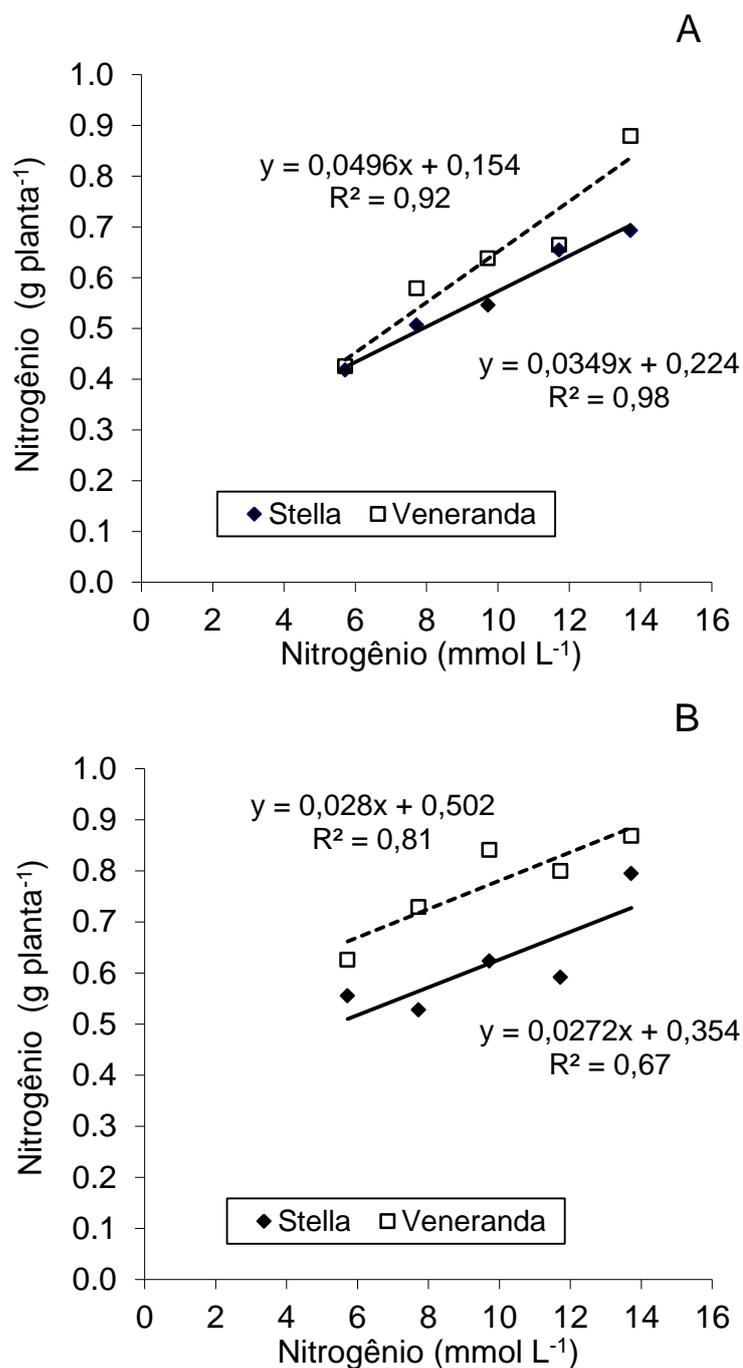
**Tabela 1** – Quantidade de fertilizantes, em mg L<sup>-1</sup>, utilizados nas soluções nutritivas nos experimentos no interior do abrigo. Santa Maria, UFSM, 2014.

Solução	KNO <sub>3</sub>	Calcinit*	MgSO <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>
..... mg L <sup>-1</sup> .....						
1	0	462.756	246.4	0	348.6	115.03
2	202.2	462.756	246.4	0	174.3	115.03
3	303.3	462.756	246.4	40	87.15	115.03
4	404.4	462.756	246.4	80	0.0	115.03
5	404.4	462.756	246.4	160	0.0	115.03

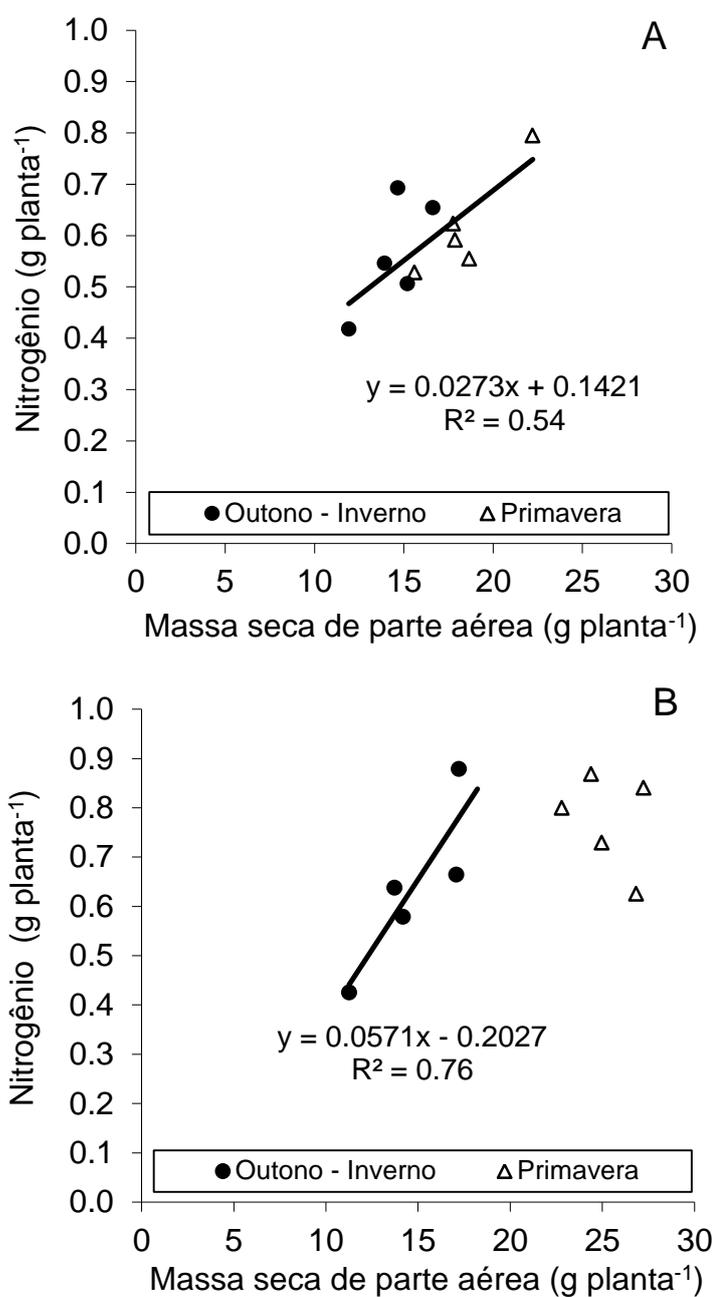
\*Considerou-se que o Calcinit apresenta 0,36 meq/L de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NH<sub>4</sub><sup>+</sup>



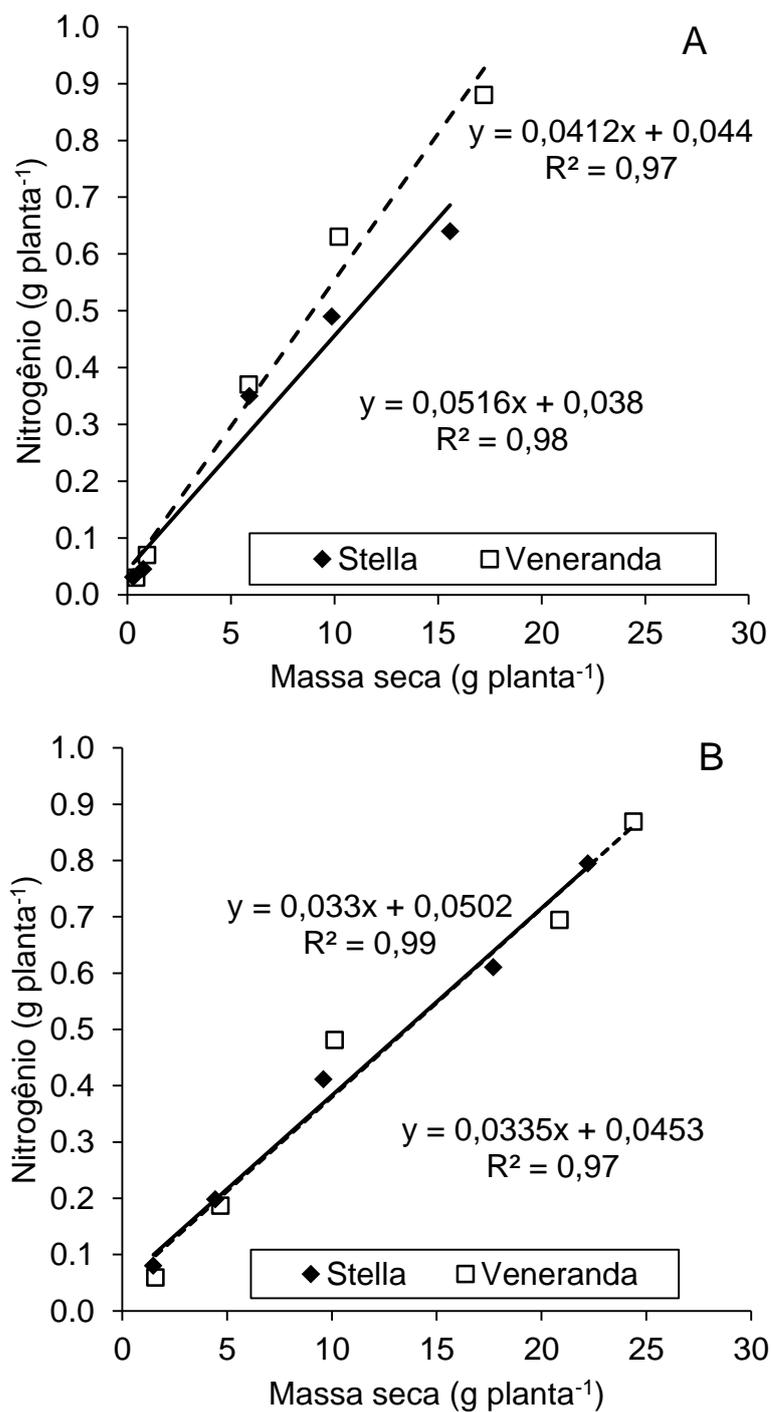
**Figura 1** – Média da massa seca de parte aérea (MSPA) de plantas de alface cv. Stella e Veneranda na época de outono-inverno, fertirrigadas com solução nutritivas, cuja concentração de N varia entre 5,72 e 13,72 mmolL<sup>-1</sup> de nitrogênio. Santa Maria, UFSM, 2013.



**Figura 2** – Nitrogênio total acumulado nos tecidos das plantas de alface cv. Stella e Veneranda, no outono-inverno (A) e na primavera (B), fertirrigadas com 5,72 a 13,72 mmol L<sup>-1</sup> de nitrogênio na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2013.



**Figura 3** – Relação da média da massa seca de parte aérea e da média de nitrogênio total acumulado nos tecidos das plantas de alface, cv. Stella (A) e Veneranda (B), no outono-inverno e na primavera. Santa Maria, UFSM, 2013.



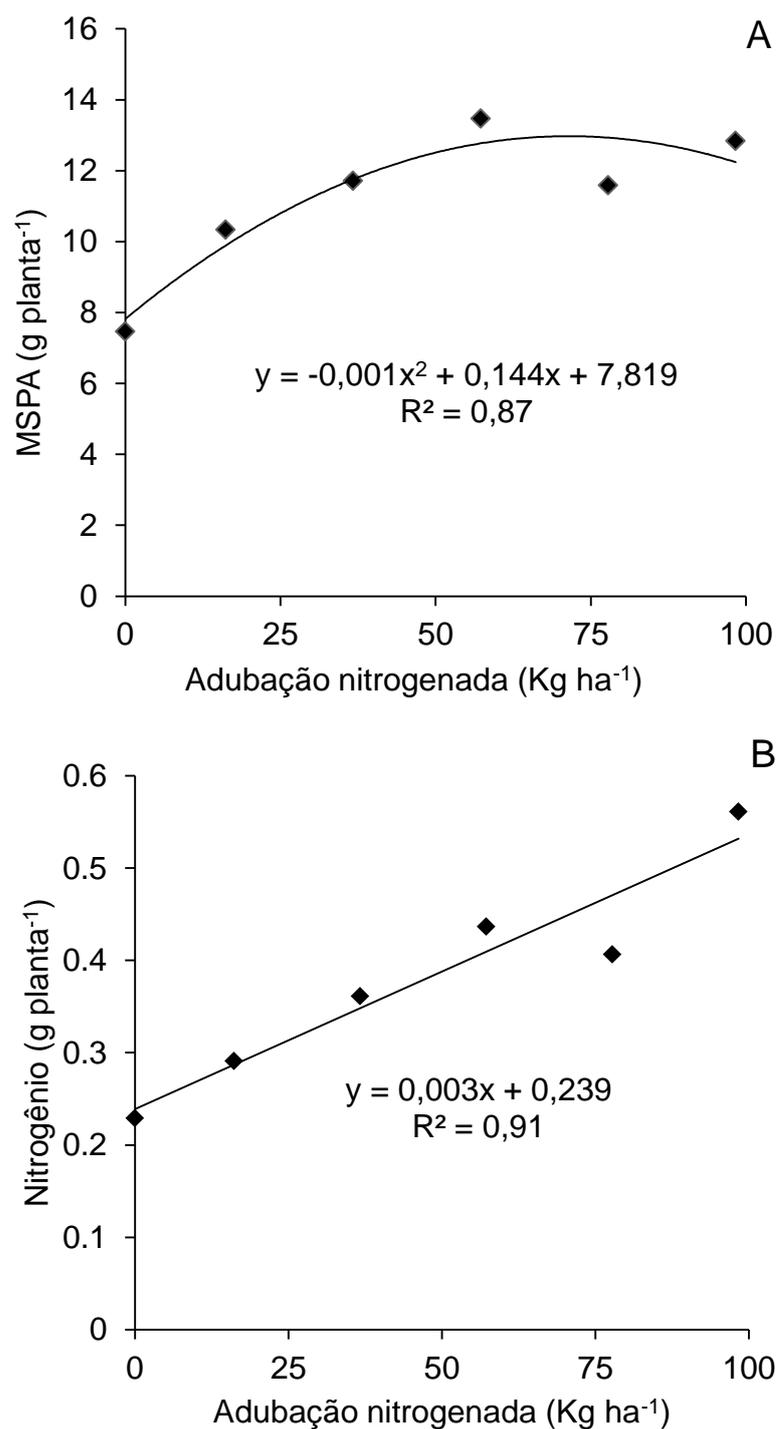
**Figura 4** – Relação entre o máximo crescimento em cada coleta e o nitrogênio total acumulados nos tecidos das plantas de alfaca cv. Stella e Veneranda, no outono-inverno (A) e na primavera (B). Santa Maria, UFSM, 2013.

**Tabela 2** – Recomendação de quantidades de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) a serem fornecidas no plantio e em cobertura, via fertirrigação, em função do número de folhas (NF) das plantas para o cultivo de alface das cultivares Veneranda e Stella, em duas épocas de cultivo\*. Santa Maria, UFSM, 2014.

NF	Veneranda		Stella	
	Outono- Inverno	Primavera	Outono- Inverno	Primavera
	----- kg ha <sup>-1</sup> -----			
Plantio	15.0	12.0	9.0	9.0
10	28.0	18.0	17.5	9.0
20	28.0	18.0	17.5	14.0
30	28.0	18.0	17.5	19.5
40	25.0	16.5	16.0	22.0
<b>Total**</b>	<b>124.0</b>	<b>82.5</b>	<b>77.5</b>	<b>73.5</b>

\*Recomendação para uma população de 110.000 plantas ha<sup>-1</sup>

\*\*Quantidades estimadas para que a colheita seja realizada quando a planta apresentar de 45-50 folhas.



**Figura 5** – Massa seca de parte aérea (MSPA) (A) e nitrogênio total acumulado nos tecidos das folhas (B) das plantas de alface cv. Stella no outono-inverno, cultivadas à campo com doses de zero a 98 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio na fertirrigação. Santa Maria, UFSM, 2014.

#### 4. ARTIGO 3 – VOLUME DE SUBSTRATO E CONCENTRAÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA NO CRESCIMENTO DA ALFACE FERTIRRIGADA POR GOTEJAMENTO E SUBIRRIGAÇÃO<sup>3</sup>

##### SUBSTRATE VOLUME AND NUTRIENT SOLUTION CONCENTRATION ON GROTH OF LETTUCE PLANTS UNDER DRIP FERTIGATION AND SUBIRRIGATION

Francieli Lima Cardoso\*; Jerônimo Luiz Andriolo

RESUMO - O objetivo desta pesquisa foi determinar o efeito do volume de substrato, da concentração de nitrogênio e do método de fertirrigação no crescimento da alface. Dois experimentos foram conduzidos entre 13 janeiro a quatro de fevereiro no verão e de 24 de abril a cinco de junho de 2015, no outono. Plantas de alface cv. Veneranda foram cultivadas em vasos de polipropileno de 1,7 dm<sup>3</sup> (grande) e 0,415 dm<sup>3</sup> (pequeno) contendo areia e fertirrigadas por métodos de gotejamento e subirrigação. Duas concentrações de nitrogênio foram fornecidas por meio de uma solução nutritiva completa, 6,23 mmol L<sup>-1</sup> (baixo) e 10,23 mmol L<sup>-1</sup> (alta), respectivamente, e 3,5 de K<sup>+</sup>; 2,0 H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>; 2,0 Ca<sup>+2</sup>, 1,0 Mg<sup>+2</sup> e 1,0 SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>. A retenção de água nos vasos pequenos foi de 0,0634 L na fertirrigação por gotejamento e 0,072 L no método subirrigação. Nos vasos grandes foi de 0,266 L e 0,263 L, respectivamente, mas de distribuição de água nas secções superior, central e inferior dos vasos foi 20,14%, 35,02% e 44,84% na fertirrigação por gotejamento e 14,51%, 32,7% e 52,78% no método subirrigação. No verão, um maior crescimento das plantas foi observado em plantas fertirrigadas por gotejamento, embora o crescimento máximo tenha sido menor do que no outono. Nos vasos grandes, o crescimento radicular foi semelhante em ambos os métodos de fertirrigação, mas a distribuição mais uniforme das raízes foi adquirida na subirrigação. A concentração de N não afetou o crescimento das raízes nos vasos grandes. Porém, nos vasos pequenos o crescimento foi menor na concentração mais elevada de N. Os resultados evidenciam que a alta concentração N aliada a um volume pequeno de meio radicular reduz o crescimento da parte aérea da planta. Concluiu-se que, para

---

<sup>3</sup> Artigo formatado conforme as normas do Manual de dissertações e teses da UFSM: estrutura e apresentação (2015).

práticas de fertilização mais sustentáveis na produção de culturas de alface, maiores volumes de solo combinados com distribuição uniforme de água e nutrientes devem ser pesquisados.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L., Nutrição mineral. Raiz. Fertirrigação.

ABSTRACT – The objective of this research was to determine relationships among substrate volume, nitrogen concentration and fertigation method on growth of lettuce plants. Two experiments were conducted from January 13 to February 4 in summer and from April 24 to June 5, 2015, in autumn. Lettuce plants cv. Veneranda were grown in 1.7 dm<sup>3</sup> (big) and 0.415 dm<sup>3</sup> (small) polypropylene pots filled with sand and fertigated by drip and subirrigation methods. Two nitrogen concentrations were supplied by means of a complete nutrient solution, 6.23 mmol L<sup>-1</sup> (low) and 10.23 mmol L<sup>-1</sup> (high), respectively, and 3.5 de K<sup>+</sup>; 2 H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>; 2,0 Ca<sup>+2</sup>, 1 Mg<sup>+2</sup> and 1 SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>. Water retention in small pots was 0.0634 L in drip fertigation and 0.072 L in subirrigation method. In big pots, it was 0.266 L and 0.263 L, respectively, but water distribution in the upper, central and lower fraction of pots was 20.14%, 35.02% and 44.84% in drip fertigation and 14.51%, 32.7% and 52.78% in the subirrigation method. In summer higher growth of plants was recorded in drip fertigated plants, although maximum growth was lower than in autumn. In big pots root growth was similar in both fertigation methods, but more uniform distribution of roots was recorded in subirrigation. In big pots N concentration did not affected root growth. It did in small pots, being lower at the higher N concentration. Results showed that high N concentration in a small volume of rooting medium reduces shoot growth. It was concluded that for more sustainable fertilization practices in lettuce crop production, high volumes of rooting medium combined with uniform distribution of water and nutrients have to be searched.

Key word: *Lactuca sativa* L. Mineral nutrition. Root. Fertigation.

#### 4.1 INTRODUÇÃO

A alface é a hortaliça folhosa mais consumida no Brasil. (ARAÚJO et al., 2010; SALA; COSTA, 2012). O cultivo é feito predominantemente no solo em sistema convencional encanteirado e com incorporação dos fertilizantes minerais e orgânicos no canteiro. Essas operações são repetidas a cada cultivo, que podem chegar a seis anuais na mesma área. Dentre as conseqüências desse método de cultivo citam-se a desagregação do solo, a compactação subsuperficial nos canteiros e a concentração de nutrientes nessa camada. Essas conseqüências podem afetar o crescimento das raízes, a absorção de água e de nutrientes e a produção da cultura. (KAFKAFI, 1990).

Alguns autores indicam que a alface é uma hortaliça responsiva ao nitrogênio por favorecer o crescimento e o desenvolvimento da planta (BOROUJERDIA; ANSARI, 2007; MALAVOLTA, 2006; MANTOVANI et al. 2005; RESENDE et al., 2012; SILVA et al., 2008;). O emprego de altas doses de nitrogênio é prática comum entre os produtores. As recomendações de adubação nitrogenada para essa cultura no sul do Brasil estão relacionadas com o teor de matéria orgânica do solo. Solos com concentrações de matéria orgânica superiores a 5% ou iguais/ inferiores a 2,5%, tem como recomendação doses de 80 kg ha<sup>-1</sup> até 200 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (CQFS-RS/SC, 2004). Para outras regiões do Brasil tem sido recomendadas doses de N de 30 a 40 kg ha<sup>-1</sup> no plantio, mais 60 a 90 kg ha<sup>-1</sup> parcelados, com adição de 40 a 60 t ha<sup>-1</sup> de esterco de curral (FILGUEIRA, 2008; TRANI et al., 2004; TRANI et al., 2014). Sendo a média de absorção estimada de apenas 60 Kg ha<sup>-1</sup> (GRANGEIRO et al., 2006), a maior parte do nitrogênio fornecido pela adubação é perdida pelos processos de volatilização da amônia e/ou lixiviação (CANTÚ, 20014). Nos ambientes protegidos, o manejo da adubação nos cultivos feitos no solo ainda é um entrave para o sucesso da atividade. Nesse sistema a água e os nutrientes são fornecidos por fertirrigação pelo método do gotejamento. Esse método favorece o acúmulo de sais na camada superficial do solo, podendo conduzir à salinização que torna o solo impróprio para a agricultura. (FURLANI; PURQUERIO, 2010).

Os resultados de Cardoso et al.(2015) mostraram que a resposta da alface a adubação nitrogenada tem relação com o crescimento das raízes. Plantas com alta

disponibilidade de nitrogênio em condições de restrição ao crescimento das raízes cresceram menos que outras com baixa disponibilidade de nitrogênio sem restrição ao crescimento das raízes. Entretanto, os resultados desses autores não distinguiram se as restrições ao crescimento das raízes afetam a absorção de nitrogênio, de água ou ambas simultaneamente. Em trabalho realizado no solo com associação de lâminas de água e doses de N, Silva et al. (2008) relatam que as plantas bem irrigadas e sem nitrogênio apresentaram maior produção do que aquelas adubadas com N, porém com irrigação deficiente. Ambos os autores sugerem que para aumentar a eficiência do uso do N no cultivo da alface o manejo da água pode ser mais importante do que o manejo da adubação nitrogenada.

Na literatura encontram-se trabalhos sobre o efeito da concentração de nutrientes no crescimento das raízes utilizando o método *split-root*. (FERNANDEZ et al., 2011; HAYASHI et al., 2014; IQBAL, 2014; KERBIRIOU et al., 2013; KOSSLAR; BEM BOHLOOL, 1984; NISI et al., 2012). Esses experimentos são realizados em condições controladas, sem restrição de água, em períodos curtos do crescimento de plantas isoladas e as raízes são manipuladas para crescerem em diferentes compartimentos. Essas condições não são representativas daquelas que ocorrem na produção, onde as raízes crescem naturalmente no meio radicular e as plantas estão submetidas às variações diurnas que ocorrem nos elementos meteorológicos. Entre essas variações, aquelas que afetam a demanda evapotranspiratória podem ter forte impacto no crescimento, porque este depende que a absorção de água pelas raízes seja capaz de repor rapidamente os volumes de água transpirados pela parte aérea. Resultados de experimentos feitos nessas condições não foram encontrados na literatura.

O objetivo desta pesquisa foi determinar o efeito do volume de substrato, da concentração de nitrogênio e do método de fertirrigação no crescimento da alface.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Dois experimentos foram conduzidos no Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria no interior de um abrigo de 115 m<sup>2</sup> (5m por 23m) coberto com polietileno aditivado anti-UV de 150µm de espessura no ano de 2015. O clima da região é subtropical úmido "Cfa" de acordo com o sistema de Köppen (ALVARES et al., 2014). A radiação solar global e a temperatura diária do ar

no interior do abrigo foram medidos por Registrador Eletrônico de Umidade e Temperatura - LogBox-RHT-LCD marca NOVUS®. Os valores dessas variáveis no exterior foram obtidas junto a Estação Meteorológica do mesmo Departamento, situada a aproximadamente 100 m da área onde foram conduzidos os experimentos.

O primeiro experimento foi feito no verão, entre 13 de janeiro e quatro de fevereiro e o segundo no outono, de 24 de abril a cinco de junho de 2015. A radiação solar global acumulada e a temperatura média do ar no interior do abrigo no período experimental do verão foram de 394,63 MJ m<sup>-2</sup> e 24,23 °C e no período do outono de 306,48 MJ m<sup>-2</sup> e 17,47 °C, respectivamente.

Para comparar diferentes disponibilidades de água as plantas de alface foram cultivadas em vasos de polipropileno com capacidade de 1,7 dm<sup>3</sup> (grande: 0,20x 0,20 x 0,10m altura, diâmetro superior e inferior) e de 0,415 dm<sup>3</sup> (pequeno: 0,075 x 0,105 x 0,08m altura, diâmetro superior e inferior). Os vasos foram preenchidos com areia de granulometria inferior a 0,03 m e densidade de 1,6 kg dm<sup>-3</sup>, colocados sobre bancadas de 0,8m de altura, em quatro fileiras com espaçamento de 0,3 m entre fileiras e 0,25m entre vasos, com uma densidade equivalente a 13,3 vasos m<sup>-2</sup> e uma planta por vaso.

Dois métodos de fertirrigação, gotejamento e subirrigação, foram empregados para o fornecimento da solução nutritiva estocada em um reservatório de polipropileno de 350 L localizado ao final da bancada, através de uma bomba submersa com vazão de 1000 L h<sup>-1</sup>. No método de gotejamento uma fita gotejadora foi colocada na superfície dos vasos, com um gotejador por vaso localizado próximo ao colo da planta. No método da subirrigação um prato de polipropileno com dimensões de 0,03m x 0,16m de altura e diâmetro, respectivamente, foi colocado sob cada vaso e a fita gotejadora foi posicionada com um gotejador em cada prato. Um orifício foi feito na parte mais baixa de cada prato de forma a drenar o volume de solução nutritiva existente no seu interior em até 5 min após cada fertirrigação.

Foram realizadas até cinco fertirrigações ao dia com duração de 15 min, acionadas por um programador horário, com um gotejador por planta e vazão média de 0,6L h<sup>-1</sup>. As fertirrigações foram programadas com base na transpiração potencial da cultura de alface, estimada em 500 ml dia<sup>-1</sup> (GALLARDO et al., 1996, NUNES et al., 2009), radiação solar global e aérea foliar, com um coeficiente de drenagem de 30% (PARDOSSI et al., 2011). O sistema funcionou em regime fechado, isto é, a

solução nutritiva drenada após cada fertirrigação retornou ao reservatório de estocagem, no qual foram feitas as correções necessárias.

Os métodos de fertirrigação foram instalados e postos a funcionar por três dias antes do plantio, com cinco irrigações diárias, às 8h, 11h, 14h, 16h e 18 h. A subirrigação foi iniciada cinco DAP. Nesse período, todas as plantas foram fertirrigadas por gotejamento. No quarto dia, imediatamente antes da primeira fertirrigação quatro vasos grandes e pequenos foram selecionados ao acaso nas bancadas para determinação da distribuição de água ao longo do perfil. A coluna de substrato em cada vaso foi seccionada em três frações, superior, média e inferior nos vasos grandes. O volume de água retido nos vasos pequenos foi de 0,0634 dm<sup>3</sup> no método por gotejamento e de 0,072 dm<sup>3</sup> por subirrigação. Nos vasos grandes o volume total de água retido por vaso foi de 0,266 dm<sup>3</sup> no método por gotejamento e de 0,263 dm<sup>3</sup> por vaso no método de subirrigação. A distribuição da água ao longo do perfil dos vasos grandes no método por gotejamento foi de 20,14%; 35,02% e 44,84% no terço superior, médio e inferior, respectivamente (Figura 1). No método por subirrigação, foi de 14,51%; 32,7% e 52,78%, respectivamente. O volume de água contido em cada secção foi determinado por diferença de massa antes e após secagem em estufa de circulação forçada de ar, na temperatura de 60°C, até massa constante entre duas determinações sucessivas.

Em cada experimento foi empregada a cultivar Veneranda, do tipo crespa e duas concentrações de nitrogênio na solução nutritiva, em mmol L<sup>-1</sup>: (baixa) 6,23 (5,86 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/0,36 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e (alta) 10,23 (7,86 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/2,36 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>). A concentração dos demais macro e dos micronutrientes foram idênticas em todos os tratamentos, em mmol L<sup>-1</sup>, 3,5 de K<sup>+</sup>; 2 H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>; 2,0 Ca<sup>+2</sup>, 1 Mg<sup>+2</sup> e 1 de SO<sub>4</sub><sup>-2</sup> e em mg L<sup>-1</sup>, 0,03 Mo; 0,26 B; 0,06 Cu; 0,50 Mn; 0,22 Zn e 1,0 Fe. Os fertilizantes utilizados foram nitrato de potássio, nitrato de cálcio, monofosfato de potássio, fosfato monoamônico e sulfato de magnésio. A condutividade elétrica (CE) de cada solução foi 1,0 (baixa) e 1,18 (alta) dS m<sup>-1</sup>, respectivamente. A CE foi medida diariamente e quando os valores medidos situaram-se 10 % acima ou abaixo da condutividade inicial foi feita adição de água ou de uma alíquota de solução nutritiva com concentração calculada de forma a restabelecer a CE inicial, respectivamente. O pH foi mantido entre 5,5 e 6,5, adicionando NaOH ou H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1mol L<sup>-1</sup> quando necessário.

Foi empregado o delineamento experimental casualizado em esquema trifatorial (2 x 2 x 2), com as duas concentrações de nitrogênio nas parcelas, dois

tamanhos dos vasos nas subparcelas e os dois métodos de irrigação nas subsubparcelas. Foram empregadas 22 plantas por tratamento, sendo cada planta considerada uma unidade experimental. As plantas nas bordaduras não foram empregadas para realizar determinações.

No experimento de verão a coleta foi feita aos 22 DAP e no outono aos 42 DAP. As plantas foram colhidas aos primeiros sinais de senescência nas folhas velhas plenamente desenvolvidas, considerado como critério de ponto de colheita. Foram coletadas seis plantas por tratamento para determinação do número de folhas (NF), massa fresca de folhas (MFF) e massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raízes (MSR), após secagem em estufa a 60°C até massa constante.

Em outras três plantas de cada tratamento escolhidas aleatoriamente foi determinado o crescimento radicular ao longo do perfil dos vasos. Os vasos grandes foram divididos em três seções, terço superior, terço médio e terço inferior. Os vasos pequenos foram divididos em parte superior e inferior, mediante corte na seção mediana.

A massa seca das plantas coletadas foi moída e o conteúdo de nitrogênio nos tecidos determinado pelo método de Kjeldahl. Os dados foram submetidos ANOVA utilizando o software Statistics®, a 5% de probabilidade (F-test). A significância das diferenças entre variáveis qualitativas foi determinada pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

#### 4.3 RESULTADOS

No verão, as plantas apresentaram maior crescimento de massa fresca e massa seca quando o sistema de irrigação empregado foi o gotejamento, resultado também observado no outono. O crescimento máximo foi inferior ao obtido no outono, devido provavelmente ao efeito das temperaturas elevadas que favorecem o pendoamento, reduzindo, portanto, o crescimento das folhas. Conseqüentemente, o período entre o plantio e a colheita que foi de 42 dias no outono e reduziu-se a 22 dias no verão.

O crescimento radicular no perfil dos vasos mostra que nos vasos grandes com gotejamento o crescimento das raízes concentrou-se próximo à fonte, ou seja no terço superior do vaso, em ambas as concentrações de N (Tabela 1). Nos vasos grandes com subirrigação, houve uma distribuição mais uniforme do crescimento

das raízes nas três partes do vaso. Nos vasos pequenos, a concentração mais alta de N reduziu o crescimento das raízes e favoreceu o seu crescimento na parte superior dos vasos. Os vasos grandes fertirrigados por subirrigação representam uma situação semelhante àquela das plantas cultivadas no solo sem restrição ao crescimento radicular, onde o volume de água disponível diminui mais rapidamente na superfície e as raízes buscam a água nas camadas mais profundas. Nessa situação, a concentração de N não afetou o crescimento das raízes. Os vasos pequenos representam a situação das plantas cultivadas no solo encanteirado, com adubação concentrada na camada superficial. Nesse caso, a concentração alta de N foi prejudicial tanto ao crescimento das raízes (Tabela 1) como da parte aérea (Tabela 2). O menor crescimento das raízes na parte inferior dos vasos pequenos subirrigados pode ser consequência da hipoxia, a qual também pode ocorrer em plantas encanteiradas nos períodos de elevada precipitação pluviométrica. A hipoxia reduz a respiração das raízes afetando os processos fisiológicos que dependem de energia, principalmente a absorção de nutrientes (DIAS et al., 2008).

As plantas cultivadas no outono nos vasos grandes e fertirrigadas por gotejamento com concentração alta e baixa de nitrogênio não apresentaram diferença significativa de massa fresca da parte aérea (Tabela 2). Entretanto, nos vasos pequenos a massa fresca foi mais elevada na concentração baixa de N no outono com gotejamento. O aumento de 64,2% na concentração de N reduziu a massa fresca em 31,59%. Menor crescimento das raízes também foi observado nas plantas que receberam a concentração alta de N, com redução de 62,45% em comparação com a baixa concentração. Porém, o acúmulo de massa seca da parte aérea não apresentou diferença significativa entre as plantas cultivadas nos vasos grandes e pequenos e com concentrações de N alta e baixa. O aumento relativo entre as plantas que cresceram nos vasos grandes com baixa concentração de N (6,23/grande) e aquelas nos vasos pequenos com alta concentração de N (10,23/pequeno) foi de 54,5% na massa fresca da parte aérea, 131,5% na massa seca de raízes e de apenas 13,7% na massa seca da parte aérea. Esses resultados mostram que a concentração alta de N reduziu o crescimento das raízes o qual por sua vez afetou a absorção de água da planta. Indicam também que o menor volume para o crescimento das raízes no vaso pequeno não afetou significativamente o crescimento da planta quando a concentração de N foi baixa.

Quando foi empregada a subirrigação no outono, o maior crescimento da parte aérea foi obtido nos vasos grandes e com alta concentração de N. Os vasos pequenos diminuíram o crescimento das raízes, independentemente da concentração de N. Entretanto, o crescimento máximo verificado da parte aérea nas plantas no gotejamento foi maior do que aquelas na subirrigação. A partição da massa seca entre a parte aérea e as raízes foi afetada pelos tratamentos. A razão parte aérea:raízes (PA:R) nos vasos grandes com alto N foi de 139,73 no gotejamento e de apenas 83,43 na subirrigação. Nos mesmos vasos, porém com baixa concentração de N foi de 148,48 no gotejamento e de 42,94 na subirrigação.

Os resultados demonstram que as plantas com subirrigação priorizaram a transferência dos fotoassimilados para as raízes diminuindo o acúmulo na parte aérea, devido provavelmente a maior fração da solução nutritiva no terço inferior dos vasos. Nos vasos pequenos subirrigados, o baixo crescimento radicular pode ter sido induzido por hipoxia. Ao comparar o crescimento da parte aérea nas plantas que receberam alta e baixa concentração de N, observa-se que no gotejamento o crescimento mais elevado foi obtido com a concentração mais baixa de N. Na subirrigação, foi obtido com a concentração mais elevada. Essa diferença pode ser atribuída à distribuição mais uniforme da solução nutritiva no perfil dos vasos grandes fertirrigados por gotejamento. Entretanto, salienta-se que o crescimento radicular mais baixo no verão foi observado nos vasos pequenos e com alta concentração de N. Esses resultados confirmam aqueles encontrados anteriormente por Cardoso et al. (2015), os quais mostraram que em plantas de alface crescendo em confinamento radicular uma maior disponibilidade de N reduziu o crescimento da parte aérea.

No método do gotejamento no outono todas as plantas acumularam N na parte aérea de forma similar (Tabela 3). Entretanto, aquelas que foram fertirrigadas com a concentração alta de N apresentaram quantidade mais baixa desse nutriente nas raízes. Como o N é absorvido pelas raízes e transportado para as folhas onde é assimilado, esse resultado sugere que a absorção foi mais baixa pelas raízes das plantas supridas com alta concentração de N. Essa situação não se repetiu no verão, onde as quantidades acumuladas foram inferiores e aquelas transportadas para as folhas mais baixas nas plantas que receberam a dose alta de N. Na subirrigação a concentração alta de N favoreceu o acúmulo de N nas folhas no outono em ambos os vasos e somente nos vasos grandes no verão.

Ao comparar os resultados do crescimento da parte aérea (Tabela 1) com a acumulação de N na planta (Tabela 3), observa-se que no outono as plantas nos vasos pequenos supridas com a concentração alta de N por gotejamento cresceram menos. Entretanto, acumularam nas folhas quantidades similares de N, mesmo com massa de raízes inferior. No verão, cresceram menos e acumularam também menos N, embora a massa de raízes tenha sido similar às demais. O cultivo de verão caracterizou-se por uma média diária de radiação solar de  $45,58 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , enquanto no outono foi de apenas  $9,67 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , indicando maior demanda evapotranspiratória no verão. Quanto mais elevada essa demanda maior poderá ser a amplitude de variação do volume de água disponível no vaso entre duas fertirrigações sucessivas. Essa variação poderá ser a causa de a concentração alta de N no vaso pequeno fertirrigado por gotejamento no outono ter afetado somente o crescimento, enquanto no verão afetou tanto o crescimento como a acumulação de N nas folhas. Esses resultados evidenciam que a situação de alta concentração de N aliada a um volume reduzido de meio radicular é desfavorável ao crescimento das plantas de alface. No método de subirrigação essas relações foram menos visíveis. Entretanto, o crescimento das plantas também foi menor nesse método, o que pode ter dificultado a expressão dos resultados.

Resultados que evidenciem os efeitos isolados do N no crescimento das plantas são escassos. Em Kerbiriou et al.(2013), as plantas de alface cresceram em vasos divididos em um compartimento superior e outro inferior, separados por uma membrana de vaselina a fim de evitar o movimento de água e nutrientes do compartimento superior para o inferior. O fornecimento de água e nitrogênio foi diferido em ambos os compartimentos. Observaram que tanto o estresse de água como o de nitrogênio no compartimento superior (0-20 cm) aumentaram a densidade de raízes neste compartimento. Nesses resultados o sistema radicular cresceu menos onde havia uma quantidade mais baixa de nutrientes, mesmo havendo uma quantidade mais alta no compartimento inferior. Entretanto, a divisão do meio radicular através de uma membrana de vaselina criou uma situação artificial que pode ter afetado o crescimento das raízes e os resultados não podem ser extrapolados para a condição das raízes crescendo no solo. Os resultados atuais são originais porque foram obtidos sem manipulação do crescimento das raízes e representam, portanto, a resposta da planta a disponibilidade de água e nutrientes em uma situação mais próxima das condições de produção.

No trabalho de Cardoso et al.(2015), com restrições ao crescimento radicular por confinamento em vasos, o crescimento da planta foi inferior nos vasos pequenos e uma maior disponibilidade de N não teve efeito em compensar o menor crescimento das raízes nos vasos pequenos. Esses autores sugeriram que este efeito poderia estar relacionado também com a disponibilidade de água. Os resultados atuais permitem visualizar o efeito separado da água e do nitrogênio. Nos vasos grandes e pequenos fertirrigados por subirrigação no verão, o crescimento das raízes das plantas com a concentração mais alta de N foi maior no terço do vaso com o menor de volume de água. A combinação de uma concentração mais alta de N no vaso pequeno com menor volume de água disponível (Tabela 2, verão, subirrigação) reduziu drasticamente o crescimento das raízes, e por consequência da parte aérea da planta.

Os resultados deste trabalho mostram que a eficiência de uso do nitrogênio passa por uma distribuição uniforme da água e dos nutrientes no solo ou outro meio de crescimento de raízes. Confirmam que o emprego de altas doses de fertilizantes não é suficiente para aumentar o crescimento das plantas de alface. Pelo contrário, pode reduzir o crescimento e a produção no caso em que de não ser elevado o volume de água disponível no meio radicular. Considerando as perdas que podem ocorrer com o N, as elevadas doses de adubação podem ser prejudiciais tanto a cultura como ao ambiente. Do ponto de vista da sustentabilidade da produção, práticas que favoreçam o crescimento das raízes, a exploração de maiores volumes de solo, a distribuição uniforme da água e dos nutrientes nesses volumes e doses mais baixas de adubação nitrogenada devem ser buscadas.

#### 4.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

ARAÚJO, T. S.; FIDELES FILHO, J.; KUMAR, K. K.; RAO, T. V. R. Crescimento da alface-americana em função dos ambientes, épocas e graus-dias. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, p. 441-449, 2010.

BOROUJERDNIA, M.; ANSARI, N. A. Biotechnology Effect of Different Levels of Nitrogen Fertilizer and Cultivars on Growth, Yield and Yield Components of Romaine Lettuce (*Lactuca sativa* L.) **Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology**, v. 1, n.2, p. 47-53, 2007.

CANTÚ, R. R. **Acidificação de dejetos de suínos em compostagem automatizada: emissões gasosas de nitrogênio e resposta da alface à aplicação do composto no solo**. 2014, 92p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2014.

CARDOSO, F. L.; ANDRIOLO, J. L.; DAL PICIO, M.; PICCIN, M.; SOUZA, J. M. Nitrogen on growth and yield of lettuce plants grown under root confinement. **Horticultura Brasileira**, v.33, p. 422-427, 2015.

CQFS-RS/SC - COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO DOS ESTADOS DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 4. ed. Passo Fundo, SBCN – Núcleo Regional Sul/EMBRAPA – CNPT, 2004.

FERNÁNDEZ, F. G.; BROUDER, S. M.; VOLENEC, J. J.; BEYROUTY, C. A.; HOYUM, R. Soybean shoot and root response to localized water and potassium in a split-pot study. **Plant Soil**, v. 344, p. 197-212, 2011.

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

FURLANI, P. R.; PURQUERIO, L. F. V. **Avanços e desafios na nutrição de hortaliças**. In: Nutrição de Plantas: diagnose foliar em hortaliças. MELLO PRADO, R. et al. Jaboticabal:FCAV/CAPES/FUNDUNESP, p.45-62. 2010.

GALLARDO, M.; SNYDER, R. L.; SCHULBACH, K.; JACKSON, L. E. Crop growth And water use model for lettuce. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, p. 354- 359, 1996.

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.

IQBAL, T. A Split-root experimente shows that translocated phosphorus does not alleviate aluminium toxicity within tissue. **Plant Soil**, v.384, p. 21-36, 2014.

KAFKAFI, U. Root temperature, concentration and the ratio  $\text{NO}_3^- / \text{NH}_4^+$  effect on plant development. **J. Plant Nutrition**, v. 13, n. 10, p. 1291-306, 1990.

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.

KOSSLAR, R.; BEM BOHLOOL, B. Suppression of nodule development o fone side of a Split-Root System of soybeans caused by prior inoculation of the other side. **Plant Physiol**, v. 75, p. 125-130, 1984.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo. Editora Agronomia Ceres. 638p. 2006.

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

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**, Curitiba, v.10, n.5, p.397-402. 2009.

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

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

SILVA, P. A. M.; PEREIRA, G. M.; REIS, R. P.; LIMA, L. A.; TAVEIRA, J. H. Função de resposta da alface americana aos níveis de água e adubação nitrogenada. **Ciência Agrotecnologia**, v. 32, n. 4, p. 1266-1271, 2008.

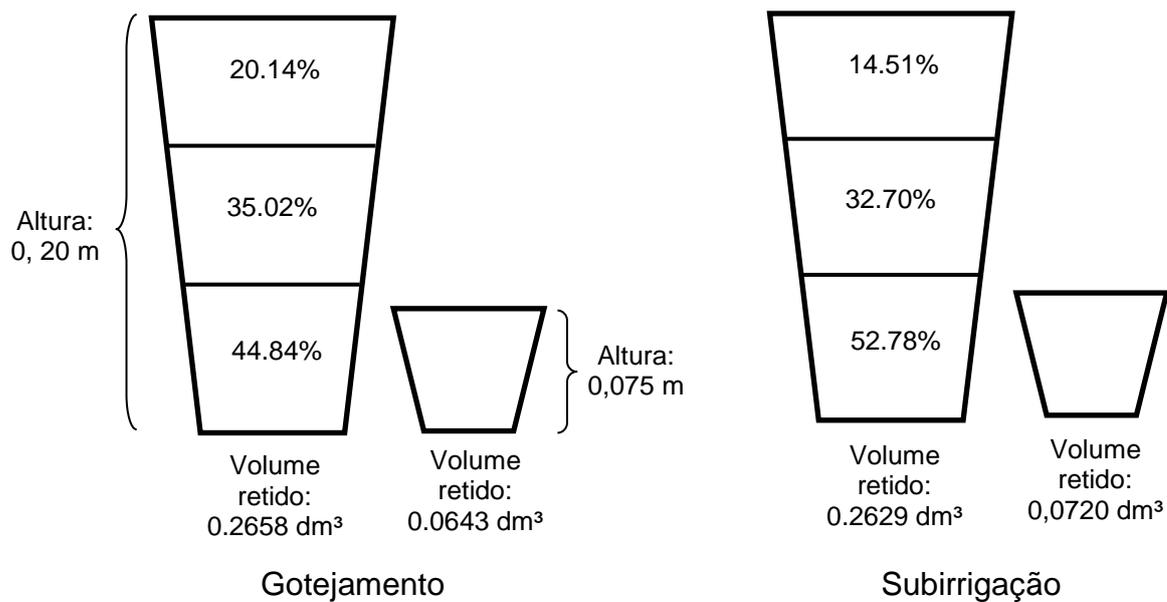
RESENDE, G. M.; ALVARENGA, M. A. R.; YURI, J. E.; SOUZA, R. J. Rendimento e teores de macronutrientes em alface americana em função de doses de nitrogênio e molibdênio. **Horticultura Brasileira**, n.30, 2012.

TRANI, P. E.; NOVO, M. C. S. S.; CAVALLARO JUNIOR, M. L.; TELLES, L. M. G. Produção de mudas de alface em bandejas e substratos comerciais. **Horticultura Brasileira**, v. 22, p. 290-294, 2004.

TRANI, P. E.; TIVELLI, S. W.; PURQUERIO, L. F. V.; AZEVEDO FILHO, J. 2014. **Alface In: Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. Campinas: IAC. (Boletim IAC 200). 452p.

## ANEXOS

**Figura 1** – Volume de água retido e distribuição de água ao longo do perfil dos vasos de 1,7 dm<sup>3</sup> (grande) e 0,4 dm<sup>3</sup> (pequeno) em dois métodos de irrigação. Santa Maria, UFSM, 2015.



**Tabela 1** – Massa seca total de raízes (MSR total) e distribuição de massa seca de raízes no perfil de vasos com volume de 1,7 dm<sup>3</sup> (grande) e 0,415 dm<sup>3</sup> (pequeno) no verão e no outono-inverno (Outono), e fertirrigadas por gotejamento ou subirrigação com concentrações de 6,23 ou 10,23 mmol L<sup>-1</sup> de nitrogênio na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2015.

Época	Concent. mmol L <sup>-1</sup>	Vaso dm <sup>3</sup>	MSR total* .....	Superior g planta <sup>-1</sup>	Médio .....	Inferior .....	
Gotejamento							
Verão	6,23	Grande	1,48	A**	0,982 a	0,326 a	0,172 a
	10,23	Grande	1,25	AB	0,832 a	0,353 a	0,062 a
	6,23	Pequeno	1,11	AB	0,702 a	-	0,407 a
	10,23	Pequeno	0,83	B	0,563 a	-	0,264 a
	Subirrigação						
	6,23	Grande	1,51	A	0,680 a	0,680 a	0,147 a
	10,23	Grande	1,19	AB	0,614 a	0,424 b	0,149 a
	6,23	Pequeno	1,44	A	0,857 a	-	0,585 a
10,23	Pequeno	0,83	B	0,720 a	-	0,107 b	
Gotejamento							
Outono	6,23	Grande	2,33	A	1,276 a	0,632 a	0,426 a
	10,23	Grande	2,19	A	1,345 a	0,625 a	0,221 a
	6,23	Pequeno	2,23	A	1,309 a	-	0,925 a
	10,23	Pequeno	0,82	B	0,655 b	-	0,160 b
	Subirrigação						
	6,23	Grande	2,28	A	0,978 a	0,444 a	0,861 a
	10,23	Grande	2,34	A	1,095 a	0,675 a	0,573 a
	6,23	Pequeno	1,05	B	0,565 b	-	0,480 a
10,23	Pequeno	1,14	B	0,888 a	-	0,253 a	

\*Média de três plantas

\*\* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem entre si na MSR total entre os tratamentos, e médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem entre si para as Concentrações de N na solução em cada vaso, no nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

**Tabela 2 –** Massa fresca de parte aérea (MFPA), massa seca de raízes (MSR) e massa seca de parte aérea (MSPA) de plantas de alface cultivar Veneranda, cultivadas no verão e no outono-inverno (Outono), dois volumes de vasos e fertirrigadas por gotejamento ou subirrigação com concentrações de 6,23 ou 10,23 mmol L<sup>-1</sup> de nitrogênio na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2015.

Época	Concent.	Vaso	MFPA	MSR	MSPA	
	mmol L <sup>-1</sup>	dm <sup>3</sup>	..... g planta <sup>-1</sup> .....			
Gotejamento						
Verão	6,23	2,00	131,63 a*	1,17 a	6,42 a	
	6,23	0,40	139,61 a	0,98 a	6,56 a	
	10,23	2,00	137,56 a	1,15 a	7,58 a	
	10,23	0,40	70,61 b	0,80 a	5,24 b	
	CV(%)	-	13,51	24,64	14,32	
	Subirrigação					
	6,23	2,00	69,44 b	1,35 a	4,56 b	
	6,23	0,40	73,50 b	1,15 a	4,82 b	
	10,23	2,00	93,34 a	1,17 a	6,07 a	
	10,23	0,40	58,98 b	0,78 b	4,27 b	
CV(%)	-	17,53	23,49	19,46		
Gotejamento						
Outono	6,23	2,00	305,86 a	2,06 a	10,54 a	
	6,23	0,40	288,98 a	2,37 a	10,93 a	
	10,23	2,00	273,88 a	1,96 a	10,93 a	
	10,23	0,40	197,98 b	0,89 b	9,27 a	
	CV(%)	-	10,96	17,44	19,96	
	Subirrigação					
	6,23	2,00	109,50 b	2,55 a	6,47 b	
	6,23	0,40	89,06 b	1,02 b	5,13 b	
	10,23	2,00	186,06 a	2,23 a	9,84 a	
	10,23	0,40	127,61 b	1,50 b	7,15 b	
CV(%)	-	22,17	31,39	26,57		

\* Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem entre si no nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

**Tabela 3** – Nitrogênio acumulado nos tecidos de folhas (N\_Folha) e raízes (N\_RAIZ) de plantas de alface cv. Veneranda, cultivadas no verão e no outono-inverno (Outono), em dois volumes de vasos e fertirrigadas por gotejamento ou subirrigação com concentrações de 6,23 ou 10,23 mmol L<sup>-1</sup> de nitrogênio na solução nutritiva. Santa Maria, UFSM, 2015.

Época	Concent.	Vaso	N_Folha		N_Raiz		
	mmol L <sup>-1</sup>	dm <sup>3</sup>	..... gN gMS <sup>-1</sup> .....				
Verão	Gotejamento						
	6,23	2,00	0,253	b	0,028	a	
	6,23	0,40	0,244	b	0,021	a	
	10,23	2,00	0,315	a	0,029	a	
	10,23	0,40	0,162	c	0,029	a	
	CV(%)		13.14		25.56		
	Subirrigação						
	6,23	2,00	0,144	b	0,030	a	
	6,23	0,40	0,142	b	0,021	b	
	10,23	2,00	0,230	a	0,037	a	
	10,23	0,40	0,140	b	0,023	b	
	CV(%)		20.98		23.24		
	Outono	Gotejamento					
		6,23	2,00	0,378	a	0,045	a
6,23		0,40	0,383	a	0,054	a	
10,23		2,00	0,421	a	0,037	b	
10,23		0,40	0,342	a	0,029	b	
CV(%)			21.69		18.73		
Subirrigação							
6,23		2,00	0,135	b	0,037	a	
6,23		0,40	0,100	b	0,019	b	
10,23		2,00	0,265	a	0,047	a	
10,23		0,40	0,210	a	0,032	a	
CV(%)			29,93		33.58		

\* Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas não diferem entre si no nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

## 5. DISCUSSÃO

O cultivo de hortaliças em sistemas sem solo representa uma alternativa ao cultivo convencional e traz vantagens ao produtor, ao consumidor e ao ambiente, por proporcionar a obtenção de produtos com alta qualidade sanitária e fisiológica, em menor período de tempo e com uso mais eficiente da água e dos nutrientes (ANDRIOLO et al., 2009; PAULLUS et al., 2012,).

O cultivo hidropônico da alface em sistema NFT (fluxo laminar de nutrientes) está consolidado no Brasil. Contudo, ainda encontra desafios a serem enfrentados. Um deles refere-se à formulação e descarte das soluções nutritivas. As soluções nutritivas mais empregadas no Brasil no cultivo da alface em NFT (CASTELANI; ARAUJO, 1995; FURLANI, 1997, 1999) não levam em conta na sua composição fatores como época de cultivo, cultivar, temperatura e radiação solar. Essas soluções empregam concentrações elevadas de nutrientes com a justificativa que a redução das concentrações afetaria o crescimento e a qualidade do produto. Para a alface produzida em sistema convencional no solo, as recomendações existentes também são elevadas desconsiderando as concentrações presentes no solo e o estágio de desenvolvimento da cultura. Porém, sabe-se que são finitas as fontes de fertilizantes para a agricultura e é evidente a necessidade de aumentar a eficiência de uso dos nutrientes e reduzir o descarte nos sistemas de cultivo sem solo.

O presente trabalho alerta para a necessidade de rever o manejo do nitrogênio no cultivo da alface. Apesar de essa planta ser responsiva ao aumento da disponibilidade desse nutriente, os resultados desse trabalho evidenciam que nem sempre existe uma relação entre o crescimento e a absorção do N pela planta, o que leva a perdas do nutriente para o ambiente e, em alguns casos pode afetar de forma negativa o crescimento da planta. No artigo 1 foi demonstrado que em períodos de alta radiação o crescimento em massa fresca depende não somente do nitrogênio mas também do aporte de água para o sistema radicular da planta. Nesse mesmo artigo, observou-se também que com o manejo do período de colheita é possível reduzir a adubação nitrogenada sem afetar a produção de massa fresca.

Atualmente, há preocupação com a escassez de água e fertilizantes para a agricultura. Todavia, o manejo simultâneo da água e dos nutrientes ainda não é objeto de preocupação. Isso ocorre provavelmente pela dificuldade em visualizar e acompanhar o crescimento do sistema radicular das plantas. É de fundamental

importância que as raízes tenham condições favoráveis para seu crescimento, com a finalidade de explorar a maior área possível de solo ou meio de crescimento. O crescimento das raízes afeta tanto a absorção de água de água como de nutrientes. Em períodos de estiagem, plantas com crescimento reduzido do sistema radicular estão mais propensas a efeitos negativos do estresse de água sobre o crescimento e a produção.

Como as necessidades de água das plantas variam na escala diária e entre as épocas do ano, a modulação da adubação nitrogenada e do fornecimento de água pode ser o ponto principal para uma produção mais sustentável e com alta produtividade. Esse manejo pode ser feito através da fertirrigação, evitando as indicações fixas como aquelas que ainda predominam nas indicações de adubação para a cultura da alface. Essa conclusão é decorrência dos resultados do segundo artigo, os quais evidenciam que a aplicação do N para a cultura de alface por meio da fertirrigação deve ser ajustada de acordo com o crescimento e o desenvolvimento da planta, devendo ser variável de uma época do ano para outra e considerando a taxa de crescimento da cultura.

O terceiro artigo deixa evidente que o manejo isolado da adubação nitrogenada não é uma prática sustentável. Pelo contrário, o aumento da disponibilidade de N sem o manejo correto da água pode ser prejudicial ao crescimento. Tanto os métodos de irrigação como de adubação podem interferir na arquitetura radicular da planta. Raízes confinadas em volumes restritos podem agravar o estresse de água da planta quando ocorrem variações abruptas na demanda evapotranspiratória.

O presente trabalho limitou-se ao estudo do nitrogênio e suas interações com a água no crescimento e desenvolvimento de plantas. O N é o segundo nutriente mais absorvido pela planta de alface e fornecido em concentrações ou doses elevadas nos cultivos no solo e sem solo. Entretanto, é provável que existam relações semelhantes no crescimento das plantas com outros nutrientes, podendo ser eles macro ou micronutrientes. Assim, é importante que mais pesquisas relacionadas à nutrição das plantas sejam realizadas, principalmente no que diz respeito ao uso de micronutrientes, pois estes apresentam limites mais estreitos entre a deficiência e toxicidade do que os macronutrientes.

## 6. CONCLUSÃO

A tese apresenta como conclusões:

- As recomendações da adubação nitrogenada devem ser adaptadas para as cultivares e épocas de cultivo, para maximizar o crescimento das plantas de alface, podendo-se assim, reduzir as perdas pelas doses excessivas fornecidas nas diferentes épocas do ano;
- Quando a fertirrigação é empregada na adubação da alface as quantidades devem ser parceladas durante o período de crescimento das plantas na lavoura de acordo com a extração de modo a aumentar a eficiência de absorção do nutriente e reduzir as perdas;
- O manejo da adubação nitrogenada da alface deve ser feito levando em conta a concentração do nutriente e o volume de água disponível no meio radicular de acordo com o método de irrigação empregado.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AËGREN, G. I.; FRANKLIN, O. Root: Shoot Ratios, Optimization and Nitrogen Productivity. **Annals of Botany**, v. 92, p.795-800, 2003.

BOGIANI, J. C.; ANTON, C. S.; SELEGUINI, A.; FARIA JÚNIOR, M. J. A.; SENO, S. Poda apical, densidade de plantas e cobertura plástica do solo na produtividade do tomateiro em cultivo protegido. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n.1, p.145-151, 2008.

CARDOSO, F. L.; ANDRIOLO, J. L.; DAL PICIO, M.; PICCIN, M.; SOUZA, J. M. Nitrogen on growth and yield of lettuce plants grown under root confinement. **Horticultura Brasileira**, v.33, p. 422-427, 2015.

COSTA, C. P.; SALA, F. C. A evolução da alfacicultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 1, 2005.

FURLANI, P. R.; PURQUERIO, L. F. V. **Avanços e desafios na nutrição de hortaliças**. In: Nutrição de Plantas: diagnose foliar em hortaliças. MELLO PRADO, R. et al. Jaboticabal:FCAV/CAPES/FUNDUNESP, p.45-62. 2010.

KLAR, A. E.; JADOSKI, S. O. Efeitos da irrigação e da cobertura do solo por polietileno preto sobre as características morfológicas do pimentão. **Irriga**, Botucatu, v. 7, n.3, p.154-167, 2002.

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.

MEDEIROS, J. F.; SILVA, M. C. C., SARMENTO, D. H. A.; BARROS, A. D. Crescimento do meloeiro cultivado sob diferentes níveis de salinidade, com e sem cobertura do solo. **Revista Brasileira de Engenharia. Agrícola Ambiental**, v. 11, n.3, p. 248-255, 2007.

MONTEIRO, R.; COELHO, R. D.; MELO, P. C. T.; FERRAZ, P.; CHAVES, S. W. P.; SHIRAHIGE, F. H.; BELTRAME, NETO, E.; PIEDADE, S. M. S. Net melon performance as affected by the drip irrigation depth and mulching. **Horticultura Brasileira**, n. 26, p. 447-451, 2008.

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

SILVA, P. A. M.; PEREIRA G. M.; REIS, R. P.; LIMA, L. A.; TAVEIRA, J. H. Função de resposta da alface americana aos níveis de água e adubação nitrogenada. **Ciência Agrotecnologia**, v. 32, n. 4, p. 1266-1271, 2008.

SOARES, T. M.; SILVA, E. F. F.; DUARTE, S. N.; MÉLO, R. F.; JORGE, C. A.; BONFIM-SILVA, E. M. Produção de alface utilizando águas salinas em sistema hidropônico. **Irriga**, v. 12, n.2, p.235-248, 2007.

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

WILLANDINO, L.; CAMARA, T. R. Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos. Enciclopédia Biosfera, **Centro Científico Conhecer**, v. 6, n. 11, 2010.