

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

**NITROGÊNIO NO CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE  
DE PLANTAS DE ALFACE CULTIVADAS EM  
CONFINAMENTO RADICULAR**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Francieli Lima Cardoso**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2012**

**NITROGÊNIO NO CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE  
PLANTAS DE ALFACE CULTIVADAS EM CONFINAMENTO  
RADICULAR**

**Francieli Lima Caradoso**

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

**Orientador: Prof. Jerônimo Luiz Andriolo**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2012**

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

Cardoso, Francieli Lima Cardoso  
Nitrogênio no crescimento e produtividade de plantas  
de alface cultivadas em confinamento radicular /  
Francieli Lima Cardoso Cardoso.-2012.  
37 p.; 30cm

Orientador: Jerônimo Luiz Andriolo Andriolo  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-  
Graduação em Agronomia, RS, 2012

1. Lactuca sativa L. 2. Nutrição mineral 3. Adubação  
4. Horticultura I. Andriolo, Jerônimo Luiz Andriolo II.  
Título.

---

© 2012

Todos os direitos autorais reservados a Francieli Lima Cardoso. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: R. João Franciscatto, nº548, Bairro São José, Santa Maria, RS.

Endereço eletrônico: francyagro@gmail.com

---

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado

**NITROGÊNIO NO CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE PLANTAS  
DE ALFACE CULTIVADAS EM CONFINAMENTO RADICULAR**

elaborada por  
**Francieli Lima Cardoso**

Como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Agronomia**

**Comissão Examinadora**

**Jerônimo Luiz Andriolo, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

**Leandro Souza da Silva, Dr. (UFSM)**

**Pedro Alexandre Varella Escosteguy, Dr. (UPF)**

Santa Maria, 28 agosto de 2012.

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

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por me proporcionar uma vida cheia de alegrias, desafios, tristeza e conquistas, fazendo-me ser uma pessoa cada vez 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 esposo Elenio, pela compreensão, carinho e amor, pelo apoio e incentivo em todas as horas.

Ao meu orientador Prof. Dr. Jerônimo Luiz Andriolo, pelos ensinamentos, amizade e confiança a mim conferida.

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 mestrado.

Aos amigos e colegas do Grupo de Pesquisa do Morango pela ajuda nas tarefas e amizade. Por tornar os dias de trabalho mais alegres e contagiantes pelas conversas e risadas.

Aos colegas de graduação e pós pelas conversas, amizade e preocupações compartilhadas durante esta nova fase de nossa vida acadêmica.

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

**Muito obrigada!**

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia  
Universidade Federal de Santa Maria

### **NITROGÊNIO NO CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE PLANTAS DE ALFACE CULTIVADAS EM CONFINAMENTO RADICULAR**

Autora: FRANCIELI LIMA CARDOSO

Orientador: JERÔNIMO LUIZ ANDRIOLO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 28 de agosto de 2012.

A pesquisa teve por objetivo testar a hipótese de que sob condições de confinamento das raízes em um volume limitado, os efeitos negativos no crescimento e produtividade da planta de alface podem ser compensados aumentando a disponibilidade de N no meio radicular. O experimento foi realizado entre 11 de agosto e 23 de setembro de 2011. Mudanças de alface da cultivar Stella com cinco folhas foram plantadas em vasos empregando areia como substrato. Os tratamentos foram constituídos por três níveis de confinamento do sistema radicular e cinco concentrações de nitrogênio na solução nutritiva, em esquema fatorial 3 x 5. O confinamento das raízes foi simulado usando tamanhos de vasos de 2,5 dm<sup>3</sup> (sem confinamento, controle); 1,0 dm<sup>3</sup> (moderado) e 0,4 dm<sup>3</sup> (severo). As concentrações de nitrogênio foram fornecidas através de uma solução nutritiva, onde as concentrações totais de nitrogênio foram: 5,55 (T1), 8,05 (T2), 10,55(T3), 13,05 (T4) e 15,55 (T5) mmol L<sup>-1</sup>. Houve interação entre os dois fatores, de forma que plantas sob confinamento severo das raízes na concentração de 10,55mmol L<sup>-1</sup> de N apresentaram crescimento de folhas similar àquelas sem confinamento (controle) na dose de 5,55mmol L<sup>-1</sup> de N. O aumento da concentração de N favoreceu o crescimento da parte aérea da planta, porém, reduziu o crescimento das raízes. O confinamento severo não afetou o crescimento das raízes porém reduziu o crescimento da parte aérea das plantas. Concluiu-se que o crescimento da parte aérea das plantas em confinamento radicular é compensado apenas parcialmente pelo aumento da disponibilidade de N no meio radicular.

**Palavras-chave:** *Lactuca sativa* L., nutrição mineral, adubação, horticultura.

## ABSTRACT

Master's Thesis  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia  
Universidade Federal de Santa Maria

### **NITROGEN ON GROWTH AND YIELD OF LETTUCE PLANTS GROWN UNDER ROOT CONFINEMENT**

Autora: FRANCIELI LIMA CARDOSO

Orientador: JERÔNIMO LUIZ ANDRIOLO

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 28 de agosto de 2012.

The objective of this research was to test the hypothesis that under confinement of roots in a limited volume, the negative effects on growth and yield of lettuce plants can be compensated by increasing the availability of N in the root media. The experiment was conducted between August 11<sup>th</sup> and September 23<sup>th</sup> 2011. Lettuce transplants, cv. Stella, bearing five leaves were planted in pots using sand as substrate. Treatments were three root confinement levels and five N concentrations in the nutrient solution, in a 3 x 5 factorial randomized experimental design. Root confinements were simulated by pots sizes of 2.5 dm<sup>3</sup> (no confinement, the control); 1.0 dm<sup>3</sup> (moderate) and 0.4 dm<sup>3</sup> (severe). Nitrogen concentrations were: 5.55 (T1), 8.05 (T2), 10.55 (T3), 13.05 (T4) and 15.55 (T5) mmol L<sup>-1</sup>. There were interactions among treatments and plants grown under severe root confinement supplied by the nutrient solution at the N concentration of 10.55 mmol L<sup>-1</sup> N reached similar leaf growth than those under no root confinement at 5.55 mmol L<sup>-1</sup> N. Increasing the N concentration in the nutrient solution enhanced shoot growth but decreased root growth. The severe root confinement did not affect root growth but reduced shoot growth. It was concluded that shoot growth of plants under root confinement is only partially compensated by increasing the availability of N in the root media.

**Key words:** *Lactuca sativa* L., mineral nutrition, fertilization, horticulture.

## LISTA DE TABELAS

Table 1- Stem diameter (DS) and length (LS), dry mass of leaves (DML) and stem (DMS), fresh mass of leaves (FML) and stem (FMSh), of lettuce plants grown in three levels of confinements in root growth <sup>1</sup> . Santa Maria, RS, 2011. (Diâmetro (SD) e comprimento de caule (SL), massa seca de folhas (DML) e caule (DMS), massa fresca de folhas (FML) e caule (FMSh) de plantas de alface crescendo em três níveis de confinamento das raízes. Santa Maria, RS, 2011.).....	29
---	----

## LISTA DE FIGURAS

- Figure 1- Shoot dry mass of lettuce plants grown under no confinements (◆), moderate (▲) and severe (■) of roots and nitrogen concentration from 5.55 to 15.55 mmol L<sup>-1</sup> in the nutrient solution. Santa Maria, RS, 2011. (Massa seca da parte aérea de plantas de alface crescendo sem confinamento, moderado e severo das raízes e concentrações de nitrogênio de 5,55 a 15,55 mmol L<sup>-1</sup> na solução nutritiva. Santa Maria, RS, 2011.)..... 30
- Figure 2- Dry mass of lettuce plants grown under no root confinement (NC), moderate (MC) and severe (SC) root confinement and nitrogen concentrations from 5.55 to 15.55 mmol L<sup>-1</sup> in the nutrient solution. Santa Maria, RS, 2011. (Massa seca de plantas de alface cultivadas sem confinamento de raízes (NC) e com confinamento moderado (MC) e severo (SC) e concentrações de N na solução nutritiva de 5.55 a 15.55 mmol L<sup>-1</sup>. Santa Maria, RS, 2011.)..... 31
- Figure 3- Shoot (▲) and roots (■) dry mass (a) and shoots: roots ratio (b) of lettuce plants grown under nitrogen concentration from 5.55 to 15.55 mmol L<sup>-1</sup> in the nutrient solution. Santa Maria, RS, 2011. (Massa seca de parte aérea (▲) e raízes (■), gráfico (a), e relação parte aérea: raiz, gráfico (b), de plantas de alface crescendo em solução nutritiva com concentrações de nitrogênio de 5.55 a 15.55 mmol L<sup>-1</sup>. Santa Maria, RS, 2011.)..... 32
- Figure 4- Shoots dry mass the lettuce plants under no confinement (NC) and severe confinement (SC) of roots on low and high nitrogen availability in the nutrient solution. Santa Maria, RS, 2011. (Massa seca de parte aérea de plantas de alface crescendo sem e com severo confinamento das raízes sobre baixa e alta disponibilidades e nitrogênio na solução nutritiva. Santa Maria, RS, 2011.). ..... 33
- Figure 5- Falker Chlorophyll index (ICF) the lettuce plants grown under confinement (NC) and severe confinement (SC) of roots under low (black) and high (gray) nitrogen availability in the nutrient solution at ending of experiment. Santa Maria, RS, 2011. (Índice de Clorofila de Falker de plantas de alface crescendo sem e severo confinamento das raízes sobre baixa (preto) e alta (cinza) disponibilidade de nitrogênio na solução nutritiva ao final do experimento. Santa Maria, RS, 2011.). 34

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>Sistemas de produção.....</b>	<b>15</b>
2.2.1	Cultivo no solo.....	15
<b>2.3</b>	<b>Relações parte aérea-raízes no crescimento e desenvolvimento das plantas.....</b>	<b>17</b>
<b>3.</b>	<b>NITROGEN ON GROWTH AND YIELD OF LETTUCE PLANTS GROWN UNDER ROOT CONFINEMENT .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1</b>	<b>Abstract .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2</b>	<b>Resumo .....</b>	<b>20</b>
<b>3.3</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>21</b>
<b>3.4</b>	<b>Material and methods .....</b>	<b>22</b>
<b>3.5</b>	<b>Results and discussion .....</b>	<b>23</b>
<b>3.6</b>	<b>Acknowledgments .....</b>	<b>25</b>
<b>3.7</b>	<b>References .....</b>	<b>26</b>
<b>4</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>35</b>

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A área plantada com alface no Brasil chega a 35 mil ha. Em sua maioria, a produção é realizada por propriedades familiares, gerando cinco empregos diretos para cada hectare (COSTA e SALA, 2005, p.164). A produção da alface no Brasil apresentou um aumento de 56% entre os anos de 1995 e 2007 (GUTIERREZ, 2010, p. 2), tendo sido comercializadas mensalmente uma média de aproximadamente 3 mil toneladas no ano de 2011 (AGRINUAL, 2011). O Estado de São Paulo é o maior produtor, com produção ao redor de 490 em uma área de 10 mil ha nesse mesmo ano (IEA, 2012). No Rio Grande do Sul foram em torno de 8 toneladas de alface no ano de 2009 (CEASA RS, 2009).

Na grande maioria das áreas, é empregado o sistema convencional de cultivo no solo. Esse sistema realiza o preparo do solo mediante lavração e encanteiramento, para posterior plantio das mudas. Sendo uma cultura com período de crescimento e desenvolvimento inferior a 60 dias, as operações de preparo do solo são repetidas várias vezes no decorrer do ano. Uma das principais conseqüências desse método é a desagregação da estrutura original do solo e a formação de uma camada de compactação no limite inferior de ação da enxada rotativa empregada no encanteiramento. O emprego da cobertura da superfície do solo com filme de polietileno opaco preto ou com restos de outras culturas ainda não é uma prática de rotina no cultivo da alface no Brasil. O impacto das gotas de chuva sobre os canteiros resulta na compactação do solo, reduzindo o espaço poroso e criando condições físicas desfavoráveis ao crescimento das raízes.

Embora ainda pouco empregado na produção de hortaliças, o plantio direto é o método alternativo que tem encontrado grande difusão no Brasil no cultivo de plantas produtoras de grãos. Porém, uma das críticas que tem sido feita a esse método é a concentração da matéria orgânica e dos fertilizantes na camada superficial do solo, desfavorecendo o crescimento das raízes nas camadas mais profundas do solo (BERTOL, 2011, p. 1915).

As condições físicas e químicas do solo desfavoráveis ao crescimento das raízes podem resultar em redução do crescimento e produtividade pelas dificuldades que a planta encontra para absorver água e nutrientes (NESMITH e DUVAL, 1998, p. 496; AGREN e FRANKLIN, 2003, p.795; HELBEL JUNIOR, 2008, p. 1146; SOARES et al., 2007, p. 235). Elevadas doses de adubação vêm sendo empregadas no cultivo das hortaliças, com o intuito de favorecer o crescimento da planta e produtividade. Para o cultivo de alface a recomendação de adubação no Rio Grande do Sul e Santa Catarina é realização em relação aos teores de

matéria orgânica do solo. Em São Paulo Trani et al. (2005, p. 1) e Filgueira (2000, p. 291) recomendam doses entre 30 a 40 kg ha<sup>-1</sup> de N no plantio, mais 60 a 90 kg ha<sup>-1</sup> parcelados. Entretanto, não foram encontrados na literatura resultados de pesquisas indicando que o efeito de altas doses N podem afetar o crescimento das raízes e compensar as condições desfavoráveis do seu crescimento.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. A cultura da alface

Originária do Mediterrâneo, a alface (*Lactuca sativa* L.) pertence à família das Asteráceas, com características de planta herbácea. Caracteriza-se por ciclos curtos que possibilitam vários cultivos no decorrer do ano. A planta é composta por caule, folhas, raízes e flores. O caule apresenta tamanho reduzido onde as folhas se inserem na forma de rosetas. Em temperatura elevadas e dias longos a planta encontra condições que favorecem a fase reprodutiva, com alongação do caule, fenômeno conhecido como pendoamento (BRUNINI et al., 1976, p.214; FILGUEIRA, 2000, p. 289).

As folhas podem apresentar diversas tonalidades de cores, texturas, formando ou não cabeça. A coloração das folhas varia desde verde ao roxo, podendo ser lisas ou crespas dependendo da cultivar. O florescimento da alface ocorre após o pendoamento. Sua inflorescência é ramificada em formato de capítulo as flores são hermafroditas e uniloculares, produzindo fruto chamado aquênios (FILGUEIRA, 2000, p.290).

As condições mais favoráveis ao crescimento e desenvolvimento da alface ocorrem em climas com temperaturas amenas e umidade relativa do ar entre 60 e 70% (HENZ e SUINAGA, 2009, p. 2) Apresenta resistência a temperaturas baixas e geadas leves (FILGUEIRA, 2000, p.289) Temperaturas ao redor de 6°C são indicadas para o período de semeadura até o transplante e de 10°C para período transplante-colheita, não apresentando ganhos de produção quando a temperatura ultrapassa 22°C (BRUNINI et al., 1979, p. 218). As altas temperaturas associadas aos dias longos estimulam o pendoamento, reduzem o tamanho das plantas, aumentam a produção de látex (FILGUEIRA, 2000, p. 289) gerando plantas de baixo valor comercial. Com o início do melhoramento genético na década de 1960 no Brasil, foi possível a obtenção de plantas mais resistentes ao calor e a doenças, como vírus do mosaico da alface e míldio (MELO e MELO, 2003, p. 734).

Nos anos de 1980, havia um predomínio do consumo da alface tipo lisa, que atualmente representa não mais que 10% no mercado. Por apresentar maior resistência às altas temperaturas no verão, a alface crespa apresenta predomínio de 70% do mercado. A alface tipo americana representa 15%, sendo mais utilizada na produção de lanches em redes de *fast food*, por apresentar maior resistência pós colheita e suportar melhor o processamento. (COSTA e SALA, 2005, p. 164; SALA e COSTA, 2005, p.158. HENZ e SUINAGA, 2009,).

As alfaces tipo mimosa, romana e roxas vêm ganhando espaço, principalmente na forma de processamento mínimo, atingindo 5% do mercado (SALA e COSTA, 2005, p.158.).

O cultivo da alface vem sendo realizado predominantemente no solo, pelo sistema convencional. Em menor escala em sistemas protegidos no solo e em hidroponia restrita do tipo NFT. Quando o plantio é feito no solo, são empregadas mudas produzidas por produtores especializados, em bandejas de 128 ou 288 células com substratos orgânicos (SILVA et al., 2006). O uso de mudas produzidas em bandejas com a utilização de sementes peletizadas foi uma das mudanças mais importantes no cultivo da alface, agregando valor ao produto (COSTA e SALA, 2005). O cultivo a partir de mudas permite maior controle fitossanitário e da nutrição das plantas, apresenta baixo índice de mortalidade pós-plantio, além de facilitar o manejo (SILVA et al., 2006).

## **2.2 Sistemas de produção**

### **2.2.1. Cultivo no solo**

Há décadas o principal método de cultivo da alface é feito no solo em canteiros, conhecido como cultivo convencional. O encanteiramento ocorre depois de sucessivos revolvimentos do solo com a utilização principalmente de enxada rotativa (FERREIRA, et al. 2009, p. 384), visando as melhorias das condições físicas do solo e incorporação dos fertilizantes. Com o uso continuado da enxada rotativa uma camada compactada pode ser formada no limite inferior da camada de solo revolvida.

A alface apresenta elevada exigência em água (FILGUEIRA, 2000, p. 292) e os métodos de irrigação mais utilizados no cultivo no solo são o gotejamento e a aspersão. O gotejamento apresenta melhores resultados pelo fato de que a água e os nutrientes são direcionados para as raízes, permitindo uma melhor utilização pela planta (SANDRI et al., 2007, p. 28). Entretanto este método ainda é pouco utilizado no Brasil, predominando a aspersão. Embora a aspersão possibilite uma redução da perda de água das folhas por evapotranspiração, pois cria um microclima em torno das folhas o que favorece o

resfriamento das mesmas, é mais desuniforme que o gotejamento. (FILGUEIRA, 2000, p. 292).

O método de aspersão concentra a maior parte do volume de água irrigada na camada superficial do solo. A concentração de água e fertilizantes na camada superficial do solo podem criar situações desfavoráveis do crescimento das raízes em direção a camada inferior do solo.

Com o objetivo de evitar perdas de nutrientes e diminuir o processo de evaporação de água do solo, são utilizados estruturas plásticas ou restos culturais acima da camada de cultivo, técnica conhecida como *mulching*. Dependendo do material utilizado, polietileno preto, casca de arroz, casca de café e capim braquiária, é possível observar aumentos no crescimento e produtividade da alface, quando comparados com o cultivo no solo desnudo (ANDRADE JUNIOR, et al. 2005, p. 899). A cobertura do solo possibilita uma diminuição da competição de plantas invasoras e afeta a temperatura do solo, com efeito dependente da coloração (STRECK et al., 1995, p. 587 ; COSTA e SALA, 2005, p. 164 ). Segundo Streck et al. (1995, p. 587) a utilização de filmes de polietileno opacos na produção de tomate possibilitou maiores ganhos comparados aos plásticos transparentes, devido a menor amplitude térmica do solo nos filmes opacos e maior reflexão da radiação solar global incidente por este tipo de material. Ferreira et al. (2009, p.383) observaram que com a utilização da cobertura do solo com casca de arroz ou polietileno prateado nos canteiros de alface a campo, os efeitos climáticos adversos também podem ser minimizados.

No plantio direto os restos culturais deixados pela cultura de cobertura podem contribuir para minimizar os processos de degradação do solo pelas intempéries climáticas, além de manter os nutrientes e a matéria orgânica na superfície do solo (BERTOL et. al., 2011, p. 1915). Com o plantio direto de alface, Stirzaker e White (1995) observaram um ganho de 40% na produção comparado com o cultivo sem cobertura, sugerindo que com esse sistema de produção é possível minimizar a compactação do solo, aumentando microporosidade e resistência dos agregados, com modificações também na temperatura do solo. Porém, Oliveira et al. (2006) utilizando grama batatais e amendoim forrageiro como coberturas vivas no plantio direto de alface, encontrou semelhança de produção com o sistema de preparo convencional, assim como Ferreira et al. (2009, p. 383) que não encontrou diferenças significativas entre o plantio direto e o plantio em canteiros sem cobertura.

Visando aumento de produtividade e melhoria na qualidade dos produtos, os produtores vêm empregando adubações pesadas. A planta de alface responde bem a adubação, principalmente quanto ao nitrogênio, apresentando ganhos de produção. Este nutriente é de

grande importância para o crescimento e produção da cultura, afetando o crescimento foliar e a produção de fotoassimilados (ANDRIOLO et al., 2006, p. 352). Para o cultivo convencional da alface 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 40 a 60 t ha<sup>-1</sup> de esterco de curral (TRANI et al., 2005, p. 1; FILGUEIRA, 2000, p.291). Segundo o Manual de Adubação e de Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina a recomendação de adubação nitrogenada é baseada no teor de matéria orgânica (MO) presente na análise de solo. Quando o teor de MO se encontrar menor que 2,5% a dose recomenda de N é de 150 a 200 kg ha<sup>-1</sup>, entre 2,6 e 5,0 a dose é de 100 kg ha<sup>-1</sup>, para teores maiores que 5,0 a recomendação é de até 80 kg ha<sup>-1</sup> (CQFS-RS/SC, 2004, p.187)

Segundo dados da Emater do Distrito Federal (2010) os gastos com adubação mineral representam 54 % dos custos da produção da alface. Com a possibilidade de realizar de seis a oito cultivos durante o ano, podem ser gastos em torno de 1040 kg ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> de adubação com o mineral nitrogênio.

A cultura da alface absorve entre 11 e 60 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio por cultivo o que pode resultar 66 a 336 kg ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> absorvidos de nitrogênio (GARCIA et al. 1982, p. 466; SANCHEZ et al., 2000, p.76.; FERREIRA, et al., 2002, p.17.). Alvarenga et al. (2000) avaliando o acúmulo de micronutrientes em plantas de alface adubadas com doses de nitrogênio aplicadas no solo e doses de cálcio via foliar, observou que os valores de micronutrientes e massa seca aumentaram em decorrência do incremento das doses de N. Alfaces cultivadas em vasos de 5,8 L, em ambiente protegido, quando adubadas com dose de nitrogênio acima de 283mg vaso<sup>-1</sup>, o equivalente a 60 kg ha<sup>-1</sup>, não apresentam ganho de produção e favorecem o acúmulo de nitrato na parte aérea da planta (MANTOVANI et al, 2005, p. 762). Analisando os níveis de água no solo e doses de adubação nitrogenada para a alface americana, Silva et al. (2008, p. 1266), observaram que a máxima produtividade foi alcançada com aplicação de 257,14 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio com uma lâmina 205, 3 mm de água.

### **2.3 Relações parte aérea-raízes no crescimento e desenvolvimento das plantas**

Na literatura encontram-se resultados que mostram a relação existente entre o crescimento radicular e os processos que envolvem o crescimento e desenvolvimento das plantas (AGREN e FRANKLIN, 2003, p. 795; THORNLEY, 1998, p. 165). Alguns modelos

são estudados para melhor explicar a relação do crescimento entre parte aérea e raízes (WILSON, 1988, p.433 ; THORNLEY, 1998, p.165). Uma das teorias que tem sido utilizada para explicar o crescimento da planta envolve o equilíbrio entre as concentrações de nitrogênio e carbono dentro da planta (THORLEY, 1998, p. 165). Segundo Thornely (1998, p. 165), durante o crescimento e desenvolvimento das plantas, as concentrações de carbono aumentam como consequência da fotossíntese e as concentrações de N nítrico diminuem devido à assimilação. Quando a concentração de N nítrico diminui, o crescimento da planta é reduzido e a concentração de C livre aumenta no interior da planta. Esse carbono estimula o crescimento de novos pelos radiculares, os quais aumentam a absorção de N até que seja estabelecido um novo equilíbrio entre as concentrações de C e N livres dentro da planta. Porém, quando o crescimento das raízes é restringido, o número de pelos radiculares também pode ser reduzido e a absorção de água e nutrientes pode ser afetada. Como consequência, a área foliar, o crescimento da parte aérea e das raízes e a produção da cultura também podem ser reduzidos (ROBBINS e PHARR, 1988, p. 409; IERSEL, 1997, p. 1186; NESMITH e DUVAL, 1998, p. 496).

A maioria dos resultados sobre as restrições em crescimento de raiz e seus efeitos na área foliar, partição de massa seca da parte aérea e raízes e desenvolvimento da planta, relatados na literatura, foram conduzidas em ensaios para a produção de mudas em pequenos recipientes ou bandeja com células (ECHER et al., 2000; SOUNDY et al., 2001). Resultados da literatura mostram que melhores mudas de alface foram obtidas utilizando bandejas com maior volume de substrato nos alvéolos. Os resultados mostram que o volume de substrato utilizado nos alvéolos afeta o crescimento das mudas de alface e produção da lavoura. (MARQUES et al., 2003, p. 651; TRANI et al. 2004, p.294). Ambos os autores justificam que quando o volume de substrato nas bandejas é reduzido a redução do crescimento das mudas e produção no campo é consequência da baixa disponibilidade de água e nutrientes às plantas devido a menor capacidade de armazenamento de substrato das bandejas. No cultivo de olerícolas durante o período pós transplante, esses resultados não foram encontrados na literatura.

### 3. NITROGEN ON GROWTH AND YIELD OF LETTUCE PLANTS GROWN UNDER ROOT CONFINEMENT

Francieli Lima Cradoso<sup>1</sup>; Jerônimo Luiz Andriolo<sup>1</sup>; Miriane Dal Picio<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Departamento de Fitotecnia. Avenida Roraima, CEP 97105 800, n° 1000, Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: franci-lc@hotmail.com, jeronimo@pq.cnpq.br, mirianedalpicio@yahoo.com.br,

#### 3.1. Abstract

The objective of this research was to test the hypothesis that under confinement of roots in a limited volume, the negative effects on growth and yield of lettuce plants can be compensated by increasing the availability of N in the root media. The experiment was conducted between August 11<sup>th</sup> and September 23<sup>th</sup> 2011. Lettuce transplants, cv. Stella, bearing five leaves were planted in pots using sand as substrate. Treatments were three root confinement levels and five N concentrations in the nutrient solution, in a 3 x 5 factorial randomized experimental design. Root confinements were simulated by pots sizes of 2.5 dm<sup>3</sup> (no confinement, the control); 1.0 dm<sup>3</sup> (moderate) and 0.4 dm<sup>3</sup> (severe). Nitrogen concentrations were: 5.55 (T1), 8.05 (T2), 10.55 (T3), 13.05 (T4) and 15.55 (T5) mmol L<sup>-1</sup>. There were interactions among treatments and plants grown under severe root confinement supplied by the nutrient solution at the N concentration of 10,55mmol L<sup>-1</sup> N reached similar leaf growth than those under no root confinement at 5, 55mmol L<sup>-1</sup> N. Increasing the N concentration in the nutrient solution enhanced shoot growth but decreased root growth. The severe root confinement did not affect root growth but reduced shoot growth. It was concluded that shoot growth of plants under root confinement is only partially compensate by increasing the availability of N in the root media.

**Key words:** *Lactuca sativa* L., mineral nutrition, fertilization, horticulture

### 3.2 Resumo

#### NITROGÊNIO NO CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE PLANTAS DE ALFACE CULTIVADAS EM CONFINAMENTO RADICULAR

A pesquisa teve por objetivo testar a hipótese de que sob condições de confinamento das raízes em um volume limitado, os efeitos negativos no crescimento e produtividade da planta de alface podem ser compensados aumentando a disponibilidade de N no meio radicular. O experimento foi realizado entre 11 de agosto e 23 de setembro de 2011. Mudas de alface da cultivar Stella com cinco folhas foram plantadas em vasos empregando areia como substrato. Os tratamentos foram constituídos por três níveis de confinamento do sistema radicular e cinco concentrações de nitrogênio na solução nutritiva, em esquema fatorial 3 x 5. O confinamento das raízes foi simulado usando tamanhos de vasos de 2,5 dm<sup>3</sup> (sem confinamento, controle); 1,0 dm<sup>3</sup> (moderado) e 0,4 dm<sup>3</sup> (severa). As concentrações de nitrogênio foram fornecidas através de uma solução nutritiva, onde as concentrações totais de nitrogênio foram: 5,55 (T1), 8,05 (T2), 10,55(T3), 13,05 (T4) e 15,55 (T5) mmol L<sup>-1</sup>. Houve interação entre os dois fatores, de forma que plantas sobconfinamento severo das raízes na concentração de 10,55mmol L<sup>-1</sup> de N apresentaram crescimento de folhas similar àquelas sem confinamento (controle) na dose de 5,55mmol L<sup>-1</sup> de N. O aumento da concentração de N favoreceu o crescimento da parte aérea da planta, porém, reduziu o crescimento das raízes. O confinamento severo não afetou o crescimento das raízes porem reduziu o crescimento da parte aérea das plantas. Concluiu-se que o crescimento da parte aérea das plantas em confinamento radicular é compensado apenas parcialmente pelo aumento da disponibilidade de N no meio radicular.

**Palavras-chave:** *Lactuca sativa* L., nutrição mineral, adubação, horticultura.

### 3.3 Introduction

65

66

67         Raised beds made by rotary cultivators are the main soil preparing method used for  
68 growing horticultural crops. Fertilizers and irrigation water are added in the upper layer, either  
69 at planting or during the cropping period. When polyethylene mulching is used, water and  
70 nutrients are applied by fertigation on the soil surface and percolation and salt lixiviation is  
71 reduced or avoided (Klar *et al.*, 2002; Andrade Junior, 2005; Monteiro *et al.*, 2008). When  
72 no-till soil planting methods are used, organic matter and fertilizers are retained on the soil  
73 surface (Bertol, 2011). In soilless systems, plants grow in pots, bags or in NFT gullies. The  
74 main objective of soil preparing methods is to create favorable conditions for root growth,  
75 water absorption and nutrient uptake in a limited volume of root media.

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

       High fertilization rates have been currently used as a strategy to reach high yield and  
quality of horticultural crops. In Brazilian field grown lettuce crops, nitrogen rates have been  
between 100 and 130 kg ha<sup>-1</sup> from mineral fertilizers plus 40 to 60 t ha<sup>-1</sup> of farmyard manure  
(Trani *et al.*, 2005; Filgueira, 2000). Six to eight cropping cycles may be reached during the  
year. The amount of total N supplied can reach 1040 kg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> and estimated uptake  
quantities by the crop are about 66 to 336 kg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> (Garcia *et al.* 1982; Sanchez *et al.*,  
2000). Nowadays, there is an increased awareness about the negative effects of wasting  
fertilizers in the environment and such practice must be reviewed. In the Rio Grande do Sul e  
Santa Catarina the nitrogen fertilization rates is based on the content of organic matter present  
in the soil, what possibility greater control of fertilization (CQFS-RS/SC, 2004).

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

       It has been demonstrated in the literature that roots grows to search for water and  
nutrients by physical and/or physiological processes (Agren & Franklin, 2003; Thornley,  
1998). Active root hairs on growing root tips are essential for nutrient uptake (Capon, 2010).  
The theoretical approach that has been used to explain the equilibrium between shoot and root  
growth is based on carbon and nitrogen concentrations in the plant (Thornley, 1998). During  
growth and development, carbon concentration increases as a consequence of photosynthesis  
and N concentration decreases due to its assimilation. The lack of N increases the labile  
carbon concentration which is allocated to roots for growing new root hairs. The rate of N  
uptake is increased by new root hairs until a new equilibrium between C and N concentration  
is attained in the plant. When root growth is restricted, the number of root hairs may also be  
reduced and water absorption and nutrient uptake might be impaired. As a consequence, leaf  
area, shoot and root growth and crop yield might also be reduced (Robbins & Pharr, 1988;  
Iersel, 1997; Nesmith & e Duval, 1998).

99 In natural ecosystems, plants are able to growth under low soil nutrient concentrations.  
 100 There are results in the literature reporting that soilless tomato plants can store N quantities  
 101 higher than those required for growth and yield, suggesting that fertilizer rates supplied to this  
 102 crop might be reduced (Siddiqui *et al.*, 1998, Le Bot *et al.* 2001). Nevertheless, the N buffer  
 103 capacity of fruiting plants may be a consequence of its remobilization from leaves and their  
 104 conclusion can not apply for leafy vegetables during its vegetative growth phase (Agren &  
 105 Franklin, 2003). Moreover, plants growing in the soil are submitted to strong variations in  
 106 water and nutrient availability which can affect root growth and nutrient uptake more severely  
 107 than in soilless conditions. Most of results about restrictions in root growth and its effects on  
 108 leaf area shoot and root biomass and plant development reported in the literature were  
 109 conducted in trials for transplant production in small containers or tray cells (Echer *et al.*,  
 110 2000; Soundy *et al.*, 2001). In horticultural crops during the post-transplant period, such  
 111 results are scarce in the literature. The main objective of this research was to test the  
 112 hypothesis that under restrictions to root growth, its negative effects on lettuce plant growth,  
 113 development and yield may be compensated by increasing nutrient availability in the root  
 114 media.

115

116

### 3.4 Material and methods

117

118 The experiment was conducted between August 11<sup>th</sup> and September 23<sup>th</sup> 2011, inside a  
 119 polyethylene greenhouse at Departamento de Fitotecnia, UFSM. The climate of this location  
 120 is subtropical wet, Cfa formula according the Köppen system. Average air temperatures and  
 121 global solar radiation were, respectively, 15.4 °C and 9.34 MJ m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup> in August, 17.3°C and  
 122 12.62 MJ m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup> in September, 19.9°C and 14.85 MJ m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup> in October.

123

124 Root confinement were simulated by three pot sizes with volumes of 2.5 dm<sup>3</sup> (no  
 125 confinement, the control); 1.0 dm<sup>3</sup> (moderate) and 0.4 dm<sup>3</sup> (severe). Washed sand was used as  
 126 rooting media in a closed soilless hydroponical system (Godoi, *et al.* 2009). Physical  
 127 characteristics were 0.00-0.03 m gauge, 1.6 kg dm<sup>-3</sup> bulk density and 0.243 L dm<sup>-3</sup> maximum  
 128 water retention capacity. Pots were placed over benches, at 0.80 m height above the soil, and  
 129 fertigated by drip irrigation five times a day for 15 min. Planting was done on 11 August,  
 using only one 5-leaves commercial lettuce transplant, cv. Stella, per pot.

130

131 Different nitrogen availabilities were supplied to plants by means of a nutrient  
 132 solution. Total nitrogen concentrations were: 5.55 (T1), 8.05 (T2), 10.55, 13.05 (T4) and  
 15.55 (T5)mmol L<sup>-1</sup> The fertilizer amount used in nutrients solution were in kg 300 L<sup>-1</sup>: 60.66

133 KNO<sub>3</sub>; 138.83 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>; 73.92 MgSO<sub>4</sub> ; 52,29 K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ; KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>. The upper N dose (T5) is  
134 the N concentration used for commercial growing lettuce plants in NFT facilities (Furlani,  
135 1998). Micronutrients quantities were, in mg L<sup>-1</sup>, 0.03 Mo; 0.26 B; 0.06 Cu; 0.50 Mn; 0.22 Zn  
136 and 1.0 Fe.

137 The electrical conductivities (EC) were 0.92; 1.02; 1.12; 1.30 and 1.36 dS m<sup>-1</sup>,  
138 respectively, and the pH was maintained in the range between 5.5 and 6.5, by NaOH- or  
139 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1mol L<sup>-1</sup> additions whenever necessary. A fraction of nutrient solution prepared at  
140 concentrations indicated above was added when its volume reached 50% of the initial volume  
141 inside the reservoir. A factorial 3 x 5 randomised experimental design was used with twenty  
142 two replications of one plant.

143 The experiment was ended on 23 September 2011. Six plants per treatments were  
144 harvested and shoot and roots were separated. Number of leaves, the diameter and length of  
145 stem and shoot fresh mass were determined at harvesting. Root and shoot dry mass were  
146 determined after drying in a ventilated oven at 65°C until constant mass was recorded. On this  
147 day the relative leaf chlorophyll content, expressed as Falker Chlorophyll Index (ICF), was  
148 determined using a digital chlorophyll meter (clorofiLOG<sup>®</sup> CFL 1030 - Falker). The ICF is a  
149 dimensionless measure of total (a+b) chlorophyll obtained from absorbance of chlorophylls in  
150 three wave lengths. Readings were made on leaves of three plants per treatment between 8:00  
151 and 10:00 am and averaged to obtain the ICF of the plant.

152 Data were submitted to variance analysis using the Statistica Software®, at 5%  
153 probability (F-test). The significance of differences among discrete variables means was  
154 determined by the Tukey's test at 5% probability and the quantitative ones by polynomial  
155 regression.

156

157

### 3.5 Results and discussion

158

159 There were significant interactions among treatments for plant shoot grow. When the  
160 effect of N concentration on plants grown in severe and no confinements were compared,  
161 shoot dry mass decreased only on plants in severe confinement (Figure 1). When the lowest  
162 and the highest N availabilities were compared on plants grown in severe and no confinement  
163 conditions, the highest N concentration increased growth in both conditions, but it was not  
164 effective to compensate the growth reduction in severe confinements (Figure 4). Plants under  
165 severe confinements for root growth and the T3 dose reached similar growth (p<0.5) to plants

166 under no confinements at the lowest N (T1) availability. Thus, with lowest N availability,  
167 similar growth of T3 plants was obtained by increasing 6.25 times the volume of pots (no  
168 confinements).

169 Differences were recorded among confinements levels for root growth and nitrogen  
170 availability. All growth variables were reduced in plants grown on moderated and severe  
171 confinements (Table 1). Fresh mass of leaves, which is an important commercial  
172 characteristic of lettuce plants, was 27.6% reduced. By effect of N concentration, shoot dry  
173 mass increased polinomially, while root dry mass decreased linearly (Figure 2a). Differences  
174 between T1 and T5 were 34% for leaves and 58% for the stem, while roots decreased 29%.  
175 The shoot:root ratio increased 53% (Figure 2b).

176 The shoot:root ratio was affected by N concentration. It was lower on plants grown  
177 in the lowest N concentration. It was higher in no confinements and in the highest N  
178 concentration. But, it increased 1.82 times by effect of N concentration and only 0.81 times by  
179 effect of the pot volume. Present results agree whit confirm the theoretical approach of  
180 shoot:root ratio in plants which states that N is the key element on root growth regulation  
181 (Thornley, 1998). It has also been reported by Broadeley *et al.* (2000 ) that hydroponically  
182 grown lettuce plants can use carbon assimilates to explore a greater volume of root media,  
183 minimizing the negative effects of low N availability on shoot growth. Their conclusions are  
184 also supported by our results. Nevertheless, when root growth is restricted both water  
185 absorption and nutrient uptake are affected and impairments in these processes might induce  
186 different consequences on plant growth. Concerning nitrogen uptake, it has been reported in  
187 the literature that plants could store large quantities of N in tissues, which can be remobilized  
188 when the external availability is reduced and/or at later developmental stages of determinate  
189 grown plants (Le Bot, 2001). A low N uptake rate induced by confinements in root growth  
190 would drastically reduce plant growth only in case of the plant N demand could not be  
191 supplied by the N pool. It implies that during the plant vegetative developmental stage the N  
192 demand can be supplied by the inner N-pool and its reserves can be restored later. It might  
193 have been the case for lettuce plants in the present experiment because its growing period  
194 were limited to the vegetative phase before bolting. In this condition, though number and  
195 physiological activity of root hairs could have been lower in small pots, nitrogen uptake rates  
196 might have been compensated by the high N availability.

197 The plant growth reduction of plant growth by confinements on root growth was only  
198 partly compensated by the higher N availability (Figure 4). This implies that other processes  
199 other than nitrogen uptake were affected, such as water absorption. In fact, water absorption is

200 a physical process depending mainly on solar radiation, air saturation deficit and salinity in  
201 the root media. Low growth of lettuce plants under salinity has been reported in the literature  
202 (Helbel Junior, 2008; SOARES *et al.*, 2007), but it is unlikely that a salinity effect has happen  
203 in the present experiment, because the EC of the nutrient solution was maintained between  
204  $0.92 \text{ dS m}^{-1}$  (T1) and  $1.36 \text{ dS m}^{-1}$  (T5). It was within the  $1.3\text{-}1.95 \text{ dS m}^{-1}$  range used for  
205 soilless cultivation of this crop (Furlani, 1998; Ayres & Westcot, 1999). In small substrate or  
206 soil volumes not only root growth is restricted, but porosity may be reduced by root hairs  
207 growing among particles, lowering the water retention capacity. In such condition, water  
208 availability to plants can shut down quickly during the diurnal phase of the day and growth be  
209 depressed by water stress. Under high nutrient concentrations, this effect could be more  
210 severe due to salinity. It can not be excluded that in the lower pots of the present experiment  
211 (severe confinement) plant growth was more reduced by disturbances in the water flux than  
212 by nutrient uptake (Figure 5).

213         Increasing the N concentration in the nutrient solution enhanced shoot growth but  
214 decreased root growth. The severe root confinement did not affect root growth but reduced  
215 shoot growth. It was concluded that shoot growth of plants under root confinement is only  
216 partially compensate by increasing the availability of N in the root media.

217

218

### 3.6 Acknowledgments

219

220         This research was financed by CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento  
221 Científico e Tecnológico – Brasil, grants 300998/2009-0 and 470255/2009-0 and a  
222 fellowship.

223

224

225

226

227

228

229

230

231

### 3.7 References

232

233

234 AGREN, G. I. e FRANKLIN, O. 2003. Root: Shoot Ratios, Optimization and Nitrogen  
235 Productivity. *Annals of Botany* 92: 795-800.

236

237 ANDRADE JÚNIOR, V.C.; YURI, J.E.; NUNES, U.R.; PIMENTA, F.L.; MATOS, C.S.M.;  
238 FLORIO, F.C.A.; MADEIRA, D.M. 2005. Emprego de tipos de cobertura de canteiro no  
239 cultivo da alface. *Horticultura Brasileira*, Brasília 23:899-903, out-dez.

240

241 AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. 1999. *A qualidade da água na agricultura*. Campina  
242 Grande: UFPB. 153p.

243

244 BERTOL, O.J.; RIZZIL, N. E.; FEY, E.; LANAL, M.C. 2011. Perda de nutrientes via  
245 escoamento superficial no sistema plantio direto sob adubação mineral e orgânica. *Ciência  
246 Rural* 41: 1914-1920.

247

248 BROADLEY MR; ESCOBAR - GUTIERREZ AJ; BURNS AJ; BURNS IG. 2000. What are  
249 the effects of nitrogen deficiency on growth components of lettuce? *New Phytologist* 147:  
250 519-526.

251

252 CAPON, B. 2010. *Botany for gardeners*. Timber Press:Portland, 3th ed., 268 p.

253

254 CQFS-RS. 2004. *Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e  
255 Santa Catarina*. Sociedade Brasileira de Ciência do solo. Comissão de Química e Fertilidade  
256 do Solo. 10º ed. Porto Alegre.

257

258 ECHER, M.M., ARANDA, A.N., BORTOLAZZO, E.D., BRAGA, J.S., TESSARIOLI  
259 NETO, J. 2000. Efeito de três substratos e dois recipientes na produção de mudas de  
260 beterraba. *Horticultura Brasileira* 18: 509-510.

261

262 FILGUEIRA, F.A.R. 2000. 2000. *Novo Manual de Olericultura: Agrotecnologia moderna na  
263 produção e comercialização de hortaliças*, 3ª Ed., Viçosa, MG, Ed. UFV, 421 p.

264

- 265 FURLANI, P.R. 1998. *Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de*  
266 *hidroponia NFT*. 1ª ed. Campinas: IAC. Boletim técnico 168, 30 p.
- 267
- 268 GARCIA, L.L.C.; HAAG, H.P.; MINAMI, K.; DECHEN, A.R. 1982. Nutrição mineral de  
269 hortaliças XLIX. Concentração e acúmulo de macronutrientes em alface (*Lactuca Sativa L.*)  
270 cv brasil 48 e Clause's Aurélia. **Anais...** da E.S.A. "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 39: 445-  
271 484.
- 272
- 273 GODOI, R.S.; ANDRIOLO, J.L.; FRANQUEZ, G.G; JANISCH, D.I.; CARDOSO, F.L.;  
274 VAZ, M.A.B. 2009. Produção e qualidade do morangueiro em sistemas fechados de cultivo  
275 sem solo com emprego de substratos. *Ciência Rural*, 39: 1039-1044.
- 276
- 277 HELBEL JUNIOR, C.; REZENDE, R.; FREITAS, P. S. L. de; GONÇALVES A. C. A.;  
278 FRIZZONE, J. A. 2008. Influência da condutividade elétrica, concentração iônica e vazão de  
279 soluções nutritivas na produção de alface hidropônica. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras,  
280 32:1142-1147.
- 281
- 282 IERSEL, M.V. 1997. Root restriction effects on growth and developments of salvia (*Salvia*  
283 *splendens*). **HortScience**, 32: 1186 -1190.
- 284
- 285 KLAR, A. E.; JADOSKI, S. O. 2002. Efeitos da irrigação e da cobertura do solo por  
286 polietileno preto sobre as características morfológicas do pimentão. *Irriga*, Botucatu, 7: 154-  
287 167.
- 288
- 289 LE BOT, J.; JEANNEQUIN, B.; FABRE, R. 2001. Growth and Nitrogen Status of Soilless  
290 Tomato Plants Following Nitrate Withdrawal from the Nutrient Solution. *Annals of Botany*,  
291 88: 361-370.
- 292
- 293 MONTEIRO, R.; COELHO, R.D.; MELO, P.C.T.; FERRAZ, P.; CHAVES, S.W.P.;  
294 SHIRAHIGE, F.H.; BELTRAME, NETO, E.; PIEDADE, S.M.S. 2008. Net melon  
295 performance as affected by the drip irrigation depth and mulching. *Horticultura Brasileira*,  
296 Brasília, 26: 447-451.
- 297

- 298 NESMITH, D. S.; DUVAL, J. R. 1998. The effect of container size. *Hort Technology*. v. 8 n.  
299 4, Oct- Dez.  
300
- 301 ROBBINS, N. S. e PHARR, D.M. 1988. Effect of Restricted Root Growth on Carbohydrate  
302 Metabolism and Whole Plant Growth of *Cucumis sativus* L. *Plant Physio.*, 87:409-413.  
303
- 304 SANCHEZ, C.A. 2000. Response of lettuce to water and nitrogen on sand and the potencial  
305 for leaching of nitrate-N. *HortScience*, Alexandria, 35:73-77.  
306
- 307 SIDDIQI, M.Y. *et al.* 1998. Growth of a tomato crop at reduced nutrient concentrations as a  
308 strategy to limit eutrophication. *Journal of Plant Nutrition*, Georgia, 21:1879-1895,  
309
- 310 SOARES, T.M.; SILVA, E.F.F.; DUARTE, S.N.; MÉLO, R.F.; JORGE, C.A.; BONFIM-  
311 SILVA, E.M. 2007. Produção de alface utilizando águas salinas em sistema hidropônico.  
312 *Irriga*, Botucatu, v.12, n.2, p.235-248.  
313
- 314 SOUNDY, P.; CANTLIFFE, D.; HOCHMUTH, G.J.; STOFFELLA, P.J. 2001. Nutrient  
315 requirements for lettuce transplants using a flotation irrigation system I.  
316 Phosphorus. *HortScience*, v.36, n.6, p.1066-1070.  
317
- 318 THORNLEY, J. H. M. 1998. Modelling shoot : root relations: the only way forward? *Annals*  
319 *of Botany*, n.81, p. 167- 171.  
320
- 321 TRANI, P.E.; TIVELLI, S. W.; PURQUERIO, L. F.V.; AZEVEDO FILHO, J. 2005. A.  
322 Instituto Agrônômico – IAC Centro de Análise e Pesquisa Tecnológica do Agronegócio de  
323 *Horticultura* \*Texto extraído do Boletim 200 Publicado em 09/08/2005. Disponível em: <  
324 [http://www.iac.sp.gov.br/imagem\\_informacoestecnologicas/52.pdf](http://www.iac.sp.gov.br/imagem_informacoestecnologicas/52.pdf)> Acesso em 02 jan de  
325 2012.  
326  
327  
328  
329  
330  
331  
332

333 **Table 1-** Stem diameter (SD) and length (SL), dry mass of leaves (DML) and stem (DMS),  
 334 fresh mass of leaves (FML) and stem (FMS), of lettuce plants grown in three levels  
 335 of confinements in root growth<sup>1</sup>. Santa Maria, RS, 2011. (Diâmetro (SD) e  
 336 comprimento de caule (SL), massa seca de folhas (DML) e caule (DMS), massa  
 337 fresca de folhas (FML) e caule (FMS) de plantas de alface crescendo em três níveis  
 338 de confinamento das raízes. Santa Maria, RS, 2011.)

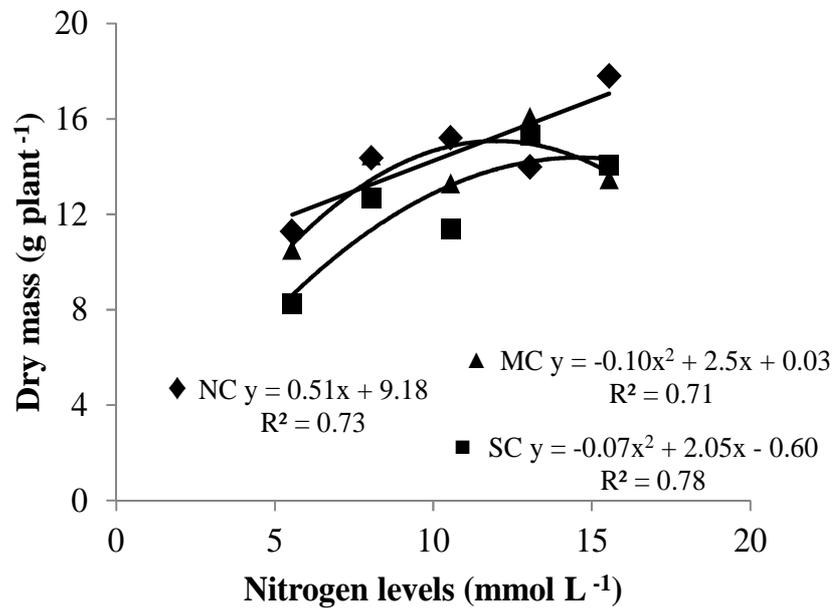
Confinement level*	Dry mass				Fresh mass	
	SD	SL	DML	DMS	FML	FMS
No confinement	15.82 a	53.92 a	13.45 a	1.07 a	313.93 a	16.66 a
Moderate	14.75 ab	52.67 a	12.59 ab	0.98 a	276.49 b	14.02 a
Severe	14.23 b	41.60 b	11.63 b	0.80 b	227.41 c	09.54 b
CV(%)	10.25	11.52	9.58	18.29	13.64	24.03

340 \* Pot sizes of 2.5; 1.0 and 0.4 dm<sup>3</sup> per plant as *no confinement*, *moderate* and *severe*, respectively. (Tamanho dos  
 341 vasos de 2.5; 1.0 e 0.4 dm<sup>3</sup> por planta representando sem confinamento, moderado e severo, respectivamente).  
 342

343 <sup>1/</sup>Means followed by same letter in column do not differ by Tukey test at 5% probability. ( <sup>1/</sup>Médias seguidas de  
 344 mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade)  
 345  
 346

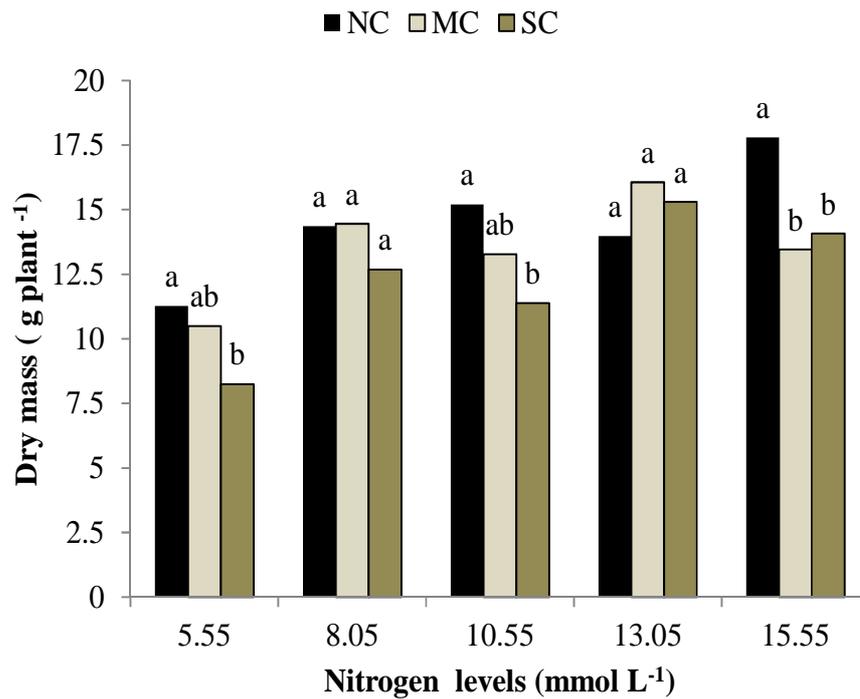
347

348  
349



350  
351  
352  
353  
354  
355  
356  
357  
358

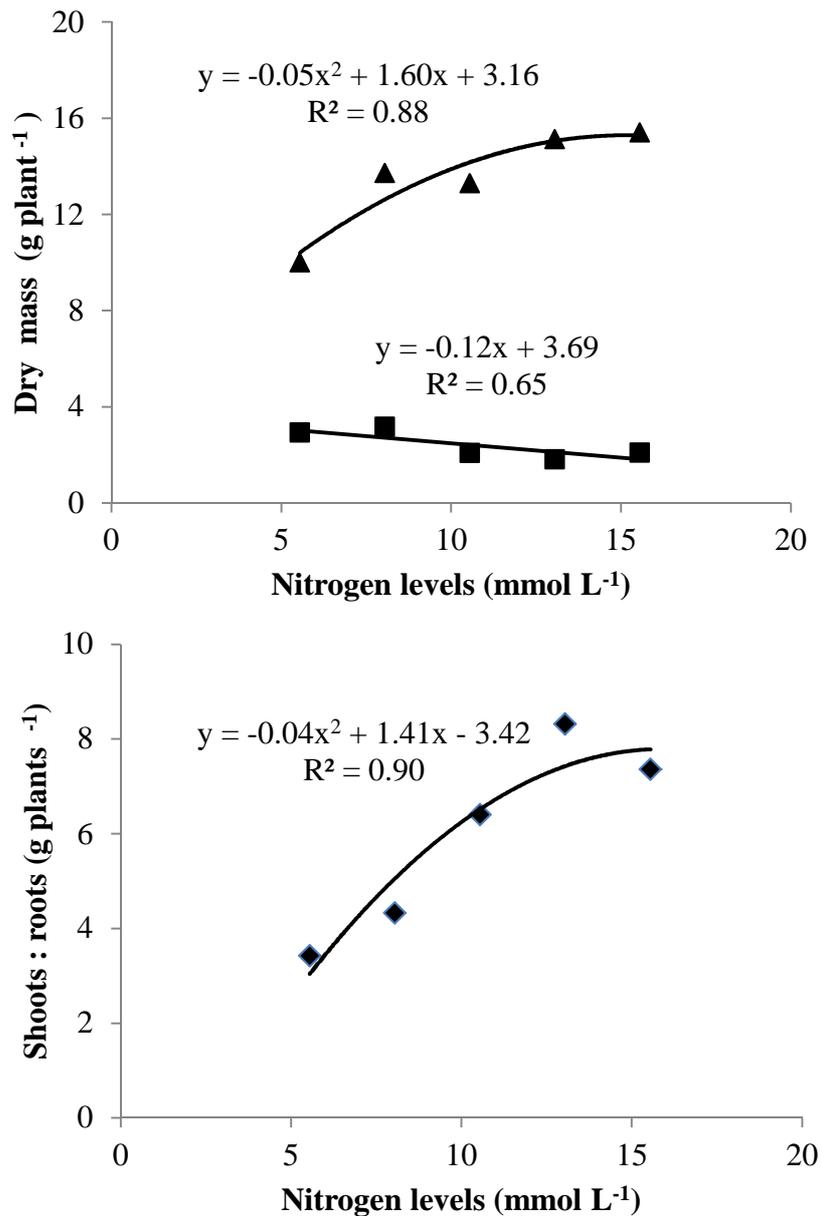
**Figure 1-** Shoot dry mass of lettuce plants grown under no confinements (◆), moderate (▲) and severe (■) of roots and nitrogen concentration from 5.55 to 15.55 mmol L<sup>-1</sup> in the nutrient solution. Santa Maria, RS, 2011. (Massa seca da parte aérea de plantas de alface crescendo sem confinamento, moderado e severo das raízes e concentrações de nitrogênio de 5,55 a 15,55 mmol L<sup>-1</sup> na solução nutritiva. Santa Maria, RS, 2011).



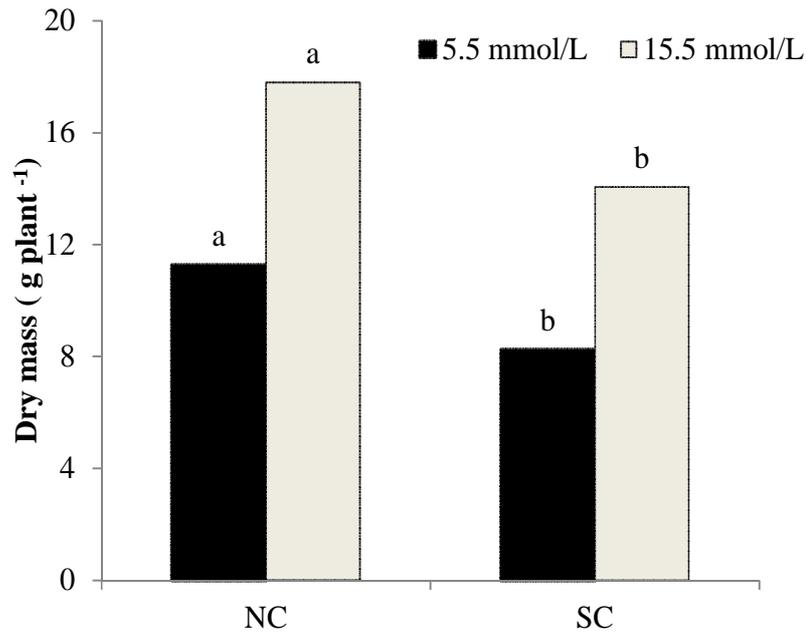
359

360 **Figure 2-** Dry mass of lettuce plants grown under no root confinement (NC), moderate (MC)  
 361 and severe (SC) root confinement and nitrogen concentrations from 5.55 to 15.55  
 362 mmol L<sup>-1</sup> in the nutrient solution. Santa Maria, RS, 2011. (Massa seca de plantas de  
 363 alface cultivadas sem confinamento de raízes (NC) e com confinamento moderado  
 364 (MC) e severo (SC) e concentrações de N na solução nutritiva de 5.55 a 15.55 mmol  
 365 L<sup>-1</sup>. Santa Maria, RS, 2011.)

366



367  
 368 **Figure 3-** Shoot (▲) and roots (■) dry mass (a) and shoots: roots ratio (b) of lettuce plants  
 369 grown under nitrogen concentration from 5.55 to 15.55 mmol L<sup>-1</sup> in the nutrient  
 370 solution. Santa Maria, RS, 2011. (Massa seca de parte aérea (▲) e raízes (■),  
 371 gráfico (a), e relação parte aérea: raiz, gráfico (b), de plantas de alface crescendo  
 372 em solução nutritiva com concentrações de nitrogênio de 5.55 a 15.55 mmol L<sup>-1</sup>.  
 373 Santa Maria, RS, 2011.)  
 374



375

376

377

378

379

380

381

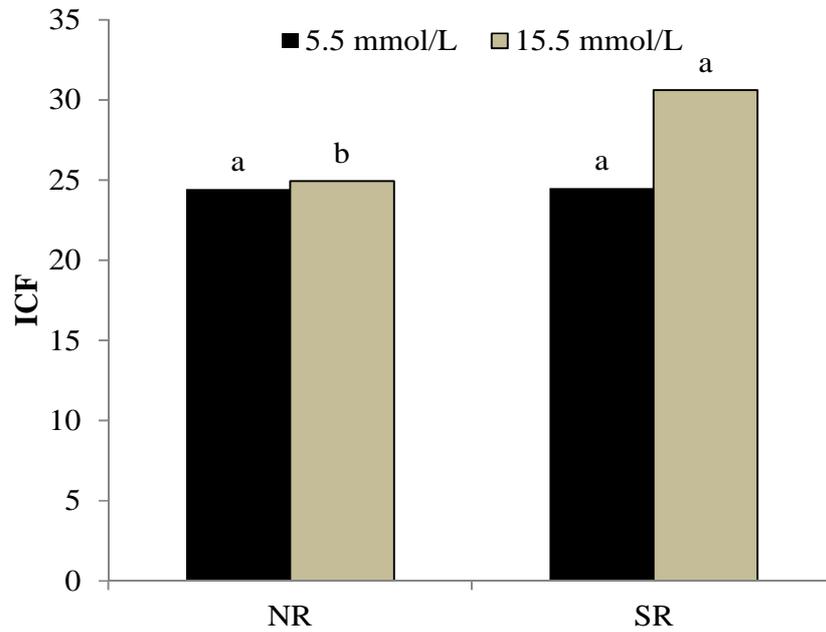
382

383

384

**Figure 4-** Shoots dry mass the lettuce plants under no confinement (NC) and severe confinement (SC) of roots on low and high nitrogen availability in the nutrient solution. Santa Maria, RS, 2011. (Massa seca de parte aérea de plantas de alface crescendo sem e com severo confinamento das raízes sobre baixa e alta disponibilidades e nitrogênio na solução nutritiva. Santa Maria, RS, 2011.)

385



386

387 **Figure 5-** Falker Chlorophyll index (ICF) the lettuce plants grown under confinement (NC)  
388 and severe confinement (SC) of roots under low (black) and high (gray) nitrogen  
389 availability in the nutrient solution at ending of experiment. Santa Maria, RS, 2011.  
390 (Índice de Clorofila de Falker de plantas de alface crescendo sem e severo  
391 confinamento das raízes sobre baixa (preto) e alta (cinza) disponibilidade de  
392 nitrogênio na solução nutritiva ao final do experimento. Santa Maria, RS, 2011).

#### 4. REFERÊNCIAS

AGRIANUAL, 2011. **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: Instituto FNP.

ALVARENGA, M. A.R.; SILVA, E.C.; SOUZA, R. J.; CARVALHO, J.G. Efeito de doses de nitrogênio aplicadas no solo e níveis de cálcio aplicados via foliar sobre o teor e o acúmulo de micronutrientes em alface americana. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v.24, n.4, p.905-916, out./dez., 2000.

ANDRIOLO, J.L.; GODOI, R.S.; COGO, C.M.; BORTOLOTTI, O.C.; LUZ, G.L.; MADALOZ, J.C. Growth and development of lettuce plants at high  $\text{NH}_4^+:\text{NO}_3^-$  ratios in the nutrient solution. **Horticultura Brasileira**, v.24, p. 352-355, jul./set. 2006.

BRUNINI, G.A.; LISBÃO, R.S.; BERNARDI, J.B. Temperatura base para a Alface (*Lactuca sativa* L.) cultivar “White Boston”, em sistema de unidades térmicas. **Revista de Olericultura**. Lavras, v.16. 28-29p, 1976.

CEASA. Centrais de Abastecimento do Rio Grande do Sul S/A - CEASA/RS. Calendário de comercialização dos principais hortigranjeiros – 2009. Disponível em: < <http://www.ceasa.rs.gov.br> > Acesso em: 16 jan. 2012.

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

EMATER, DF. Boletim: Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Distrito Federal. **Custo de produção – Alface**. Data de emissão: 23/4/2010. Disponível em: < <http://www.emater.df.gov.br/sites/200/229/00001958.pdf>>. Acesso em: 16 jan. 2012.

FERREIRA, V. P. Doses e parcelamento de nitrogênio em alface. 2002. 56 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

FERREIRA, R.L.F.; ARAÚJO NETO, S.E.; SILVA, S.S.; ABUD, E.A.; REZENDE, M.I.F.L.; KUSDRA, J.F. Combinações entre cultivares, ambientes, preparo e cobertura do solo em características agrônômicas de alface. **Horticultura Brasileira**, v. 27, p. 383-388, set. 2009.

GUTIERREZ, A. S. Hortaliças em número. **HORTIBRASIL**, Instituto brasileiro de qualidade de hortaliças. 22 Nov. 2010. Disponível em <[http://www.hortibrasil.org.br/jnw/index.php?option=com\\_k2&view=item&id=909:hortalicas-em-numeros](http://www.hortibrasil.org.br/jnw/index.php?option=com_k2&view=item&id=909:hortalicas-em-numeros)>. Acesso em: 15 jan. 2012.

HENZ, G. P. e SUINAGA, F. Tipos de alface cultivados no Brasil. Comunicado. Técnico 75. **Embrapa Hortaliças**, Brasília-DF. Nov. 2009.

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

MARQUES, P.A.A.; BALDOTTO, P.V.; SANTOS, A.C.P.; OLIVEIRA, L. Qualidade de mudas de alface formadas em bandejas de isopor com diferentes números de células. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 4, p. 649-651, out/dez 2003.

MELO A. M. T.; MELO P. C.T. Nagai Hiroshi (1935-2003): sua vida e contribuições à olericultura. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21, n. 4, out./dez. 2003.

MANTOVANI, J.R.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. Produção de alface e acúmulo de nitrato em função da adubação nitrogenada. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.3, p.758-762, jul/set 2005.

OLIVEIRA, N.G.; DE-POLLI, H.; ALMEIDA, D.L.; GUERRA, J.G.M. Plantio direto de alface adubada com “cama” de aviário sobre coberturas vivas de grama e amendoim forrageiro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.24, n.1, p.112-117, jan./mar.. 2006.

SANDRI, D.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. Desenvolvimento da alface Elisa em diferentes sistemas de irrigação com água residuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, PB, v.11, n.1, p.17-29, 2007.

SALA, F.C.; COSTA, C. P. 'PiraRoxa': Cultivar de alface crespa de cor vermelha intensa. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.1, jan./mar. 2005.

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

SILVA, J.B.C. *et al.* 2006. Cultivo de Tomate para Industrialização. Embrapa Hortaliça – **Sistema de produção.** Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustria>>. Acesso em :15 abril 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**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1266-1271, jul./ago., 2008.

STIRZAKER, R.J.; WHITE. I. Amelioration of soil compaction by a cover-crop for no-tillage lettuce production. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 46, n.3, p 553 – 568, 1995.

STRECK, N.A.; SCHNEIDER, F.M.; BURIOL, G.A.; HELDWEIN, A.B. Effect of polyethylene mulches on soil temperature and tomato yield in plastic greenhouse. **Scientia Agricola**. Piracicaba, v.32, n3, p. 587-593, set/dez. 1995.

TRANI, P.E.; NOVO, M.C.S.S.; CAVALLARO JÚNIOR, M.L.; TELLES, L.M.G. Produção de mudas de alface em bandejas e substratos comerciais. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.2, p.290-294, abril-junho 2004.

WILSON, J. BASTOW . A Review of Evidence on the Control of Shoot: Root Ratio, in Relation to Models. **Annals of Botany**, v.61, n.4, p. 433-449, 1988